



UNIVERSIDADE D  
**COIMBRA**

Cláudia Isabel Trindade dos Reis

**ERROS DE LOCALIZAÇÃO ABSOLUTA NUM  
PARADIGMA DE FLASH-LAG AUDIOVISUAL:  
IMPLICAÇÕES PARA O DEBATE ENTRE MODELOS  
ESPACIAIS E TEMPORAIS DO EFEITO FLASH-LAG**

Tese no âmbito do Doutoramento em Psicologia, especialidade em  
Psicologia Social e Cognitiva orientada pelo Professor Doutor Armando  
Mónica de Oliveira e Professor Doutor Marcus Vinicius Chrysóstomo Baldo,  
apresentada à Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação da  
Universidade de Coimbra

Maio de 2023





UNIVERSIDADE D  
**COIMBRA**

Cláudia Isabel Trindade dos Reis

**ERROS DE LOCALIZAÇÃO ABSOLUTA NUM  
PARADIGMA DE FLASH-LAG AUDIOVISUAL:  
IMPLICAÇÕES PARA O DEBATE ENTRE MODELOS  
ESPACIAIS E TEMPORAIS DO EFEITO FLASH-LAG**

**Tese no âmbito do Doutoramento em Psicologia, especialidade em  
Psicologia Social e Cognitiva orientada pelo Professor Doutor Armando  
Mónica de Oliveira e Professor Doutor Marcus Vinicius Chrysóstomo Baldo,  
apresentada à Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação da  
Universidade de Coimbra**

Maio de 2023



Ao Tiago, Diogo e Rui.



## ***Referência***

Reis, Cláudia (2023). *Erros de localização absoluta num paradigma de flash-lag audiovisual: Implicações para o debate entre modelos espaciais e temporais do efeito flash-lag*. Tese de doutoramento não-publicada, Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.

***Endereço eletrónico do autor:***

creis@estescoimbra.pt

***Apoio:***





---

## Agradecimentos

---

Esta dissertação resulta de um longo percurso, em que as várias dificuldades, desafios, problemas e sucessos devem-se a diversas pessoas que merecem neste texto a minha dedicação, reconhecimento e completo agradecimento.

Ao Professor Doutor Armando Mónica de Oliveira pela orientação, paciência, dedicação e empenho em todas as fases deste trabalho, mesmo nos momentos mais complexos em que as dificuldades pareciam superiores aos sucessos. e que foi imprescindível em todo este processo.

Ao Professor Doutor Marcus Vinicius Chrysóstomo Baldo pela sua orientação, disponibilidade e correções no desenvolvimento desta tese.

Aos meus colegas, Cristina e António, pela amizade, incentivo, partilha de conhecimentos que sempre demonstraram, pois sem a vossa ajuda não seria possível ter completado este objetivo.

Às minhas colegas Carla, Inês e Margarida pela paciência, pelo inabalável apoio e ajuda, pelo conforto e incentivo, e por nunca terem duvidado que esta meta seria cumprida.

A todos os colegas, estudantes voluntários, que participaram neste estudo disponibilizando o seu tempo e empenho na recolha dos dados que possibilitaram a execução desta tese, sem os quais este trabalho não teria sido exequível.

À minha família e amigos, cujo apoio incondicional foi também fundamental durante todo este processo, e cujos conselhos me guiaram no decorrer deste percurso.

Por fim ao Tiago, ao Diogo e ao Rui, por estarem sempre presentes e serem a luz que permanentemente me guiou e me ajudarem a crescer.

Muito obrigada!



---

## Resumo

---

O *Efeito Flash-Lag* (EFL) refere-se à percepção de que um estímulo estático apresentado brevemente (*flash*) em alinhamento físico com um estímulo em movimento se encontra localizado atrás da posição ocupada por este último. Trata-se de um erro de localização relativa, usualmente medido pela separação espacial requerida entre os dois estímulos (*flash* em posição mais adiantada) para que sejam percebidos como alinhados. Esta distância é frequentemente convertida numa medida de desfasamento temporal (o tempo necessário para que o móvel atinja a posição do *flash*).

A presente dissertação visa contribuir para a compreensão do EFL enquanto fenómeno *prima facie* espaço-temporal. Integra duas séries de experiências, a primeira dedicada à exploração de uma conceção inteiramente espacial do EFL no quadro de um paradigma audiovisual, a segunda ao estudo das latências diferenciais de processamento de estímulos estáticos e dinâmicos numa mesma e em diferentes modalidades sensoriais (visual e auditiva). Os resultados são examinados e discutidos do ponto de vista das implicações cruzadas entre as séries.

O primeiro conjunto de experiências desenvolve a sugestão de que o EFL poderia resultar da combinação de dois erros de localização espacial absoluta. Assenta num paradigma EFL adaptado em que os participantes localizaram ora o *flash* (marcador) ora o estímulo em movimento. O marcador surgia no início, meio (configuração clássica do *flash-lag*), ou termo do trajeto do movimento. As modalidades sensoriais do movimento e do marcador foram variadas de modo a obter diferentes combinações intermodais envolvendo a audição (A) e a visão (V). Num subgrupo de experiências com movimento visual, foi manipulada a probabilidade de ocorrência de marcadores V ou A (a passos de 25%). A diferença entre os erros de localização absoluta do movimento e do marcador foi tomada como um indicador da magnitude do EFL (EFL<sub>D</sub>).

O segundo conjunto de experiências envolveu tarefas de Julgamentos de Ordem Temporal (TOJ) e de Tempos de Reação (TR). Os TOJ incidiram sobre a aparição (*onset*) de dois estímulos com diferentes assincronias entre si. Os estímulos podiam ser estáticos, dinâmicos, ou um dinâmico e um estático, pertencer à mesma ou a diferentes modalidades (V e A) e surgir no mesmo local ou separados pela distância vertical utilizada entre o movimento e o marcador na série precedente ( $\approx 1.4^\circ$  a.v.). Assumindo a sua convertibilidade em diferenças de localização, as diferenças de latência estimadas com base nos TOJ especificam perfis esperados de EFL<sub>D</sub> no ciclo iniciado pelo marcador. Os TR envolveram respostas à aparição de estímulos estáticos V e A, e ao início e ao termo (*offset*) da apresentação de estímulos dinâmicos nas duas modalidades, contendo implicações tanto para as condições iniciadas como terminadas pelo marcador.

As respostas de localização do marcador revelaram efeitos sistemáticos de “arrastamento” pelo movimento (*flash-drag*), reduzidos no caso de marcadores no termo do trajeto e quando o marcador e o movimento pertenciam a modalidades distintas. A localização do movimento originou erros para diante, de magnitude superior ao *flash-drag*, nas configurações clássica e iniciada pelo marcador. Na configuração terminada pelo marcador estes erros desvaneceram-se, tendendo a ocorrer no sentido inverso. Exceto no caso do movimento auditivo, os perfis de EFL<sub>D</sub> replicaram o resultado clássico da ocorrência de EFL nas configurações clássica e iniciada pelo marcador e da sua ausência ou mesmo inversão no ciclo terminado pelo marcador. A localização

do movimento visual foi mais exata com marcadores auditivos, sugerindo um benefício decorrente da maior resolução temporal da audição. Os EFL<sub>D</sub> intermodais convergiram apenas parcialmente com os resultados de estudos anteriores do EFL audiovisual. A variação da probabilidade da modalidade do marcador resultou, em todas as configurações, na desapareição do EFL<sub>D</sub> no ponto de máxima incerteza (50%), interpretável como um efeito de alocação estratégica da atenção.

Os TOJ indicaram uma vantagem temporal do *onset* dos estímulos auditivos relativamente aos visuais, seja em pares estáticos ou em movimento, e dos estímulos estáticos relativamente aos dinâmicos (mais pronunciada na condição V estático - A dinâmico). Os TR replicaram a prioridade temporal dos estímulos A nos pares estáticos, mas não nos dinâmicos, onde as respostas ao *onset* e ao *offset* visual registaram menores latências. Em linha com inconsistências reportadas na literatura relevante sobre o EFL, as previsões baseadas nas latências foram inconsistentes com a direção e magnitude dos efeitos observados na primeira série experimental.

O significado mais geral dos resultados é discutido no quadro da literatura relevante sobre o EFL. Potenciais implicações para o diagnóstico de perturbações do processamento temporal na visão e na audição são brevemente consideradas no final.

Palavras-chave:

*Flash-Lag*; *Flash-Drag*; latências de processamento; percepção intermodal; atenção endógena

---

## Abstract

---

The *flash-lag Effect* (FLE) refers to a phenomenon whereby a brief flash presented in physical alignment with a moving stimulus is perceived to lag behind it. This is a relative localization error, commonly measured by the spatial offset required between the two stimuli (flash situated ahead) for them to be perceived as aligned. This spatial offset is often converted into a time delay (the time required for the moving object to reach the flash position).

This dissertation aims to contribute to the understanding of the FLE as a *prima facie* spatiotemporal phenomenon. It comprises two series of experiments, the first dedicated to the exploration of a fully spatial model of the FLE in an audiovisual setting, the second to an assessment of differential processing latencies between static and moving stimuli, either in a same and across two sensory modalities (vision and audition). The results are analyzed and discussed in light of the reciprocal implications between series.

The first set of experiments is driven by the suggestion that the FLE might arise from the combination of two absolute mislocalizations. It rests on an adapted FLE paradigm in which participants located, in different blocks, either the *flash* or the moving stimulus. The flash could appear at the motion onset (flash-initiated cycle), the middle of the motion trajectory (continuous motion) or the motion offset (flash-terminated cycle). The flash and the motion stimuli could be in the same or in different modalities (vision and audition: V and A). In the subset of experiments with visual motion, the probability of the flash being visual or auditory was manipulated in steps of 25%. The difference between the absolute errors in localizing the moving stimulus and the flash was taken as an index of the magnitude of the FLE ( $FLE_D$ ).

The second set of experiments involved temporal-order judgment (TOJ) and reaction time (RT) tasks. Participants judged the order of appearance of two stimuli presented with variable stimulus-onset-asynchronies (SOAs). The stimuli could be both static, both moving, or one static and one moving. They could moreover belong to the same or different modalities (V and A), and overlap spatially or be offset by the same vertical distance that separated the flash and the motion stimuli in the preceding experiments ( $\approx 1.4^\circ$  v.a.). Assuming they can be legitimately converted into spatial offsets, differential latencies estimated from these judgments yield predicted profiles of  $FLE_D$  in the flash-initiated cycle. The RT tasks required participants to respond to the onset of visual and auditory static stimuli, and to the onset and offset of dynamic stimuli in both modalities, containing implications for both the flash-initiated and flash-terminated cycles.

Flashes were reliably mislocalized in the direction of the adjacent motion, a flash-drag effect. These errors were strongly reduced in the flash-terminated cycle and when the flash and motion stimuli belonged to distinct modalities. Forward localization errors of the moving stimuli, larger than the flash-drag, were seen in the flash-initiated and the continuous motion cycles. In the flash-terminated cycle these errors vanished and tended sometimes to reverse direction. Except for the auditory motion,  $FLE_D$  profiles replicated the common finding of FLE in the continuous motion and flash-initiated cycles, and of its absence, or even inversion (flash-lead), in the flash-terminated cycle. The localization of visual moving stimuli was more accurate with auditory flashes, suggesting a beneficial effect of the superior temporal resolution of audition. Intermodal  $EFL_D$  showed only partial agreements with previous studies of the audiovisual EFL. The probability manipulation regarding the flash modality resulted, in every cycle, in the

disappearance of the  $EFL_D$  at the point of maximum uncertainty (50%), interpretable as an effect of strategic attention allocation.

The TOJ tasks indicated a temporal advantage of auditory onsets in pairs of static as well as of moving stimuli, and of the onset of static over moving stimuli in both modalities (A and V). RT results confirmed the shorter latencies of auditory stimuli in static pairs, but not in pairs of moving stimuli, where both visual onsets and offsets led to faster responses. Predictions based on differential latencies were inconsistent with the pattern of effects observed in the first set of experiments, challenging the assumption of a simple equivalence between temporal differences and spatial offsets.

The general significance of the results (which highlight the complexities of the notions of simultaneity and psychological present) is discussed with reference to the extensive and conflicting literature on the FLE. Potential practical implications for the diagnosis of temporal processing disorders in vision and audition are briefly considered at the end.

Keywords:

*Flash-Lag*; *Flash-Drag*; processing latencies; intermodal perception; endogenous attention

---

# Índice

---

Resumo	IX
Abstract	XI
Índice de Abreviações e Acrônimos	17
Índice de Figuras	19
Introdução	23
<b>Parte I – Estado da Arte</b>	<b>29</b>
<b>1. O Efeito Flash-Lag (EFL): Um erro de localização relativa do movimento.</b>	<b>31</b>
1.1. Erros de localização do movimento.	32
1.2. O Efeito <i>Flash-Lag</i> : definição, paradigma operacional, variáveis relevantes.	37
1.3. Modelos explicativos: interpretações espaciais e temporais.	43
1.4. Configurações experimentais do Efeito <i>Flash-Lag</i> : Ciclo Completo, ciclo iniciado e ciclo terminado pelo marcador.	49
<b>2. Extrapolação espacial do movimento: um mecanismo causal no Efeito Flash-Lag?</b>	<b>53</b>
2.1. O estado do debate: evidência comportamental e neurofisiológica.	53
2.2. O erro de localização relativa no Efeito <i>Flash-Lag</i> como combinação de dois erros de localização absoluta: questões em aberto.	57
2.2.1. Momento Representacional, Efeito <i>Frölich</i> e <i>Flash-Drag</i>	57
2.2.2. Outras possibilidades: <i>Flash-Repulsion</i> e <i>Onset Repulsion Effect</i> .	62
2.3. Efeitos da modalidade de resposta, tipo de movimento e movimentos oculares em tarefas de localização absoluta.	65
<b>3. Latências diferenciais no processamento de sinais de posição e movimento: uma base temporal para o Efeito Flash-Lag?</b>	<b>73</b>
3.1. Evidências favoráveis e desfavoráveis.	73
3.2. Efeitos de <i>Flash-Lag</i> intermodais: Um desafio à explicação do Efeito <i>Flash-Lag</i> por latências diferenciais.	79

3.2.1. <i>Flash-Lag</i> auditivo e audiovisual. _____	79
3.2.2. Deslocações da atenção no espaço e entre modalidades. _____	82
<b>Parte II – Contributos Empíricos _____</b>	<b>87</b>
<b>4. 1ª Série experimental – Erros de localização absoluta do móvel e do marcador: Efeitos de modalidade, efeitos de modalidade e de probabilidade do marcador _____</b>	<b>89</b>
4.1 Racional e Objetivos _____	89
4.2. Hipóteses e previsões _____	93
4.2.1. Lógica de avaliação da hipótese geral _____	93
4.2.2 Mapa de previsões orientadoras _____	96
4.3. Método _____	112
4.3.1. Participantes _____	112
4.3.2. Estímulos _____	112
4.3.3. Desenho experimental _____	117
4.3.4. Procedimento e opções operacionais _____	118
4.3.5. Análise dos dados _____	121
4.4. Resultados _____	123
4.4.1. Efeitos da modalidade do movimento _____	123
4.4.1.1 $D_x$ : Deslocamento horizontal do marcador e do móvel _____	123
4.4.1.1.1. Erros de localização do marcador. _____	123
4.4.1.1.2. Erros de localização do móvel _____	127
4.4.1.1.3. Fatores resposta e trajeto. _____	129
4.4.1.2. $EFL_D$ :efeitos de atraso/liderança do marcador _____	135
4.4.1.2.1. Valores médios. _____	135
4.4.1.2.2. Diferenças interindividuais. _____	139
4.4.1.3 Tempos de resposta: localização do móvel e do marcador _____	143
4.4.1.3.1. Médias dos $TR_{esp}$ . _____	143
4.4.1.3.2. Correlações entre $TR_{esp}$ e $EFL_D$ . _____	148
4.4.1.4. Respostas de localização vertical do móvel e do marcador _____	149
4.4.2. Efeitos da modalidade do marcador _____	153
4.4.2.1 $D_x$ : Deslocamento horizontal do móvel e do marcador _____	154

4.4.2.1.1. Erros de localização do marcador	154
4.4.2.1.2. Erros de localização do móvel	158
4.4.2.1.3. Fatores resposta e trajeto.	159
4.4.2.1.4. Correlações entre os $D_x$ do móvel e do marcador	162
4.4.2.2. $EFL_D$ : efeitos de atraso/liderança do marcador	164
4.4.2.2.1. Valores médios	164
4.4.2.2.2. Diferenças interindividuais	167
4.4.2.3 Tempos de resposta: localização do móvel e do marcador	170
4.4.2.3.1. Médias dos $TR_{esp}$ .	170
4.4.2.3.2. Correlações entre $TR_{esp}$ e $EFL_D$	173
4.4.2.4 $D_y$ : Deslocamento vertical do móvel e do marcador	173
4.4.3. Efeitos da probabilidade da modalidade do marcador	176
4.4.3.1 $D_x$ : Deslocamento horizontal do móvel e do marcador	177
4.4.3.2. $EFL_D$ : efeitos de atraso/liderança do marcador	180
4.4.3.3 Tempos de resposta: localização do móvel e do marcador	183
4.5. Discussão e conclusões intercalares	187
<b>5. 2ª Série experimental – Latências diferenciais de processamento</b>	<b>191</b>
5.1. Julgamentos de ordem temporal: TOJ	193
5.1.1. Método	193
5.1.1.1. Participantes	193
5.1.1.2. Estímulos	193
5.1.1.3. Desenho experimental	195
5.1.1.4. Procedimento	196
5.1.1.5. Análise dos dados	197
5.1.2. Resultados	199
5.1.2.1. Estímulos auditivos versus visuais	199
5.1.2.2. Estímulos estáticos versus dinâmicos	205
5.1.2.3. Implicações para os $EFL_D$ assumindo a hipótese da latência diferencial	211
5.2. Tempos de Reação: TR	213
5.2.1. Método	217

5.2.1.1. Participantes .....	217
5.2.1.2. Estímulos .....	217
5.2.1.3. Desenho experimental e Procedimento .....	218
5.2.1.4. Análise dos dados .....	220
5.2.2. Resultados .....	221
5.2.2.1. Médias .....	221
5.2.2.2. Diferenças interindividuais (clusters) .....	225
5.2.2.3. Implicações para os EFL <sub>D</sub> assumindo a hipótese da latência diferencial .....	226
<b>6. Discussão geral e conclusão .....</b>	<b>233</b>
6.1. Principais resultados e implicações .....	233
6.2. Limites do estudo e direções futuras .....	237
6.3. Potenciais implicações aplicadas .....	243
6.4. Conclusão provisória .....	246
Referências Bibliográficas .....	253

---

## Índice de Abreviações e Acrónimos

---

A - Audição ou auditivo

A<sub>din</sub>- Estímulo auditivo dinâmico (tarefas TOJ e TR)

A<sub>est</sub> - Estímulo auditivo estático (tarefas TOJ e TR)

A<sub>MC</sub> - Marcador auditivo (tarefa EFL)

A<sub>MOV</sub>- Estímulo auditivo em movimento (tarefa EFL)

a.v. - Ângulo visual

AV - Audiovisual

AV<sub>MC</sub> - Marcador audiovisual (tarefa EFL)

AV<sub>MOV</sub> - Estímulo audiovisual em movimento (tarefa EFL)

CC – Ciclo completo

CIM - Ciclo iniciado pelo marcador

cm - Centímetros

CTM - Ciclo terminado pelo marcador

D<sub>x</sub> – Erro de localização horizontal

D<sub>y</sub> – Erro de localização vertical

EAM - Efeito de alteração da modalidade

EEG – Electroencefalografia/electroencefalograma

EF - Efeito *Fröhlich*

EFL - Efeito *Flash-Lag*

EFL<sub>D</sub> - Medida do EFL derivada da combinação de dois erros absolutos

EPM – Erro padrão da média

fMRI - Ressonância magnética funcional

fps - Frames por segundo:

HRTF - *Head-related transfer function*

Hz - Hertz

ILD - Diferenças interaurais de intensidade (*interaural level differences*)

ISD - Distância espacial entre estímulos

ITD - Diferenças interaurais de tempo (*interaural time differences*)

JIT - Janelas de integração temporal

JND - Diferença minimamente perceptível

JS - Julgamentos de simultaneidade

LNG - Núcleo geniculado lateral

M - Média

MC - Marcador

MOV - Móvel

MR - Momento Representacional

ms - Milissegundos

MST - Área temporal superior medial

MT - Córtex temporal médio

° - Grau

ORE - *Onset Repulsion Effect*

PP - Período preparatório

PSS - Ponto de simultaneidade subjetiva

px - Pixéis

R<sub>MC</sub> - Resposta ao marcador

R<sub>MOV</sub> - Resposta ao móvel

SNR – Relação sinal ruído

SOA - Assincronia entre o início dos estímulos

TOJ - Julgamentos de ordem temporal

TR - Tempos de reação

TR<sub>esp</sub> - Tempos de resposta

V - Visão ou visual

V<sub>din</sub> – Estímulo visual dinâmico (tarefas TOJ e TR)

V<sub>est</sub> - Estímulo visual estático (tarefas TOJ e TR)

V<sub>MC</sub> - Marcador visual (tarefa EFL)

V<sub>MOV</sub> - Estímulo visual em movimento (tarefa EFL)

---

## Índice de Figuras

---

- Figura 1. Cenários gerados pela combinação entre erros de localização para diante do alvo em movimento (e.g., EF e MR) e do marcador (*flash-drag*) nos três ciclos do EFL \_\_\_\_\_ 59
- Figura 2. Cenários gerados pela combinação entre erros de localização para diante do alvo em movimento (e.g., EF e MR) e erros de localização para trás do marcador (*flash-repulsion*) nos três ciclos do EFL \_\_ 63
- Figura 3. Cenários gerados pela combinação entre o efeito de *repulsão do onset* (ORE) na localização do móvel e erros de localização para diante (*flash-drag*), para trás (*flash-repulsion*), ou nulos (localização perceptiva verídica) do marcador no ciclo iniciado pelo marcador (CIM). \_\_\_\_\_ 64
- Figura 4. Diagrama da estrutura dos estímulos (trajetos, ciclos, pontos). \_\_\_\_\_ 114
- Figura 5. A. Representação em diagrama de blocos do processamento digital de sinais no RACE (recursive Ambiophonic crosstalk eliminator), adaptado de Glasgal e Miller (2011). B. Diagrama do arranjo experimental. \_\_\_\_\_ 120
- Figura 6. Efeitos da modalidade do movimento - Erros de localização horizontal ( $D_x$ ) do marcador) e do móvel em cada um dos ciclos do EFL. \_\_\_\_\_ 125
- Figura 7. Efeitos da modalidade do movimento - Valores médios de  $D_x$  em função dos fatores trajeto (em abcissa) e resposta (ao marcador e ao móvel). \_\_\_\_\_ 130
- Figura 8. Efeitos da modalidade do movimento - Relação entre os valores de  $D_x$  obtidos nas respostas de localização do marcador e do móvel (agregadas através dos três ciclos do EFL) em cada uma das tarefas. \_\_\_\_\_ 134
- Figura 9. Efeitos da modalidade do movimento - Valores médios de  $EFL_D$  em cada um dos ciclos do EFL. \_\_\_\_\_ 136
- Figura 10. Efeitos da modalidade do movimento - Resumo das diferenças interindividuais quanto aos perfis de  $EFL_D$  obtidos nos diferentes ciclos e nas diferentes tarefas. \_\_\_\_\_ 140
- Figura 11. Efeitos da modalidade do movimento - Diferenças individuais no modo de produção dos perfis de  $EFL_D$  dominantes (i.e., exibidos por uma maioria de participantes). \_\_\_\_\_ 142
- Figura 12. Efeitos da modalidade do movimento - Tempos de resposta ( $TR_{esp}$ ) da localização do móvel) e do marcador nos três ciclos do EFL \_\_\_\_\_ 145
- Figura 13. Efeitos da modalidade do movimento - Respostas de localização vertical do marcador e do móvel nos três ciclos do EFL em cada uma das tarefas . \_\_\_\_\_ 151

Figura 14. Efeitos da modalidade do marcador - Erros de localização horizontal ( $D_x$ ) do marcador) e do móvel em cada um dos ciclos do EFL. _____	156
Figura 15. Efeitos da modalidade do marcador - Valores médios de $D_x$ , em função dos fatores trajeto (em abcissa) e resposta (ao marcador e ao móvel). _____	161
Figura 16. Efeitos da modalidade do marcador - Relação entre os valores de $D_x$ obtidos nas respostas de localização do marcador e do móvel (agregadas através dos três ciclos do EFL) em cada uma das tarefas. _____	163
Figura 17. Efeitos da modalidade do marcador - Valores médios de $EFL_D$ em cada um dos ciclos do EFL _____	165
Figura 18. Efeitos da modalidade do marcador - Resumo das diferenças interindividuais quanto aos perfis de $EFL_D$ obtidos nos diferentes ciclos e nas diferentes tarefas. _____	168
Figura 19. Efeitos da modalidade do marcador - Diferenças individuais no modo de produção dos perfis de $EFL_D$ dominantes _____	169
Figura 20. Efeitos da modalidade do marcador - Tempos de resposta ( $TR_{esp}$ ) da localização do móvel e do marcador nos três ciclos do EFL. _____	171
Figura 21. Efeitos da modalidade do marcador - Respostas de localização vertical do marcador e do móvel nos três ciclos do EFL em cada uma das tarefas. _____	175
Figura 22. Efeitos da probabilidade da modalidade do marcador - Erros de localização horizontal ( $D_x$ ) do marcador e do móvel) nos três ciclos do EFL para cada um dos níveis de probabilidade da modalidade do marcador). _____	178
Figura 23. Efeitos da probabilidade da modalidade do marcador - Valores médios de $EFL_D$ nos três ciclos do EFL em cada um dos níveis de probabilidade da modalidade do marcador. _____	181
Figura 24. Efeitos da probabilidade da modalidade do marcador - Tempos de resposta ( $TR_{esp}$ ) da localização do marcador e do móvel nos três ciclos do EFL em cada um dos níveis de probabilidade da modalidade do marcador. _____	184
Figura 25. Curvas psicométricas (função logística) ajustadas aos dados das tarefas TOJ envolvendo pares de estímulos AV em movimento e estáticos. _____	200
Figura 26. Exemplos de dados excluídos nos pares AV estáticos, com assincronias compreendidas entre $\pm 167$ ms. _____	202

Figura 27. Valores médios dos PSS e JND, expressos em ms, obtidos nas tarefas com pares de estímulos AV dinâmicos e estáticos. \_\_\_\_\_ 203

Figura 28. Funções sigmóides ajustadas aos dados das tarefas TOJ envolvendo pares de estímulos estáticos e dinâmicos, com o estático localizado acima ou sobreposto ao dinâmico \_\_\_\_\_ 207

Figura 29. Valores médios dos PSS e JND, expressos em ms, obtidos nas tarefas com pares de estímulos estáticos e dinâmicos, com o estático localizado acima ou sobreposto ao dinâmico.. \_\_\_\_\_ 209

Figura 30. Tempos de reação (TR) ao onset da apresentação de estímulos estáticos A e V e ao *onset e offset* do movimento de estímulos dinâmicos A e V. \_\_\_\_\_ 222

Figura 31. Tempos de reação (TR) ao *onset* da apresentação de estímulos estáticos A e V e ao *onset e offset* do movimento de estímulos dinâmicos A e V em função dos valores do período preparatório (500, 1000, 1500, 2000 ms). \_\_\_\_\_ 224

Figura 32. Tempos de reação (TR) ao *onset e offset* do movimento de estímulos dinâmicos A e V em dois clusters distintos participantes. \_\_\_\_\_ 225



---

## Introdução

---

O Efeito *flash-lag* (EFL: atraso espacial percebido de um estímulo estático brevemente apresentado em alinhamento físico com um estímulo em movimento), tornado popular na sequência da sua redescoberta por Nijhawan (1994), tem uma longa história, com raízes nas experiências de complicação (associação de componentes psicológicas díspares) de Wundt (Schmidgen, 2003). O problema colocado nestas experiências, prolongando trabalhos anteriores dos astrónomos sobre a medida do trânsito das estrelas (Mollon & Perkins, 1996), envolvia a relação entre o momento da apresentação de um sinal acústico abrupto (clique ou campainha) e a localização espacial de um objeto em movimento (ponteiro de relógio ou pêndulo oscilante). Hoosain (2017) assinala várias características das experiências de complicação que parecem ter-se perdido, quanto ao essencial, na atual literatura do EFL: (i) a sua natureza intermodal, contrastando com a abordagem corrente do EFL como um fenómeno predominantemente visual; (ii) a observação de erros de localização tanto para diante (positivos, na designação de Wundt) como para trás (negativos), contrastando com a primazia de erros positivos na atual literatura do EFL; (iii) a relação da variabilidade da direção do erro com fatores como as diferenças individuais, a alocação preferencial da atenção ao estímulo auditivo ou visual, o tipo de instruções (destacando a deteção do início ou final do som) e o treino – em contraste, por exemplo, com o escasso interesse pelas diferenças individuais na literatura do EFL (Holcombe, 2021). Face à ausência de um padrão de erros consistente, contrária a uma explicação pelas diferenças de latência sensoriais entre modalidades, a interpretação então privilegiada para o desalinhamento temporal percebido entre os dois estímulos simultâneos foi atencional (Berlyne, 1974), encontrando-se na origem da teoria da “prioridade de entrada” (acesso prioritário à consciência dos objetos de atenção) proposta por Titchener (1908) (ver Leatherman, 1940). Sob diferentes formas, explicações atencionais foram igualmente avançadas para o EFL (Baldo et al., 2002; Baldo & Klein, 2010; Chappell et al., 2006; Sarich et al., 2007), tendo suscitado mesmo o primeiro desafio experimental à interpretação espacial favorecida por Nijhawan (1994) no seu texto inaugural (ver Baldo & Klein, 1995).

Uma segunda raiz histórica do estudo do EFL encontra-se na sua relação com outros erros de localização do movimento, como o efeito *Fröhlich*. Consistindo no deslocamento percetivo para diante da posição inicial de um movimento, este efeito foi atribuído por *Fröhlich* (1923) ao atraso imposto à perceção da primeira localização do móvel pelo “tempo de sensação” (ou “tempo de perceção”, na designação de Hazelhoff & Wiersma, 1924) – i.e., o período de latência que medeia entre a apresentação de um estímulo e a sua perceção. Apesar de rapidamente criticada (ver Kerzel, 2010), esta primeira explicação deu lugar a interpretações alternativas, baseadas não

num “tempo de sensação” absoluto e sim em diferenças entre “tempos de sensação”. Metzger (1932) propôs neste sentido que o efeito se devia a uma redução inicial do “tempo de percepção” à medida que o movimento progredia, até atingir um valor constante (uma ideia próxima da sugestão mais recente de facilitação perceptiva ao longo da trajetória de um movimento: Maiche et al., 2007). Naquela que é frequentemente descrita como a primeira ilustração histórica de uma experiência de *flash-lag*, Metzger (1932) apresentou um estímulo estático breve (*flash*) alinhado com uma posição determinada do movimento, observando um atraso espacial aparente do *flash*. Numa outra experiência, registou um atraso percebido idêntico na localização do início abrupto de um movimento fisicamente alinhado com uma posição do movimento em curso (ver Kerzel, 2010; Maus et al., 2010). Ambos os resultados foram por ele interpretados como o efeito de diferenças de latência (tempos de percepção) entre estímulos em movimento e estímulos com início abrupto, antecipando assim uma das explicações mais influentes do EFL – a hipótese das latências diferenciais (Purushothaman et al. 1998; Whitney & Murakami, 1998; de notar, contudo, que na sua versão usual esta hipótese postula diferenças de latências no processamento de estímulos estáticos e em movimento, não entre estímulos contínuos e com início abrupto: ver Baldo e Cravo, 2004).

A hipótese explicativa avançada por Nijhawan (1994) no momento da redescoberta “moderna” do EFL (Nijhawan identifica como precursor direto o trabalho de MacKay, 1958) foi, por sua vez, a de uma extrapolação espacial do movimento. O sistema visual utilizaria o sinal de movimento como base para extrapolar a posição do móvel, compensando desse modo os atrasos associados à transmissão neural (atraso da percepção relativamente ao estímulo) e permitindo percebê-lo, pelo menos aproximadamente, na sua posição verídica. Esta proposta foi a primeira de várias explicações do EFL assentes em mecanismos espaciais de “enviesamento” da localização percebida no sentido do movimento, não necessariamente associados (como em Nijhawan) à ideia duma extrapolação corretiva (e.g., Eagleman & Sejnowski, 2007; Linares et al., 2007). No debate que se seguiu, a profusão crescente de modelos explicativos (ver revisões em Hogendoorn, 2020; Hubbard, 2014a, 2018a; Krekelberg & Lappe, 2001; Maus et al., 2010) pode em larga medida organizar-se em duas classes de teorias, temporais e espaciais. Nas primeiras, que privilegiam o impacto de diferenças temporais percebidas na localização espacial, incluem-se, por exemplo, a hipótese clássica das latências diferenciais e seus desenvolvimentos (e.g., o modelo de latência diferencial multicanal, devido a Ögmen et al., 2004) e explicações assentes no tempo de deslocamento da atenção (e.g., o modelo de latências generalizado: Baldo, Kihara, et al., 2002). Nas segundas, que privilegiam mecanismos espaciais de deslocamento da informação de posição, incluem-se, para além da hipótese clássica da extrapolação, diferentes modelos de integração espaço-temporal e/ou amostragem das posições do movimento – e.g., integração por média (Krekelberg & Lappe, 2000b; Roulston et al., 2006) amostragem do movimento (Brenner & Smeets, 2000) e pós-dição (Eagleman & Sejnowski 2000a; 2007). Apesar de envolverem a

noção de uma “janela temporal” ou tempo de integração, estes modelos não dependem da ideia de latências diferenciais e sim das operações de agregação e interpolação espacial realizadas durante esse intervalo (Whitney, 2002; Maus et al., 2010).

Uma hipótese de interpretação episodicamente sugerida na literatura mais geral sobre erros de localização do movimento é a de que o EFL, enquanto erro de localização relativo (entre o *flash* e o movimento), poderia refletir a combinação de erros de localização absolutos do *flash*, por um lado, e do móvel, por outro (ver Hubbard, 2013; 2014a, 2018a). Uma assunção largamente partilhada tanto pelos modelos temporais como por vários modelos espaciais do EFL (e.g., Khurana & Nijhawan 1995; Nijhawan 1994), é a de que o *flash* é percebido na sua localização verídica e o efeito se deve a um erro para diante na localização do movimento (para exceções, ver Eagleman & Sejnowski, 2007). Contudo, a alteração da localização percetiva de estímulos estáticos por sinais de movimento encontra-se abundantemente demonstrada (e.g., Linares et al., 2007; Watanabe & Yokoi, 2008; Whitney & Cavanagh, 2000), suportando designadamente a existência de um erro de localização do *flash* no sentido do movimento (“efeito *flash-drag*”). As medidas típicas do EFL (de localização relativa) não permitem o exame do pressuposto de perceção verídica da posição do *flash*, cuja análise requer o acesso a uma medida de localização absoluta. De modo análogo, a ausência característica de EFL quando o *flash* é apresentado em simultâneo com o termo do movimento (Khurana & Nijhawan, 1995; Lappe & Krekelberg, 1998; Whitney & Murakami, 1998) tem sido interpretada como a ausência, nesta condição (designada como ciclo terminado pelo *flash*: CTM), de um erro de localização do movimento para diante. Porém, a ausência de EFL poderia aqui resultar alternativamente de um *flash-drag* com a mesma magnitude do erro do movimento (momento representacional: Freyd & Finke, 1984), compensando-o. Discriminar entre as duas situações não é, de novo, possível, com uma medida direta do EFL enquanto erro relativo, requerendo medidas de localização absoluta dos dois erros. Por fim, a eventualidade de uma contribuição de erros espaciais do *flash* para o EFL questiona a prática usual de conversão do desalinhamento espacial relativo entre os dois estímulos num desfasamento temporal (através da divisão pela velocidade do móvel) (ver Kreegipuu & Allik, 2003). Esta prática, presumindo a convertibilidade entre distâncias percetivas espaciais e temporais, foi já confrontada pela evidência empírica de dissociações entre o *timing* e a localização percebidas dos estímulos (Arnold et al., 2009; Kreegipuu & Allik, 2003, 2004; ver também Eagleman, 2002). A participação eventual de um erro de localização do *flash* no EFL implicaria por sua vez uma subestimação (no caso de um *flash-drag*, operando no sentido de uma redução do desalinhamento espacial) ou sobrestimação (no caso de erros de localização do *flash* de sentido oposto, amplificando o desfasamento espacial) das diferenças temporais obtidas a partir do desalinhamento espacial percebido dos estímulos.

Apesar da sua potencial contribuição para o esclarecimento destas e outras questões, apenas um estudo empírico orientado por esta hipótese foi conduzido até à data. Shi & de’Sperati (2008)

examinaram a correspondência, numa mesma tarefa, entre uma medida típica de EFL enquanto erro relativo (o ponto de alinhamento subjetivo) e o resultado duma combinação linear de medidas separadas do erro de localização absoluto (relativo à posição física, verídica) do *flash* e do móvel. Os autores documentaram erros de localização para diante tanto do *flash* como do móvel, mas com magnitude inferior para o *flash* (daí resultando o EFL), e um acordo quantitativo entre os dois tipos de medida (relativa e por combinação linear de medidas absolutas). O estudo de Shi & de'Sperati (2008) limitou-se, no entanto, à configuração clássica do EFL conhecida como ciclo completo (CC), com apresentação do *flash* a meio do trajeto do movimento, no domínio estrito do EFL visual, e com recurso a movimento contínuo circular.

A presente dissertação propõe-se explorar heurísticamente o horizonte de consequências desta hipótese num quadro alargado, envolvendo as três configurações clássicas do EFL (apresentação do *flash* no início, no meio e no fim do trajeto do movimento), contextos de EFL intermodal (audiovisual) e o impacto de uma modulação atencional associada à manipulação da previsibilidade da modalidade do “*flash*”, com recurso a movimento linear (possibilitando um teste à generalidade dos resultados obtidos por Shi & de'Sperati, 2008 com trajetos circulares). Tanto os três ciclos do EFL (completo, iniciado e terminado pelo *flash*) como a investigação do EFL audiovisual (Alais & Burr, 2003, Arrighi et al., 2005a) desempenham um papel importante no debate entre modelos espaciais e temporais, em particular entre as hipóteses clássicas da extrapolação espacial e da latência diferencial (ver, Nijhawan, 2008 e as revisões de Hubbard, 2014a, 2018a). Examinar o grau em que os resultados característicos destas condições podem recuperar-se a partir da decomposição dos seus efeitos nas componentes de erro absoluto associadas ao *flash* e ao móvel amplia assim consideravelmente o horizonte de avaliação e o alcance da hipótese de partida. O papel da atenção no EFL tem sido, por sua vez, predominantemente associado a mecanismos temporais de deslocação atencional (no espaço, em primeiro lugar, sendo, no entanto, possível admiti-la igualmente entre dimensões ou atributos perceptivos: ver Baldo & Klein, 2010). A análise dos efeitos de uma manipulação atencional ao nível do jogo combinado dos erros de localização do *flash* e do móvel favorece a deteção potencial de outros mecanismos de modulação atencional (e.g. efeitos de integração ou captura posicional entre os dois estímulos associados a estratégias de alocação atencional: ver, e.g., Linares et al., 2007).

As experiências conduzidas no âmbito da dissertação assentam em desenhos fatoriais intra-sujeitos. Esta circunstância possibilita uma análise de base individual, particularmente atenta às diferenças individuais não apenas quanto à medida indireta do EFL resultante da combinação dos dois erros (diferença entre a magnitude do erro de localização do móvel e do *flash*:  $EFL_D$ ), como quanto à variedade de modos de produzir  $EFL_D$  equivalentes a partir de diferentes erros de localização absoluta. A variabilidade individual qualitativa (relativa à ocorrência ou não do efeito e à sua direção, *flash-lag* ou *flash-lead*) é largamente negligenciada na literatura (Kreegipuu &

Allik, 2003; Gabbard, 2013; Holcombe, 2021) e a variação quantitativa do EFL frequentemente atribuída à variabilidade das latências de processamento (Murakami, 2001a; Murai & Murakami, 2016; Ögmen et al., 2004). O exame da variabilidade ao nível dos erros de localização absoluta e da sua operação combinada permite, pelo seu lado, equacionar a possibilidade de uma base espacial para a variabilidade interindividual, tanto qualitativa como quantitativa, do EFL.

Apesar de investigar as consequências de uma interpretação em primeira análise espacial do EFL, centrada na relação entre dois erros de localização absolutos, a dissertação não tem como propósito argumentar em favor duma explicação espacial do EFL. A extensa, intrincada e amiúde inconsistente da literatura sobre o EFL torna claro que se trata de um fenómeno multifatorial, irreduzível a um único mecanismo, e muito provavelmente multiforme através das suas variantes (Baldo & Klein, 2010; Hubbard, 2013, 2014a, 2018a). Na medida em que envolve a localização perceptiva de um objeto em movimento no momento indicado por um *flash*, trata-se ainda de um fenómeno intrinsecamente espaço-temporal (Cravo & Baldo, 2008). Qualquer tentativa de explicação do EFL deve assim, necessariamente, articular as duas fenomenologias do “onde” e do “agora”, na sua complexidade própria e sem equivalências simplificadoras (ver, e.g., Baldo et al., 2007; Krekelberg, 2003; Krekelberg & Lappe, 2001; Linares et al., 2007; Johnston & Nishida, 2001; Nishida & Johnston, 2002; Spivey & Batzloff, 2018; Whitney, 2002; Vicario & Zambianchi, 1998). O objetivo mais geral da presente dissertação pode descrever-se, neste quadro, como o de contribuir para uma delimitação alargada da fenomenologia do “onde” no EFL e, desse modo, para a emergência de modelos espaço-temporais suscetíveis de a acomodar na sua complexidade específica.

A dissertação encontra-se organizada em duas partes fundamentais, estado da arte (Parte I) e contributos empíricos (Parte II). O estado da arte é composto por três capítulos. O capítulo 1 é dedicado à definição e caracterização geral do EFL, situando-o no contexto de outros erros de localização e apresentando, para além do paradigma operacional geral, as principais configurações experimentais, variáveis moduladoras e teorias explicativas. O capítulo 2 passa em revista os argumentos do debate em torno da hipótese clássica da extrapolação espacial do movimento, introduz e desenvolve a hipótese de decomposição do EFL em dois erros de localização absoluta, e identifica um conjunto de variáveis relevantes para a operacionalização de medidas de localizações absoluta. O capítulo 3 revê os argumentos do debate em torno da hipótese clássica das latências diferenciais, esclarece o papel aí desempenhado pelos estudos de EFL audiovisual e discute aspetos relevantes da atenção intermodal.

A segunda parte, contributos empíricos, inclui dois capítulos (4 e 5). O capítulo 4 ocupa-se das experiências realizadas com tarefas EFL adaptadas envolvendo medidas de localização absoluta do *flash* e do móvel nos diferentes ciclos do EFL, em diferentes condições intermodais e com variação da previsibilidade da modalidade (auditiva ou visual) do estímulo estático. As secções iniciais do capítulo, antecedendo a secção geral de método (participantes, estímulos,

desenho experimental, procedimento e análise de dados), estabelecem o problema ao qual se pretende dar resposta, um mapa organizado de previsões orientadoras e o racional da tarefa experimental de base, justificando as principais opções operacionais. As secções de resultados envolvem a apresentação e discussão setorial de dados, distinguindo entre variáveis dependentes (erros absolutos de localização horizontal do móvel e do marcador, indicadores derivados por combinação dos dois erros, tempos de resposta, erros absolutos de localização vertical), fatores experimentais (efeitos da variação da modalidade do estímulo estático, da variação da modalidade do movimento, da variação da previsibilidade da modalidade) e indicadores agregados e de base individual (análises médias e perfis de diferenças individuais). A secção final do capítulo fornece um sumário articulado dos principais resultados e conclusões. O capítulo 5 é dedicado à medida de latências diferenciais de processamento de estímulos estáticos e dinâmicos nas modalidades auditiva, visual e através delas, em tarefas de Julgamento de Ordem Temporal (TOJ) e Tempos de Reação (TR). Os dois tipos de tarefa determinam a principal subdivisão do capítulo (5.1, consagrado aos TOJ; 5.2, consagrado aos TR). Em cada um dos subcapítulos, após a secção de método, a apresentação e discussão dos resultados é acompanhada da derivação de previsões quanto o sentido e magnitude dos desfasamentos espaciais resultantes, com base na hipótese clássica das latências, e numa análise da sua consistência com os resultados observados no capítulo 4.

O último capítulo da dissertação (capítulo 6: discussão final e conclusão) fornece uma discussão geral que articula os dois capítulos anteriores, destaca os principais resultados obtidos na dissertação, aponta potenciais implicações de natureza aplicada, assinala limites do estudo e direcções de desenvolvimento futuro, e encerra com uma conclusão aberta (provisória) sobre a natureza provável do EFL e os desafios colocados à sua apreensão.

---

## Parte I

### Estado da Arte

---



## O Efeito Flash-Lag (EFL): Um erro de localização relativa do movimento.

Originalmente, o efeito *flash-lag* (EFL) refere-se ao fenômeno em que um *flash* (estático) e um objeto em movimento apresentados em alinhamento são percebidos como desalinhados, com o *flash* atrasado em relação ao objeto em movimento. Na sua aceção mais geral, não requer que os dois estímulos (estático e dinâmico) estejam alinhados, mas que a posição percebida do alvo em movimento, quando o *flash* é apresentado, seja deslocada para a frente em relação à posição percebida do *flash*.

Na maioria das vezes o estudo do EFL concentra-se no modo como é identificada a posição do estímulo em movimento, assumindo indiretamente que a posição absoluta percebida do *flash* está codificada corretamente (Linares et al., 2007). No entanto, os sujeitos não são tipicamente questionados relativamente à posição de cada um dos estímulos, sendo o tamanho do EFL medido como a distância física que é necessário existir entre o *flash* e objeto em movimento para que estes sejam subjetivamente percebidos como alinhados, ou Ponto de Alinhamento Subjetivo (Shi & de'Sperati, 2008).

A questão de saber se o erro de localização resulta de um enviesamento para diante da posição do alvo em movimento ou de um enviesamento para trás (atraso) da posição percebida do *flash* manteve-se em debate (Eagleman & Sejnowski, 2002; Krekelberg & Lappe, 2000b; Whitney, 2002).

Vários outros efeitos têm sido estudados no âmbito de tarefas de localização espacial, especialmente erros que envolvem a localização do *onset* e *offset* de alvos dinâmicos ou o seu alinhamento espacial com outros estímulos, observando-se normalmente erros de localização na direção do movimento (Müsseler et al., 2002). A compreensão dos possíveis mecanismos subjacentes a estes efeitos pode eventualmente levar a uma melhor compreensão de como o processamento de movimento é realizado pelo sistema visual.

## 1.1. Erros de localização do movimento.

Uma das principais funções da visão é localizar objetos no ambiente envolvente, permitindo uma interação bem sucedida com os objetos presentes na vida quotidiana, em particular objetos em movimento (Actis-Grosso et al., 2008).

Vários efeitos perceptivos ilustram erros de localização do movimento, nomeadamente na identificação do *onset* e *offset* de alvos móveis ou na sua localização relativamente a outros objetos, com destaque, a par do efeito *flash-lag* referido acima (Müsseler et al., 2002), para o efeito *Fröhlich* e o Momento Representacional.

Em 1929, Friedrich Fröhlich refere no seu livro uma ilusão perceptiva observada pelo astrónomo O. Pihl em 1894, quando se localizava a posição inicial de um objeto em movimento. O autor verificou que esta posição inicial (*onset*) era deslocada perceptivamente na direção do movimento (Hubbard & Ruppel, 2013; Watanabe et al., 2010; Whitney & Cavanagh, 2002). Este fenómeno foi posteriormente designado por efeito *Fröhlich* (EF). Entretanto, um efeito de direção contrária ao movimento foi também documentado, em certas circunstâncias, quando o participante localiza o ponto de partida de um movimento, tendo sido designado como *onset repulsion effect* (ORE) (Thornton, 2002; Hubbard & Ruppel, 2013). Erros de localização semelhantes têm sido descritos quando é pedido aos observadores que localizem a posição final (*offset*) de um objeto em movimento. O desaparecimento abrupto de um objeto em movimento linear produz uma memória da posição final deslocada na direção do movimento (Hubbard, 1993b; Hubbard & Courtney, 2010; Müsseler et al., 2002; Thornton & Hubbard, 2002). Este efeito foi designado por momento representacional (MR) (Freyd, 1983b).

Para além destes erros relativos à localização de objetos em movimento, existem ainda outros envolvendo deslocamentos perceptivos da localização de objetos estáticos induzidos pelo movimento, ou representando variações particulares dos anteriores, por exemplo, do EFL. Uma breve apresentação dos principais tipos de erros de localização associados ao movimento, para além do EFL, é fornecida em seguida.

### *Fröhlich effect*

O astrónomo O. Pihl em 1894 apresentou os primeiros relatos de uma ilusão que ocorre quando é pedido aos sujeitos que localizem, numa determinada janela, o local de surgimento de um estímulo em movimento que se desloca a uma velocidade elevada. Tipicamente, o local indicado não se situa junto à borda da janela, onde o estímulo efetivamente surge, mas numa posição mais à frente, verificando-se assim um erro de localização para diante (Müsseler &

Aschersleben, 1998; Müsseler et al., 2002). Este efeito ficou posteriormente conhecido como efeito *Fröhlich* (EF), visto que em 1923, Friedrich Fröhlich foi o primeiro investigador a estudá-lo de uma forma sistemática. Este erro de localização resultaria, segundo Fröhlich, do intervalo de tempo necessário para que o estímulo produzisse uma sensação subjetiva, levando a que uma primeira percepção consciente de uma posição ocupada pelo móvel ocorresse num momento já mais adiantado da sua trajetória (Müsseler & Aschersleben, 1998).

Getzmann (2005b) avaliou a existência de um potencial análogo do efeito *Fröhlich* na modalidade auditiva, utilizando uma tarefa de escolha forçada entre duas alternativas. Os participantes compararam a localização da posição inicial de um alvo dinâmico auditivo com a localização de um estímulo visual de referência, indicando se o alvo dinâmico auditivo tinha iniciado o seu movimento à direita ou à esquerda do estímulo de referência visual. O estímulo visual foi apresentado em duas condições: antes ou após o *onset* do alvo dinâmico auditivo.

A primeira condição envolvia assim uma comparação perceptiva imediata entre o alvo e o estímulo visual de referência, enquanto a comparação na segunda condição envolvia a memória da posição inicial do alvo e a posição percebida do estímulo visual. O surgimento de erros na primeira condição indicaria uma percepção imprecisa da localização inicial do estímulo (uma origem perceptiva do erro). Erros na segunda condição indicariam por sua vez uma memória imprecisa da localização inicial do estímulo (uma origem mnésica do erro).

Os autores observaram erros para diante nas duas condições, mas mais proeminentes e significativos quando o estímulo visual de referência era apresentado após o alvo. Os resultados sugeriram assim a existência de um análogo do Efeito *Fröhlich* na modalidade auditiva, favorecendo ao mesmo tempo, na interpretação dos autores, uma explicação em termos de um mecanismo de atenção espacial, beneficiando na primeira condição, da apresentação prévia do estímulo visual de referência como uma pista quanto à localização aproximada do alvo (Getzmann, 2005b).

### **Momento representacional**

Freyd em 1983, ao estudar fotografias de ação e caracteres artificiais desenhados em tempo real, propõe que o conhecimento dos sujeitos sobre os processos dinâmicos influenciaria a representação mental dos estímulos visuais, concluindo que ocorre uma representação de movimento mesmo quando se observam estímulos estáticos (Freyd, 1983a; 1983b). Estes estudos deixaram algumas questões por responder, nomeadamente, a forma como a informação relativa a movimento implícito é percebida e a natureza das representações mentais. Posteriormente, Freyd e Finke (1984) apresentaram evidências de que a memória para a posição de um estímulo estático apresentado no final de uma sequência de estímulos estáticos induzindo uma impressão de movimento é distorcida no sentido do movimento sugerido. Os autores cunharam a expressão

momento representacional para designar este efeito, por analogia com a tendência de um objeto físico em movimento para continuar o movimento na mesma trajetória – o seu *momentum* (Freyd & Finke, 1984). O *momentum* de um objeto físico é igual ao produto da massa pela velocidade instantânea, e o momento representacional de um determinado alvo refletiria presumivelmente a representação mental deste produto (Hubbard, 2010).

O momento representacional tem sido referido como um erro de localização em que a posição relativa do objeto em movimento é identificada pelos observadores como deslocada para a frente quando comparada com a posição real do objeto (Freyd & Finke, 1984; Thornton & Hubbard, 2002). O erro ocorre na direção do movimento, considerando-se que a memória do observador relativa à localização do objeto no momento em que desaparece bruscamente, quer este estivesse animado de movimento linear ou circular (rotação), foi deslocada nessa direção (Hubbard, 1993b). Este deslocamento, na hipótese original do momento representacional, refletiria um aspeto essencial da relação existente entre as propriedades do mundo real e o modo como a mente as representa (Hubbard, 2005).

No entanto, para alguns autores o termo momento representacional não descreve com precisão a alteração de memória da posição do alvo, sendo o deslocamento dessa memória influenciado por várias outras variáveis para além de um equivalente do *momentum* físico (Hubbard, 1995b; Hubbard, 2005). Deste modo, foi sugerido que o termo deslocamento seja utilizado para designar genericamente erros na memória da localização de alvos (e deslocamento-M para os erros na direção do movimento), reservando a expressão momento representacional para a componente desses erros que eventualmente reflita a influência de um equivalente interno do *momentum* físico (Hubbard, 2006).

Diversas variáveis tem sido estudadas por forma a compreender como modelam o momento representacional, tais como a velocidade (Freyd & Finke, 1985; Hubbard & Bharucha, 1988), a aceleração (Finke et al., 1986), o intervalo de retenção (Freyd & Johnson, 1987), o contexto (Hubbard, 1993b), a direção do movimento e a gravidade (Hubbard, 1990), entre outros.

### ***Flash-Drag***

O efeito *flash-drag* constitui um tipo de erro de localização de estímulos estáticos no sentido de um movimento adjacente, ou mesmo, por vezes, apresentado em locais relativamente distantes do campo visual. Foi com os resultados de Whitney e Cavanagh (2000) que surgiram os primeiros relatos sobre o efeito do movimento na percepção da posição de *flashes* estáticos, concluindo que a influência do movimento na posição não é restrita ao próprio objeto em movimento, e que mesmo as posições de objetos estacionários são codificadas por mecanismos que recebem inputs

de neurónios sensíveis ao movimento. Whitney e Cavanagh (2000) sugeriram que o *flash-drag* resulta de uma distorção do espaço adjacente induzida pelo movimento, enquanto Cai e Schlag (2002) propuseram como explicação a percepção do *flash* pelo observador como uma extensão momentânea do próprio objeto em movimento (um efeito de agrupamento perceptivo). Eagleman e Sejnowski (2007) avançaram, por sua vez, uma interpretação em termos “enviesamento” da localização do marcador pelo sinal de movimento, modulada pela proximidade entre os dois estímulos e, potencialmente, por outras variáveis de contexto, de ordem superior (e.g., atenção). Este efeito é extremamente robusto e foi investigado com vários tipos de movimento (Watanabe et al., 2002), ocorrendo mesmo quando o *flash* é apresentado antes do estímulo em movimento.

### ***Flash-Grab***

Quando um objeto se move para a frente e para trás, a sua trajetória parece significativamente mais curta do que realmente é. O objeto parece parar e reverter a direção antes do ponto de reversão real (Sinico et al., 2009). Cavanagh e Anstis (2013) mostraram adicionalmente que um *flash* apresentado na vizinhança espaciotemporal de um dos pontos finais da trajetória, é percebido não no local de apresentação física, mas na localização percebida do termo da trajetória, acompanhando assim o encurtamento perceptivo desta. Este efeito, ilustrando um novo tipo de deslocamento perceptivo induzido pelo movimento, foi designado como *flash-grab*, de modo a assinalar a captura da posição do *flash* pelo deslocamento perceptivo dos pontos de reversão do movimento. Destacando a semelhança deste novo efeito com o *flash-drag*, Cavanagh e Anstis (2013) apontam ao mesmo tempo diferenças importantes. O *flash-grab* requer atenção, tem uma magnitude muito superior (cerca de 10 vezes) à do *flash-drag* e apresenta uma dinâmica temporal distinta, devendo neste sentido considerar-se como um erro de localização específico (Cavanagh & Anstis, 2013; Sinico et al., 2009).

### ***Flash-Jump***

Um outro efeito denominado *flash-jump* pode considerar-se uma variante do *flash-drag*. Nesta ilusão um objeto em movimento altera bruscamente uma das suas propriedades, nomeadamente a cor, e a mudança é percebida, não na sua posição real, mas sim deslocada para diante ao longo da trajetória de movimento (Cai & Schlag, 2001; Eagleman & Sejnowski, 2007). A semelhança com o *flash-drag*, em que um *flash* exterior ao movimento é arrastado no sentido do movimento, levou à adoção da designação alternativa *feature flash-drag effect* (FFDE). Eagleman e Sejnowski (2007) mostraram que quando dois objetos em movimento cujas trajetórias se intersectam partilham uma alteração súbita e breve (*flash*) de uma propriedade no momento da

sua intersecção, a localização percebida dessa alteração (e.g., cor) sofre um deslocamento na direção correspondente à soma vetorial dos dois movimentos – suportando desse modo uma leitura do *flash-jump* em termos de enviesamento da localização da mudança percebida pelo movimento.

### **Flash-lead**

Neste tipo de erro de localização, simétrico do *flash-lag*, verifica-se que o *flash* lidera comparativamente ao alvo em movimento (é percebido como localizado espacialmente à frente, no sentido do movimento). Purushothaman et al. (1998) observaram este tipo de efeito com *flashes* de elevada luminância e estímulos móveis com baixa luminância, condições em que tinha lugar uma conversão do *flash-lag* (atraso do *flash*) em *flash-lead* (liderança do *flash*). Resultados diferentes foram reportados por Arnold et al. (2009), que encontraram um efeito de *flash-lead* quando o contraste de luminância entre os estímulos estático e em movimento era reduzido e não aumentado. Efeitos *flash-lead* podem também observar-se quando o *flash* é precedido por pistas relevantes (Hommuk et al., 2008) e quando o *flash* é apresentado no instante em que o movimento se interrompe (*offset*) ou inverte (Eagleman & Sejnowski, 2000a). Considerando que tanto o *flash-lead* como o *flash-drag* envolvem um erro de localização do *flash* no sentido do movimento, não é claro até ao momento se os dois efeitos dependem do mesmo ou de diferentes mecanismos.

### ***Onset Repulsion Effect***

O *onset repulsion effect* (ORE) é um erro no sentido contrário ao movimento (e, desse modo, oposto ao Efeito *Fröhlich*) que ocorre por vezes na localização do início de um movimento. Foi observado por Thornton (2002) quando os observadores eram solicitados a localizar, num mesmo ensaio, tanto o *onset* como o *offset* do movimento. Thornton (2002) reportou ainda a modulação deste erro pelo tipo de movimento (com erros maiores com movimento contínuo e menores com movimento implicado, i.e., baseado na apresentação de uma sucessão de estímulos estáticos perceptivamente separados), a direção (maiores erros na direção horizontal direita-esquerda e na direção vertical de baixo para cima) e a velocidade (aumento com a velocidade na gama de velocidades utilizadas), e a sua indiferença à imposição ou não de fixação ocular. Relativamente às tarefas usualmente associadas ao Efeito *Fröhlich*, notou, como diferenças potencialmente relevantes, a utilização de velocidades consideravelmente mais baixas no caso do seu estudo (que originou o ORE), o surgimento aleatório do movimento longe das bordas do ecrã (contrastando com a emergência do movimento a partir do bordo do ecrã no paradigma típico do EF) e a utilização de 4 direções variadas aleatoriamente através dos ensaios (em contraste com a

utilização de apenas 2 direções e uma mesma trajetória, nas tarefas típicas de EF) – tendo estas duas últimas diferenças o efeito de acentuar a incerteza posicional do local de início do movimento. Hubbard & Motes (2005) mostraram, convergindo com as indicações de Thornton (2002) que enquanto a memória da posição inicial de um movimento que emerge a partir do bordo de uma janela enquadrante apresenta um deslocamento para diante (EF), a magnitude desse movimento diminui e converte-se num ORE quando a distância do início do movimento à janela enquadrante aumenta. A ocorrência de ORE é também favorecida quando o movimento ocorre sob um fundo vazio (na ausência de referências espaciais) (Hubbard & Motes, 2002). A importância da velocidade (com as velocidades baixas a promoverem a ocorrência do ORE, como indicado em Thornton, 2002) foi igualmente observada por Kerzel & Gegenfurtner (2004) e Actis-Grosso & Stucchi (2003), bem como um impacto das modalidades de resposta (perceptiva ou motora), com maiores probabilidades de ocorrência do ORE com respostas motoras de apontar (Kerzel, 2002). Apesar de, na tentativa de esclarecer as relações entre o EF e o ORE, terem sido investigadas as condições em que verifica um ou outro destes erros e o impacto de um número considerável de variáveis moduladores, a relação entre os dois erros mantém-se até à data como um problema em aberto (Müsseler & Kerzel, 2018; Hubbard, 2019).

## ***1.2. O Efeito Flash-Lag: definição, paradigma operacional, variáveis relevantes.***

No domínio dos erros de localização associados ao movimento, o efeito *flash-lag* é um dos paradigmas mais populares, envolvendo, como indicado antes, a localização espacial relativa percebida de um estímulo *flash* e um alvo em movimento no momento em que se encontram fisicamente alinhados. Porque se trata de um fenómeno simultaneamente temporal (a localização num dado momento temporal) e espacial tem sido largamente utilizado na tentativa de compreender as relações entre a percepção da posição e do movimento (Whitney, 2002). Como assinalado antes, o efeito *flash-lag* designa a percepção ilusória do *flash* espaço-temporalmente alinhado com uma posição do móvel como atrasado – atrás no espaço – relativamente ao móvel (Krekelberg & Lappe, 2001; Alais & Burr, 2003; Baldo & Caticha, 2005).

Este efeito começou por ser descrito no final do século XIX (Metzger, 1932), vindo a ser redescoberto posteriormente por investigadores como MacKay (1958). MacKay observou que um filamento catódico brilhante numa sala iluminada estroboscopicamente parecia abandonar o tubo

catódico, deixando-o para trás, quando o observador executava um movimento ocular. Idêntico fenómeno ocorria quando um movimento involuntário do olho era produzido através da aplicação de pressão, com um dedo, no globo ocular. Enquanto objetos continuamente iluminados pareciam mover-se, um fundo iluminado intermitentemente parecia ficar para trás desse movimento. Foi, no entanto, com Nijhawan (1994) que se deu a redescoberta e popularização do paradigma *flash-lag* na sua versão “moderna” – assente na medida do desfasamento espacial percebido entre um *flash* e um móvel fisicamente alinhados. A explicação proposta por Nijhawan para o atraso espacial do *flash* relatado pelos observadores foi a de que se devia a um processo de extrapolação do movimento, destinado a compensar os atrasos introduzidos pelos tempos de transmissão neurais. Sendo que a transmissão da informação dos fotorreceptores para as áreas visuais superiores pode apresentar latências da ordem dos 100 ms (De Valois & De Valois, 1991; Nijhawan, 1994), a execução eficiente de tarefas de intersecção de alvos móveis (e.g., agarrar uma bola em movimento) pareceria requerer mecanismos deste tipo, capazes de assegurar uma localização perceptiva do alvo ajustada à sua posição verídica (Nijhawan, 1994).

A redescoberta do efeito *flash-lag* e a proposta explicativa avançada por Nijhawan (1994) desencadearam um amplo debate científico sobre as origens desta ilusão e a sua relação com o processamento temporal, espacial e do movimento pelo sistema visual. Diversos argumentos a favor ou contra a hipótese da extrapolação, articulando evidência procedente de estudos comportamentais, neurofisiológicos, computacionais, e de neuroimagem, foram produzidos, ao mesmo tempo que um número crescente de explicações alternativas do EFL eram sugeridas, invocando, e.g., mecanismos de latência perceptiva, atencionais, de integração espacial, pós-ditivos, etc.

Entretanto, a robustez do EFL manifestou-se pela constância com que é obtido através da variação de múltiplas variáveis, como a excentricidade dos estímulos, a velocidade do movimento ou o tipo de trajetória (Kreegipuu & Allik, 2003), e mesmo noutras modalidades para além da visual e em contextos intermodais (Alais & Burr, 2003; Arrighi, et al. 2005a; Vroomen & de Gelder, 2004).

Em geral, é possível organizar as teorias explicativas do EFL em duas classes de modelos, espaciais e temporais (Cravo & Baldo, 2008; Eagleman & Sejnowski, 2007). Os modelos do primeiro tipo acentuam mecanismos de enviesamento da posição espacial dos estímulos, em especial do estímulo em movimento (Nijhawan, 1994), enquanto os modelos de segundo tipo atribuem o efeito a um desalinhamento no tempo, usualmente assente na ideia de que diferentes tipos de sinal nervoso são tratados com diferentes velocidades/latências de processamento (Whitney & Cavanagh, 2002; Watanabe, Matsunaga, & Kitaoka, 2010). Embora o debate entre modelos passe também pela acentuação de processos de baixo nível, perceptivos (e.g., diferenças nas latências sensoriais para estímulos estáticos e em movimento: Whitney & Cavanagh, 2002),

ou de mais alto nível, cognitivos (e.g., latências geradas por mecanismos atencionais: Baldo, Kihara et al, 2002), o efeito *flash-lag* parece envolver processos de ambos os tipos e refletir a operação de múltiplos mecanismos (Hubbard, 2014a).

Apesar de existirem variações nos paradigmas utilizados para o estudo do EFL, o pedido tipicamente dirigido aos observadores é o de que indiquem a posição do estímulo dinâmico no momento em que surge o *flash*. O *flash* é por sua vez apresentado com diferentes desfasamentos temporais (atrasos ou avanços) relativamente ao momento em que o estímulo dinâmico atinge uma dada posição (um desfasamento de 0 ms correspondendo ao alinhamento espacial dos estímulos nessa posição), devendo os participantes indicar em cada caso se o móvel se encontra à frente ou atrás do *flash*, que atua assim, simultaneamente, como um marcador temporal e espacial. As curvas psicométricas obtidas a partir da probabilidade das respostas “à frente”/”atrás” em cada condição permitem determinar o Ponto de Alinhamento Subjetivo, correspondente à separação entre os dois estímulos que ocasiona probabilidades de resposta de 50%. Esta separação assinala carateristicamente a necessidade de apresentar o *flash* com um avanço de alguns ms para obter uma impressão subjetiva de alinhamento, sendo esse o indicador padrão de um efeito *flash-lag*.

Diversas variáveis têm contribuído quer para a construção de distintas variantes, ou configurações paradigmáticas, da tarefa de EFL, quer para a investigação das modulações da ocorrência e magnitude do efeito. As principais destas variáveis são identificadas e brevemente caraterizadas em seguida.

### **Trajetória**

Vários tipos de trajetórias têm sido utilizados, sendo os mais comuns a circular e a linear. Nijhawan (1994) utilizou como estímulo em movimento nos seus trabalhos uma linha branca, subentendendo 3.9° de ângulo visual (a.v.) em rotação contínua sobre um fundo preto a uma velocidade de 30 rotações por minuto. Esta linha incluía um segmento central a cheio (1.3° de comprimento) sempre visível durante a rotação e dois segmentos externos a tracejado, apresentados brevemente (*flash*) durante a rotação, em alinhamento ou desalinhados com o segmento central (Nijhawan, 1994). Uma variante envolvendo também um movimento de rotação foi utilizada por Baldo e Klein (1995). Os autores utilizaram dois conjuntos de pontos diametralmente opostos relativamente a um ponto de fixação, um dos quais em movimento rotativo contínuo, e o segundo, correspondendo a um par de pontos mais exteriores, sujeito a apresentações breves (*flashes*) em alinhamento ou desalinhados com os primeiros (Baldo & Klein, 1995).

Outro tipo de paradigma envolvendo movimento circular foi ilustrado por Khurana et al. (2000). Os autores apresentaram um anel preto em movimento ao longo de uma trajetória circular a uma velocidade constante apresentando depois brevemente (*flash*), num dado momento, um disco branco (*flash*), concêntrico com o anel, no interior deste. Deste modo, diferentemente do que sucede com *flashes* e movimento separados, no instante do *flash* os dois estímulos coincidem na mesma coordenada espacial, sem distância entre si. Apesar disso, o disco intermitente é percebido como atrasado (numa posição recuada) em relação ao anel em movimento (Romi Nijhawan & Khurana, 2000).

A configuração rotacional-circular das trajetórias foi a primeira a ser utilizada nas tarefas de EFL, tendo servido de base a um largo número de estudos (e.g., Brenner & Smeets, 2000; Eagleman & Sejnowski, 2000; Krekelberg & Lappe, 1999; Lappe & Krekelberg, 1998; Purushothaman, Patel, Bedell, & Ogmen, 1998). No entanto, o EFL foi também estudado em tarefas com movimento linear constante (e.g., Brenner et al., 2001; Whitney et al., 2000; Whitney & Murakami, 1998). Duas configurações comuns assentes em movimento linear encontram-se ilustradas, respetivamente, em Kanai et al. (2004) e Murakami (2001b). Na primeira, uma barra desloca-se horizontalmente a uma velocidade constante acima da linha média horizontal do ecrã, e uma barra idêntica é subitamente apresentada (*flash*) à mesma distância, mas abaixo da linha média horizontal do ecrã. Na segunda, o estímulo em movimento é composto por duas barras separadas verticalmente entre si por um intervalo que se deslocam horizontalmente, e o *flash* consiste numa terceira barra apresentada brevemente no intervalo entre as duas.

Por fim, mais recentemente, foi também utilizado movimento aleatório, não obedecendo a qualquer trajetória previsível. O estímulo em movimento desloca-se aleatoriamente (de forma descontínua) entre um conjunto de posições, dando origem a uma série de impressões de movimento aparente, Murakami (2001a) mostrou pela primeira vez que o EFL ocorre também nestas circunstâncias.

### **Momento de Apresentação do Flash/Marcador**

O momento de apresentação do *flash* relativamente ao estímulo em movimento é uma das variáveis mais importantes no estudo deste efeito e tem sido manipulado no quadro do debate entre diferentes hipóteses explicativas do efeito *flash-lag*. Três momentos têm sido distinguidos, originando três configurações experimentais distintas da tarefa de EFL, designadas por ciclos do EFL (ver adiante): o flash pode ser apresentado no início do movimento (sem que exista, portanto, um sinal de movimento prévio), a meio da trajetória (portanto, com sinal de movimento anterior e posterior à sua apresentação) e no final-termo do movimento (portanto, sem sinal de movimento

posterior). Enquanto a apresentação a meio da trajetória corresponde à configuração experimental clássica, os dois outros momentos de apresentação ganharam progressivamente destaque pelo seu contributo para a compreensão dos mecanismos subjacentes ao EFL. Carateristicamente, o EFL mantém-se com a apresentação do *flash* no início do movimento, mas desaparece com a sua apresentação no termo do movimento.

### **Velocidade**

Existe um largo consenso relativamente ao efeito da velocidade do movimento no EFL, cuja magnitude aumenta com o incremento da velocidade do estímulo móvel, embora se mantenha em discussão o tipo de dependência funcional entre a velocidade e a magnitude do EFL. Enquanto um número substancial de estudos aponta para um aumento linear do EFL com a velocidade (Brenner & Smeets, 2000; Krekelberg & Lappe, 2000b; López-Moliner & Linares, 2006; Nijhawan, 1994), alguns estudos apontam para relações não-lineares, por exemplo logarítmicas (Wojtach et al., 2008). Mais raramente, têm sido reportados resultados apontando para uma ausência de efeitos da velocidade no EFL (Kanai et al., 2004; Kreegipuu & Allik, 2004) e mesmo para uma redução do EFL com o aumento da velocidade (Cantor & Schor, 2007). No entanto, estes casos envolvem estímulos atípicos, tarefas atípicas e divergência entre modos de cálculo do EFL (ver revisão em Hubbard, 2014a).

### **Atenção**

A atenção tem sido também um dos parâmetros investigados no âmbito do EFL, estando na base de algumas das hipóteses explicativas deste efeito. Essa hipótese surgiu com os trabalhos de Baldo e Klein (1995), que relataram que o efeito *flash-lag* aumentava à medida que a distância do objeto em movimento ao alvo também aumentava, sugerindo que o início do *flash* provocava um desvio do foco atencional do alvo em movimento para o local do *flash*, e que esse desvio espacial da atenção produzia o efeito *flash-lag* (Baldo & Klein, 1995). Este resultaria do facto de uma vez processado o *flash*, ser necessário que a atenção regressasse ao objeto em movimento de modo a adquirir informação posicional a seu respeito, e julgar a sua posição relativamente ao *flash*. Apesar de alguns resultados apontando para a ausência de envolvimento de atenção no EFL (Khurana & Nijhawan 1995; Khurana et al. 2000), várias fontes de evidência suportam consistentemente um papel de mecanismos atencionais. Baldo, Khiara et al. (2002) e Baldo & Namba (2002) mostraram, por exemplo, um impacto da previsibilidade espacial do *flash* na redução do EFL, o mesmo sucedendo quando são utilizadas pistas simbólicas-foveais (Namba & Baldo, 2004). Chappell et al. (2006) reportaram resultados favoráveis a um efeito de captura

atencional associado à apresentação do *flash* (também suportado por Kirschfeld & Kammer, 1999) e Sarich et al. (2007), utilizando um paradigma de tarefa dual, observaram uma redução do EFL em condições de atenção dividida. Em geral, o reconhecimento de um papel modulador (mas não necessariamente causal) da atenção no EFL merece presentemente um largo consenso (ver Baldo & Klein, 2010).

### **Luminância**

Entre as propriedades dos estímulos consideradas em vários dos estudos do EFL, a luminância tem merecido destaque, dada a relação conhecida entre o aumento da luminância de um estímulo e a redução da sua latência de processamento pelo sistema visual (Kreegipuu & Allik, 2003). Por envolver alterações nas velocidades de processamento, manipulações da luminância relativa dos estímulos têm sido particularmente exploradas na investigação orientada por modelos explicativos assentes em mecanismos de latência perceptiva. Ögmen et al., (2004), Patel et al. (2000) e Purushothaman et al. (1998) observaram, por exemplo, que o aumento da luminância do *flash* reduz a magnitude do EFL, podendo mesmo, quando a luminância do estímulo em movimento é baixa, inverter o sentido do erro relativo, dando lugar a um *flash-lead*.

### **Excentricidade**

Em geral, o aumento da distância entre o *flash* e o móvel conduz a uma redução do EFL, quer a excentricidade absoluta do *flash* seja maior (Baldo & Klein, 1995; Baldo, Khiara et al. 2002; Eagleman & Sejnowski, 2007) ou menor (Linares et al., 2007) do que a do móvel (sugerindo que a distância relativa, não a excentricidade, constituem a variável relevante). A confusão entre a excentricidade e outras variáveis associadas, como a distância (Linares et al., 2007), ou a velocidade tangencial dos estímulos a diferentes excentricidades (Lappe & Krekelberg, 1998) têm tornado difícil aferir o papel específico desta variável, que se mantém em aberto.

### **Previsibilidade**

Um aumento da previsibilidade espacial do *flash* resulta caracteristicamente numa redução da magnitude do EFL (Baldo, Khiara et al., 2002; Baldo & Namba, 2002; Namba & Baldo, 2004; Vreven & Verghese, 2005), o mesmo não parecendo suceder com o aumento da sua previsibilidade temporal (López-Moliner & Linares, 2006; Vreven & Verghese, 2005). O aumento da imprevisibilidade posicional do movimento, através, por exemplo, do esbatimento

dos contornos do alvo móvel (Fu et al., 2001) ou da redução do seu contraste relativamente ao fundo (Kanai et al., 2004; Maus & Nijahwan, 2006), tem sido por sua vez reportado. Sob qualquer destas formas (variação da previsibilidade da posição espacial do *flash* ou do móvel) o EFL parece ser modulado de forma importante pela incerteza posicional dos estímulos.

### **1.3. Modelos explicativos: interpretações espaciais e temporais.**

Ao longo dos últimos anos o *flash-lag* tem recebido diversas explicações, que se confrontam em torno de questões como a da natureza primariamente espacial ou temporal do efeito, a da predominância de processos de baixo (sensório-perceptivos) ou alto (cognitivos) nível, ou a da relação do EFL com outros erros de localização, designadamente o momento representacional e o efeito *Fröhlich*. Como indicado anteriormente, as várias explicações são frequentemente organizadas em duas classes de modelos, em função do primeiro daqueles debates: modelos de explicação temporais e modelos de explicação espaciais (Cravo & Baldo, 2008; Eagleman & Sejnowski, 2007). Nos primeiros o *flash-lag* é entendido como um desalinhamento no tempo da percepção dos dois estímulos, ambos percebidos na sua posição espacial verídica (o adiantamento do estímulo móvel relativamente ao *flash* refletiria simplesmente o facto de que a percepção do *flash* acede mais tarde à consciência do que a do móvel, quando este último se encontra já numa posição mais adiantada do seu trajeto) (e.g., Baldo & Klein 1995; Murakami 2001a; Patel et al 2000; Purushothaman et al. 1998; Whitney & Murakami 1998). Nos segundos, trata-se de um erro na percepção/estimação da localização espacial do estímulo móvel, suportado diretamente por mecanismos de codificação da posição (e.g., Brenner & Smeets 2000; Eagleman and Sejnowski 2000a; Krekelberg & Lappe 2000a; Nijhawan 1994; Nijhawan et al 2004). A classificação dos modelos nestes dois grupos nem sempre é óbvia. Vários modelos usualmente classificados como espaciais dependem na realidade da noção de janela de integração temporal (Arrighi et al., 2005b), sendo, por isso mesmo, as teorias baseadas em mecanismos de “integração posicional” também designadas como de “integração temporal” (Hubbard, 2014a). No entanto, o fato de ser a integração de posições espaciais o mecanismo “causal” do EFL nessas explicações, justifica a sua inclusão na classe dos modelos espaciais.

Poucas explicações genuinamente espaço-temporais do EFL i.e., articulando num quadro unificado e com paridade de estatuto, mecanismos simultaneamente temporais e espaciais, foram avançadas até ao momento (Baldo & Caticha, 2005; Cravo & Baldo, 2008). Quase sem exceção, todas tiveram uma inspiração simultaneamente biológica e computacional (assente na

implementação em redes neurais), mantendo alguns pressupostos simplificadores quanto à correspondência entre os momentos e coordenadas de localização no modelo e a fenomenologia perceptiva (Baldo & Caticha, 2005; Erlhagen & Jancke, 2004; Jancke e Erlhagen, 2010; Rao et al., 2001). Apesar de oferecerem um quadro unificado e promissor, largamente baseado nos efeitos das dinâmicas de facilitação espaço-temporal geradas pela arquitetura espacial e funcional do modelo (ver, em particular, Baldo & Caticha, 2005), este tipo de explicações espaço-temporais parece oferecer sobretudo um útil ponto de partida a explorar no quadro do reconhecimento de que o EFL constitui um fenómeno intrinsecamente espaço-temporal. Algumas propostas explicativas invocando princípios gerais da percepção (por exemplo, o postulado duma natureza discreta, assente numa sucessão de “momentos perceptivos”: Schneider, 2018) ou domínios particulares como a amostragem estatística (realizada ao longo da experiência) das velocidades associadas à transformação perspectiva de objetos móveis (Wojtach et al., 2008) têm também sido apresentadas, à margem das grandes tradições explicativas (ver, para revisão, Hogendoorn, 2020; Hubbard, 2018a). As teorias explicativas identificadas e brevemente descritas em seguida correspondem apenas a alguns dos modelos interpretativos historicamente mais influentes e populares do EFL.

### **Extrapolação do Movimento**

Uma das primeiras hipóteses apresentadas, de natureza espacial, foi a avançada por Nijhawan (1994). Como referido antes, a ideia central desta proposta é a de que, de modo a compensar os atrasos associados à transmissão de informação entre a retina e o córtex visual, os estímulos visuais em movimento são extrapolados para diante com base num intervalo de tempo semelhante ao que transcorreu na transmissão. Este mecanismo, destinado a suportar uma percepção verídica da localização dos estímulos móveis, não se aplicaria aos estímulos estáticos, que, no efeito *flash-lag*, seriam assim percebidos numa posição atrás daquela ocupada pelo móvel. Embora existissem propostas anteriores sobre um mecanismo compensatório deste tipo no domínio do controlo motor (extrapolação sensorio-motora) (Finke et al., 1986), Nijhawan (1994) propôs uma extrapolação específica no sistema visual, destinada a compensar atrasos perceptivos e não apenas motores. Uma base essencial desta extrapolação seria o movimento prévio do alvo e a possibilidade de, a partir dessa história, prever a sua posição futura – o que implica a previsibilidade da trajetória do movimento (ver Maus et al., 2010). Nijhawan adota, neste sentido, a designação de “previsão visual” como equivalente da extrapolação do movimento (Nijhawan, 2008). O facto de o EFL ocorrer mesmo quando o *flash* e o movimento se iniciam ao mesmo tempo e de, tipicamente, se encontrar ausente, quando a apresentação do *flash* coincide com o

termo do movimento, levaram Nihawan a alterar e complexificar a sua proposta inicial. Relativamente ao primeiro destes resultados (existência de um EFL sem história de movimento anterior ao *flash*), Nijhwan (2008) assinalou a possibilidade de o sistema visual utilizar informação de movimento durante a latência de cerca de 100 ms até à percepção do *flash* (apontando para a existência de mecanismos neurais capazes de extrair informação de movimento relevante para a extrapolação durante este período). Relativamente ao segundo resultado, propôs um modelo de duplo mecanismo: por um lado, num processo de extrapolação interno da posição do móvel (a previsão visual); por outro, um processo baseado nos transientes visuais produzidos por alterações súbitas da trajetória (como a sua interrupção súbita), atuando nessas circunstâncias em sentido contrário à extrapolação da posição do móvel para diante (Maus & Nijhawan, 2009). Em qualquer das versões, a tese da extrapolação põe a tónica num mecanismo espacial de representação da posição de um movimento à frente da sua mais recente posição detetada.

### **Integração Temporal**

Nesta proposta, também conhecida como “integração posicional” ou “média temporal”, assume-se que as posições percebidas, quer do *flash* quer do móvel, resultam duma média das posições consideradas durante um certo intervalo de tempo (a janela de integração temporal) (Lappe & Krekelberg, 1998; Krekelberg & Lappe, 2000b). No caso do *flash*, que se mantém na mesma posição durante o tempo de integração, esta média corresponde à sua posição física. No caso do movimento, contudo, a média corresponde a uma posição mais adiantada, uma vez que inclui, para além da posição do móvel quando o *flash* é apresentado, posições posteriores na trajetória do movimento – sendo possível admitir, adicionalmente, que diferentes posições sejam ponderadas diferentemente na média (média diferencialmente ponderada) (Krekelberg & Lappe, 1999; Krekelberg & Lappe, 2001). Apesar de se tratar de um modelo explicativo com base numa deslocação espacial da representação da posição, o ponto crítico da teoria diz respeito à duração da janela de integração temporal, com estimativas muito variáveis em diferentes autores (de ~50 ms a mais de 500 ms: ver Whitney et al., 2000; Krekelberg and Lappe, 1999). O modelo designado como de “amostragem temporal”, proposto por Brenner e Smeets (2000), segundo o qual um só ponto da trajetória posterior é amostrado após o *flash* (que desencadeia o processo de amostragem), pode largamente considerar-se como um caso especial de integração posicional, em que apenas uma posição subsequente na trajetória serve de base à estimativa quanto à localização do movimento.

## **Pós-dição**

Proposta por Egleman e Sejnowski (2000), a teoria da pós-dição mantém igualmente uma relação estreita com a ideia de integração temporal. O seu traço mais específico consiste na afirmação de que a ocorrência do *flash* inicia um processo de recolha de informação posicional subsequente ao *flash* (durante cerca de 80 ms), com base na qual o sistema visual estima, ou “ajusta” retroativamente a posição do alvo no momento (já passado) da ocorrência do *flash* (processo que os autores designam justamente como “pós-dição”). A observação chave para esta proposta foi a de que o EFL ocorria quando o movimento continuava na mesma direção, mas desaparecia quando o movimento era interrompido, e dava lugar a um deslocamento no sentido oposto quando o alvo invertia a direção de movimento após o *flash*. (Eagleman & Sejnowski, 2000). Para movimentos idênticos anteriores ao *flash*, o efeito obtido (EFL, ausência de EFL, inversão do sentido do erro) dependia assim unicamente do que acontecia após o *flash*. Evidência de que informação anterior ao flash contribui para o EFL foi, entretanto, fornecida por Chappel e Hine (2004), que mostraram a modulação do EFL pelo intervalo de tempo em que um alvo se mantinha estático antes da ocorrência do flash (na sequência do que se punha em movimento) e por diversos estudos suportando um efeito de pistas informativas prévias ao *flash* (e.g., Baldo, Kihara, et al., 2002; Namba & Baldo, 2004; Vreven & Verghese, 2005). Numa versão reconvertida da sua proposta, que designaram como teoria do enviesamento pelo movimento, Eagleman e Sejnowski (2007), admitiram que, dependendo do grau de saliência percetiva do (ou surpresa induzida pelo) *flash*, o processo de recolha de informação iniciado pode considerar, em proporções diversas, informação anterior ao *flash* (um modelo preditivo do movimento) e subsequente ao *flash* (atualização da informação), abdicando assim da limitação da janela de integração posicional a um período pós-*flash*.

## **Latências Diferenciais**

Esta hipótese sugere que um estímulo em movimento é processado mais rapidamente do que um estímulo *flash* estático, acedendo por isso à consciência percetiva mais rapidamente. Whitney & Murakami (1998) e Whitney, Murakami, & Cavanagh (2000) investigaram o efeito de uma reversão repentina da direção de uma barra móvel na sua localização percebida em relação ao *flash*. Numa das experiências, uma barra em translação linear inverteu a direção num momento e local imprevisíveis enquanto o observador mantinha a fixação num ponto central. A localização física de um *flash* percebido como espacialmente alinhado com a barra em movimento contínuo foi medida em diferentes momentos anteriores e posteriores à reversão do movimento. Os

resultados indicaram que a localização percebida da barra nunca ultrapassou o ponto de reversão. Durante os segmentos de movimento contínuo verificou-se que a percepção de alinhamento requeria em média que a apresentação do *flash* precedesse a da barra móvel em cerca de 45 ms. Estes resultados refutariam o modelo de extrapolação segundo os autores, que propuseram como explicação a existência de diferentes atrasos/latências neurais no processamento do *flash* e da barra móvel (Whitney & Murakami, 1998).

Num estudo posterior Whitney, Murakami, & Cavanagh (2000), procuraram mais evidências favoráveis à hipótese das latências diferenciais e desfavoráveis às hipóteses alternativas de uma maior persistência do *flash* (devida, e.g., aos processos de “*deblurring*” que se admite reduzirem a persistência dos estímulos em movimento: Burr, 1980) e da extrapolação espacial do movimento. Na primeira experiência uma máscara foi apresentada no frame imediatamente a seguir ao *flash* (a máscara tinha o mesmo tamanho, cor e luminância que o *flash* e cobria inteiramente a área onde este foi apresentado, permanecendo visível até ao final do ensaio). O EFL manteve-se inalterado, sugerindo que a duração (persistência) do *flash* não constitui um fator determinante do EFL. Na segunda experiência ocorreram mudanças imprevisíveis na velocidade da barra, incluindo uma reversão abrupta, desaparecimento, aceleração e desaceleração. Os resultados apontaram para pouca ou nenhuma compensação espacial dos atrasos neurais do processamento de objetos em movimento, mantendo-se compatíveis com um modelo de facilitação temporal dos objetos em movimento, em que o atraso do *flash* reflete a vantagem temporal (menores latências) dos estímulos em movimento sobre os estímulos *flash* estáticos (Whitney et al., 2000).

### **Atenção**

Baldo & Klein (1995), questionaram a hipótese de extrapolação proposta por Nijhawan (1994), demonstrando que a magnitude do efeito *flash-lag* dependia não só das características do objeto em movimento, mas também da excentricidade visual do *flash* estático. Os autores consideraram que o efeito resultava de um atraso temporal maior no processamento visual do estímulo *flash* à medida que este se tornava mais excêntrico, levando mais tempo para atingir um nível adequado de consciência perceptiva. Os autores sugeriram que este atraso resultaria de processos atencionais envolvidos na captura de atenção e na mudança do foco de atenção de um local para outro, do estímulo em movimento para o estímulo *flash* e, subsequentemente, deste para o estímulo em movimento (Baldo & Klein, 1995). Embora originalmente comprometida com um modelo “spot-light” da atenção visual, que se deslocaria no espaço, consumindo tempo nesse percurso, esta proposta viria a alargar-se a deslocamentos da atenção em espaços de atributos

perceptivos, por exemplo, postulando em geral que (independentemente de qualquer modelo específico da atenção), latências atencionais, e não apenas sensório-perceptivas, contribuem para as latências diferenciais entre estímulos *flash* e em movimento (Baldo, Khiara et al., 2002; Baldo & Klein, 2010).

Outros argumentos convergiram para salientar o contributo da atenção visual para o efeito *flash-lag*. Baldo e colaboradores (2002) manipularam a previsibilidade da localização espacial do estímulo *flash*, verificando que a magnitude do EFL aumentou significativamente com a diminuição da previsibilidade. A maior previsibilidade de localização do estímulo *flash* parecia assim possibilitar uma alocação mais eficiente dos recursos atencionais à localização esperada do estímulo, com um impacto na redução do EFL – reforçando a importância das componentes de latência atencional, a par das componentes de latência sensorial associadas a atributos físicos do estímulo (e.g., luminância e excentricidade), na determinação da magnitude do efeito (Baldo, Khiara et al., 2002; Baldo & Namba, 2002). Os estudos de Chappell e colaboradores (2006) mostraram, por sua vez, que um *flash* irrelevante captura automaticamente a atenção, alterando a percepção da localização de um estímulo em movimento relativamente a uma referência estática permanente (um processo que designaram como “captura atencional relevante para a tarefa”). O efeito do *flash* irrelevante foi o de aumentar a magnitude do EFL, plausivelmente devido à captura *bottom-up* dos recursos atencionais necessários para uma localização relativa mais precisa do móvel. Este mecanismo *bottom-up* complementa a evidência adicional quanto ao papel da atenção *top-down* (endógena ou voluntária) obtida por Namba e Baldo (2004) num estudo de atenção encoberta com pistas simbólicas/centrais. Com uma validade de 80%, as pistas indicavam o hemisfério visual no qual surgiria o estímulo *flash*. Quando a pista era válida o EFL foi significativamente menor do que quando a pista era inválida, assinalando um efeito da deslocação endógena da atenção. Namba e Baldo (2004) concluíram que, embora não constituam uma causa primária do EFL, os mecanismos atencionais devem ser vistos como um importante componente modulador de um processo mais amplo cuja dinâmica espaço-temporal produz o EFL e possivelmente outros fenômenos relacionados. Esta proposta viria mais tarde a ser implementada por Baldo & Caticha (2005), numa rede neural *feedforward*, onde o papel da atenção foi simulado no quadro de uma dinâmica espaço-temporal induzida pela arquitetura da rede e as propriedades funcionais das suas unidades (correspondendo a propriedades biológicas simples de ativação e integração), permitindo acomodar com sucesso vários dos resultados empíricos conhecidos sobre o EFL e ainda derivar novas previsões que se revelaram empiricamente ajustadas (ver ainda Baldo & Klein, 2010 e Cravo & Baldo, 2008) Por fim, vários estudos sobre os efeitos da divisão da atenção no EFL mostraram ainda que o EFL aumenta em condições de atenção dividida (Sarich et al., 2007; Shioiri et al., 2010; Scocchia et al., 2009), corroborando, através de uma outra abordagem, o papel modulador das variáveis atencionais.

#### 1.4. *Configurações experimentais do Efeito Flash-Lag: Ciclo Completo, ciclo iniciado e ciclo terminado pelo marcador.*

O EFL foi estudado inicialmente em situações em que um flash é apresentado num momento dado da trajetória descrita por um estímulo já em movimento, e que prossegue o seu movimento após o *flash*. Esta situação clássica tem sido designada, de forma variada, como “ciclo completo” (Nijhawan et al., 2004), “movimento contínuo” (Eagleman & Sejnowski, 2000a) ou “vista completa” (Watanabe, 2004), caracterizando-se pela presença de sinal de movimento antes e após a ocorrência do *flash*. Hubbard (2014a) sugeriu que, face à prática usual de apresentar o *flash*, nestas circunstâncias, a meio do trajeto de movimento, nenhuma das designações é suficientemente específica, propondo em alternativa a expressão “ciclo com *flash* a meio”. No entanto, de acordo com o uso consagrado pela literatura, utilizaremos sobretudo a expressão “ciclo completo” (CC) para designar esta configuração clássica das tarefas de EFL. Algumas variantes do ciclo completo incluem manipulações adicionais da direção do movimento após o *flash* – por exemplo, a inversão da sua direção (ciclo completo reverso, ou com reversão) ou diferentes parâmetros de velocidade antes e após o *flash* (Nijhawan, 2002).

Como indicado antes (ver ponto 1.2) outras configurações do EFL resultaram da manipulação como variável independente do momento de apresentação do *flash*. Quando este é apresentado no início da trajetória, i.e., no momento do *onset* do movimento, a configuração resultante é tipicamente designada como “ciclo iniciado pelo *flash*”. Uma vez que adotaremos a expressão geral de “marcador” para designar quer um *flash* (estímulo visual) quer os seus equivalentes (estímulos estáticos apresentados brevemente) noutras modalidades sensoriais, a designação correspondente no quadro da dissertação é a de “ciclo iniciado pelo marcador” (CIM). De modo análogo, a configuração em que o *flash* é apresentado no termo da trajetória, i.e., no momento do seu *offset*, é conhecida na literatura como “ciclo terminado pelo flash”, sendo designada, no quadro da dissertação, pela expressão correspondente “ciclo terminado pelo marcador” (CTM). No conjunto, estas duas configurações podem designar-se como “hemi-ciclos” ou “meios-ciclos” do EFL. No CIM, a componente sinal de movimento anterior ao *flash* encontra-se ausente, enquanto no CTM esta componente está ausente após o *flash*.

A utilização destas diferentes configurações, distinguindo-se pelo momento de apresentação do *flash*, foi diretamente inspirada pelo debate entre as principais teorias explicativas do EFL, em particular nas suas formulações iniciais. Por exemplo, a observação de um EFL no CIM levantaria questões à proposta de Nijhawan (1994) de uma extrapolação espacial do movimento. Esta última presume a existência de informação de movimento prévia na qual assenta a previsão de uma

posição futura do alvo móvel, mas essa informação anterior ao *flash* está em falta no CIM. A observação de um EFL no CIM seria igualmente problemática para a proposta clássica das latências diferenciais (Whitney & Murakami, 1998), uma vez que, não se encontrando ainda em movimento no instante de apresentação do *flash*, o (futuro) alvo móvel não beneficiaria da vantagem temporal de processamento associada ao movimento. E ainda para a explicação pelo tempo (latência) da deslocação atencional entre o *flash* e o móvel (Baldo & Klein, 1995), uma vez que não deveriam, nesse caso, existir diferenças na percepção do *onset* de ambos os estímulos, *flash* e móvel. Na realidade, a ocorrência de EFL no CIM é um dado de observação corrente (ver. e.g., Au & Watanabe, 2013; Eagleman & Sejnowski, 2000a; 2007; Nijhawan, 2002b; Nijhawan et al., 2010), dando lugar quer a alterações e refinamentos nas hipóteses explicativas mencionadas, quer ao surgimento de novas explicações. Com base, designadamente, neste resultado, Eagleman & Sejnowski (2000a; 2007) propuseram justamente a hipótese inicial da pós-dicção, segundo a qual a trajetória pré-*flash* não desempenha qualquer papel no EFL (hipótese também ela, subsequentemente, reconvertida, face a indicações claras de uma contribuição da informação anterior ao *flash* em certas circunstâncias: ver acima, ponto 1.3).

Quanto ao CTM, o resultado tipicamente observado é o de uma ausência de EFL (Eagleman & Sejnowski, 2000; Khurana & Nijhawan, 1995; Nijhawan et al., 2004), levando a generalidade dos autores a concluir que o EFL apenas ocorre quando o movimento continua após o *flash* (ou, de um modo mais geral, face à indicação de que alterações importantes no tamanho do objeto em movimento no momento do *flash* podem também cancelar o EFL, quando é possível manter e atualizar a representação de um mesmo objeto em movimento (Moore & Enns, 2004). Este resultado parece sobretudo comprometedor para hipóteses baseadas na extrapolação preditiva do movimento que, em princípio, levaria a prever a ocorrência de EFL neste ciclo, e conduziu a novos refinamentos das propostas iniciais de Nijhawan (Maus & Nijhawan, 2009). No entanto alguns autores têm apresentado evidência discordante, Kanai e colaboradores (2004) reportaram, por exemplo, que em determinadas condições do estímulo era possível observar um EFL significativo no ciclo CTM, enquanto noutras isso não era possível. As principais condições referidas pelos autores referem-se ao grau de excentricidade do objeto móvel e do objeto *flash* e à separação espacial entre ambos. Outros fatores, como o contraste e o deslocamento do estímulo em movimento, pareceram também modular a magnitude do EFL no CTM. Os autores consideraram ser a incerteza na determinação da posição no espaço de um estímulo em movimento o requisito fundamental para o efeito *flash-lag* (ver também Linares et al., 2009), assinalando ainda que um efeito *flash-lag* no CTM desafia modelos explicativos influentes, como os da latência diferencial e da pós-dicção (Kanai et al., 2004).

Qualquer que seja a posição adotada face ao estado do debate em torno dos mecanismos explicativos do EFL e aos diversos balanços de evidência, frequentemente contenciosos,

oferecidos por diferentes autores e tradições explicativas, nenhuma contribuição empírica ou conceptual para o esclarecimento do EFL parece poder ter lugar, presentemente, sem uma consideração integrada dos três ciclos-padrão do EFL (CIM, CC e CTM).



## **Extrapolação espacial do movimento: um mecanismo causal no Efeito Flash-Lag?**

Na proposta de extrapolação espacial do movimento, a causa do EFL é a existência de um mecanismo no sistema visual (e não apenas visuomotor) que altera para diante a posição percebida do móvel com o objetivo de corrigir os efeitos dos atrasos neurais associados à transmissão de informação entre a retina e as estruturas corticais envolvidas no processamento da informação visual (Nijhawan, 1994). Essa seria a forma de alinhar a percepção do movimento (condenada pelos atrasos neurais a um atraso em relação ao presente) com a linha temporal real, convertendo-a numa “percepção do presente” (Changizi et al., 2008). Como assinalado atrás, esta concepção atribui ao sistema visual uma função preditiva (previsão visual), baseada no movimento anterior do alvo, que deve assim ser previsível (permitir derivar a posição futura a partir da sua história) e, idealmente, animado de velocidade constante (Nijhawan, 2008). Esta proposta constituiu a origem de uma variedade de explicações do EFL baseadas em mecanismos de alteração da representação espacial da localização do objeto móvel no momento do *flash*, não necessariamente comprometidas com processos de extrapolação ou com o conjunto das suposições que Nijhawan associou à extrapolação enquanto mecanismo de previsão compensatório (ver, e.g., Khoei et al., 2017). No entanto, parte importante do debate inicial entre hipóteses espaciais e temporais de explicação do EFL foi travado em torno do estatuto a conceder à hipótese de Nijhawan (1994; ver também Khurana & Nijhawan, 1995), sendo, por conseguinte, relevante considerar a evidência favorável e desfavorável a essa proposta seminal.

### ***2.1. O estado do debate: evidência comportamental e neurofisiológica.***

Um argumento importante a favor da hipótese de extrapolação de movimento e da sua relevância para o EFL reside na existência documentada de mecanismos neurais capazes de suportar essa extrapolação. Estes foram descobertos em várias espécies e a diversos níveis do sistema visual (Hogendoorn, 2020), Berry et al. (1999), por exemplo, reportaram que o pico das respostas de células ganglionares da retina em coelhos e salamandras ocorre para locais

adiantados em relação à posição do estímulo no espaço visual (um resultado limitado, contudo, pelo facto de que, com o aumento da velocidade do estímulo, este efeito se esbate, chegando a inverter-se. Jancke & Erlhagen, 2010). Schwartz et al. (2007) mostraram, de forma convergente, a ocorrência de picos de resposta na retina de ratos e salamandras quando objetos em movimento se desviavam da sua trajetória anterior, sugerindo um mecanismo precoce de marcação de desvios ao rumo previsto. Jancke et al. (2004) e Subramaniyan et al. (2018) obtiveram por sua vez na área V1 de gatos e macacos, respetivamente, resultados equivalentes aos de Berry, com representações neurais da posição de objetos móveis adiantadas relativamente à de estáticos. Orban et al. (1985), reportaram também evidência semelhante em células do núcleo geniculado lateral, LNG, do gato. Resultados análogos foram observados em humanos. Em estudos com electroencefalograma (EEG), utilizando um paradigma de descodificação, Hoogendorn & Burkitt (2018) e Blom et al. (2020) mostraram que a descodificação da posição de objetos em movimento através do padrão de respostas cerebrais ocorre mais rapidamente para trajetórias previsíveis (indicando a constituição de representações posicionais com menor latência nesse caso). Utilizando ressonância magnética funcional (fMRI), Maus et al. (2013) e Schneider et al. (2019) mostraram que o movimento altera as representações de posição na área MT. Embora associados a outros quadros explicativos que combinam, designadamente, mecanismos espaciais e temporais, vários modelos de inspiração neural incluem como uma componente central processos de facilitação espacial assentes na propagação de pré-ativações subliminares associadas à informação de movimento (ver, e.g., Baldo & Caticha, 2005; Jancke & Erlhagen, 2010). Cravo e Baldo (2008) admitem, nesse sentido, que esta dinâmica de facilitação espacial possa constituir a base mais geral das explicações espaciais, incluindo os modelos de extrapolação do movimento (Nijhawan, 1994; 2000) e de enviesamento posicional pelo movimento (Eagleman & Sejnowski, 2007).

Apesar de beneficiar à partida da plausibilidade de mecanismos neurais capazes de suportar a extrapolação, a hipótese de Nijhawan encontrou vários tipos de dificuldades. Duas delas envolvem, respetivamente, os resultados observados no ciclo iniciado pelo marcador (CIM), que produz tipicamente um EFL com magnitude semelhante ao obtido no ciclo completo (CC) apesar da ausência de movimento *pré-flash* (Baldo & Klein, 1995; Eagleman & Sejnowski, 2000a; Khurana & Nijhawan, 1995), e no ciclo terminado pelo marcador (CTM), onde tipicamente não ocorre EFL (Eagleman & Sejnowski, 2000a; More & Enns, 2004; Rizk et al., 2009; Watanabe, 2004). Nenhuma destas observações é imediatamente compatível com a hipótese da extrapolação do movimento, que requereria, no primeiro caso, uma história de movimento previsível na qual basear a extrapolação e, no segundo caso, levaria a prever uma extrapolação para diante com base na história do movimento anterior (ainda que o movimento tivesse terminado nesse instante).

Nijhawan propôs, no entanto, soluções para as dificuldades suscitadas por estes dois ciclos do EFL. No caso da ocorrência do EFL no CIM, fez notar que as estimativas de velocidade

necessárias para a extrapolação do movimento podem encontrar-se disponíveis muito rapidamente (em  $\sim 1$  ms, de acordo com Westheimer and McKee, 1977) e que a extrapolação do movimento tem início logo ao nível da retina, não sendo assim necessária uma história sustentada de movimento para a obtenção de informação direcional capaz de orientar a extrapolação (Nijhawan, 2008: para resultados favoráveis à presença de informação posicional antecipatória nos primeiros instantes em que se regista uma resposta no córtex visual à informação visual apresentada ver Hogendoorn et al., 2015). Quanto à ausência de EFL no CTM, Nijhawan (2008) e Maus e Nijhawan (2009) propuseram que a desapareção súbita do objeto em movimento, originando um transiente visual, desencadeia um mecanismo baseado na informação posicional dos transientes que opera corretivamente relativamente à previsão visual (o mecanismo de extrapolação). Embora esta teoria do duplo processo, admitindo duas representações posicionais em competição (baseadas, respetivamente, num modelo preditivo interno e na informação dos transientes visuais), fosse denunciada como uma resolução *ad hoc* para o problema da ausência de EFL no CTM, evidência relativa à importância dos transientes foi empiricamente produzida. Maus e Nijhawan (2006) mostraram, por exemplo, que a desapareção progressiva (*fading*), ao invés de abrupta, do alvo em movimento, permite recuperar a ocorrência de EFL no ciclo terminado pelo marcador. Resultados convergentes sobre o papel dos transientes na correção da extrapolação de trajetórias foram igualmente reportados por Blom et al. (2019) num estudo envolvendo o *flash-grab* (ver cap. 1, ponto 1.1). Os resultados da variante do ciclo completo com reversão (i.e., em que o alvo em movimento inverte a dado momento a sua direção) (Whitney & Murakami, 1998) e a ocorrência de EFL quando o estímulo móvel “salta” aleatoriamente entre posições, não dando lugar a trajetórias previsíveis (Murakami, 2001a) constituíram igualmente um desafio à tese da extrapolação. Quando o movimento inverte inesperadamente a direção e o *flash* é apresentado antes, após, ou no momento da reversão, o resultado tipicamente obtido é o de que a posição do móvel (revelado pela posição física do flash com o qual é julgada em alinhamento) não é percebida, contrariamente à hipótese da extrapolação, como para além do ponto da reversão (Whitney & Murakami, 1998; Whitney et al., 2000). Whitney e Murakami (1998) notaram ainda que, face ao valor de atraso que a extrapolação do movimento deveria compensar ( $\sim 45$  ms, de acordo com o valor do adiantamento temporal do *flash* necessário para ser julgado como em alinhamento com o móvel), seria necessário admitir, para que a extrapolação explicasse os resultados, que a informação sobre a inversão do movimento já orientava a extrapolação antes mesmo de a reversão ocorrer.

No caso da utilização de movimento aleatório, e, portanto, com direção futura imprevisível (Murakami, 2001a; Fukiage et al., 2010), tal como nos casos de alteração imprevisível da direção (Eagleman & Sejnowski, 2000a) ou da velocidade (Brenner & Smeets, 2000) após o *flash*, a ocorrência documentada de EFL questiona por sua vez a assunção de previsão visual (dependente

da previsibilidade da trajetória) associada por Nijhawan à extrapolação do movimento. Estes resultados são manifestamente difíceis de compatibilizar com a hipótese da extrapolação, embora o mesmo argumento utilizado por Nijhawan (2008) como explicação para a existência de EFL no CIM (possibilidade de obter informação direcional, útil para a extrapolação, num tempo da ordem de 1 ms) possa aqui aplicar-se.

Um traço comum a este conjunto de resultados desfavoráveis, por princípio, à explicação do EFL pela extrapolação, é a sugestão de que apenas o sinal de movimento pós-*flash* é relevante, enquanto que um aspeto central do modelo da previsão visual é, ao contrário, a afirmação de um papel prioritário da informação de movimento pré-*flash*. Num estudo em que, após o *flash*, um ponto em movimento se desdobrava (bifurcava), seguindo duas trajetórias distintas, Eagleman e Sejnowski (2007) observaram um deslocamento da posição percebida do ponto relativamente ao *flash* na direção da soma vetorial dos dois movimentos pós-*flash*. Somando-se à ocorrência, já assinalada, de EFLs com a mesma magnitude no CIM e no CC, estes resultados contribuíram para suportar a convicção dos autores de que a informação relevante para o EFL é subsequente, e não anterior ao *flash*. O estudo de Brenner & Smeets (2000) com variação da velocidade do movimento em diferentes momentos relativamente à ocorrência do *flash* suporta conclusões semelhantes. Quando o flash era simultâneo com a alteração de velocidade, o EFL era semelhante ao obtido com a apresentação do *flash* 150 ms depois da alteração. De acordo com a hipótese da extrapolação, esta equivalência deveria acontecer quando o *flash* antecedia (e não quando era posterior) a mudança de velocidade, uma vez que a informação disponível para a extrapolação seria então a mesma nos dois casos. Apesar de problemáticos para a tese da extrapolação, estes resultados encontram-se por sua vez limitados por evidência sugestiva de um papel da informação pré-*flash*. Vreven e Verghese (2005) ilustraram, por exemplo, um decréscimo do EFL quando aumenta a extensão do trajeto anterior ao *flash*, e quando a localização do *flash* é tornada mais previsível por pistas anteriores ao *flash* (ver igualmente Baldo, Kihara, et al., 2002; Namba & Baldo, 2004). Chappel e Hine (2004) mostraram que, no ciclo iniciado pelo marcador, a pré-exposição estática do objeto em movimento por um período de tempo curto (e.g., 50 ms) antes do *flash* reduz significativamente o EFL. Eagleman e Sejnowski (2007) viriam justamente a flexibilizar a sua proposta inicial, admitindo a participação em grau variável de informação anterior ao flash na estimativa de posição do alvo em movimento.

A proposta de Nijhawan de que a extrapolação visual do movimento se destina a suportar a perceção de um alvo móvel na sua posição verídica leva a esperar uma magnitude de extrapolação grosso modo constante através dos indivíduos (contrariamente à extrapolação sensorio-motora, onde as diferenças individuais nos tempos de reação e de resposta permitem esperar variações importantes). A existência bem documentada de diferenças individuais importantes quer qualitativas (relativas à ocorrência e direção) quer quantitativas (relativas à magnitude), do EFL

(Kreegipuu & Allik, 2003; Gabbard, 2013) parece assim, em si mesma, desfavorável ao mecanismo de extrapolação corretiva originalmente formulada por Nijhawan.

Embora a hipótese da extrapolação do movimento não seja sustentável na sua versão inicial, a existência de dinâmicas gerais de facilitação espacial associadas a estímulos em movimento, e a possibilidade da sua interação com múltiplos fatores (e.g., previsibilidade, informação anterior e posterior ao flash, extensão temporal da informação considerada) beneficiam de suporte suficiente para assegurar a utilidade de abordagens assentes em mecanismos espaciais – conservando ou não, sob diferentes aspetos e condicionalmente a diferentes circunstâncias, a referência a mecanismos preditivos de extrapolação (ver, e.g., Kohei et al., 2017).

## ***2.2. O erro de localização relativa no Efeito Flash-Lag como combinação de dois erros de localização absoluta: questões em aberto.***

Conhecido desde há muito como um fenómeno perceptivo robusto (von Tschisch 1885; Metzger, 1932; Mackay, 1958; Nijhawan, 1994; para revisões, ver Kerzel, 2010, e Maus et al., 2010), o EFL tem vindo a ser crescentemente discutido no quadro das suas relações com outros erros de localização associados a estímulos em movimento. Para isso contribuiu o alargamento, impulsionado pelo debate entre diferentes modelos explicativos, do paradigma clássico do EFL às configurações iniciada e terminada pelo marcador (Khurana & Nijhawan, 1995); Eagleman & Sejnowski, 2000a; Khurana et al., 2000). Na medida em que envolvem, respetivamente, a localização do *onset* (marcador no início) e do *offset* (marcador no final) do movimento, estas configurações aproximam operacionalmente o EFL do efeito *Fröhlich* (EF) (Fröhlich, 1923), e do momento representacional (MR) (Freyd & Finke, 1984; Hubbard & Bharucha, 1988), ambos envolvendo erros de localização de um alvo móvel para diante (ver, para definições, ponto 1.1 acima).

### ***2.2.1. Momento Representacional, Efeito Fröhlich e Flash-Drag***

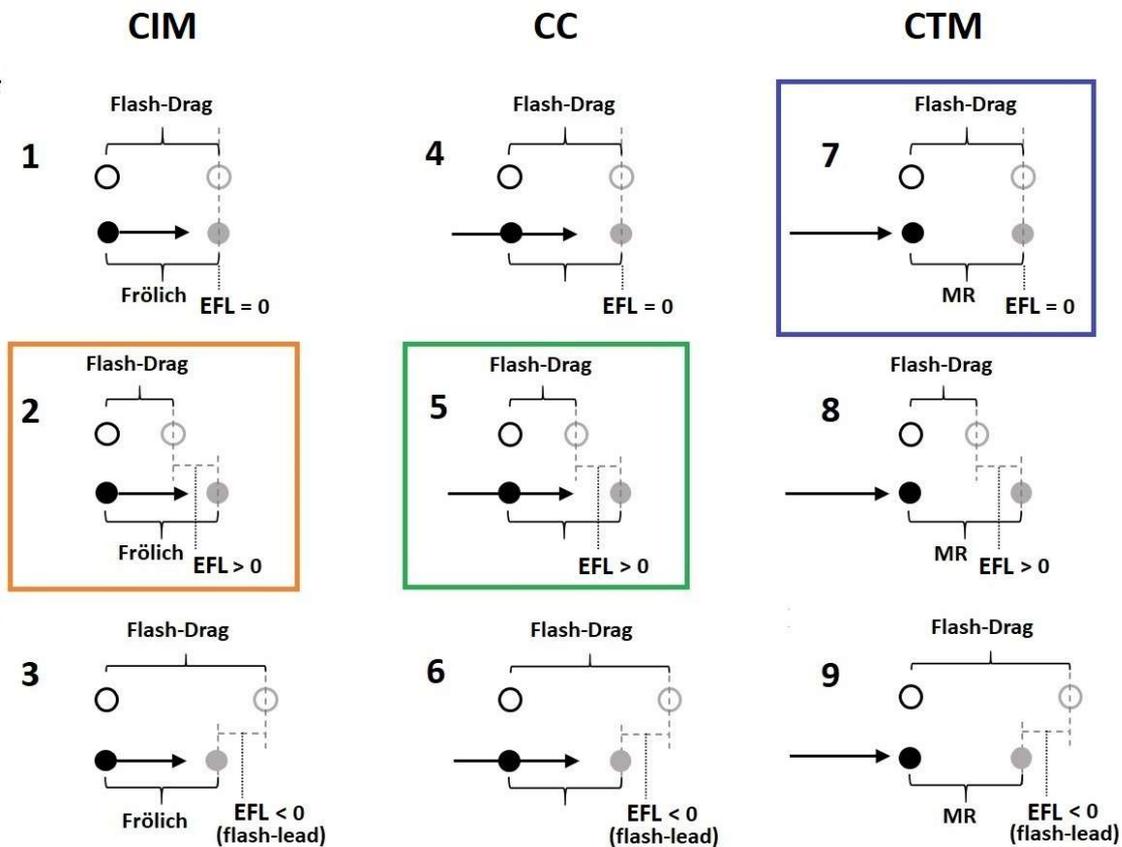
Sugestões de que os mecanismos subjacentes a estes dois erros de localização absoluta poderiam explicar, total ou parcialmente, o EFL, foram avançadas em diferentes ocasiões (Kirschfeld & Kammer, 1999; Müsseler et al., 2000; Jancke & Erlhagen, 2010; Eagleman &

Sejnowski, 2007; Hubbard, 2013). No caso do ciclo terminado pelo marcador (CTM), qualquer afinidade com o MR parece ser de imediato desmentida pela observação da ausência de EFL nestas condições (Eagleman & Sejnowski, 2000a; Khurana & Nijhawan, 1995; Nijhawan et al., 2004a). Esta aparente contradição depende, no entanto, do pressuposto, frequentemente assumido (Nijhawan, 1994, 1997; Khurana & Nijhawan, 1995), de que o estímulo estático é veridicamente percebido na sua posição, ficando o erro a dever-se inteiramente à localização ilusória do estímulo dinâmico. Na realidade, sendo o EFL um erro relativo (da localização de um estímulo relativamente a um outro), duas outras possibilidades são em princípio admissíveis: a de que se deva a um erro de localização do marcador (possibilidade simétrica da anterior), ou que resulte de erros na localização tanto do marcador como do móvel. Neste último cenário, a ausência de EFL no ciclo terminado pelo marcador é compatível com um contributo do MR (induzindo uma deslocação para diante da última posição percebida do móvel), desde que compensado por um erro de magnitude e direção idênticas afetando o marcador. Esta é uma questão empírica, não de princípio, existindo evidência robusta de que a localização percebida de estímulos estáticos, em particular quando apresentados brevemente, é influenciada pela informação de movimento presente no espaço visual (Cavanagh & Anstis, 2013; De Valois & De Valois, 1991; Whitney, 2002, Whitney & Cavanagh, 2000; Watanabe, 2005; Watanabe & Yokoi, 2007). Trata-se, além disso, de uma questão geral, aplicável igualmente às restantes configurações experimentais do EFL (ciclo iniciado pelo marcador, ou CIM, e ciclo completo, ou CC).

O efeito *flash-drag* constitui um tipo de erro de localização induzido pelo movimento particularmente relevante para o EFL em qualquer das configurações (ver, para definição, ponto acima). Como assinalam Eagleman & Sejnowski, (2007) enquanto erro de localização para diante do marcador, o *flash-drag* opera no sentido de diluir perceptivamente o erro de localização para diante do objeto em movimento (e.g., EF ou MR) e, por conseguinte, a magnitude do EFL. O jogo combinado destas distorções da posição do marcador e do móvel pode desse modo gerar uma variedade de casos de figura, incluindo a ausência, presença (graduada em diferentes magnitudes) ou inversão (*flash-lead*) do EFL, representadas esquematicamente na **Figura 1**.

Num conjunto de experiências com movimento horizontal implícito e um método de resposta baseado em sondas mnésicas, Hubbard (2008) registou erros de localização para diante tanto da posição final do objeto em movimento como de um objeto estático brevemente apresentado em alinhamento com essa posição. Os dois erros não diferiram em magnitude, ilustrando assim o caso 7 da **Figura 1** (uma compensação do MR pelo efeito de arrastamento do *flash*, consistente com uma ausência de EFL no ciclo terminado pelo marcador). Utilizando movimento contínuo numa trajetória circular e respostas de localização motora, Shi & de'Sperati (2008) encontraram deslocações para diante tanto de um marcador estático apresentado em alinhamento com um objeto móvel, que continuava o seu movimento, como do móvel no momento da apresentação do marcador. A magnitude do erro de localização do móvel foi superior, ilustrando assim o caso 5

da **Figura 1** (consistente com a ocorrência de EFL no ciclo completo, com marcador a meio do trajeto). Shi & de'Sperati (2008) reportaram adicionalmente que uma combinação linear das deslocações percetivas do móvel e do marcador (que designaram «EFL virtual») produziu valores equivalentes à magnitude de EFL medida de forma independente como um erro relativo.



**Figura 1.** Cenários gerados pela combinação entre erros de localização para diante do alvo em movimento (e.g., EF e MR) e do marcador (*flash-drag*) nas três configurações experimentais do EFL (em coluna, da esquerda para a direita: ciclo iniciado-pelo-marcador, ciclo completo, ciclo terminado-pelo-marcador). As setas especificam o alvo móvel e distinguem as condições em que não existe movimento anterior ao *flash* ( $\bullet \rightarrow$ ), existe movimento anterior e posterior ao *flash* ( $\rightarrow \bullet \rightarrow$ ), e o movimento cessa com a apresentação do *flash* ( $\rightarrow \bullet$ ). Os círculos pretos e cinzentos, representam, respetivamente, as posições verídica e percebida do móvel, os círculos vazios delineados a preto e a cinzento as posições verídica e percebida do *flash*. Na vertical, de cima para baixo, as linhas referem-se a três relações possíveis entre a magnitude dos erros de localização do móvel e do marcador: igualdade, magnitude superior do erro associado ao movimento e magnitude superior do erro associado ao marcador. Os cenários enquadrados identificam o resultado mais comum em tarefas de *flash-lag* (medido como um erro relativo) em cada uma das configurações experimentais.

Com exceção de Hubbard & Courtney (2008) comentado adiante, não existem, do nosso melhor conhecimento, estudos dirigidos ao registo, numa mesma experiência, dos erros de localização absoluta do marcador e do movimento em ciclos iniciados pelo marcador. Müsseler et al. (2002) avaliaram comparativamente os erros na localização absoluta de um alvo animado

de movimento circular no momento da apresentação de um marcador localizado no início, meio, ou termo do trajeto. Os resultados revelaram erros de localização para diante com o marcador no início e no meio do trajeto, maiores no primeiro caso. Com o marcador no termo, contudo, os erros ocorreram no sentido oposto ao do movimento, contrariando os resultados de Hubbard (2008). Müsseler et al. (2002) não avaliaram os erros de localização perceptiva dos marcadores, não sendo assim possível derivar implicações para o EFL interpretado como combinação dos erros de localização do móvel e do marcador. Em todo o caso, documentaram modulações importantes tanto do MR como do EF pela apresentação do marcador no *onset* e no *offset* do movimento. Comparativamente às situações-padrão (sem marcador), a magnitude do EF aumentou significativamente, ao passo que o MR foi cancelado ou invertido, dando lugar a “erros para trás”, contrários ao movimento. Estes resultados suscitam uma nova possibilidade de interpretação da ausência de EFL no ciclo terminado pelo marcador: já não como consequência de uma compensação do MR pelo *flash-drag* (Hubbard, 2008; 2014a, 2018a) e sim como um cancelamento do MR devido à presença do marcador. Na realidade, a observação de erros retrógrados na localização do objeto em movimento poderia mesmo explicar a ocorrência de efeitos *flash-lead* (inversão do EFL), verificada em diversos estudos com a variante terminada pelo marcador (e.g., (Baldo et al., 2002; Roulston et al., 2006; Whitney et al., 2000).

Em contraste com Müsseler et al. (2002) e convergindo com os resultados de Hubbard (2008), Munger & Owens (2004) reportaram por sua vez a manutenção do MR, e mesmo o seu aumento, quando um estímulo estático concomitante com o final do movimento é subitamente apresentado. Não obstante, documentaram também, à semelhança da maioria dos estudos, uma ausência de EFL (medido diretamente enquanto erro relativo). Embora existam, poucos estudos verificaram a ocorrência de EFL no ciclo terminado pelo marcador (de acordo com Hubbard, 2014a), apenas Kanai et al., (2004) e Gauch & Kerzel (2008) e apenas em condições particulares (apresentações excêntricas do estímulo em movimento, no primeiro destes estudos, e utilização de marcadores em movimento no segundo).

A hipótese de uma determinação conjunta do EFL pelos erros de localização “para diante” do móvel e do marcador não se aplica unicamente às diferentes configurações experimentais (ciclo completo e meios-ciclos), mas também à modulação do EFL por diferentes variáveis. A distância entre o marcador e o movimento é uma dessas variáveis, observando-se tipicamente um aumento da magnitude do EFL com o aumento da distância (Baldo & Klein, 1995; Baldo et al., 2002; Kanai et al., 2004; Linares et al., 2007). Baldo & Klein (1995) interpretaram este resultado como um efeito do custo em tempo de uma deslocação do foco atencional do marcador (cuja apresentação abrupta captura a atenção: ver, e.g., Chappel et al., 2006) para o estímulo em movimento, a localizar, custo tanto maior quanto maior a distância a percorrer entre os dois estímulos. Eagleman & Sejnowski (2007) encontraram, por sua vez, uma redução do efeito *flash-drag* com o aumento da distância entre movimento e marcador. Este resultado, já observado em

estudos anteriores (e.g., Whitney & Cavanagh, 2000; Durant & Johnston, 2004), torna possível uma outra interpretação do aumento do EFL com a distância entre estímulos. Com efeito, tendo em conta que o *flash-drag* opera no sentido de diluir perceptivamente o EFL, a redução do efeito de arrastamento do marcador com a distância, poderia, por si só, explicar parcial ou totalmente o aumento do EFL (Eagleman & Sejnowski, 2007), fornecendo uma alternativa à explicação atencional de Baldo & Klein (1995).

Uma outra variável moduladora do EFL é a direção do movimento relativamente à fóvea (visão central), com maiores magnitudes de EFL para movimentos de aproximação (centrípetos) do que de afastamento (centrífugos), revelando assim uma anisotropia direcional do EFL (Kanai et al., 2004; Mateeff & Hohnsbein, 1988b). Shi e Nijahwan (2008) avaliaram os erros de localização do móvel e do marcador com movimentos centrípetos ou centrífugos relativamente à fóvea, observando um maior erro de localização para diante do estímulo em movimento na condição centrípeta, e uma inversão do *flash-drag* em *flash-repulsion* (deslocamento perceptivo do marcador no sentido contrário ao do movimento) com a passagem de movimento centrífugo a centrípeta. Tomada isoladamente, a diferença entre os erros de localização do movimento centrípeta versus centrífugo revelou-se insuficiente para dar conta da anisotropia do EFL, medida pelos autores de forma independente. Porém, a combinação dos erros de localização do movimento e do marcador produziu uma correlação de 0.94 com as medidas diretas do EFL, sugerindo a possibilidade de explicar a anisotropia do EFL pela combinação das anisotropias associadas, respetivamente, à localização do movimento e do marcador.

O conjunto dos resultados anteriores assinala o interesse de conduzir um estudo sistemático dos erros de localização do movimento e do marcador em todas as configurações experimentais do EFL (até à data, tal não sucedeu, por exemplo, para o ciclo iniciado pelo marcador) e em condições que assegurem a sua comparabilidade (i.e., mesmos estímulos, mesmo tipo de movimento, de trajetória e método de resposta).

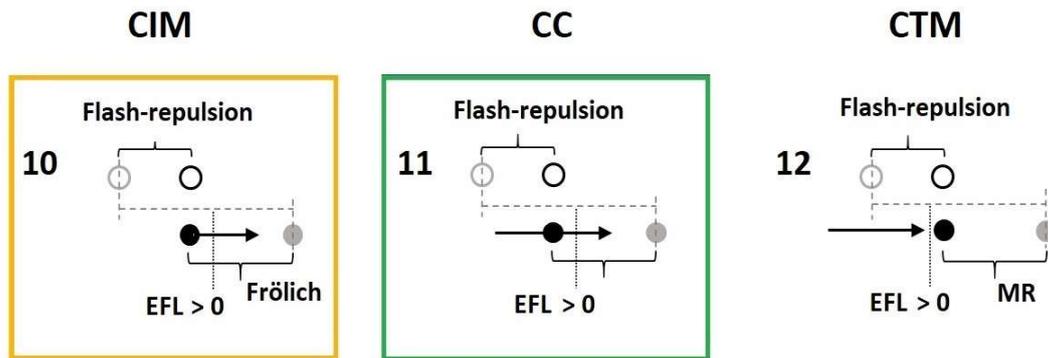
Do ponto de vista do debate entre modelos espaciais e temporais, a hipótese da redução do EFL à combinação de dois erros espaciais absolutos coloca um desafio às explicações exclusivamente temporais do EFL, dada a inexistência de uma explicação óbvia do erro de localização do marcador estático em termos de latências de processamento. Murai e Murakami (2016) sustentaram que o curso temporal do efeito *flash-drag* (a sua modulação pelo desfasamento temporal entre o *flash* e o início do movimento) reflete as mesmas diferenças de latência entre estímulos estáticos e dinâmicos que, na hipótese das latências diferenciais, dão origem ao EFL. Contudo, mesmo que se aceitem as suas conclusões (para uma discussão crítica dos resultados fornecidos pela técnica do movimento por “saltos” entre posições aleatórios, adotada por Murai e Murakami, ver Nijahwan, 2008 e Arrighi et al., 2005a), verificar a existência de uma dinâmica temporal no *flash-drag* não equivale, sem mais, a explicá-lo temporalmente (Watanabe & Yokai,

2008 documentaram, neste sentido, variações do curso temporal dos erros de localização do *flash* em função de anisotropias espaciais irreduzíveis a qualquer explicação puramente temporal).

### 2.2.2. Outras possibilidades: *Flash-Repulsion* e *Onset Repulsion Effect*.

A possibilidade de ocorrerem erros de localização do marcador no sentido contrário ao movimento (*flash-repulsion*) foi ilustrada acima pelos resultados de Shi e Nijahwan (2008) em tarefas de EFL com movimentos de aproximação à fóvea. Utilizando movimento implícito, Hubbard e Courtney (2008) reportaram deslocamentos perceptivos de sentido oposto ao movimento de um objeto estático alinhado com o início do movimento (ciclo iniciado pelo marcador). Uma tendência idêntica foi também registrada por Hubbard (2008) nos erros de localização de estímulos estáticos apresentados a meio do trajeto (i.e., ciclo completo do EFL). O significado deste último resultado não é claro, em virtude da utilização do método de resposta a sondas mnésicas: o intervalo de tempo entre a apresentação do estímulo estático e a sonda mnésica é, no caso de estímulos apresentados a meio do trajeto, necessariamente longo (incluindo o tempo de conclusão do movimento e o intervalo de tempo entre o fim do movimento e a apresentação da sonda), implicando, por conseguinte, um papel acrescido da memória. Em qualquer caso, a somar-se a referências episódicas a erros caracterizáveis como *flash-repulsion* (e.g., Watanabe, 2005; Shim & Cavanagh, 2006), a investigação das anisotropias na localização de estímulos estáticos adjacentes a um movimento suporta robustamente a possibilidade de erros de sentido oposto ao movimento (Watanabe & Yokai, 2006, 2007, 2008).

A combinação do efeito de repulsão do *flash* com os típicos erros para diante na localização do móvel (e.g., EF e MR) dá assim lugar a três novos casos de figura, esquematizados na **Figura 2**. Em todos eles o resultado previsto é o da ocorrência de EFL, enquanto percepção de um adiantamento espacial do móvel relativamente ao marcador ( $EFL > 0$ ). É possível notar que estes cenários (10, 11, 12) geram previsões qualitativamente idênticas às dos cenários 2, 5 e 8, respetivamente, da **Figura 1** equivalendo assim às combinações entre *flash-drag* e erro de localização do móvel quando a magnitude do *flash-drag* é comparativamente inferior. Medidas diretas do EFL enquanto erro relativo não permitem assim discriminar entre estes dois conjuntos de cenários, que mobilizam, no entanto, diferentes erros absolutos (*flash-lag* e *flash-repulsion*), potencialmente associados a diferentes mecanismos.



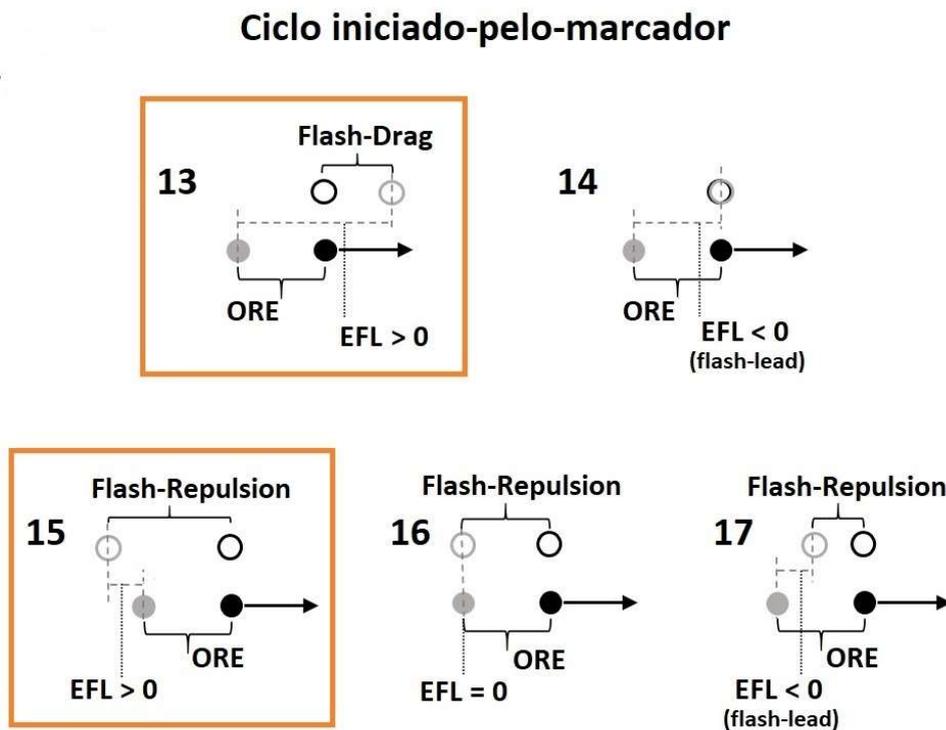
**Figura 2.** Cenários gerados pela combinação entre erros de localização para diante do alvo em movimento (e.g., EF e MR) e erros de localização para trás do marcador (*flash-repulsion*) nas três configurações experimentais do EFL (da esquerda para a direita: ciclo iniciado-pelo-marcador, ciclo completo, ciclo terminado-pelo-marcador). Todos os cenários prevêem a ocorrência de EFL ( $EFL > 0$ ). Nos cenários enquadrados, o resultado previsto é tipicamente observado em tarefas de *flash-lag* (medido como um erro relativo).

A possibilidade de produzir direções e magnitudes de EFL equivalentes a partir de combinações diversas de erros absolutos abre ainda perspectivas adicionais sobre a questão negligenciada das diferenças individuais no EFL (Holcombe, 2021). A variabilidade quer qualitativa (envolvendo efeitos de direção contrária, ou a ausência de EFL) quer quantitativa (envolvendo a variação das magnitudes) observável em tarefas de EFL (Kreegipuu & Allik, 2003; Gabbard, 2013; Holcombe, 2021) tem sido apontada como desfavorável à hipótese espacial da extrapolação do movimento (que prevê a ocorrência constante de EFL) e acomodável pelos modelos temporais enquanto reflexo da variabilidade interindividual inerente às latências de processamento, incluindo latências atencionais (Holcombe, 2021: ver, e.g., Murakami, 2001a; Murai & Murakami, 2016; Ögmen et al., 2004). Ora, ao mesmo tempo que fornece uma hipótese explicativa alternativa, de base espacial, para a variabilidade qualitativa do EFL (prevendo a possibilidade da ausência e da inversão do efeito), o mecanismo da combinação de erros absolutos abre ainda caminho à existência de diferenças importantes, relativas à natureza e magnitude dos erros absolutos subjacente, entre indivíduos com perfis de EFL semelhantes. Variáveis moduladoras com impacto diferencial nos diferentes erros absolutos deveriam nesse caso fazer divergir num sentido previsível o perfil do EFL entre sujeitos.

Erros contrários ao movimento podem igualmente ocorrer na localização de alvos móveis e não apenas estáticos. A inversão do MR na presença de um marcador concomitante com a fase final do movimento, documentada no estudo já referido de Müsseler et al. (2002), constitui um exemplo disso. Esta possibilidade é particularmente evidente na localização do início de um movimento, onde, em alternativa ao clássico efeito *Frölich*, se observa com frequência um efeito de repulsão do *onset* (Thornton, 2002; Actis-Grosso & Stuchi, 2003; Hubbard & Motes, 2002; Kerzel & Gegenfurtner, 2004) (ver, para definição, ponto 1.1 acima).

O ORE (*onset repulsion effect*) coloca desafios às teorias explicativas do efeito *Frölich*, desenvolvidas para explicar deslocamentos perceptivos na direção do movimento (ver Kerzel, 2010; Müsseler & Kerzel, 2018; Hubbard 2019), sendo geralmente atribuído à operação de mecanismos não-perceptivos (e.g., correção por excesso da tendência a localizar objetos móveis à frente da sua posição inicial verídica: Thornton 2002; Müsseler & Kerzel, 2018).

Entretanto, qualquer que venha a ser o desfecho do debate em curso sobre a sua natureza e relações com o efeito *Frölich*, abre caminho à geração de combinações adicionais entre os erros absolutos do marcador e do móvel no contexto do ciclo iniciado-pelo-marcaador, esquematizadas na **Figura 3**. Os cenários representados refletem a conjunção do ORE com o *flash-drag* (erro para diante do marcador: cenário 13), a localização verídica do marcador (cenário 14) e o *efeito de repulsão do flash* (erro do marcador “para trás”, com magnitude superior ao ORE, idêntica à do ORE, ou inferior ao ORE: cenários 15, 16 e 17). Os cenários 13 e 15 correspondem ambos à previsão de ocorrência de EFL ( $EFL > 0$ ), o achado típico em estudos com a configuração iniciada pelo marcador. São assim, do ponto de vista de previsões, equivalentes ao cenário 10, na **Figura 2** (envolvendo o efeito *Frölich*, não o ORE) e ao cenário 2, na **Figura 1** (envolvendo o efeito *Frölich* e o *flash-drag*, não a repulsão do *flash*).



**Figura 3.** Cenários gerados pela combinação entre o efeito de repulsão do *onset* (ORE) na localização do móvel e erros de localização para diante (*flash-drag*), para trás (*flash-repulsion*), ou nulos (localização perceptiva verídica) do marcador. Na linha inferior a magnitude de *flash-repulsion* é, da esquerda para a direita, respetivamente superior, igual e inferior à do ORE. Os enquadros identificam resultados previstos consistentes com os resultados tipicamente observados em tarefas de flash-lag (medido como um erro relativo).

No único estudo conhecido visando a medida separada dos erros de localização absoluta do marcador e do móvel no início do movimento, Hubbard e Courtney (2008) reportaram, para além de um efeito de repulsão do marcador (*flash-repulsion*), um ORE na localização do móvel, com magnitudes idênticas dos dois erros. Este resultado corresponde ao cenário 16 (EFL previsto = 0), inconsistente com a observação recorrente de um  $EFL > 0$  no ciclo iniciado pelo marcador. Uma conclusão possível seria assim a de que, pelo menos nesta configuração, o EFL não pode ser reconduzido à combinação de dois erros absolutos. Contudo, o grau em que os resultados de Hubbard e Courtney (2008) são determinados pelo tipo de movimento utilizado (implícito, i.e., produzido por indutores estáticos perceptivamente separados no espaço e no tempo), o método de resposta (sonda mnésica, com um intervalo de tempo entre o início do movimento e a apresentação da sonda de 1250 ms), ou artefactos de média (ocultando uma heterogeneidade interindividual significativa) não se encontra estabelecido. Como notámos antes, avaliar a hipótese de uma redução do EFL à combinação de dois erros absolutos não parece possível na ausência de um estudo sistemático dos erros de localização do movimento e do marcador em todas as configurações experimentais do EFL, garantindo a sua comparabilidade e escrutinando potenciais padrões nas diferenças individuais. Contribuir para esse estudo, até agora em falta, é uma das motivações da presente dissertação.

### ***2.3. Efeitos da modalidade de resposta, tipo de movimento e movimentos oculares em tarefas de localização absoluta.***

O objetivo de medir localizações absolutas, e não relativas, do marcador e do móvel envolve várias opções metodológicas e operacionais, respeitantes em particular a três variáveis cuja importância para as medidas de localização se revelou já decisiva no estudo de outros erros de localização do movimento, como o Efeito *Fröhlich* e o Momento Representacional: a modalidade da resposta (perceptiva ou de localização motora), o tipo de movimento (contínuo ou implícito, i.e., induzido por estimulações sucessivas perceptivamente discretas) e a exigência ou não de fixação ocular (i.e., a proibição ou permissão do seguimento ocular do movimento). Em particular no domínio do MR, a interação destas três variáveis foi avançada por Kerzel (2005; 2006) como o principal determinante da ocorrência ou não, e da magnitude (em caso de ocorrência) do deslocamento perceptivo do alvo para diante. Esta proposta explicativa, designada como teoria dos “três-fatores”, postula: (i) uma contribuição dos movimentos de perseguição ocular para o deslocamento para diante em alvos com movimento contínuo, mas não com movimento implícito;

(ii) uma contribuição do sistema motor (extrapolação automática do movimento) para a produção do erro quando a resposta é de localização motora, mas não quando envolve um julgamento perceptivo (como nos métodos psicofísicos classicamente empregues na medida do EFL enquanto erro relativo).

Um impacto do tipo de resposta, motora ou perceptiva, e da natureza, contínua ou implícita, do movimento, foi igualmente observado no quadro do Efeito *Frölich* (EF) e do Efeito de Repulsão do *Onset* (ORE). Kerzel (2002a) apenas encontrou deslocamentos para trás no início do movimento (ORE) com respostas de localização motora, enquanto os julgamentos perceptivos davam lugar a uma ausência de erro ou a erros para diante (EF), um resultado replicado no essencial em Kerzel e Gegenfutner (2004). Thornton (2002) obteve por sua vez OREs significativamente mais pronunciados com movimento contínuo (*smooth continuous*) do que com movimento implícito. Convergindo parcialmente com este resultado, Kerzel (2004) reportou a ocorrência de ORE com movimento contínuo e de EF com movimento implícito e aparente. Todos os principais tipos de erro de localização absoluta do movimento (no seu início e termo) potencialmente subjacentes ao EFL (ver ponto 2.2.) parecem assim ser modulados de forma importante por este conjunto de variáveis.

*Modalidade da resposta.* A investigação dos efeitos diferenciais das modalidades de resposta perceptiva (julgamentos perceptivos) e de localização motora (mediada, por exemplo, pelo cursor de um rato, ou consistindo diretamente em apontar) tem raízes nas teorias duais do sistema visual. Em 1982, Ungerleider e Mishkin propuseram uma dissociação do processamento visual em duas vias, uma ventral conectando a estria, pré-estria e áreas temporais inferiores, relacionada com a identificação de objetos (via do “o quê”), e outra dorsal, conectando a estria, pré-estria e áreas parietais inferiores, permitindo a sua localização espacial (via do “onde”) (Mishkin et al., 1983; Ungerleider e Mishkin, 1982). Goodale e Milner propuseram em 1992 uma perspectiva alternativa, em que a distinção entre os dois sistemas se baseava já não no tipo de informação visual que processavam (input) e sim no tipo de transformação da informação visual que produziam (output). Estes autores atribuíram à via ventral a função perceptual de reconhecimento e identificação do estímulo enquanto a via dorsal teria um papel no planeamento, controlo e orientação, em tempo real, do comportamento motor (Goodale & Milner, 1992; Milner & Goodale, 1995). Por outras palavras, enquanto o sistema ventral transforma a informação visual num quadro allocêntrico (exocêntrico) que suporta o reconhecimento dos objetos na sua relação com outros objetos, o sistema dorsal transforma a informação visual num quadro egocêntrico, que suporta a orientação e a interação do agente que percebe com os objetos.

Apesar da insistência de Milner e Goodale (1997) na necessidade da articulação funcional dos dois sistemas, que mantêm entre si múltiplas conexões, a distinção formulada entre “visão para a percepção” e “visão para a ação” motivou a investigação sobre as diferenças expetáveis,

neste quadro, entre os resultados de medidas psicofísicas assentes em julgamentos perceptivos (expressos, e.g., por respostas verbais) e os resultados obtidos com medidas assentes em respostas motoras, como apontar ou agarrar (Kerzel, 2006). Num estudo baseado na indução de movimento aparente num estímulo-alvo através de movimento do fundo, Bridgeman et al. (1981) verificaram que a resposta de apontar para o alvo (um quadrado que poderia ser deslocado de modo a compensar o movimento do fundo, sendo então percebido como imóvel, ou permanecer imóvel, sendo ilusoriamente percebido como afetado por um movimento) dependia fundamentalmente da posição verídica do alvo em coordenadas egocêntricas. Em linha com a hipótese de um sistema visual dual, os autores concluíram que o sistema motor utiliza informação espacial verídica e é menos afetado por mudanças relativas na informação retiniana do que o sistema perceptivo/cognitivo (ver, no mesmo sentido, Bridgeman et al., 1997). Contudo, o tema da maior fiabilidade espacial das respostas motoras relativamente aos julgamentos perceptivos constituiu apenas uma das questões (a primeira em dada) suscitadas pela proposta de dois sistemas visuais. No domínio da localização do movimento, e já não de objetos estáticos, o debate centrou-se na questão da extrapolação do movimento como forma de compensar (preditivamente) os atrasos neurais. Tem esta extrapolação lugar na via motora ou sensorio-motora “tardia” (visão para a ação) ou desde logo na via sensorio-perceptiva (visão para a perceção)?

Nijawhan (1994; 2001) defendeu, em articulação com a sua explicação do EFL, a possibilidade de extrapolação compensatória do movimento em ambas as vias, propondo mesmo um modelo computacional para a extrapolação sensorial do movimento com base nas “vias neurais diagonais” da retina (Nijawhan & Wu, 2009). Entretanto, no domínio de estudo do MR, foram produzidos vários resultados contrários a esta posição, sugerindo uma limitação da compensação dos atrasos neurais à via sensorio-motora. Numa tarefa de MR (realizada no escuro e com interdição de movimentos oculares) em que os participantes localizavam a última posição percebida de um estímulo em movimento que subitamente desaparecia, Kerzel e Gegenfurtner (2003) observaram uma ausência de MR com uma modalidade de resposta perceptiva (decisão sobre se essa posição era a mesma ou distinta da ocupada por um estímulo-sonda, idêntico ao alvo apresentado, apresentado após a desapareição) e um erro significativo para diante com uma resposta motora (apontar diretamente o local do desaparecimento). Os autores concluíram que os atrasos neurais eram apenas compensados após a transformação da informação retiniana para as coordenadas do espaço egocêntrico no qual decorre a resposta motora. Adicionalmente, estes resultados indicavam que, contrariamente à crença de que a informação espacial envolvida nas respostas motores é verídica e mais precisa do que a utilizada nos julgamentos perceptivos, os mecanismos de extrapolação incorporados no sistema sensorio-motor podiam na realidade originar erros de localização espacial (Kerzel & Gegenfurtner 2003).

Evidência convergente foi obtida por Kerzel (2003a), que reportou efeitos de MR crescentes com a passagem do método de sonda mnésica (julgamento perceptivo) para a localização mediada

por um cursor de rato e, finalmente, para respostas de apontar diretas. Para além de ilustrar igualmente maiores deslocamentos para diante com uma resposta de apontar direta do que com julgamentos perceptivos, Ashida (2004) observou ainda que a resposta de apontar realizada no escuro, sem que o ecrã fosse já visível (resposta em circuito-aberto, sem *feedback* visual) não era afetada pelo constrangimento dos movimentos oculares, enquanto o MR virtualmente desaparecia, nessas condições, com o julgamento perceptivo. Como indicado antes, no quadro do efeito *Frölich* e do efeito de repulsão do *onset*, Kerzel (2002a) e Kerzel & Gegenfurtner (2004) identificaram igualmente diferenças entre as duas modalidades de resposta, mostrando em particular que são moduladas diferentemente por fatores como a velocidade do alvo (EFs observados com julgamentos perceptivos em gamas de velocidade mais altas, OREs observados com respostas de localização motora em gamas de velocidade mais baixas).

No seu estudo seminal sobre a possibilidade de redução do EFL à combinação linear dos erros de localização absolutos do *flash* e do móvel, Shi e de'Sperati (2008) discutem possíveis consequências da opção por uma modalidade de resposta motora tanto para a localização do *flash* (colocação de um cursor semelhante ao *flash* na posição pretendida) como do móvel (um arco de círculo que os participantes deviam ajustar ao local onde o perceberam no momento da apresentação do *flash*) – contrastando com o método de julgamento perceptivo utilizado na medida do EFL enquanto erro relativo (método constante com julgamentos de escolha forçada: *flash* atrás/à frente do estímulo em movimento). Em particular, a possibilidade de que a utilização de respostas de localização motora, dirigidas a um estímulo de cada vez, imponham um quadro egocêntrico à localização e comprometam eventualmente o tipo de representações perceptiva aloécêntrica requerido pelo EFL (localização de dois objetos relativamente um ao outro) é considerada, mas descartada à luz do acordo verificado entre as medidas relativas do EFL e a combinação das medidas de erro absoluto (Shi e de'Sperati, 2008). O mesmo acordo aponta para o envolvimento de mecanismos de extrapolação de movimento perceptivo quando o EFL é medido enquanto erro relativo pelos métodos psicofísicos clássicos, sugerindo os autores que, enquanto esta extrapolação ocorre automaticamente no sistema motor, pode ser despoletada a “pedido” (como quando o *flash* solicita a localização do movimento naquele momento) na via visual perceptiva (ver também Eagleman & Sejnowski, 2007). Em qualquer caso, os resultados obtidos por Shi e de'Sperati (2008) indicam, pelo menos provisoriamente, a legitimidade e a utilidade de associar medidas de localização absoluta e relativa na investigação do EFL.

*Tipo de movimento.* A importância de um movimento perceptivamente contínuo para a produção do EFL foi assinalada em diferentes estudos. Rizk et al. (2009) fizeram variar a distância entre estímulos (ISD) apresentados brevemente, em sucessão, em diferentes localizações, de modo a produzirem uma impressão de movimento. Observaram uma diminuição não-linear do EFL com aumento da ISD, com a maior redução no ponto em que o movimento passava a ser

claramente percebido pelos participantes como descontínuo (dando lugar a uma impressão de *flicker*). Com a utilização de movimento estroboscópico (amostrado no “espaço-tempo” do movimento), Vreven e Verghese (2005) observaram, mais radicalmente, a quase desaparecimento do EF ( $\approx 0$ ).

No contexto do estudo do MR, o efeito da utilização de movimento contínuo versus implícito não parece obedecer a um padrão claro. Ao manipular a frequência de apresentação de estímulos indutores de movimento numa sequência, Kerzel (2003b) encontrou uma relação inversa à estabelecida por Rizk et al. (2009) no domínio do EFL, com o erro de localização para diante a aumentar com a diminuição da frequência (isto é, quando as diferenças entre apresentações sucessivas eram mais perceptíveis e o sinal de movimento, por conseguinte, “mais fraco”) Os autores atribuíram este resultado a uma extrapolação mental para diante no caso do movimento implícito e a uma extrapolação dependente dos movimento oculares de seguimento contínuo no caso do movimento contínuo (que por isso desaparece quando a fixação ocular é imposta) (ver também Kerzel, 2006). Uma relação distinta dos dois tipos de movimento com a atenção foi igualmente destacada por Kerzel (2004), que observou erros para diante superiores com movimento implícito apenas quando o participante podia prestar atenção à trajetória (desvanecendo-se o efeito do tipo de movimento quando a atenção se distribuía entre várias trajetórias). No entanto, resultados distintos e mesmo contrários aos de Kerzel foram reportados em diferentes estudos do MR. Utilizando movimento circular (como em Kerzel, 2003b), Munger & Owens (2004) não observaram quaisquer efeitos devidos ao tipo de movimento. Utilizando movimento com trajeto linear, Faust (1990) registou por sua vez magnitudes de MR superiores com movimento contínuo, e Poljanšek (2002) maiores efeitos no MR da aceleração e desaceleração do alvo com movimento contínuo.

Como indicado antes, efeitos diferenciais do tipo de movimento foram igualmente reportados para a localização do *onset* do movimento. Utilizando trajetórias lineares, Thornton (2002) obteve OREs significativos com movimento contínuo, mas virtualmente nulos com movimento implícito. Kerzel (2004) reportou a ocorrência de ORE com movimento contínuo e de EF com movimento implícito e aparente. Na configuração do EFL mais próxima das tarefas típicas de EF, o ciclo iniciado pelo *flash*, Eagleman & Sejnowski (2007) observaram um EFL maior quando o sinal de movimento era induzido pela apresentação de apenas duas posições consecutivas do estímulo móvel (inicial e final) do que quando eram utilizadas cinco posições indutoras (tornando o movimento perceptivamente mais contínuo). Este resultado é contrário aos de Rizk et al. (2009) e Vreven e Verghese (2005), que apontavam, diferentemente, para um aumento do EFL com a continuidade perceptiva do movimento. O facto de o EFL ocorrer quando apenas a posição inicial e final do movimento são apresentadas é, em todo o caso, compatível com a observação de Rizk et al. (2009) de que o EFL continuava a ocorrer (não era nulo) mesmo com grandes distâncias espaciais entre os estímulos indutores de movimento, e ainda com a

obtenção de EFL em tarefas envolvendo movimento descontínuo aleatório (Arrighi et al., 2005a; Murai & Murakami, 2016; Murakami, 2001a). Estes últimos resultados parecem sugerir que a previsibilidade do movimento (a existência de posições esperáveis no futuro) não é uma condição indispensável do EFL, contrariamente às indicações disponíveis, por exemplo, para o MR – sugerindo o seu cancelamento na ausência de uma trajetória previsível (Kerzel, 2002b; Verfaillie & d'Ydewalle, 1991, Verfaillie & Daems, 2002).

Considerada no conjunto, a evidência disponível sobre os efeitos do tipo de movimento (contínuo ou implícito) indica que o EFL ocorre com qualquer dos dois tipos de movimento. Os resultados são menos claros no caso do MR, do efeito *Fröhlich* e do ORE. O ponto essencial suscitado pelos trabalhos de Kerzel e colaboradores envolve fundamentalmente as interações do tipo de movimento com a presença ou ausência de movimentos oculares (ver abaixo) – apontando para a redução e mesmo desaparecimento dos efeitos, no caso do movimento contínuo, quando o seguimento ocular é interdito. No entanto, estes resultados mantêm-se em debate quer quanto à sua generalidade quer quanto ao seu significado (Hubbard, 2010; Hubbard, 2018b). Tendo em conta que a larga maioria dos estudos de EFL utilizou movimento (perceptivamente) contínuo, a opção por este tipo de movimento parece justificar-se quer do ponto de vista da comparabilidade com a literatura do EFL, quer do ponto de vista da comparabilidade entre medidas de localização de erro absoluto e relativo.

*Movimentos oculares.* Nos seus estudos clássicos com movimento circular, Nijhawan (1997; 2001) observou o cancelamento do EFL quando os participantes podiam seguir com os olhos o alvo em movimento, originando a ideia difundida de que a perseguição ocular impede o EFL. Este resultado é contrário ao reportado por Kerzel (2002a) no MR com movimento contínuo, onde a interdição do movimento ocular (e não a sua ocorrência) reduz substancialmente ou cancela o erro para diante. Num artigo de revisão sobre as similaridades e diferenças entre o EFL e o RM, Hubbard (2013) colocou por isso os efeitos do comportamento ocular do lado das diferenças. No entanto, a ocorrência de EFL na presença de movimentos de perseguição ocular foi documentada com trajetórias de movimento lineares (Rotman et al., 2002; van Beers et al., 2001).

A redução ou desaparecimento do MR na ausência de movimento ocular foi, numa primeira fase, utilizada por Kerzel como suporte para uma teoria de “baixo nível” do MR, interpretado como o resultado da combinação de uma extrapolação oculomotora (inercial) da posição final do movimento combinada com os efeitos da persistência retiniana e um enviesamento foveal (Kerzel, 2000; 2002c; Kerzel et al., 2001). Contudo, para além de evidência contrária sobre a ocorrência de MR com movimento contínuo apesar da imposição de fixação ocular (Getzmann & Lewald, 2009; Schmiedchen et al., 2013), o facto de o MR ocorrer com movimento implícito ou mesmo com representações instantâneas de ações em curso (Freyd, 1983; Futterweit & Beilin, 1994), bem como noutras modalidades que não a visual (auditiva: Getzmann & Lewald, 2007;

Getzmann, et al., 2004; tátil: Merz et al., 2019) e intermodalmente (e.g., Getzmann, 2007; Merz et al., 2020), assinala os limites de uma explicação baseada unicamente no comportamento oculomotor. Getzmann (2005a) e Getzmann & Lewald (2009) estabeleceram, por exemplo, que o MR auditivo espacial não é afetado pela permissão ou interdição de movimentos oculares. Mais geralmente, a existência de uma correlação entre movimento ocular e maiores magnitudes de MR com movimento contínuo não estabelece, em si mesma, um papel causal do movimento ocular, cuja relação com outros mecanismos de localização, designadamente de “alto nível”, se mantém em debate (Hubbard, 2005; 2006; 2010; 2018b).

Nijahwan (2001) ilustrou a possibilidade de produzir um EFL com base na ocorrência de movimentos de perseguição ocular de um alvo secundário (o FLE dizia neste caso respeito às relações entre um *flash* apresentado em torno de um ânulo estático que se mantinha presente no ecrã durante o movimento de perseguição), e Blohm et al. (2003) mostraram que este EFL podia mesmo ter lugar durante a execução de movimentos oculares antecipatórios, na ausência de qualquer estímulo em movimento no ecrã. Estes resultados podem aproximar-se de outros documentando a produção de EFL a partir não de movimentos do estímulo, mas de movimentos do corpo (rotações da cabeça ou de todo o corpo) (Schlag et al., 2000; Cai et al., 2000). Implicam, contudo, uma alteração importante da tarefa padrão do EFL, não sendo claro a sua relevância para o clássico efeito de atraso percebido de um *flash* relativamente à posição de um alvo móvel com o qual se encontra fisicamente alinhado. Mais relevantes parecem ser os efeitos documentados do movimento ocular no efeito de arrastamento de um *flash* para diante (*flash-drag*). Na hipótese de o EFL resultar da combinação de componentes de erro absolutas relativas ao *flash* e ao móvel, o *flash-drag* pode assumir um papel central na determinação do EFL. Evidência de que a posição percebida de um *flash* apresentado durante movimentos de seguimento ocular é deslocada no sentido do movimento ocular tem sido recolhida em vários estudos (Brenner & Cornelissen, 2000; Brenner et al., 2001; Blohm et al., 2003; Mateeff & Hohnsbein, 1988b; Rotman et al., 2002; Rotman et al., 2004; Schlag & Schlag-Rey, 2002). Alguma dessa evidência aponta no sentido de um envolvimento do movimento ocular na localização egocêntrica do *flash*, mas não na localização allocêntrica de dois *flashes* (Brenner & Cornelissen, 2000: este resultado não especifica, no entanto o que sucede na relação allocêntrica entre um estímulo-*flash* e um estímulo móvel). Duas outras indicações são a de que a posição percebida do *flash* mantém uma relação com a direção do olhar (Blohm et al., 2003), e de que a direção que conta é a do olhar após, não anteriormente, ao *flash* (resultado obtido em experiências onde o alvo móvel a perseguir mudava regularmente de direção) (Rotman et al., 2004). Estas últimas indicações permitem antecipar que outros erros de localização do *flash* para além do arrastamento para diante (e.g., erros no sentido contrário ao do movimento, erros ortogonais ao movimento, etc.) possam ocorrer na dependência do comportamento oculomotor (por exemplo, no ciclo do EFL terminado pelo marcador, onde o movimento cessa subitamente). Finalmente, pouca evidência consistente se encontra disponível

quanto ao efeito dos movimentos oculares na localização espacial de estímulos estáticos noutras modalidades para além da visual (ver e.g., Königs & Bremmer, 2010; Razavi et al., 2007).

Para além da evidência de que exercem, a par de vários outros fatores, um papel modulador no EFL, no MR ou no *flash-drag*, não parece possível afirmar que os movimentos oculares constituam a causa de qualquer um desses efeitos. Apesar de uma conceção clássica dos erros de localização como de natureza fundamentalmente sensório-percetiva encarar a motricidade ocular como um fator excedentário e uma “variável de confusão”, esta posição parece presumir excessivamente sobre a natureza do processamento da localização espacial (ver, como exemplo de uma conceção em que o planeamento motor e a integração sensoriomotora constituem ingredientes necessários da atribuição perceptiva de uma posição, Jordan et al., 2002). No atual estado do debate, é igualmente legítima a preocupação simétrica de que a interdição dos movimentos oculares em tarefas de localização possa impedir a manifestação de dimensões centrais (das quais o próprio movimento ocular dependeria) do processo de atribuição de posições perceptivas, designadamente na presença de movimento (ver, e.g. para uma discussão centrada no MR, mas generalizável a qualquer dos tipos de erro mencionados, Hubbard, 2005, 2006, 2010, 2018b).

## Latências diferenciais no processamento de sinais de posição e movimento: uma base temporal para o Efeito Flash-Lag?

Uma das possíveis interpretações para o EFL prende-se com as evidências nas latências diferenciais para o processamento de sinais de posição e movimento. De acordo com esta interpretação, o cérebro processa objetos em movimento mais rapidamente do que estáticos, de modo que, em qualquer momento, a representação neural da posição de um objeto em movimento é mais rapidamente atualizada do que a posição do *flash* (Whitney & Cavanagh, 2000; Whitney & Murakami, 1998).

Tem havido muito debate sobre se isso é um efeito do movimento na posição percebida ou um atraso relativo do *flash* em comparação com objetos em movimento.

A variabilidade na latência do sistema visual introduz ainda mais incerteza. Como a latência visual varia de acordo com as propriedades de um estímulo, conseqüentemente quando este apresenta diferentes atributos é processado com diferentes atrasos (Purushothaman et al., 1998).

### ***3.1. Evidências favoráveis e desfavoráveis.***

A hipótese das latências diferenciais defende que os estímulos estáticos e em movimento têm latências diferentes, mais concretamente que o sistema visual responde com uma latência mais curta a estímulos em movimento do que a estímulos estáticos (Whitney & Murakami, 1998; Whitney et al., 2000). Recentemente alguns estudos neurológicos têm fornecido alguns fundamentos a favor desta hipótese. Subramaniyan e colaboradores (2018) registaram respostas neurais a estímulos *flash* e em movimento no córtex visual primário (V1) de macacos acordados, em fixação passiva. Os autores concluíram que a latência de resposta a barras móveis, variando a velocidade, direção de movimento e luminância era menor do que a obtida com barras *flash*, o que suportaria o modelo de latência diferencial, postulando que as barras *flash* e móveis

apresentam latências diferentes. Para os investigadores os seus resultados poderiam também sugerir que o cérebro pode ter desenvolvido mecanismos para processar estímulos em movimento mais rápido e mais próximo do tempo real em comparação com estímulos estáticos que aparecem brevemente (Subramanayan et al., 2018). Outros autores encontraram resultados semelhantes, identificando uma pequena vantagem temporal no processamento de estímulos em movimento comparativamente a estímulos estáticos, com Orban et al. (1985) a observar esse facto em células do núcleo geniculado lateral em gatos, e Jancke et al. (2004) a documentá-lo também no córtex visual primário. Jancke e colaboradores (2004), de forma a investigar como o córtex visual primário representa a posição do objeto, estudaram em gatos a atividade neuronal na área 17. Os autores sugeriram que um estímulo móvel apresenta uma pré-ativação que lhe permite ser mais rapidamente processado, com uma latência 16 ms menor do que para *flashes*. Além disso, verificaram que os objetos que se movem em direção à fóvea têm latência menor do que os objetos que se afastam (Jancke et al., 2004). Estes resultados podem tomar-se como suporte para a hipótese das latências diferenciais. No entanto, alguns autores consideram que podem exprimir simplesmente características específicas do funcionamento cerebral dos gatos (Linares & Holcombe, 2008).

Estudos em macacos permitiram identificar que o córtex temporal médio (MT) está diretamente relacionado com o processamento e deteção de eventos visuais em movimento, sendo extremamente sensível ao movimento (Krekelberg & Albright, 2005). A questão sobre se os atrasos no sistema visual fazem com que a posição percebida de um objeto em movimento fique atrasada em relação à sua posição real tem sido baseada no facto de no sistema visual dos primatas ocorrer um atraso significativo na chegada dos sinais dos fotorreceptores às áreas corticais visuais (Nijhawan, 2002).

Com base nos trabalhos de Krekelberg e Albright (2005) em macacos e nos trabalhos de Nijhawan (2008) é consensual que a via neural da retina para o córtex motor deve viajar pelo menos dos fotorreceptores para V1 através das células bipolares, células ganglionares da retina e núcleo geniculado lateral, levando cerca de 40-70 ms nesse trajeto (Nijhawan, 2008). Além desse mecanismo inicial de *feedforward* para ativar a área V1, o processamento subsequente na área temporal média e na área temporal superior medial (MST) e as respostas resultantes no córtex motor adicionam atrasos adicionais (Krekelberg & Albright, 2005). Com base nestas evidências, assume-se que um estímulo em movimento inicia a ativação de determinadas áreas, propagando-se e excitando ou inibindo áreas retinotópicas adjacentes a V1, sendo essa a razão para a vantagem temporal de um estímulo em movimento já presente sobre um estímulo repentino como o *flash* (Gabbard, 2013).

Nijhawan & Wu (2009) propuseram um modelo computacional para esclarecer essa

compensação usando a via de informação visual da retina. Os autores apresentaram evidências de que a compensação pode acontecer tanto no sistema motor como no sensorial, e que a compensação usando ‘*vias neurais diagonais*’ é uma estratégia adequada para implementar a compensação no sistema visual (Nijhawan & Wu, 2009). No entanto, a questão tem sido também debatida tendo em conta as latências neurais e o momento de resposta ao estímulo, para cuja compreensão têm contribuído estudos de tempo de reação (TR) ao *onset* e *offset* do movimento. As latências de resposta neural ao *onset* do movimento visual são mais longas e apresentam uma maior dependência do estímulo, em comparação com latências no *offset* do deslocamento (Hansteen, 1971). No entanto, em tarefas de TR os sujeitos são mais lentos ao responder ao *offset* do deslocamento de um estímulo visual do que ao seu *onset* (Barnes & Mingolla, 2012; Di Lollo et al., 2000).

Embora as duas principais questões geralmente levantadas contra o modelo de latência diferencial sejam a escassez de evidência empírica sobre uma real diferença de latências entre estímulos em movimento e estáticos e a ocorrência de EFL na condição CIM (em que o movimento se inicia ao mesmo tempo que o *flash* é apresentado), estudos realizados abordando o efeito da luminância têm sido também utilizados para comprovar ou refutar esta hipótese.

Purushothaman *et al.* (1998) observaram que, através da diminuição da luminância do estímulo móvel, mantendo a luminância do *flash* em níveis suficientemente elevados, se tornava possível converter o atraso do *flash* numa liderança do *flash* (inversão do EFL). Estes resultados convergem com as previsões da hipótese das latências diferenciais, que antecipa um aumento das latências do processamento visual de um estímulo com a diminuição da sua luminância (permitindo esperar, no limite, o cancelamento e mesmo à inversão da vantagem temporal do estímulo móvel quando a sua luminância relativamente ao *flash* é diminuída).

No entanto, resultados contraditórios foram obtidos por outros autores, nomeadamente Gabbard e colaboradores (2013), ao utilizarem duas experiências com paradigmas CIM e CTM, com os resultados do primeiro paradigma a revelarem um efeito principal da luminância do estímulo em movimento e nenhum efeito ou interação com a luminância do estímulo *flash*. Também houve um efeito principal da direção do movimento relativamente à fóvea, mas nenhuma interação com a luminância do estímulo em movimento. O estímulo de movimento com menor luminância produziu um EFL maior do que o mais brilhante em qualquer das direções (foveofugal ou em aproximação à fóvea). Estes resultados contrariam a hipótese das latências diferenciais, em que um estímulo em movimento mais brilhante deve resultar na mesma ou em maior vantagem, produzindo um maior EFL. Estes resultados argumentam fortemente contra a hipótese das latências como explicação do FLE pelo menos na condição CIM (Gabbard, 2013).

Eagleman and Sejnowski (2000), usando um paradigma CIM, obtiveram também resultados discordantes com a hipótese das latências diferenciais. Os autores consideraram que a hipótese

das latências diferenciais previa que o *flash lag* percebido deveria mudar no caso de o *flash* ser apresentado antes do estímulo em movimento (i.e., com um avanço temporal). Aos observadores foi solicitado que ajustassem o ângulo de um ponteiro em linha na direção do início da trajetória de um anel em movimento. O ângulo ajustado do ponteiro mostrou não depender da assincronia do início dos estímulos (SOA) entre o objeto em movimento e o *flash*, contrariando as previsões da hipótese das latências. Mesmo que um avanço temporal substancial fosse concedido ao *flash*, o resultado final não se alterava.

Patel e colaboradores (2000), numa resposta a Eagleman & Sejnowski (2000), consideraram que as conclusões do estudo não contradiziam a hipótese das latências diferenciais, que prevê que o desalinhamento do *flash* dependerá não apenas do SOA, mas também da dinâmica temporal do processo que calcula a posição do objeto em movimento, sendo necessário que o observador julgue o desalinhamento espacial entre o *flash* e os objetos em movimento no instante em que o objeto iluminado é percebido. Para os autores esse instante no tempo fornece uma referência temporal necessária para comparar a posição do movimento e objetos iluminados (Patel et al., 2000).

Na condição *offset* do *flash*, CTM, a maioria dos autores reporta ausência de EFL, concluindo que o EFL ocorre quando existe um objeto em movimento que continua o seu percurso, mas é eliminado se o movimento termina com o aparecimento do *flash* (Eagleman & Sejnowski, 2000; Khurana & Nijhawan, 1995; Nijhawan et al., 2004). No entanto, alguns autores têm apresentado resultados discordantes, apontados como argumentos contra a tese das latências diferenciais.

Kanai e colaboradores (2004), utilizando a condição CTM, verificaram que em determinadas condições era possível observar um EFL significativo, enquanto noutras condições isso não era possível, referindo como principais fatores modulatórios a excentricidade do objeto móvel, a excentricidade do objeto *flash* e a separação espacial entre ambos. Embora o EFL encontrado pelos investigadores nesta condição fosse menor do que o obtido na condição clássica CC, o efeito estava presente (os autores sugeriram que isto não acontecia noutros estudos em virtude de ambos os estímulos serem tipicamente apresentados perto da fóvea e com uma pequena separação entre si).

Outros fatores, como o contraste e o deslocamento do estímulo em movimento, têm também sido destacados como fatores moduladores da magnitude do EFL no CTM (Kanai et al., 2004).

Nijhawan e colaboradores (2004) apresentaram também argumentos contra a tese das latências diferenciais, questionando se objetos em movimento, que estimulam uma sequência de localizações retinianas adjacentes, são processados mais rapidamente do que *flashes*, que estimulam apenas uma única posição retiniana. Foi utilizado um paradigma CIM. Os tempos de resposta dos observadores a estímulos em movimento a estímulos *flash* foram medidos, tendo

igualmente sido solicitados julgamentos de ordem temporal entre estímulos em movimento e estímulos *flash* e avaliada a dependência dos resultados relativamente à velocidade do estímulo em movimento. Os resultados revelaram um aumento do EFL na condição CIM com o aumento da velocidade. Indicaram também que a diferença nos tempos de resposta entre os estímulos móveis e o estímulo *flash*, na média das quatro condições, não foi significativa, e que, do ponto de vista das diferenças individuais, os observadores não responderam consistentemente a objetos em movimento mais rapidamente do que aos *flashes*. Os autores concluíram que o sistema nervoso não parece processar mais rapidamente objetos em movimento do que estímulos *flash* estáticos (Nijhawan et al., 2004).

O tipo de movimento do estímulo móvel tem também contribuído para o debate sobre esta hipótese. Murakami (2001a), usou uma barra cujo movimento consistia numa sucessão de saltos aleatórios entre posições relativamente às quais a localização do *flash* no espaço-tempo foi julgada. De acordo com os autores, a hipótese original das latências diferenciais não poderia explicar o correlograma espaço-temporal obtido, exceto se a latência diferencial fosse considerada como obedecendo a uma função de densidade de probabilidade Gaussiana. O valor de  $\mu$  (média da distribuição) foi estimado em 60–80 ms, sugerindo que o *flash* surge atrasado em relação ao objeto em movimento. O valor de  $\sigma$  (desvio-padrão da distribuição) foi estimado em mais de 50 ms, sugerindo que o *flash* às vezes é percebido mais de 130 ms depois do objeto em movimento, às vezes ao mesmo tempo, ou até mesmo antes do objeto em movimento (Murakami, 2001a).

Como assinalado acima pela referência ao estudo de Nijahwan et al. (2014), algumas das evidências contra o modelo das latências diferenciais têm sido encontradas nas comparações entre as latências de estímulos em movimento e estáticos, avaliadas por julgamentos de ordem temporal, com diversos estudos cujos resultados não mostram nenhuma diferença significativa entre os processamentos temporais dos dois tipos de estímulos.

Resultados semelhantes aos de Nijahwan et al. (2004) foram também encontrados por Baldo e Cravo (2004). Os autores testaram a teoria de que objetos estáticos e em movimento, apresentados abrupta e simultaneamente, devem ser percebidos com uma assincronia temporal ilusória. Os sujeitos realizaram julgamentos de ordem temporal (TOJ) entre dois estímulos visuais de início abrupto apresentados nos hemisférios direito e esquerdo em três combinações diferentes: dois pontos em movimento, dois pontos estáticos e um ponto estático e um em movimento. Os resultados sugeriram que o efeito *flash-lag* resultaria de latências diferenciais, mas não entre os objetos *flash* e dinâmicos e sim entre estímulos de início abrupto e estímulos contínuos (Baldo & Cravo, 2004).

Em estudos posteriores, Cravo e Baldo (2008), encontraram resultados semelhantes, ao explorarem numa abordagem simultaneamente psicofísica e computacional a relação existente entre tarefas de localização espacial e julgamentos de ordem temporal. Usando um paradigma CIM, os observadores reportavam a localização do estímulo móvel, em relação a uma linha horizontal imaginária, que passava entre o estímulo estático e o ponto de fixação, no momento em que o estímulo estático era apresentado. Os resultados obtidos das curvas psicométricas e a média dos pontos de simultaneidade percebida foram significativamente diferentes de zero, o que indicava a presença do EFL na condição CIM, na tarefa de ordenação temporal. O ponto de simultaneidade extraído das curvas psicométricas mais bem ajustadas correspondia à assincronia temporal entre os dois estímulos necessária para evocar a percepção de simultaneidade, no entanto, a média não foi significativamente diferente de zero, o que indicaria que as latências decorrentes da percepção seriam semelhantes para os estímulos estáticos e móveis (Cravo & Baldo, 2008).

Os resultados obtidos por Chappell e colaboradores (2006), para testar a hipótese de latência diferenciais, relativos a julgamentos de ordem temporal, também revelaram que os valores médios dos pontos de simultaneidade não foram significativamente diferentes de zero. Os participantes julgaram se um objeto *flash* foi apresentado antes ou depois do início do movimento do alvo, reversão da direção do alvo ou deslocamento do movimento do alvo. No entanto nas conclusões os autores referem que os seus resultados mostram que uma explicação completa do efeito *flash-lag* deve ter em conta o efeito de captura de atenção e possivelmente de mascaramento do *flash*, destacando que a mera presença de um *flash* altera a percepção da posição de um objeto em movimento, não podendo ter um papel neutro nos julgamentos temporais e espaciais. Consideraram também a existência de um processo de integração temporal, desde que a janela de integração usada por esse processo não comece antes do *flash* ou da trajetória, considerando que tal pode ser consequência de uma latência diferencial entre o processamento de *flashes* e objetos em movimento (Chappell et al., 2006).

### ***3.2.Efeitos de Flash-lag intermodais: Um desafio à explicação do Efeito***

#### ***Flash-Lag por latências diferenciais.***

##### ***3.2.1. Flash-lag auditivo e audiovisual.***

A hipótese clássica das latências assenta na ideia de um processamento mais rápido de estímulos em movimento comparativamente a estímulos estáticos. Este diferencial de latências induziria um atraso do instante ( $t + x$ ) em que o *flash* apresentado em alinhamento espacial com uma dada posição do móvel acede à consciência perceptiva, relativamente aquele ( $t$ ) em que essa posição do móvel é percebida. Deste modo, no momento em que os estímulos (*flash* e móvel) são percebidos como simultâneos ( $t + x$ ), o móvel ocupa já uma posição espacialmente adiantada relativamente à posição do *flash*. (Ögmen et al., 2004; Purushothaman et al., 1998; Whitney & Murakami, 1998). Esta versão clássica, implicando um desfasamento temporal percebido entre o *flash* e o móvel, é contrariada pela observação de que, quando o *flash* é apresentado no início do trajeto de movimento, continua a poder observar-se um EFL, apesar de vários estudos revelarem que os dois estímulos são corretamente percebidos como simultâneos (Cravo & Baldo, 2008; Eagleman & Sejnowski, 2000c; Kreepiguu e Allik, 2003). O resultado já conhecido desde os trabalhos de Metzger (1932) de que o EFL (com o *flash* apresentado a meio do trajeto) ocorre igualmente quando o *flash* é apresentado em movimento, entretanto consistentemente replicado (Cravo & Baldo, 2008; Gauch & Kerzel, 2008; Krekelberg & Lappe, 1999), indica igualmente a inadequação duma explicação do EFL pelas diferenças de latência entre estímulos estáticos e em movimento.

No entanto, na forma transformada de uma diferença de latências entre estímulos contínuos e com início abrupto (e não entre estímulos estáticos e em movimento), a hipótese das latências mantém-se compatível com o conjunto dos resultados acima mencionados. Isto foi elegantemente demonstrado por Bravo e Caticha (2005) e Cravo e Baldo (2008) com base num modelo neural simples que previu, quando o *flash* era apresentado em alinhamento com o início do movimento, a ocorrência de EFL (desfasamento espacial) acompanhada por uma ausência de desfasamento temporal (equivalente à percepção de simultaneidade num julgamento de ordem temporal). A razão, tornada clara no modelo (que combina conexões convergentes e divergentes entre camadas e latências neurais associadas a processos de ativação e transmissão sináptica), prende-se com as dinâmicas de facilitação espaço-temporal geradas após a apresentação dos estímulos – determinando uma redução progressiva da latência do estímulo em movimento e, desse modo, a emergência de latências diferenciais (secundárias, não preexistentes) entre os dois estímulos (Baldo & Caticha, 2005, Cravo & Baldo, 2008).

Embora ilustrem a complexidade das relações entre medidas de latência (e.g., Julgamentos de Ordem Temporal) e o EFL, e a ilegitimidade de tomar, sem outros constrangimentos, a dissociação entre efeitos temporais e espaciais como uma refutação da hipótese das latências, os resultados de Baldo e Caticha (2005) e Cravo e Baldo (2008) incidem unicamente sobre as latências secundárias ao processamento de estímulos contínuos e abruptos. Outras diferenças de latência podem na realidade ser consideradas, como as que envolvem diferentes modalidades sensoriais (com diferentes propriedades neurais), e ser utilizadas na avaliação do papel desempenhado pelas latências no EFL. Esta foi a via seguida por Alais & Burr (2003) e Arrighi et al. (2005a).

O estudo de Alais & Burr (2003) demonstrou pela primeira vez a existência de um EFL auditivo (com ambos os estímulos, estático e em movimento, apresentados auditivamente) e audiovisual (com um dos estímulos apresentado na modalidade auditiva e o outro na modalidade visual). Os autores utilizaram movimento auditivo tanto no domínio das frequências (alterações dinâmicas no espectro das frequências) como no espaço (trajeto subentendendo um ângulo visual de 40° obtido através da manipulação de diferenças de tempo interaurais – ITD – com uma resolução temporal de 15 ms), obtendo em ambos os casos um EFL robusto (em virtude da sua comparabilidade direta com o EFL visual, apenas consideramos adiante os resultados obtidos com movimento no espaço). Incluíram ainda no seu estudo tarefas correspondentes aos ciclos completo, iniciado e terminado pelo marcador, replicando o resultado comum na literatura do EFL visual: (i) EFLs com magnitudes semelhantes nos ciclos completo e iniciado pelo marcador, e (ii) um EFL nulo no ciclo terminado pelo marcador. Estes resultados somam-se aos de outros estudos indicando que o EFL não depende de mecanismos exclusivamente visuais ou visuo-espaciais, ocorrendo também noutras modalidades, como o tato (Cellini et al., 2016), e intermodalmente (para a ilustração de efeitos de EFL visuovestibulares, visuo-hápticos e visuo-cinestésicos (ver Cai et al., 2000; Drewing et al., 2018, Nijhawan & Kirschfeld, 2003). Convergem igualmente com evidência mais geral sobre a natureza pelo menos parcialmente amodal/transmodal dos mecanismos subjacentes a outros erros de localização (para a demonstração de um Efeito *Frölich* auditivo, ver Getzmann, 2005a; para a demonstração de momento representacional auditivo, Getzmann et al., 2004; Getzmann & Lewald, 2009; Schmiedchen et al., 2013).

Estabelecida a existência de um EFL auditivo e de EFL intermodais (movimento auditivo e *flash* como estímulo estático; movimento visual e tom de 40 ms como estímulo estático), os autores propuseram-se utilizar a ordem relativa da magnitude dos EFL como forma de testar a validade da hipótese das latências diferenciais. O maior valor de EFL foi registado na condição auditiva unimodal e o menor valor na condição visual unimodal. Nas condições intermodais, com valores intermédios, a tarefa com movimento auditivo e estímulo estático visual produziu um EFL menor do que a tarefa simétrica, com movimento auditivo e estímulo estático visual. Com a

primeira letra a designar a modalidade do estímulo estático e a segunda a do movimento, a ordenação completa do EFL foi assim: AA > AV > VA > VV. Na hipótese de as latências diferenciais explicarem estes resultados, a ordenação de latências implicada seria a seguinte: latência do movimento auditivo < movimento visual < estático visual < estático auditivo (Kreekelberg, 2003). Com efeito, estando associado a maiores EFL do que o *flash* visual, quer quando combinado com movimento auditivo quer visual, o estímulo estático acústico deveria ter as maiores latências; por outro lado, uma vez que produz os maiores EFL, quer quando combinado quer com o “*flash* visual” quer com o “tom breve”, o movimento auditivo deveria possuir as menores latências (Alais & Burr, 2003). Esta ordem de latências é dificilmente compaginável com a evidência característica de menores latências no processamento de estímulos estáticos auditivos do que visuais (Arrighi et al., 2005a; Goldstone, 1968; Jaskowski et al., 1990; Rutschmann & Link, 1964; Shelton e Kumar, 2010) e com a superioridade tipicamente admitida da modalidade visual na deteção de movimento (Chaplin et al, 2018; Van der Stoep & Alais, 2020), levando os autores a excluir o modelo das latências como uma interpretação plausível dos seus resultados (Alais & Burr, 2003).

Arrighi et al. (2005a) prolongaram o estudo de Alais & Burr (2003) investigando, por um lado, o EFL acústico e intermodal (audiovisual) com uma técnica de movimento aleatório (descontínuo e sem direção constante) introduzida por Murakami (2001a) e, por outro lado, as latências percetivas associadas a estímulos visuais e auditivos estáticos e em movimento – avaliadas por três medidas independentes: julgamentos de ordem temporal, TR e tempos de integração. Um EFL robusto foi obtido na condição com movimento visual e marcador estático acústico (uma evidência adicional, suportada por um novo método, da existência de EFL intermodal). As três medidas de latência convergiram, por sua vez, na indicação de menores latências dos estímulos estáticos acústicos do que dos *flashes* visuais, e de latências substancialmente maiores na deteção do *onset* do movimento de estímulos auditivos do que de estímulos visuais. Esta ordenação consistente (transversal às três medidas) das latências é contrária à implicada pela ordenação das magnitudes de EFL observada no estudo de Alais & Burr (2003), fortalecendo assim a conclusão de que as diferenças de latência neural entre a visão e a audição não explicam os resultados do EFL auditivo e intermodal audiovisual.

Por envolver diferenças de latência entre modalidades, ortogonais (e, por conseguinte, irreduzíveis) às diferenças entre estímulos estáticos/abruptos e contínuos, o impacto crítico dos estudos de Alais & Burr (2003) e Arrighi et al. (2005a) abarca não apenas a versão clássica da hipótese da latência (maior facilidade de processamento de estímulos em movimento) como os seus alargamentos e reformulações – incluindo, e.g., a modelização da latência como uma variável aleatória com distribuição de probabilidade gaussiana (ver Murakami, 2001a), ou como o resultado da interação entre distintos canais de processamento dos estímulos estático e em movimento, com propriedades dinâmicas variáveis em função dos atributos dos estímulos

(modelo multicanal das latências diferenciais: Kafaligönül et al., 2010; Ögmen et al., 2004). Resultados aparentemente contrários aos de Alais & Burr (2003) foram reportados por Hine et al. (2003). Utilizando um clique em vez de um *flash* para assinalar o momento da localização de um alvo visual em movimento, os autores observaram um efeito *flash-lead* em vez de um *flash-lag*. No entanto, para além de se limitar a uma única condição intermodal, a tarefa desenhada pelos autores distinguia-se marcadamente, como reconhecem na discussão, da de Alais & Burr (2003), envolvendo a localização do alvo móvel relativamente a uma cruz de fixação no momento em que um som não espacializado era apresentado. Diferentemente, no caso de Alais & Burr (2003) tratava-se de localizar um estímulo visual relativamente a um estímulo acústico estático espacializado (reproduzindo assim, agora numa condição intermodal, a situação característica do EFL unimodal visual).

Num estudo recente, Hayashi e Murakami (2019) propuseram por sua vez a existência de mecanismos distintos subjacentes ao EFL intramodal e ao EFL intermodal (limitado no estudo à condição som estático-movimento visual). O EFL intramodal admitiria uma explicação em termos de latências diferenciais e tempos de integração, enquanto o EFL intermodal assentaria num processo de assimilação temporal entre o clique sonoro e uma experiência de fluxo visual consecutiva, mas interpretada como simultânea com o clique. Na realidade, a proposta de Hyashi e Murakami (2019) advoga já não uma interpretação do EFL em termos de latências diferenciais, e sim com base em diferentes mecanismos de emparelhamento temporal, incorporando, para além de um papel das latências diferenciais em certas circunstâncias, um papel fundamental da integração posicional (e.g., Krekelberg & Lappe, 1999) e, potencialmente, de outros mecanismos de ordem superior (e.g., deslocação atencional, associação de marcadores temporais: Baldo & Klein 2010; Linares et al., 2009; Nishida & Johnston, 2002). Neste sentido, é inteiramente compatível com as conclusões deriváveis dos estudos de Alais & Burr (2003), cujos resultados não excluem a possibilidade de um papel das latências diferenciais no EFL, particularmente visual, e sim que a hipótese das latências forneça uma explicação geral do EFL (Arrighi et al., 2005a; Krekelberg, 2003). Em geral, a contribuição líquida dos estudos do EFL auditivo e audiovisual pode assim entender-se como convergente com várias outras linhas de evidência apontando para um papel modulador, mas não causal, das latências diferenciais no EFL (Arnold et al., 2009).

### ***3.2.2. Deslocações da atenção no espaço e entre modalidades.***

As primeiras propostas “modernas” (posteriores ao trabalho de Nijhawan, 1994) de leitura atencional do EFL assentaram na demonstração de efeitos da excentricidade do *flash*, indicando maiores magnitudes do EFL com o aumento da excentricidade (Baldo & Klein, 1995). A

interpretação proposta para este efeito invocava tempos de deslocação atencional mais longos entre posições mais excêntricas do *flash* e o movimento a localizar (admitindo uma captura inicial da atenção pelo *onset* abrupto do *flash*). Reconhecendo o risco de confusão entre variáveis atencionais e sensoriais (e.g., grau de resolução espacial) nas manipulações de excentricidade do *flash*, os mesmos autores suportaram posteriormente a sua interpretação através de manipulações da previsibilidade da localização espacial do *flash* (variando a sua probabilidade, independentemente da excentricidade) (Baldo, Kihara, & Klein, 2000; Baldo et al., 2002; Baldo & Namba, 2002) e da utilização de pistas centrais (simbólicas) que indicavam, com validade de 80%, o hemisfério visual no qual o *flash* seria apresentado (Namba & Baldo, 2004). Uma diminuição do EFL com o aumento da previsibilidade espacial do *flash* suportou convincentemente um papel da atenção espacial endógena enquanto variável moduladora do EFL. Shioiri et al. (2010) documentaram, neste sentido, a possibilidade de utilizar as variações de magnitude do EFL como um índice quantitativo da distribuição de atenção visual espacial em torno do local assinalado por uma pista.

A deslocação espacial da atenção não pode dar conta dos EFL observados em tarefas em que o marcador é apresentado no mesmo local que o movimento (e.g., um disco apresentado brevemente no interior de um círculo em movimento) e não em coordenadas espaciais separadas (e.g., Becker et al, 2009; Eagleman & Sejnowski, 2000a). Mantém-se possível, no entanto, admitir ainda nestas circunstâncias a contribuição para o EFL de latências associadas à deslocação da atenção (já não no espaço físico, mas num espaço de atributos/dimensões perceptivas, e.g., mudança da atenção à cor para a atenção ao movimento) ou ao processo da sua difusão num mesmo objeto que integraria o estímulo estático e dinâmico como partes (ver Baldo & Klein, 2010). Este ponto torna-se especialmente relevante no quadro das variantes intermodais do EFL, onde uma contribuição de latências associadas a deslocações atencionais entre modalidades (eg., auditiva e visual), pode somar-se, anular ou interagir com os efeitos dos deslocamentos da atenção espacial (quando os estímulos estáticos e em movimento se encontram espacialmente separados).

A literatura consagrada à atenção intermodal torna possível colocar, a esse propósito, diferentes questões. Uma primeira é justamente a da relação entre a atenção ao espaço e às modalidades. Muitos dos estudos consagrados à deslocação da atenção entre modalidades utilizaram na realidade fontes de estimulação separadas para as diferentes modalidades – um problema identificado por Spence e Driver (1997) como um sério obstáculo metodológico à separação entre efeitos da atenção baseada no espaço e nas modalidades. Num estudo sobre alterações não-espaciais da atenção entre a visão e a audição, no qual controlaram este e outros problemas metodológicos apontados por Spence e Driver (1997), Turatto et al. (2002) documentaram: (i) uma captura automática (exógena) da atenção pela modalidade de um primeiro estímulo quando os participantes deviam processar um estímulo subsequente – cuja modalidade, mesma ou diferente, não podia ser prevista a partir do estímulo precedente – apresentado no

mesmo local; (ii) efeitos de atenção endógena induzidos pela modalidade do primeiro estímulo em função do grau em que constituía uma pista válida (80% versus 50%) quanto à modalidade, congruente ou incongruente, do segundo estímulo. Estes resultados mostram que as deslocações de atenção entre as modalidades visual e auditiva podem envolver mecanismos tanto exógenos como endógenos, independentes de deslocações da atenção espacial. Através da comparação dos efeitos de pistas informativas apenas quanto à modalidade e de pistas informativas simultaneamente quanto à modalidade e local de apresentação, Spence e Driver (1997) ilustraram, por sua vez, efeitos separáveis dos dois tipos de informação. Reforçando esta conclusão, Vibell et al. (2017) encontraram num estudo com potenciais evocados, evidência favorável a diferentes mecanismos neurais subjacentes à atenção a modalidades sensoriais específicas e a localizações espaciais.

Uma segunda questão envolve o mecanismo através do qual a alocação atencional à modalidade exerce os seus efeitos. A interpretação proposta para os efeitos da previsibilidade do *flash* na redução do EFL envolveu a ideia de uma aceleração atencional “top-down” do processamento do *flash* (reduzindo desse modo o tempo entre a sua apresentação e a localização do movimento), isto é, de um efeito de prioridade de entrada atencional (Baldo, Khiara et al., 2002; Baldo & Namba, 2004). Esta foi igualmente a interpretação avançada para os resultados das “experiências de complicação” conduzidas no final do século XIX com cliques acústicos e movimento visual (ver, e.g., Berlyne, 1974; Leatherman, 1940). No entanto, a hipótese de que a alocação de atenção à modalidade acelera o processamento de estímulos apresentados nessa modalidade manteve-se objeto de debate, com evidência tanto favorável como desfavorável reportada na literatura (Spence, Shore, et al., 2001). Num estudo sobre os efeitos da manipulação da expectativa quanto à modalidade do estímulo (auditiva, visual ou tátil), Spence, Nichols, et al. (2001) concluíram que os benefícios observados nos TR quando o estímulo surgia na modalidade atendida se deviam, não a mecanismos atencionais guiados pela expectativa, e sim a efeitos de *priming* não controlados entre ensaios consecutivos. Zampini et al (2005a) demonstraram, entretanto, num estudo com julgamentos de simultaneidade em que controlaram os diversos fatores de confundimento apontados à investigação anterior, efeitos robustos de prioridade de entrada audiovisual. Numerosa evidência acumulada, tanto psicofísica como eletrofisiológica, suporta hoje em dia a existência de efeitos de aceleração perceptiva baseados na atenção endógena à modalidade (ver revisão de Spence & Parise, 2010), assegurando um conteúdo à noção de *prioridade de entrada multissensorial* (Spence, Shore, et al., 2001).

Os mecanismos de deslocação atencional propostos no quadro do EFL, envolvendo, para além do processamento do *flash*, o processamento posterior dos estímulos em movimento com vista à sua localização (a ideia de um processamento sequencial do marcador e do móvel é explícita ou implicitamente assumida em vários modelos do EFL: ver e.g., Baldo, Kihara, et al., 2002; Becker et al., 2009; Priess et al., 2012), dificultam, entretanto, uma previsão clara dos

efeitos de uma manipulação da expectativa quanto à modalidade do marcador no EFL intermodal. Enquanto a congruência do estímulo estático com a modalidade atendida prevê uma facilitação do seu processamento (e, por aí, no quadro explicativo das latências, uma redução da magnitude EFL), a sua eventual incongruência com a modalidade do movimento (e.g., caso de um estímulo estático auditivo e um movimento visual) poderia, num momento seguinte, dificultar o processamento da localização do movimento na outra modalidade. Sob a designação de “efeito de alteração da modalidade” (EAM), uma lentificação da resposta a alvos precedidos por estímulos numa modalidade distinta encontra-se com efeito robustamente documentada (Lukas et al., 2014; Spence & Driver, 1997; Turatto et al., 2002) – podendo, por hipótese, reduzir, compensar ou mesmo inverter os ganhos devidos à congruência do estímulo estático com a sua modalidade atendida.

Na interpretação proposta por Spence & Driver (1997), o EAM é um efeito inteiramente exógeno, dependente apenas da ordem de sucessão dos estímulos. Roebuck et al. (2021) defenderam, diferentemente, que o chamado EAM depende, não da modalidade do estímulo precedente e sim da dificuldade do seu processamento (independentemente da modalidade). Em experiências com TR, os autores observaram maiores custos na transição da modalidade visual para a auditiva (comparativamente à transição simétrica) quando o estímulo visual era identificado mais lentamente do que o auditivo em apresentações isoladas, e maiores custos na transição da modalidade auditiva para a visual quando o estímulo auditivo era identificado mais lentamente do que o visual em apresentações separadas. Ao indicarem que o impacto da deslocação da atenção entre modalidades depende da facilidade relativa do processamento dos estímulos (no contexto de uma dada tarefa), os resultados de Roebuck et al. (2021) questionam igualmente a leitura clássica das várias evidências de assimetria na alocação endógena de atenção às modalidades. Maiores dificuldades na transição atencional da visão para a audição ou o tato do que o contrário foram inicialmente documentadas (Posner et al., 1976) e atribuídas a uma *dominância da visão* na gestão da atenção intermodal (tendência para privilegiar atencionalmente a visão, compensando um alegado déficit comparativo na “capacidade de alerta” dos estímulos visuais). Spence, Nichols et al. (2001) encontraram, por sua vez, evidência de uma maior dificuldade em deslocar a atenção do tato para a audição e a visão do que o contrário, conjecturando que este resultado poderia sinalizar a dificuldade em transitar duma representação no espaço peripessoal (tato) para representações no espaço extrapessoal (visão, audição). A investigação de Roebuck et al. (2021) desafia a interpretação destes efeitos de dominância como devidos à modalidade, mostrando que o padrão de custos associado às transições atencionais entre modalidades se altera em função da dificuldade de processamento de cada um dos estímulos.

Uma terceira questão envolve a relação entre a mudança de atenção entre tarefas (*task-switching*) e a deslocação da atenção entre modalidades (*modality-shifting*). No quadro do EFL,

não é claro o grau em que o processamento do estímulo estático, especificando o momento (tarefa temporal) em que o estímulo em movimento deve ser localizado, e o processamento do estímulo em movimento, implicando a determinação da sua posição (tarefa espacial) no momento da apresentação do *flash*, constituem tarefas distintas a realizar consecutivamente. A deslocação da atenção entre modalidades no EFL intermodal poderia, neste sentido, considerar-se como ocorrendo num contexto de potencial deslocação de atenção entre tarefas. Indicações de que as transições atencionais entre tarefas e entre modalidades dependem de processos de controlo executivo independentes têm sido reportadas (Murray et al., 2009). Num sentido algo diferente, evidência de que os custos combinados dos dois tipos de transição atencional são subaditivos têm igualmente sido recolhida (Hunt & Kingstone, 2004) apontando para a sua interdependência. Sandhu & Dyson (2013) mostraram, adicionalmente, que esta interdependência varia com a combinação específica tarefa-modalidade. Resultados como os de Sandhu & Dyson (2013) permitem conceber efeitos estratégicos – e não apenas de aceleração ou lentificação – da deslocação atencional entre modalidades, assentes, por exemplo, na adequação diferencial das modalidades à tarefa. A hipótese da “adequação da modalidade” defende que a audição é preferida à visão em tarefas envolvendo operações temporais, e a visão à modalidade auditiva em tarefas de natureza espacial (Welch, 1999; Welch & Warren, 1980, 1986). A utilização de um estímulo estático auditivo, isolado ou em associação com um *flash*, numa tarefa de EFL intermodal poderia, deste modo, induzir um incremento (estratégico) da ponderação da informação temporal do estímulo (especificação do *timing* da localização do movimento) dando lugar não apenas a alterações da velocidade (e por aí das latências) como da própria natureza do processamento (com eventual impacto na exatidão e precisão da localização final do movimento: ver, e.g., Vroomen e de Gelder, 2004; Brenner & Smeets, 2000).

Apontando para uma independência da atenção intermodal relativamente à atenção ao espaço, a literatura disponível sugere o interesse de considerar os efeitos da deslocação da atenção entre modalidades no quadro do estudo do EFL. Duas vantagens podem assinalar-se, em particular: (i) o alargamento do âmbito da investigação do papel das latências atencionais no EFL, incorporando designadamente novas possibilidades de avaliação (e.g., efeitos de prioridade de entrada multissensorial, efeitos de alteração da modalidade); (ii) o alargamento da investigação a eventuais efeitos estratégicos da atenção endógena às modalidades, baseados não em mecanismos de latência e sim na calibração intermodal de diferentes dimensões informativas relevantes para os objetivos da tarefa (e.g., *timing* da localização e posicionamento espacial: ver Degerman et al., 2007; van Ee et al., 2009).

---

## Parte II

### Contributos empíricos

---



## 1ª Série experimental

### Erros de localização absoluta do móvel e do marcador: efeitos de modalidade do movimento; efeitos de modalidade e de probabilidade do marcador.

#### 4.1 Racional e Objetivos

As experiências reportadas e analisadas neste capítulo procuram contribuir com elementos de resposta para o conjunto de questões em aberto identificadas nos pontos 2.2. e 3.2. do estado da arte anterior. Todas partilham um arranjo de base comum, inspirado no estudo de Müsseler et al. (2002) referido acima (ver ponto 2.2.1. ), embora sujeito a alterações e alargamentos significativos. Com o objetivo de comparar a localização perceptiva de um estímulo móvel no momento da apresentação de um marcador estático no início, meio, ou termo do trajeto, Müsseler et al. (2002) variaram aleatoriamente, num único bloco de ensaios, as três possibilidades de ocorrência do marcador, devendo os participantes indicar, em cada ensaio, a posição percebida do móvel através do ajuste de um cursor. O marcador era apresentado com um desfaseamento ortogonal constante relativamente ao trajeto do movimento (1.8° a.v.). De modo a contrariar a sua utilização como um indicador válido da posição do móvel, podia ainda encontrar-se espacialmente alinhado com a posição ocupada pelo móvel no momento em que era apresentado, ou envolver desvios simétricos de  $\pm 1^\circ$  relativamente a essa posição.

Estes aspetos gerais do estudo de Müsseler et al. (2002) encontram-se replicados, com as necessárias adaptações, nas experiências seguintes. Contudo, várias diferenças importantes devem simultaneamente assinalar-se. Em primeiro lugar, os participantes foram instruídos, em blocos distintos, a indicar ora a localização do móvel ora a localização do marcador. Este alargamento das respostas à localização do marcador constitui um requisito indispensável para a avaliação duma eventual determinação do EFL pela combinação linear dos erros de localização absoluta do móvel e do marcador. Mais do que uma simples extensão operacional, representa uma divergência relativamente à caracterização do EFL como um erro de localização do móvel, implicitamente adotada por Müsseler e colaboradores. No contexto do seu estudo, cujo propósito, enunciado no título, é o de comparar as magnitudes do EF, do EFL e do MR, Müsseler et al. (2002) equacionam o EFL com o erro de localização absoluta do móvel no momento da

apresentação de um marcador a meio do trajeto. Diferentemente, a magnitude do EFL é indexada nas experiências seguintes pela diferença entre o erro de localização do móvel e do marcador (designado como  $EFL_D$ , de modo a distingui-lo das medidas clássicas de EFL enquanto erro de localização relativo). Os erros de localização do móvel para diante no momento da apresentação do marcador na porção inicial ou final do trajeto serão designados, por sua vez, como  $EF^*$  e  $MR^*$ , com o “\*” a assinalar a diferença relativamente ao EF e MR padrão, obtidos na ausência de marcadores (apesar de verificarem um impacto da presença do marcador, Müsseler et al., 2002 optaram pelo uso das designações EF e MR nas duas circunstâncias, com e sem marcador). O mesmo se aplica, por analogia, ao erro de localização para trás do início do movimento (ORE), aqui designado como  $ORE^*$ .

Um segundo alargamento significativo consistiu na utilização de versões intermodais da tarefa de base, envolvendo a visão e a audição. Enquanto as experiências de complicação de Wundt (1902/1910: ver também Burrow, 1909; Dunlap 1910), precursoras históricas do EFL, envolveram tipicamente estímulos intermodais (e.g., a localização da apresentação de um som relativamente à posição de um ponteiro de relógio em movimento), a maioria dos estudos do EFL utilizam estímulos visuais. No entanto, o EFL foi também já documentado em modalidades como a audição (Alais & Burr, 2002; 2003) e o tato (Cellini et. al., 2016; Drewing et al., 2018) e em diferentes contextos intermodais: e.g., audiovisual (Alais & Burr, 2003 e Arrighi et al., 2005a: mas ver Hine et al., 2003.), visuo-háptico (Drewing et al., 2018), visuocinestésico (Nijhawan & Kirschfeld, 2003), visuovestibular (Cai et al., 2000). A questão da natureza modal ou amodal dos erros de localização (ver, e.g., para o EF, Getzmann, 2005b; para o MR, Hubbard, 1995a; Getzmann et al., 2004; Getzmann & Lewald, 2009) mantém relações próximas com o debate entre explicações predominantemente assentes em processos *bottom-up* (e.g., sensório-percetivos, dependentes da modalidade) ou *top-down* (e.g., mecanismos de previsão e/ou alocação atencional independentes da modalidade). Tanto no caso do EFL como do MR, o balanço da evidência disponível aponta para replicações parciais do padrão do erro (exibindo tanto semelhanças como diferenças, designadamente quanto ao efeito de variáveis moduladores) noutras modalidades para além da visual e em diversos contextos intermodais, sugerindo uma contribuição conjunta de mecanismos amodais e específicos da modalidade (para o EFL, ver as revisões de Hubbard, 2014a, 2018b; para o MR, ver Hubbard, 2014b). Até à data, nenhum estudo intermodal do EFL foi conduzido sob a perspetiva da avaliação separada dos erros de localização absoluta do marcador e do móvel. Um ganho analítico possível seria o de aclarar as semelhanças e diferenças entre o EFL visual e as suas variantes intermodais pela decomposição dos efeitos de modalidade em cada uma das componentes absolutas do erro (e.g.,  $EF^*$ ,  $MR^*$ ,  $ORE^*$ , *Flash-drag*, *Flash-repulsion*).

No caso particular do EFL, as tarefas intermodais têm adicionalmente desempenhado um papel na discussão da hipótese das latências diferenciais (ver ponto 3.2.1 acima), que atribui o

atraso percebido do *flash* a uma vantagem temporal do processamento de estímulos em movimento. Dada a existência de diferenças entre as latências características das modalidades, esta hipótese autoriza previsões sobre o efeito da substituição da modalidade do marcador, ou do móvel, no EFL, testáveis em tarefas intermodais. Tomando como exemplo a substituição do marcador visual (*flash*) por um auditivo (*click*), a menor latência de processamento de estímulos estáticos auditivos (comparativamente a estáticos visuais) prevê uma redução do atraso relativo no processamento do marcador e, desse modo, da magnitude do EFL. Como verificaram Alais & Burr (2004) e Arrighi et al. (2005a), o resultado mostrou-se contrário à previsão, questionando a hipótese das latências. A inclusão neste primeiro conjunto de experiências de versões audiovisuais da tarefa de base torna possível, analogamente, confrontar o  $EFL_D$  (indicador da magnitude do EFL) com previsões deriváveis das diferenças de latência entre as modalidades auditiva e visual, investigadas na segunda série de experiências (capítulo, 5.1. abaixo).

Um terceiro alargamento importante relativamente ao estudo de Müsseler et al. (2002) refere-se à manipulação da incerteza quanto à modalidade sensorial do marcador (auditiva ou visual). A incerteza quanto ao local de apresentação do marcador mostrou já ter um efeito na magnitude do EFL, que decresce com o aumento da previsibilidade espacial do *flash* (Baldo, Kihara, et al., 2002; Baldo & Namba, 2002; Rotman et al., 2002; Vreven & Verghese, 2005). Este efeito foi interpretado, no âmbito de um «modelo de latência generalizado» (Baldo, Kihara, et al., 2002; Baldo & Klein, 2010), como o resultado da alocação prévia de atenção ao local provável do marcador, reduzindo o seu tempo de deteção e, desse modo, a magnitude das latências diferenciais subjacentes ao EFL. A proposta do modelo de latência generalizado é a de que, além das latências sensoriais, contribuem para o EFL latências associadas a deslocações da atenção (*attentional shifts*), designadamente entre o ponto de fixação, o marcador e o móvel. Não é, contudo, obrigatório que estas deslocações envolvam diferentes coordenadas espaciais, podendo também ocorrer entre diferentes dimensões sensoriais, num espaço perceptivo de atributos (e.g., por ocasião de alterações súbitas de cor, luminância, complexidade, exibidas por um mesmo objeto: Baldo & Klein, 2010). O modelo acomoda assim a ocorrência de EFL em tarefas em que o marcador e o móvel coincidem localmente, sem distância física entre si (e.g., apresentação breve de um disco no interior de um círculo em movimento: Becker et al., 2009; Eagleman & Sejnowski, 2000a; Khurana et al., 2000). E prevê igualmente que o grau de incerteza associado a dimensões não-espaciais do marcador possa dar lugar a modulações atencionais do EFL.

Nas experiências seguintes, a manipulação da incerteza dirige-se justamente a um atributo não-espacial do marcador, a modalidade de apresentação (mantendo-se constantes, em todas as condições, a sua previsibilidade espacial e separação relativamente ao móvel). Por analogia com o efeito de antecipação do local do *flash*, pode assim esperar-se que uma alocação seletiva da atenção à modalidade mais provável se reflita numa redução da magnitude do  $EFL_D$  quando a

modalidade de apresentação do marcador se torna mais provável. Tendo em conta que os valores de EFL obtidos com marcadores em diferentes modalidades (e.g., A e V) pode diferir acentuadamente entre si (Alais & Burr, 2004), as comparações relevantes neste caso envolvem marcadores da mesma modalidade em condições de probabilidade distintas, mantendo-se constante a modalidade do movimento (e.g., comparações entre marcadores auditivos pertencentes a séries em que o balanço de probabilidade entre marcadores auditivos e visuais varia, sendo o objeto móvel sempre visual; ou, para a mesma situação geral, comparações entre os marcadores visuais pertencentes a diferentes séries). O registo independente das respostas de localização do marcador permite, por outro lado, uma avaliação direta (independente da magnitude do EFL) de uma deteção mais rápida do marcador em função da previsibilidade da modalidade: a ser esse caso, os tempos de resposta ( $TR_{esp}$ ) a marcadores numa dada modalidade deverão diminuir com o aumento da probabilidade dessa modalidade.

Uma última questão prende-se com a circunstância das modalidades não diferirem unicamente em termos de latências, mas também noutras dimensões, entre as quais a resolução espacial e temporal que oferecem. Podem neste sentido conceber-se efeitos da modalidade do marcador irredutíveis aos previstos pelos modelos de latência, envolvendo, designadamente, alterações estratégicas (i.e., orientadas pelos objetivos da tarefa) no processamento. Por exemplo, aceitando que a audição oferece tipicamente melhor resolução temporal do que a visão (Welch et al., 1986), uma probabilidade altamente favorável à ocorrência de marcadores auditivos poderia, na tarefa de localização do móvel, induzir uma utilização predominante da informação temporal do marcador (descartando a sua informação espacial), com o objetivo de melhorar o *timing* da localização do móvel e, desse modo, a exatidão da sua localização percetiva no espaço. Um tal efeito estratégico não é implausível. Ao adicionarem um som concomitante a um marcador visual, Vroomen e de Gelder (2004) observaram uma diminuição do EFL que interpretaram, justamente, como uma melhoria da exatidão da localização espacial devida ao incremento da resolução temporal do marcador (para um resultado e interpretação semelhantes no contexto do MR audiovisual, ver Nazaré & Oliveira, 2021; para a ideia geral de que a codificação temporal da posição de um móvel contribui para a sua codificação espacial, ver, e.g., Krepelberg & Lappe, 2001; Whitney, 2002). Em geral, efeitos estratégicos do género descrito deverão traduzir-se por uma maior exatidão (redução do erro) e precisão (redução da variabilidade) na localização do móvel, tanto nas configurações experimentais tipicamente associadas a um *flash-lag* (ciclos completo e iniciado pelo marcador) como naquelas que frequentemente dão lugar a um *flash-lead* (ciclo terminado pelo marcador), isto é, independentemente da direção do erro relativo entre o marcador e o móvel.

## 4.2. Hipóteses e previsões

### 4.2.1. Lógica de avaliação da hipótese geral

A hipótese geral examinada neste primeiro conjunto de experiências é a de que o EFL poderia resultar, total ou parcialmente, da combinação dos erros de localização absoluta do marcador e do móvel. Apesar de expressamente formulada por alguns autores (Hubbard, 2013; 2014a; 2018a; Shi & de Sperati, 2008) e ocasionalmente admitida por outros (e.g., Eagleman & Sejnowski, 2007), esta hipótese recebeu até à data escassa atenção empírica. Para além de um resultado não replicado de Hubbard (2008), consistente com a possibilidade de a ausência de EFL no ciclo terminado pelo marcador se dever à compensação do MR (operando sobre o móvel) por um *flash-drag* de igual magnitude (afetando o marcador) (ver ponto 2.2.1., **Figura 1**, cenário 7), apenas o estudo de Shi & de Sperati (2008) investigou a capacidade de uma combinação linear dos erros absolutos do marcador e do móvel prever a direção e magnitude do EFL medido enquanto erro relativo.

Como assinalado antes (ver ponto 2.2.), o resultado de Hubbard (2008) foi obtido em tarefas com movimento implícito, enquanto a generalidade dos estudos de EFL utiliza movimento perceptivamente contínuo (ver Arrighi et al., 2005a; Munger & Owens, 2004). O grau em que esta diferença (a que acresce ainda a metodologia de resposta utilizada, por sonda mnésica) condiciona a sua generalidade e aplicabilidade ao EFL mantém-se assim incerto, face à evidência de que a impressão de movimento contínuo constitui um fator relevante no EFL (Rizk et al., 2009, observaram que um movimento com *flicker* perceptivo reduz a magnitude do EFL e Vreven & Vergheze, 2005, reportaram a virtual desapareção do EFL com a utilização de movimento estroboscópico; ver, contudo, Eagleman & Sejnowski, 2007 e Murakami, 2001a, para indicações de sentido contrário). O resultado de compensação de Hubbard (2008) não esclarece, por outro lado, a possibilidade de um mecanismo similar, envolvendo agora um *flash-drag* superior ao MR, acomodar os resultados de liderança-do-*flash* também observados na mesma configuração (e.g., Baldo et al., 2002; Roulston et al. 2006; Whitney et al., 2000). A interpretação de Hubbard, atribuindo o seu resultado a um efeito do MR na memória da posição do marcador, parece contrária à possibilidade do *flash-drag* poder superar a magnitude do MR. Finalmente, na ausência de uma análise dos padrões de diferenças individuais, pode admitir-se que uma aparente compensação dos dois tipos de erro resulte, na realidade, da existência de dois grupos heterogêneos de participantes com magnitudes de arrastamento do *flash* superiores e inferiores, respetivamente, à do MR (reduzindo-se assim a compensação observada a um artefacto da agregação por média).

O estudo de Shi e de Sperati (2008) ultrapassa vários destes problemas. Por um lado, utiliza movimento perceptivamente contínuo. Por outro, replica os erros de localização absoluta em duas experiências distintas, exigindo a localização do móvel e do marcador num mesmo bloco experimental (Experiência 1) ou em blocos separados (Experiência 2). Por fim, examina a correspondência entre o EFL previsto a partir das localizações absolutas (EFL virtual) e uma medida psicofísica convencional do EFL enquanto erro relativo (o Ponto de Alinhamento Subjetivo ou distância física a que os dois estímulos são percebidos como espacialmente alinhados), obtida nas mesmas condições experimentais (Experiência 3). No entanto, limita-se a uma das configurações experimentais do EFL (ciclo completo) e ao domínio estrito do EFL visual, devendo sobretudo entender-se como uma primeira avaliação, circunscrita e parcial, da hipótese de o EFL resultar, no todo ou em parte, da conjunção de duas componentes de erro absoluto.

Esta hipótese é aqui tomada, heurísticamente, como ponto de partida para uma exploração do espaço de consequências de uma interpretação inteiramente espacial do EFL, alargada às três configurações experimentais (ciclos completo, iniciado e terminado pelo marcador), a contextos de EFL intermodal (audiovisual) e ao impacto de uma potencial modulação atencional (associada a expectativas sobre a modalidade do marcador). Trata-se, na perspetiva adotada, menos de comprová-la ou refutá-la do que de investigar o seu alcance e limites potenciais. O número de tarefas resultante torna impraticável, nos limites da dissertação, replicá-las com medidas psicofísicas diretas do EFL (implicando, adicionalmente, o estabelecimento de funções psicométricas e, por conseguinte, um elevado número de ensaios: Hubbard, 2014a). As previsões derivadas das medidas de localização absoluta (EFL<sub>D</sub>) serão assim avaliadas, em primeira mão, pela correspondência qualitativa – direção do efeito e magnitudes relativas – com os perfis de EFL revelados pela literatura nas diferentes configurações experimentais (ciclo completo e meios-ciclos), em tarefas de EFL audiovisual e em estudos de modulação das latências atencionais.

A ausência de comparação direta entre magnitudes do EFL<sub>D</sub> e do EFL numa mesma tarefa (ou similar, dada a adaptação necessária à metodologia de resposta) impõe sobretudo limites à verificação do ajuste quantitativo da previsão. Ora, num quadro de exploração alargado, a avaliação do grau de ajuste qualitativo parece mais fundamental, à luz das seguintes razões: (1) o ajuste quantitativo é impossível em caso de desajuste qualitativo: neste sentido, o acordo de magnitudes verificado por Shi e de Sperati (2008) na sua Experiência 3 tem como condição um primeiro acordo qualitativo estabelecido nas Experiências 1 e 2 – o erro para diante do móvel foi superior ao do *flash*, sendo consistente com a ocorrência de EFL; (2) o conjunto da evidência disponível na extensa, complexa e frequentemente discordante literatura sobre o EFL sugere a implausibilidade de um único mecanismo ser responsável pelo efeito nas suas diferentes manifestações (Baldo & Stein, 2010; Hubbard, 2013, 2014a, 2018a), enquanto a expectativa de um

acerto quantitativo entre as medidas derivadas (a partir das localizações absolutas) e direta do EFL assenta na hipótese duma redução completa do EFL ao mecanismo da combinação dos erros. Estes duas razões não obstam, naturalmente, ao interesse de uma comparação das duas medidas numa mesma tarefa, que pode conceber-se como um objeto de investigação futura nos casos assinalados por um acordo qualitativo. Isso mantém-se compatível, em geral, com a ideia de que «diferentes mecanismos podem contribuir de diferentes maneiras para diferentes instâncias do efeito *flash-lag*» (Hubbard, 2014a, p 332, tradução nossa). E, simultaneamente, com a ocorrência, nalgumas dessas instâncias, de bons ajustes quantitativos, como o reportado por Shi e de Sperati (2008) – a tomar como uma indicação de que, no caso do EFL visual, nas condições implementadas pelos autores e excluindo a ação de variáveis moduladoras não consideradas na experiência, um mecanismo de combinação dos erros absolutos poderá, no essencial, dar conta do EFL.

Para além da avaliação da consistência qualitativa do  $EFL_D$ , o registo separado das respostas ao marcador e ao móvel, incluindo tanto medidas de localização espacial como dos tempos de resposta ( $TR_{esp}$ ), abre caminho ao teste de algumas hipóteses específicas avançadas na literatura do EFL. Nestes casos, as previsões formuladas não procedem da hipótese geral em avaliação (o EFL como combinação de dois erros) e sim de propostas explicativas com implicações testáveis para um ou outro destes tipos de resposta (ao marcador ou ao móvel), ou para o padrão de relação entre ambas. Por exemplo, o modelo da codificação sequencial de Priess et al. (2012), segundo o qual o EFL resulta da necessidade de codificar inicialmente o *flash*, e subsequentemente o móvel, implica que os  $TR_{esp}$  ao móvel deverão ser, na generalidade das circunstâncias, superiores aos do marcador. Por fim, pressupondo a legitimidade da conversão de distâncias espaciais em intervalos temporais (através da velocidade do movimento), o  $EFL_D$  pode também ser apreciado sob o ângulo da sua consistência genérica com os valores de “atraso temporal do flash” apontados como típicos em tarefas de EFL visual e audiovisual (ver, e.g. (Arrighi et al., 2005a; Krekelberg & Lappe, 2001; Nijhawan, 1994; Ögmen et al., 2004, Whitney et al, 2000). No entanto, o exame das relações entre os valores de  $EFL_D$  encontrados e as latências diferenciais entre o marcador e o móvel dependerá essencialmente, no quadro da dissertação, do confronto com as previsões deriváveis da segunda série de experiências, onde as diferenças temporais de processamento são investigadas em estímulos com as mesmas características (e.g., dimensão, intensidade, frequência) daqueles utilizados nas experiências da primeira série.

Os parágrafos seguintes detalham um conjunto de previsões orientadoras para a análise e discussão dos resultados, organizadas por blocos. Por conveniência, os blocos são identificados por letras maiúsculas (e.g., A, B, C) e as previsões ordenadas numericamente no interior de cada

bloco. Cada previsão (P) é assim designada pela combinação de uma letra maiúscula e um algarismo, apresentados, em formato inferior à linha, após a letra P (e.g., P<sub>A1</sub> ou P<sub>C2</sub>).

#### 4.2.2 Mapa de previsões orientadoras

*Bloco A.* Um primeiro bloco de previsões diz respeito aos erros de localização do móvel e do marcador. A mera presença de um *flash*, ainda que irrelevante para a tarefa, altera a posição percebida de um objeto em movimento (Chappel et al., 2006; Munger & Owens, 2004). Müsseler et al. (2002) verificaram neste sentido, no seu estudo já comentado, uma alteração sistemática do efeito *Frölich* e do Momento Representacional quando a instrução pedia a localização do movimento no momento da apresentação do *flash* (*flash* relevante para a tarefa). Nestas condições, um erro de localização pronunciado para diante ocorria no começo do movimento, e um erro pronunciado para trás (sentido contrário ao do movimento) no final do movimento. Em contraste, com os mesmos estímulos de movimento, mas na ausência de *flash*, observaram um pequeno EF, não significativo, e um MR pronunciado. Finalmente, quando solicitaram aos participantes que ignorassem o *flash* apresentado, tornando-o irrelevante para a tarefa, um EF significativo (mas muito inferior ao erro obtido com o *flash* relevante) e um pequeno MR, não significativo, foram registados.

É assim claro que previsões quanto aos resultados de localização do móvel nos ciclos iniciado e terminado pelo marcador não devem basear-se na literatura anterior relativa ao EF e ao MR e sim em estudos em que a localização do início e termo do movimento ocorreram na presença de um *flash* relevante. Na medida em que a tarefa de base na dissertação replica parcialmente o arranjo de Müsseler et al. (2002) com *flash* relevante, os resultados de Müsseler et al. (2002) constituem a base de previsão e a referência comparativa natural, inspirando as expectativas seguintes:

**P<sub>A1</sub>** - Erros de localização do móvel para diante devem observar-se no CIM e no CC, e erros de localização para trás no CTM.

**P<sub>A2</sub>** - O erro de localização do móvel para diante no CIM deverá ser superior ao do CC (a que pode juntar-se, flexibilizando P<sub>A1</sub>: no caso de se verificar um erro para diante no CTM, este deverá ser o menor dos três)

Estas previsões orientadoras aplicam-se à tarefa visual unimodal, admitindo que os resultados de Müsseler et al. (2002), obtidos com movimento circular, possam generalizar-se ao movimento linear horizontal. A verificação de ambas suportaria, simultaneamente, a generalidade do resultado anterior de Müsseler e colaboradores e a robustez dos nossos próprios resultados

quanto à localização do móvel. A eventual observação de um ORE no CIM seria contrária a ambas as previsões e suscitaria a questão dos fatores subjacentes ao desacordo com as observações Müsseler et al. (2002). Uma terceira previsão relativamente ao erro de localização do móvel refere-se às tarefas intermodais (com movimento visual e marcador auditivo, ou simultaneamente auditivo e visual; com marcador visual e movimento auditivo, ou simultaneamente auditivo e visual). A evidência dominante de que os erros de localização mobilizam tanto mecanismos modais como amodais (ver revisões em Hubbard, 2014a;2018a; e ainda Schmiedchen et al., 2013) aponta para que o perfil dos erros varie com a modalidade, embora num grau indeterminado. Apenas uma previsão genérica é assim possível:

**P<sub>A3</sub>** - Nas tarefas intermodais o perfil dos erros de localização do móvel nos diferentes ciclos deverá reproduzir apenas parcialmente o perfil observado (direção dos erros e ordenação relativa das magnitudes) na tarefa visual unimodal.

Uma reprodução total desse perfil (violando esta previsão orientadora) seria favorável a uma natureza sobretudo amodal do erro de localização do móvel. Admitindo que a importância dos mecanismos dependentes da modalidade se acentue progressivamente com a diferença entre modalidades, uma variante mais específica da previsão poderia formular-se assim:

**P<sub>A4</sub>** - As condições com movimento ou marcador simultaneamente auditivo e visual (audiovisual) poderão produzir perfis de erros de localização do móvel mais próximos do observado na tarefa visual unimodal do que condições com movimento ou marcador exclusivamente auditivo.

Resultados contrários a esta previsão desfavorecerão a ideia duma combinação simples (linear) entre mecanismos modais e amodais, sugerindo interações mais ou menos complexas entre eles.

A escassez de estudos anteriores solicitando a localização do *flash* em condições similares à da nossa tarefa de base limita a possibilidade de previsões específicas sobre o erro associado ao marcador, exceto no caso do ciclo completo, em que Shi e de Sperati (2008) reportaram, replicando-o em duas experiências, um erro para diante (*flash-drag*), de magnitude inferior ao erro de localização do móvel. Por outro lado, uma vez fixado o padrão esperado dos erros de localização do móvel, o perfil expectável dos erros associados ao marcador encontra-se em larga medida dependente das previsões relativas ao  $EFL_D$  (apresentadas adiante, no bloco B) – definido como a subtração do erro de localização do marcador ao erro de localização do móvel. Apesar disso, podem ainda formular-se duas previsões independentes. A primeira assenta na indicação de que o sinal de movimento após o *flash* contribui mais para a indução de um erro de localização do marcador no sentido do movimento do que o sinal anterior ao *flash* (Durant & Johnston, 2004; Fukiage et al., 2011; Roach & MacGraw, 2009). O erro induzido para diante deverá assim ser

menor no CTM, traduzindo-se num menor *flash-drag*. Adicionalmente, existe evidência de que a posição percebida de estímulos visuais estáticos apresentados durante movimentos de seguimento ocular é deslocada no sentido do movimento dos olhos (Brenner & Cornelissen, 2000; Rotman et al., 2004; 2005; Van Beers et al., 2001). O facto de nas nossas experiências os movimentos oculares serem permitidos (a discutir na secção 4.3.2. ) reforça assim a previsão de uma predominância geral de erros de localização do marcador no sentido do movimento. A previsão geral de erros para diante do marcador opõe-se à aceitação de princípio, apoiada por alguns estudos com respostas de localização sacádica (Becker et al., 2009), de que a localização do marcador no FLE é veridicamente percebida, ao contrário da do móvel.

**P<sub>A5</sub>** - Na tarefa visual unimodal, os erros de localização do marcador deverão ocorrer predominantemente para diante, com magnitudes superiores no CIM e CC comparativamente ao CTM.

A segunda previsão envolve as tarefas intermodais. Teng e Whitney (2011) reportaram um efeito de arrastamento de um marcador auditivo no sentido de um movimento visual adjacente (*flash-drag* intermodal, análogo ao *flash-drag* visual). Mais geralmente, a possibilidade de um movimento visual induzir uma deslocação percebida de um estímulo auditivo estático (Mateeff & Hohnsbein, 1988a) e de um movimento auditivo induzir movimento percebido num estímulo visual estático (Hidaka et al., 2009; Hidaka et al.; 2011; Teramoto et al., 2010) foram já ambas documentadas. Pode assim esperar-se, em geral, que um arrastamento do marcador no sentido do movimento ocorra em qualquer das condições intermodais. Este efeito tem sido frequentemente atribuído ao agrupamento perceptivo do marcador e do móvel num mesmo movimento (Eagleman & Sejnowski, 2007). Contudo, o grau de acoplamento perceptivo poderá ser menor no caso de estímulos em modalidades diferentes (e.g, movimento visual e marcador auditivo, ou vice-versa) do que para estímulos intramodais (ver Spence & Chen, 2012), reduzindo o arrastamento do marcador para diante nas tarefas intermodais, comparativamente à tarefa visual. Poderá ainda suceder que o *flash-drag* intermodal seja influenciado por diferenças na qualidade da informação espacial das modalidades: por exemplo, a informação de posição fornecida pelo movimento visual poderia ganhar preponderância e induzir um arrastamento maior de um marcador auditivo a localizar (tendo em conta a menor resolução espacial da audição em muitas circunstâncias) do que a informação posicional de um movimento auditivo aquando da localização de um marcador visual (ver, e.g., Burr & Alais, 2006; Ernst & Bühlhoff, 2004). Neste cenário de ponderação diferencial da informação do movimento, a previsão duma redução do erro para diante do marcador manter-se-ia válida na tarefa com marcadores visuais e movimento auditivo ( $V_{MC}-A_{MOV}$ ), mas não na tarefa simétrica, com movimento visual e marcador auditivo ( $A_{MC}-V_{MOV}$ ).

**P<sub>A6</sub>** - Nas tarefas intermodais pode igualmente esperar-se a ocorrência de erros de localização do marcador para diante, em geral menores do que na tarefa unimodal

visual (primeiro cenário) ou, pelo menos, menores quando o movimento é auditivo e o marcador visual (segundo cenário).

*Bloco B.* O segundo bloco de previsões orientadoras diz respeito aos perfis de  $EFL_D$ , envolvendo a questão central do seu acordo com os padrões característicos de EFL revelados pela literatura. Porventura o resultado mais geral, associado à comparação entre as três configurações dependentes da localização do marcador (CIM, CC e CTM), é o da ocorrência de EFL nas configurações CIM e CC e da sua ausência na configuração CMT (Eagleman & Sejnowski, 2000a; Khoei et al., 2017; Khurana & Nijhawan, 1995; Kreekelberg & Lappe, 2000a; Nijhawan, Watanabe, Khurana, & Shimojo, 2004; Hubbard, 2014a; 2018a). Este padrão tem-se mostrado robusto: só dois estudos publicados reportaram a ocorrência de EFL no CTM, e apenas em condições marcadamente atípicas (apresentação periférica do alvo móvel ou recurso a marcadores em movimento, ao invés de estáticos: ver ponto 2.2.1. do enquadramento). Adicionalmente, vários estudos reportaram mesmo uma inversão do *flash-lag* em *flash-lead* no CTM (Baldo et al., 2002; Roulston et al., 2006; Whitney et al., 2000). Enquanto nos estudos que observaram EFLs nulos ( $\approx 0$ ) o alvo móvel se limita a parar (permanecendo visível), os efeitos de liderança do *flash* ( $EFL < 0$ ) no CTM ocorreram em estudos em que o alvo desaparecia subitamente (Roulston et al., 2006), como sucede na nossa tarefa de base. Gauch e Kerzel (2008) reportaram por sua vez uma ausência de EFL no CIM, mas num paradigma em que o marcador consistia, não na apresentação de um estímulo breve e sim numa mudança súbita de cor do estímulo, concomitante com o início do seu movimento (*color flash-lag*). À luz do que precede, pode assim enunciar-se uma primeira previsão quanto ao  $EFL_D$ .

**P<sub>B1</sub>** – Os valores de  $EFL_D$  deverão ser positivos ( $EFL_D > 0$ ) no CIM e no CC e nulos ou, mais provavelmente, negativos ( $EFL_D \leq 0$ ) no CTM.

Uma segunda previsão, interpretável como um refinamento parcial da anterior, pode ainda formular-se a partir da indicação de que a magnitude do EFL é tendencialmente superior no CIM, comparativamente ao CC (Ögmen et al., 2004; Rizk et al., 2009). Embora a maioria dos estudos envolvendo as duas configurações refira magnitudes semelhantes (Alais & Burr, 2003; Eagleman & Sejnowski, 2000a; Khurana & Nijhawan, 1995; Watanabe, 2004), o detalhe dos valores encontrados em vários deles é compatível com a tendência apontada por Risk et al. (2009). Num cenário em que os padrões de  $EFL_D$  acompanham qualitativamente os do EFL, poderá assim esperar-se que esta tendência surja também reproduzida.

**P<sub>B2</sub>** – Os valores de  $EFL_D$  deverão ser positivos ( $EFL_D > 0$ ) no CIM e no CC, com magnitudes tendencialmente superiores no CIM.

As duas previsões anteriores assentam na literatura do EFL com estímulos visuais. A verificarem-se na nossa tarefa visual, para além de suportarem o acordo qualitativo entre o  $EFL_D$  e o EFL, têm ainda implicações para a discussão sobre o impacto dos movimentos oculares no EFL e para o estatuto da distinção entre localização egocêntrica (referida ao observador, como no caso da localização motora da posição do alvo ou do móvel) e allocêntrica (por referência a outros objetos, como no caso da localização do marcador e do móvel relativamente um ao outro). Utilizando movimento circular e um marcador sobreposto ao trajeto do movimento (barra apresentada sobre uma barra móvel de outra cor; disco apresentado num ânulo em movimento), Nijhawan (1997; 2001) observou a desapareção do EFL quando os participantes eram autorizados a seguir com os olhos o alvo em movimento. Utilizando movimento linear e marcadores com um desfasamento ortogonal relativamente ao trajeto do movimento, van Beers et al. (2001) encontraram, por sua vez, resultados consistentes com a ocorrência de EFL. A observação de valores de  $EFL_D > 0$  na nossa tarefa visual (incluindo no CIM, para além do CC), a ocorrer, convergirá assim com as indicações de van Beers et al. (2001) quanto à existência de EFL na presença de movimentos de perseguição ocular em trajetos lineares.

Por outro lado, uma das diferenças apontadas entre medidas de localização absoluta e de localização relativa (como as medidas-padrão do EFL) é a de que envolvem sistemas de coordenadas ou quadros de referência distintos – egocêntrico ou referido ao observador, no primeiro caso, allocêntrico ou relativo a outros estímulos ou marcas espaciais, no segundo caso (Becker et al., 2009; cf. Blohm et al., 2003; Brenner & Cornelissen, 2000). Becker et al. (2009) e Blohm et al., (2003) sugeriram neste contexto que a posição do *flash* é primeiro codificada num formato egocêntrico e a posição do móvel representada em seguida em formato allocêntrico (tomando a posição percetiva do *flash* como referência). Esta sugestão dá lugar a uma previsão testável através da comparação dos  $TR_{esp}$  ao móvel e ao marcador (ver bloco D de previsões, em baixo), mas, sobretudo, suscita a questão do grau em que a combinação de duas medidas de localização egocêntrica (do marcador e do móvel) podem equivaler a um julgamento de posição relativa (allocêntrico), envolvendo uma transformação de coordenadas. O acordo quantitativo (e não apenas qualitativo) registado por Shi e de Sperati (2009), numa mesma tarefa, entre o «*flash-lag* virtual», baseado em medidas de localização absolutas, e o EFL, baseado em julgamentos de posição relativa, aponta para uma equivalência linear simples entre os dois sistemas de coordenadas (uma redução da posição allocêntrica à combinação de posições egocêntricas). No caso presente, a verificação das previsões  $P_{B1}$  e  $P_{B2}$ , unicamente qualitativas, seria insuficiente para suportar essa implicação. Contudo, a ocorrer, não deixará de impor limites importantes ao papel da dualidade egocêntrico-allocêntrico na explicação do EFL, mostrando que a estrutura qualitativa do efeito é recuperável a partir da conjunção de medidas absolutas de localização. Uma conclusão deste tipo não exclui evidentemente um cenário de contribuição conjunta dos dois tipos de informação (egocêntrica e allocêntrica), eventualmente modulável por características da tarefa e

do participante (ver, neste sentido, Brenner & Cornelissen, 2000; Camors et al., 2015; Lu et al., 2018).

Uma terceira e quarta previsões orientadoras dizem respeito aos  $EFL_D$  intermodais. Os perfis de EFL a utilizar para comparação provêm aqui do estudo seminal de Alais e Burr (2003) sobre o EFL audiovisual com sons espacializados, podendo descrever-se assim: (1) o EFL intermodal – marcador visual com movimento auditivo ( $V_{MC-A_{MOV}}$ ) e marcador auditivo com movimento visual ( $A_{MC-V_{MOV}}$ ) – mostrou ser substancialmente superior ao EFL unimodal visual; (2) o EFL na condição  $A_{MC-V_{MOV}}$  (marcador auditivo) foi substancialmente superior ao da condição  $V_{MC-A_{MOV}}$  (marcador visual); (3) o padrão de EFL intermodal associado às diferentes configurações experimentais (CIM, CC, CTM) replicou o padrão visual unimodal, com magnitudes de EFL idênticas no CIM e CC e próximas de zero no CTM. Utilizando uma técnica de movimento aleatório inspirada em Murakami (2001a), Arrighi et al. (2005a) reforçaram a indicação de um EFL particularmente robusto na condição  $A_{MC}, V_{MOV}$  (com esta técnica, apenas pequenos EFL próximos de zero ocorreram nas outras condições). Em sentido inteiramente contrário, Hine et al. (2003) reportaram um efeito de liderança, e não de atraso, do marcador, ao substituírem o *flash* por um som breve (duração nominal de 5 ms) numa tarefa de EFL. Contudo, o estudo de Hine e colaboradores difere em aspetos essenciais do de Alais e Burr (2003). Na tarefa utilizada, um marcador auditivo não espacializado indicava o momento em que o participante deveria julgar o alinhamento entre um objeto visual em movimento e uma cruz de fixação estacionária. Em contraste, no estudo de Alais e Burr (2003), os participantes julgavam a posição de um estímulo visual em movimento relativamente à posição de um marcador auditivo espacializado, reproduzindo as condições usuais duma tarefa de EFL visual. Tendo em conta o que precede:

**P<sub>B3</sub>** – Os valores de  $EFL_D$  nas condições intermodais deverão ser superiores ao  $EFL_D$  na condição visual unimodal, com a seguinte ordenação geral de magnitudes:  $A_{MC-V_{MOV}} > V_{MC-A_{MOV}} > V_{MC-V_{MOV}}$ .

**P<sub>B4</sub>** – Nas condições intermodais, os perfis de  $EFL_D$  no CIM, CC e CTM deverão reproduzir qualitativamente o perfil da condição visual unimodal, objeto da previsão **P<sub>B1</sub>**: valores de  $EFL_D > 0$  no CIM e no CC e nulos, ou eventualmente negativos, no CTM.

Tanto Alais e Burr (2003) como Arrighi et al. (2005a) produziram conclusões fortemente desfavoráveis à hipótese explicativa das latências. Aceitando a convertibilidade das diferenças de latência em diferenças percebidas de localização (através da velocidade do movimento), ambos os estudos assinalaram a inconsistência dos EFL intermodais com as diferenças de latência estabelecidas entre as modalidades auditiva e visual (menor latência de estímulos estáticos auditivos relativamente a visuais; maior latência na deteção do início de um movimento auditivo do que de um movimento visual: ver Arrighi et al., 2005a, p. 2922). Hine et al. (2003) reportaram, pelo contrário, um acordo entre o *click-lead* observado ao substituírem o *flash* por um som breve

e as diferenças de latência registradas entre o *click* e o *flash* em julgamentos de ordem temporal. Mais recentemente, Hayashi e Murakami (2019) sugeriram uma diferença de mecanismos entre o EFL intramodal, que poderia explicar-se por um misto de latências diferenciais e integração temporal, e o EFL intermodal, irreduzível a uma explicação nesses termos. Neste último cenário, algum grau de consistência entre latências (prioridade de processamento de estímulos em movimento relativamente a estáticos) e EFL poderia esperar-se na condição visual unimodal, mas não nas condições intermodais.

A ideia da legitimidade da conversão de intervalos de tempo percebidos em distâncias percebidas (e vice-versa) tem sido, por outro lado, ela própria questionada pela evidência de dissociações na determinação do “onde” (julgamento espacial) e do “quando” (julgamento temporal) de acontecimentos percebidos. Confirmando um resultado anterior de Cai e Schlag (2001), Kreepiguu e Allik (2004) mostraram a possibilidade de uma alteração súbita de cor num objeto em movimento e a apresentação síncrona de um *flash* alinhado com o local dessa alteração serem percebidas como simultâneas e, apesar disso, desalinhadas em termos de localização espacial (incongruência entre o *timing* e a localização percebidas) (ver igualmente Cravo & Baldo, 2009; Eagleman & Sejnowski, 2000a; 2002; Kreepiguu e Allik, 2003; Arnold et al., 2009). A marcada inconsistência verificada por Alais e Burr (2003) e Arrighi et al. (2005a) entre os EFL audiovisuais e as latências comparadas da visão e da audição pode assim refletir uma inadequação mais profunda da hipótese das latências: a assunção injustificada da tradutibilidade recíproca entre diferenças espaciais e diferenças temporais percebidas (Eagleman & Sejnowski, 2002). Olhada no conjunto, com exceção do resultado de Hine et al. (2003), o balanço da evidência leva a antecipar um desajuste entre os EFL<sub>D</sub> intermodais e as latências diferenciais estabelecidas na segunda série de experiências.

**P<sub>B5</sub>** - A direção e/ou magnitude dos EFL<sub>D</sub> intermodais deverá mostrar-se genericamente inconsistente com as previsões baseadas nas diferenças de latência entre modalidades observadas na segunda série experimental.

Esta previsão envolve as duas séries experimentais apresentadas na dissertação. Na realidade, o objetivo das tarefas TOJ e TR, que compõem a segunda série, esgota-se em larga medida no teste desta previsão, justificando a opção por formulá-la aqui, no quadro das previsões relativas ao EFL<sub>D</sub>.

As duas últimas previsões neste bloco dizem respeito às diferenças individuais nos EFL<sub>D</sub>. Como indicado acima (ponto **2.2.2.** do enquadramento), a inspeção da literatura revela uma importante variabilidade interindividual do EFL, quer qualitativa (ocorrência, ausência, ou inversão do efeito, numa mesma tarefa, em diferentes sujeitos) quer quantitativa (relativa à magnitude do efeito) (Baldo & Klein, 1995; Gabbard, 2013; Holcombe, 2021; Kreepiguu & Allik, 2003; Patel et al., 2000). Uma previsão geral para os EFL<sub>D</sub> registados é que deverão,

analogamente aos EFL, refletir a importância das diferenças individuais, particularmente qualitativas. Na hipótese de que o EFL resulta da combinação dos erros de localização absoluta do marcador e do móvel, a sua variabilidade é igualmente atribuível à variabilidade desses erros e do seu jogo combinado. Contudo, a possibilidade de obter idênticos  $EFL_{DS}$  a partir de diferentes combinações de erros absolutos (ver ponto 2.2.) permite distinguir entre as diferenças interindividuais manifestas nos  $EFL_{DS}$  e a variabilidade interindividual nos modos de produção do  $EFL_D$  (potencialmente maior). Uma previsão possível é assim a de que, para além da observação de diferenças individuais qualitativas no  $EFL_D$ , participantes agrupados num mesmo padrão qualitativo (e.g.,  $EFL_D < 0$ ) difiram adicionalmente entre si quanto à combinação particular dos erros absolutos subjacentes.

**P<sub>B6</sub>** - Os  $EFL_D$  deverão refletir a ocorrência de diferenças individuais importante no EFL, quer através de diferenças de magnitude quer, sobretudo, de diferenças qualitativas, incluindo o cancelamento e direções antagónicas do efeito ( $EFL_D \approx 0$ ,  $EFL_D > 0$ ,  $EFL_D < 0$ ).

**P<sub>B7</sub>** – Entre os participantes agrupáveis num mesmo padrão qualitativo ( $EFL_D > 0$ ,  $EFL_D \approx 0$ ,  $EFL_D < 0$ ), poderão manter-se diferenças individuais significativas quanto à combinação particular de erros absolutos que determinam o padrão.

*Bloco C.* O terceiro bloco de previsões orientadoras refere-se aos efeitos da manipulação da probabilidade da modalidade sensorial do marcador (i.e., do seu grau de incerteza). Uma analogia simples com a manipulação da probabilidade do local de apresentação do marcador (ver Baldo, Kihara, et al., 2002; Baldo & Namba, 2002) levaria a esperar uma redução do EFL para marcadores numa dada modalidade quando essa modalidade se torna mais provável. Este efeito poderia, aliás, conceber-se sob duas formas: numa delas, contínua, o aumento da probabilidade da modalidade do marcador far-se-ia acompanhar de uma redução progressiva do EFL; na outra, descontínua, a redução esperada do EFL ocorreria apenas quando essa probabilidade ultrapassasse um certo limiar (e.g.  $P > 50\%$ , ou  $P > 75\%$ ). Um efeito semelhante, numa ou noutra das duas formas, deveria assim manifestar-se também no  $EFL_D$ . Como assinalado antes (ponto 4.1), em virtude das diferenças de EFL ocasionadas pela alteração de modalidade do marcador (Alais & Burr, 2004), as comparações relevantes para esta deverão fazer-se entre marcadores na mesma modalidade em condições de probabilidade distintas, mantendo-se constante a modalidade do estímulo em movimento:

**P<sub>C1</sub>** – *No quadro de um modelo de latências generalizado* (a latências atencionais, moduláveis pela previsibilidade), pode esperar-se, em séries nas quais alternam marcadores visuais e auditivos, uma redução de  $EFL_D$  nas condições  $V_{MC}-V_{MOV}$ , quando a probabilidade do marcador visual aumenta relativamente à do marcador

auditivo (ou se torna claramente favorável) e nas condições  $A_{MC}-V_{MOV}$ , quando a probabilidade do marcador auditivo aumenta (ou se torna claramente favorável).

Uma alternativa a um modelo de previsão baseado nas latências é a consideração de possíveis efeitos estratégicos (ordenados aos objetivos da tarefa) da variação da probabilidade do marcador. Tendo em conta que a resolução temporal auditiva excede, em muitas tarefas, a resolução temporal visual (Recanzone, 2003), e a resolução espacial visual excede a da audição em condições foveais e para-foveais (Fisher, 1968; Welch et al., 1986), o balanço de probabilidade entre marcadores auditivos e visuais numa série de ensaios poderia modular a importância concedida à informação espacial e temporal do marcador – maior peso da informação temporal em séries com alta probabilidade de marcadores auditivos, e da informação espacial na situação simétrica. Sendo a função do marcador, na tarefa de localização do móvel, essencialmente temporal (assinalar o momento da localização), uma importância acrescida da informação temporal quando os marcadores auditivos predominam poderia assim conduzir a uma localização mais exata e precisa do móvel, devida à melhoria do *timing* da localização (pelo menos quando o marcador é auditivo). Uma redução do EFL obtida pela adição de um som sincronizado a um *flash* foi reportada por Vroomen e de Gelder (2004), que a atribuíram justamente ao aumento de precisão temporal do marcador. Vreven e Vergheze (2005) observaram igualmente uma redução do EFL quando um som integrado numa série de cinco “beeps” apresentados a intervalos iguais (pistas temporais) coincidia temporalmente com o *flash*. Estes autores reportaram, contudo, reduções superiores do EFL quando as pistas fornecidas eram espaciais, sugerindo um maior impacto da manipulação da incerteza espacial do marcador do que da sua incerteza temporal (no mesmo sentido, ver Brenner & Smeets, 2000; Rotman et al, 2002; López-Moliner & Linares, 2006). Independentemente do debate sobre a contribuição respetiva das pistas espaciais ou temporais para a redução do EFL, o cenário considerado acima refere-se, diferentemente, aos efeitos do peso relativo da informação temporal do marcador na exatidão e precisão da localização do móvel (ver Los & Van der Burg, 2013; Nazaré & Oliveira, 2021), não na magnitude do EFL (para a qual contribui adicionalmente, na hipótese em análise na dissertação, o erro de localização do marcador). Assim:

**P<sub>C2</sub>** – *Na hipótese de um efeito estratégico de incremento da importância da informação temporal do marcador em séries com alta probabilidade de marcadores auditivos (oferecendo melhor resolução temporal do que os visuais), pode esperar-se uma localização mais exata e precisa do estímulo móvel, devida ao *timing* melhorado da localização, pelo menos quando o marcador é auditivo, quer o EFL<sub>D</sub>, presente ou não uma redução.*

Um segundo tipo de efeito estratégico concebível envolve a distribuição de recursos atencionais entre a informação associada ao movimento e ao marcador nas condições de máxima

incerteza quanto à modalidade. Assumindo um princípio de ponderação inversa da importância das fontes informativas pelo seu grau respectivo de incerteza (Ernst & Banks, 2002; Ernst & Di Luca, 2012), poderia esperar-se neste caso uma alocação aumentada de recursos à informação posicional do movimento. Na tarefa de localização do móvel, esta estratégia seria equivalente a reduzir o peso da informação posicional do marcador, baseando-se predominantemente na sua informação temporal. Conjugada com uma atenção acrescida ao movimento, poderia conduzir a uma localização mais exata e precisa do móvel. Contudo, diferentemente do cenário anterior, o incremento de exatidão e precisão é agora esperado na condição de máxima incerteza (e.g., 50% A, 50% V). Na tarefa de localização do marcador, por sua vez, poderia esperar-se que uma alocação de recursos favorável à informação posicional do movimento induza efeitos mais pronunciados de arrastamento do marcador. Dependendo da magnitude relativa desse arrastamento, a previsão quando aos  $EFL_D$  seria assim a de uma redução comparativa (menor diferença entre a localização percebida do móvel e do marcador) ou inversão do  $EFL_D$  ( $EFL_D < 0$ ) na condição de máxima incerteza.

*P<sub>C3</sub> – Na hipótese de uma alocação preferencial de recursos à informação posicional do movimento na condição de máxima incerteza quanto à modalidade do marcador (50%A, 50% V) pode esperar-se, nessa condição: uma localização comparativamente mais exata e precisa do móvel; maiores efeitos de arrastamento do marcador no sentido do movimento; uma redução comparativa do  $EFL_D$ , ou a sua inversão ( $EFL_D < 0$ ).*

A consideração dos tempos de resposta ( $TR_{esp}$ ) na localização do marcador e do móvel possibilita algumas previsões complementares. Um ponto essencial nas previsões decorrentes de um modelo de latências é que a redução da incerteza relacionada com o marcador acelera o seu processamento. Em geral, a noção de que o marcador captura exogenamente a atenção, ocasionando um deslocamento atencional a partir do ponto de fixação, é admitida pelos modelos de latência (ver Baldo & Klein, 2010; Chappell et al., 2006). No caso dos efeitos associados à previsibilidade do marcador, a detecção do marcador seria adicionalmente acelerada por mecanismos de preparação atencional. Esta previsão não é essencial para os possíveis efeitos estratégicos da previsibilidade do marcador (assentes, diferentemente, em alterações dos mecanismos de processamento e do tipo de informação considerada) e poderia, hipoteticamente, enfrentar dificuldades quando a modalidade do movimento e do marcador são distintas – e.g., custos associados à transição entre modalidades (ver Spence & Driver, 1997; Turatto et al., 2002; Roebuck et al., 2021), ou “enviesamentos” em favor de modalidades particulares, como a visual (ver, e.g., Lukas et al., 2010; Posner et al., 1976). Contudo, um teste direto é oferecido pelo perfil dos  $TR_{esp}$  ao marcador que, em caso de aceleração do processamento, deverão reduzir-se quando a modalidade de apresentação do marcador tem a sua probabilidade aumentada na série.

**P<sub>C4</sub>** – A ocorrência de efeitos de preparação atencional induzidos pela redução da incerteza da modalidade sensorial do marcador deve dar lugar a uma redução dos TR<sub>esp</sub> na localização dos marcadores quando a probabilidade da sua modalidade de apresentação aumenta.

Ainda no quadro de um modelo de latências diferenciais do EFL, a facilitação atencional da deteção do marcador deveria conduzir a que o móvel fosse também localizado mais cedo (na linha física do tempo). Com efeito, sendo o EFL atribuído ao facto de a percepção do marcador ocorrer num momento em que o móvel é já percebido numa posição mais adiantada do seu trajeto, uma aceleração da percepção do *flash* deve possibilitar a localização do móvel mais cedo e, por conseguinte, numa posição anterior. Esta previsão mantém-se válida num modelo de latência generalizado ao custo temporal da deslocação atencional entre o marcador e o móvel (um marcador detetado mais cedo abrevia o conjunto do processo). Para além de conduzir à previsão de uma redução do erro de localização absoluto do móvel quando a modalidade de apresentação do marcador se torna mais provável, este quadro prevê também uma redução dos TR<sub>esp</sub> de localização do móvel nessas circunstâncias.

**P<sub>C5</sub>** – *No quadro de um modelo de latências*, a ocorrência de efeitos de preparação atencional induzidos pela redução da incerteza da modalidade sensorial do marcador deve dar lugar a uma redução dos TR<sub>esp</sub> de localização do móvel quando a probabilidade dessa modalidade aumenta (acompanhando-se também por uma redução do erro de localização do móvel para diante)

Esta previsão contribui para a distinção entre o efeito estratégico considerado em (**P<sub>C2</sub>**) e as previsões inspiradas num modelo de latências (**P<sub>C1</sub>**), de duas maneiras: (1) embora a redução do TR<sub>esp</sub> ao marcador com o aumento da probabilidade da modalidade seja compatível com os dois modelos, a previsão de uma diminuição dos TR<sub>esp</sub> na localização do móvel é específica ao modelo de latências (o processamento estratégico conducente a uma melhor localização do móvel não implica um encurtamento dos tempos de processamento e sim um aumento de exatidão e precisão). Enquanto uma correlação positiva entre a variação dos TR<sub>esp</sub> ao marcador e ao móvel, em função da probabilidade da modalidade, é esperável num modelo de latência, nenhuma correlação particular é assim prevista pelo efeito estratégico. (2) A redução do erro de localização do móvel antecipada em **P<sub>C5</sub>** implica uma localização mais exata do móvel exclusivamente num contexto de erros para diante e não prevê uma redução da variabilidade da resposta de localização (maior precisão).

*Bloco D.* Neste bloco são consideradas previsões condicionais a hipóteses específicas avançadas na literatura sobre o EFL, avaliáveis através das respostas de localização do marcador, de localização do móvel, ou das relações entre ambas. Uma previsão derivável a partir de diversas

propostas explicativas do EFL é a de que, na generalidade das circunstâncias (com restrições a qualificar adiante), os tempos das respostas de localização do móvel deverão ser superiores aos da localização do marcador. O modelo da codificação sequencial de Priess et al. (2012), atribuindo o EFL à necessidade de primeiro codificar o *flash*, e subsequentemente o móvel, nesta ordem, conduz a essa previsão. O mesmo sucede com o modelo de latência generalizado (Baldo, Kihara, et al., 2002; Baldo & Klein, 2010), onde a conjugação de deslocamentos consecutivos da atenção (entre o ponto de fixação e o *flash*, primeiro, e entre o *flash* e o móvel a localizar, em seguida) constitui um fator determinante do EFL (quando a atenção seleciona o móvel, este encontra-se já mais adiantado no seu trajeto). Por fim, a mesma previsão resulta ainda da hipótese do quadro de referência (egocêntrico-alocêntrico), segundo a qual a posição do marcador é primeiro codificada num quadro de referência egocêntrico e em seguida utilizada como âncora ou referência para uma codificação alocêntrica do móvel (Becker et al., 2009).

Esta previsão depende, contudo, de duas suposições: (1) a de que as componentes motoras das respostas de localização do marcador e do móvel são no essencial equivalentes, anulando-se entre si quando os dois  $TR_{esp}$  são comparados; (2) a de que a exigência de indicar a posição percebida do marcador (presente na tarefa de localização do marcador) não altera qualitativamente o seu processamento, ao ponto de induzir latências superiores às do seu processamento conjunto com o móvel na tarefa de localização do móvel. A primeira suposição é plausível e tipicamente assumida nas comparações entre TR ou  $TR_{esp}$  quando a resposta é simples e uniforme (e.g., localização motora). A segunda dispõe de algum suporte quando o marcador e o móvel são ambos visuais. Por exemplo, resultados favoráveis a uma precedência da localização espacial sobre a determinação temporal na percepção visual foram reportados por Park et al. (2003); quando a localização espacial do marcador não é pedida, passando este a deter uma função essencialmente temporal, pode ainda assim esperar-se, neste quadro, a mobilização de processos conducentes à sua localização espacial. Shi & de'Sperati (2008) reportaram, por sua vez, resultados idênticos na localização tanto do móvel como do marcador (ambos visuais) independentemente de as respostas de localização ocorrerem em cada um dos ensaios, em sucessão (primeiro a localização do móvel, depois a do marcador), ou em blocos experimentais distintos. Embora não envolva os  $TR_{esp}$ , este resultado oferece suporte indireto à estabilidade do processamento do marcador face a diferentes exigências quanto à sua localização. A suposição torna-se, contudo, problemática nalgumas condições intermodais: a localização espacial de um marcador auditivo, por exemplo, poderia envolver latências superiores às da localização de um estímulo visual em movimento no momento em que o marcador é apresentado (operando apenas como indicador temporal).

A previsão vale assim, sobretudo, para a condição visual unimodal ( $V_{MC}-V_{MOV}$ ), podendo eventualmente estender-se às condições com marcador simultaneamente visual e auditivo ( $AV_{MC}-V_{MOV}$ ) e com marcador visual e movimento auditivo ( $V_{MC}-A_{MOV}$ ), mas excluindo, em princípio, a condição com marcador auditivo ( $A_{MC}-V_{MOV}$ ). A verificar-se, oferecerá suporte conjunto à hipótese de processamento sequencial do marcador e do móvel (comum aos três modelos referidos) e às duas assunções (mantendo-se, todavia, compatível com um processamento em cascata dos dois estímulos (McClelland, 1979). Em caso de infirmação, isso poderá dever-se quer à falência de uma ou ambas as assunções (em particular a segunda) quer à invalidade da hipótese (e.g., os dois estímulos serem processados em paralelo).

**P<sub>D1</sub>** – Os  $TR_{esp}$  de localização do móvel deverão, em regra, ser superiores aos  $TR_{esp}$  da localização do marcador, com a exceção provável da condição ( $A_{MC}-V_{MOV}$ )

Num estudo em que o marcador era apresentado aleatoriamente 300, 500, ou 700 ms após o início do movimento, Vreven & Verghese (2005) observaram um decréscimo do FLE com o aumento da duração (e extensão) do movimento anterior ao *flash*, designando-o como “efeito de intervalo” e tomando-a como resultado da previsibilidade crescente do marcador: decorridos os primeiros 300 ms sem apresentação do *flash*, a sua probabilidade de ocorrência aos 500 ou 700 ms aumentava, e decorridos 500 ms sem apresentação do *flash*, a sua ocorrência aos 700 ms era certa. Nas experiências de Vreven & Verghese (2005) o movimento prosseguia sempre após o *flash*, correspondendo assim ao ciclo completo do EFL (CC). Contudo, uma vez transposto para a nossa tarefa de base, este resultado e interpretação implicam uma previsão com um conteúdo próximo da **P<sub>B2</sub>**, antecipando valores decrescentes do  $EFL_D$  assim ordenados:  $CIM > CC > CTM$ . Com efeito, a trajetória mais curta do movimento (CIM) encontra-se confundida, nas nossas experiências, com a ausência de movimento anterior ao marcador, e a trajetória mais longa (CTM) com a ausência de movimento após o marcador. Se este *confounding* impede que um eventual ajuste da previsão aos dados possa atribuir-se inequivocamente à previsibilidade do marcador, suscita por outro lado a dúvida sobre o grau em que, a verificar-se a previsão parente **P<sub>B2</sub>** (ver tabela abaixo), isso se deva simplesmente à previsibilidade induzida pelo arranjo experimental. Algumas circunstâncias contribuem para limitar, à partida, essa possibilidade: por um lado, a derivação de **P<sub>B2</sub>** baseou-se em tendências gerais do perfil do EFL nos diferentes ciclos, incorporando resultados de vários estudos em que o CIM, o CC e o CTM foram investigados em blocos/experiências separadas, e não aleatorizados num só bloco (e.g., Alais & Burr, 2003, Khurana & Nijahwan, 1995; Nijahwan et al., 2004, Ögmen et al., 2004; Watanabe, 2004); por outro lado, a justaposição das duas previsões não é completa – o “efeito de intervalo” não antecipa uma inversão do  $EFL_D$  no CTM, prevista em **P<sub>B2</sub>**.

**P<sub>D2</sub>** – Na hipótese de um efeito de previsibilidade associado à posição temporal dos marcadores (início, meio e fim do movimento), a magnitude dos efeitos observados

(EFL<sub>D</sub>) nos diferentes ciclos do EFL deve ordenar-se do seguinte modo: CIM > CC > CTM. Esta previsão tem um conteúdo próximo do da **P<sub>B2</sub>**, mas uma condicionalidade diferente.

Em experiências com movimento horizontal (e seguimento ocular) em que um *flash* era apresentado com um desfasamento ortogonal relativamente ao trajeto do movimento, van Beers et al. (2001) documentaram, para além de erros de localização do marcador no sentido do movimento, erros ortogonais ao movimento (eixo vertical) que acentuavam o afastamento do marcador à trajetória do móvel. Este resultado é indicativo de influências da informação posicional do móvel (apesar de nominalmente irrelevante) na posição percebida do marcador, permitindo igualmente considerar uma eventual influência da informação posicional do marcador na localização do móvel (apesar da informação espacial do marcador, ao contrário da temporal, ser então nominalmente irrelevante).

A observação de van Beers e colaboradores levaria a prever, na nossa tarefa de base (em que o marcador é apresentado acima do trajeto do móvel) e na condição unimodal visual (**V<sub>MC</sub>-V<sub>MOV</sub>**), um erro vertical para cima na localização do marcador (compatível, por exemplo, com um efeito de repulsão atencional: Baumeler et al., 2020). Num cenário em que a informação posicional do móvel e do marcador se influenciam reciprocamente através de um mecanismo de combinação-integração, erros para baixo do marcador e para cima do móvel seriam ao invés esperáveis. Ainda no mesmo cenário, previsões para condições intermodais podem derivar-se com base na ponderação inversa da informação posicional dos estímulos pela incerteza espacial associada à sua modalidade (Ernst & Banks, 2002; Ernst & Di Luca, 2011). Com um marcador auditivo (oferecendo tipicamente pior resolução espacial) e movimento visual (**A<sub>MC</sub>-V<sub>MOV</sub>**), poderia assim esperar-se uma deslocação para baixo, em direção ao trajeto do movimento, muito superior a um eventual erro para cima na localização do móvel (na direção do marcador). Com um marcador visual e movimento auditivo (**V<sub>MC</sub>-A<sub>MOV</sub>**), um resultado simétrico seria expetável. Eventualmente, uma captura integral da posição do estímulo auditivo (marcador ou móvel) pela posição do estímulo visual pode conceber-se, resultando na localização do estímulo auditivo próximo do local verídico de apresentação do estímulo visual. Um resultado deste tipo sugeriria que a informação espacial veiculada pelo marcador (ou móvel, ou ambos) na modalidade auditiva é no essencial negligenciada.

**P<sub>D3</sub>** – *Num cenário de influência recíproca (interação-combinação-integração) da informação posicional do móvel e do marcador, mesmo quando nominalmente irrelevante para a tarefa (e.g, informação espacial do marcador na tarefa de localização do móvel; informação espacial do móvel na tarefa de localização do marcador) e admitindo, nas condições intermodais, a ponderação da informação posicional pela resolução espacial da modalidade, pode prever-se, em geral: erros verticais “para baixo” na localização do*

marcador e “para cima” na localização do móvel, com maiores deslocamentos do marcador do que do móvel na condição  $A_{MC}-V_{MOV}$ , e do móvel do que do marcador na condição  $(V_{MC}-A_{MOV})$ .

A **Tabela 1** organiza e resume o conjunto das previsões enunciadas, possibilitando uma recapitulação rápida do seu conteúdo sempre que, nas secções seguintes, dedicadas à análise e discussão dos dados, o código de referência de uma previsão seja utilizado.

**Tabela 1.** Mapa de previsões orientadoras

<b>Bloco A</b>	<b>Erros de localização do móvel e do marcador</b>
	<i>Erros de localização do móvel</i>
<b>P<sub>A1</sub></b>	Erros de localização do móvel para diante devem observar-se no CIM e no CC, e erros de localização para trás no CTM
<b>P<sub>A2</sub></b>	O erro de localização do móvel para diante no CIM deverá ser superior ao do CC – a que pode juntar-se, flexibilizando P <sub>A1</sub> : no caso de se verificar um erro para diante no CTM, este deverá ser o menor dos três
<b>P<sub>A3</sub></b>	Nas tarefas intermodais o perfil dos erros de localização do móvel nos diferentes ciclos deverá reproduzir apenas parcialmente o perfil observado (direção dos erros e ordenação relativa das magnitudes) na tarefa visual unimodal.
<b>P<sub>A4</sub></b>	As condições com movimento ou marcador simultaneamente auditivo e visual (audiovisual) poderão produzir perfis de erros de localização do móvel mais próximos do observado na tarefa visual unimodal do que condições com marcador ou movimento exclusivamente auditivo.
	<i>Erros de localização do marcador</i>
<b>P<sub>A5</sub></b>	Na tarefa visual unimodal, os erros de localização do marcador deverão ocorrer predominantemente para diante, com magnitudes superiores no CIM e CC comparativamente ao CTM.
<b>P<sub>A6</sub></b>	Nas tarefas intermodais pode igualmente esperar-se a ocorrência de erros de localização do marcador para diante, em geral menores do que na tarefa unimodal visual (primeiro cenário) ou, pelo menos, menores quando o movimento é auditivo e o marcador visual (segundo cenário).
<b>Bloco B</b>	<b>Perfis de EFL<sub>D</sub></b>
	<i>Ciclos CIM, CC e CTM</i>
<b>P<sub>B1</sub></b>	Os valores de EFL <sub>D</sub> deverão ser positivos (EFL <sub>D</sub> > 0) no CIM e no CC e nulos ou, mais provavelmente, negativos (EFL <sub>D</sub> ≤ 0) no CTM.
<b>P<sub>B2</sub></b>	Os valores de EFL <sub>D</sub> deverão ser positivos (EFL <sub>D</sub> > 0) no CIM e no CC, com magnitudes tendencialmente superiores no CIM.
	<i>Perfis Intermodais</i>
<b>P<sub>B3</sub></b>	Os valores de EFL <sub>D</sub> nas condições intermodais deverão ser superiores ao EFL <sub>D</sub> na condição visual unimodal, com a seguinte ordenação geral de magnitudes: $A_{MC}-V_{MOV} > V_{MC}-A_{MOV} > V_{MC}-V_{MOV}$ .
<b>P<sub>B4</sub></b>	Nas condições intermodais, os perfis de EFL <sub>D</sub> no CIM, CC e CTM deverão reproduzir qualitativamente o perfil da condição visual unimodal, objeto da previsão <b>P<sub>B1</sub></b> : valores de EFL <sub>D</sub> > 0 no CIM e no CC e nulos, ou eventualmente negativos, no CTM.
<b>P<sub>B5</sub></b>	A direção e/ou magnitude dos EFL <sub>D</sub> intermodais deverá mostrar-se inconsistente com as previsões baseadas nas diferenças de latência entre modalidades observadas na segunda série experimental.
	<i>Diferenças Interindividuais</i>

<b>P<sub>B6</sub></b>	Os EFL <sub>D</sub> deverão refletir a ocorrência de diferenças individuais importante no EFL, quer através de diferenças de magnitude quer, sobretudo, de diferenças qualitativas, incluindo o cancelamento e direções antagónicas do efeito (EFL <sub>D</sub> ≈ 0, EFL <sub>D</sub> > 0, EFL <sub>D</sub> < 0).
<b>P<sub>B7</sub></b>	Entre os participantes agrupáveis num mesmo padrão qualitativo (EFL <sub>D</sub> > 0, EFL <sub>D</sub> ≈ 0, EFL <sub>D</sub> < 0), poderão manter-se diferenças individuais significativas quanto à combinação particular de erros absolutos que determinam o padrão.
<b>Bloco C</b>	<b>Efeitos da probabilidade da modalidade do marcador</b>
	<i>Redução do EFL<sub>D</sub></i>
<b>P<sub>C1</sub></b>	<i>No quadro de um modelo de latências generalizado (a latências atencionais, moduláveis pela previsibilidade), pode esperar-se, em séries nas quais alternam marcadores visuais e auditivos, uma redução de EFL<sub>D</sub> nas condições V<sub>MC</sub>-V<sub>MOV</sub>, quando a probabilidade do marcador visual aumenta relativamente à do marcador auditivo (ou se torna claramente favorável) e nas condições A<sub>MC</sub>-V<sub>MOV</sub>, quando a probabilidade do marcador auditivo aumenta (ou se torna claramente favorável)..</i>
<b>P<sub>C2</sub></b>	<i>Na hipótese de um efeito estratégico de incremento da importância da informação temporal do marcador em séries com alta probabilidade de marcadores auditivos (com melhor resolução temporal que os visuais), pode esperar-se uma localização mais exata e precisa do estímulo móvel devida ao timing melhorado da localização, pelo menos quando o marcador é auditivo, quer o EFL<sub>D</sub>, presente ou não uma redução.</i>
<b>P<sub>C3</sub></b>	<i>Num cenário de alocação preferencial de recursos à informação posicional do movimento na condição de máxima incerteza quanto à modalidade do marcador (50%A, 50% V) pode esperar-se, nessa condição: uma localização comparativamente mais exata e precisa do móvel; maiores efeitos de arrastamento do marcador no sentido do movimento; uma redução comparativa do EFL<sub>D</sub>, ou a sua inversão (EFL<sub>D</sub> &lt; 0).</i>
	<i>Tempos de Resposta</i>
<b>P<sub>C4</sub></b>	A ocorrência de efeitos de preparação atencional induzidos pela variação da probabilidade da modalidade do marcador deverá assinalar-se por uma redução dos TR <sub>esp</sub> na localização dos marcadores quando a probabilidade da sua modalidade de apresentação aumenta
<b>P<sub>C5</sub></b>	<i>No quadro de um modelo de latências, a ocorrência de efeitos de preparação atencional induzidos pela redução da incerteza da modalidade sensorial do marcador deve dar lugar a uma redução dos TR<sub>esp</sub> de localização do móvel quando a probabilidade dessa modalidade aumenta (acompanhando-se de uma redução do erro de localização do móvel para diante)</i>
<b>Bloco D</b>	<b>Previsões condicionais a hipóteses formuladas na literatura</b>
	<i>Tempos de Resposta</i>
<b>P<sub>D1</sub></b>	<i>Na hipótese de um processamento sequencial do marcador e do móvel, admitido por diferentes explicações do EFL, os TR<sub>esp</sub> de localização do móvel deverão, em regra, ser superiores aos TR<sub>esp</sub> da localização do marcador, com a exceção provável da condição (A<sub>MC</sub>-V<sub>MOV</sub>).</i>
	<i>Perfis de EFL<sub>D</sub></i>
<b>P<sub>D2</sub></b>	<i>Na hipótese de um efeito de previsibilidade associado à posição temporal dos marcadores (início, meio e fim do movimento), a magnitude dos efeitos observados (EFL<sub>D</sub>) nos diferentes ciclos do EFL deve ordenar-se do seguinte modo: CIM &gt; CC &gt; CTM. Esta previsão tem um conteúdo parente do da P<sub>B2</sub>, mas uma condicionalidade diferente.</i>
	<i>Interações-Combinações Posicionais</i>
<b>P<sub>D3</sub></b>	<i>Num cenário de influência recíproca (interação-combinação-integração) da informação posicional do móvel e do marcador, mesmo quando nominalmente irrelevante para a tarefa (e.g, informação espacial do marcador na tarefa de localização do móvel; informação espacial do móvel na tarefa de localização do marcador) e admitindo, nas condições intermodais, a ponderação da informação posicional pela resolução espacial da modalidade, pode prever-se, em geral: erros verticais para baixo na localização do marcador e para cima na localização do móvel, com maiores deslocamentos do marcador do que do móvel na condição A<sub>MC</sub>-V<sub>MOV</sub>, e do móvel do que do marcador na condição V<sub>MC</sub>-A<sub>MOV</sub>.</i>

### **4.3. Método**

#### **4.3.1. Participantes**

Duas amostras (doravante designadas como amostras A e B) de, respetivamente, 15 (12 F, 3 M) e 16 (12 F, 4 M) estudantes de graduação da Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Coimbra do Instituto Politécnico de Coimbra, ingénuos relativamente aos objetivos do estudo, participaram voluntariamente nas experiências da primeira série. A idade dos participantes variou em ambas as amostras entre os 19 e os 22 anos ( $M = 20.1$ ,  $DP = 1.0$  na amostra A;  $M = 19.9$ ;  $DP = 0.9$ , na amostra B). Nenhum dos participantes reportou problemas de audição e todos apresentavam visão normal ou corrigida para a normal. Todos os procedimentos obedeceram aos requisitos da declaração de Helsínquia, tendo sido obtido o consentimento livre e informado de cada um dos participantes.

As amostras A e B foram associadas a diferentes conjuntos de experiências (descritas na secção “desenho experimental e procedimento”), de modo a reduzir o número de tarefas e sessões experimentais por participante.

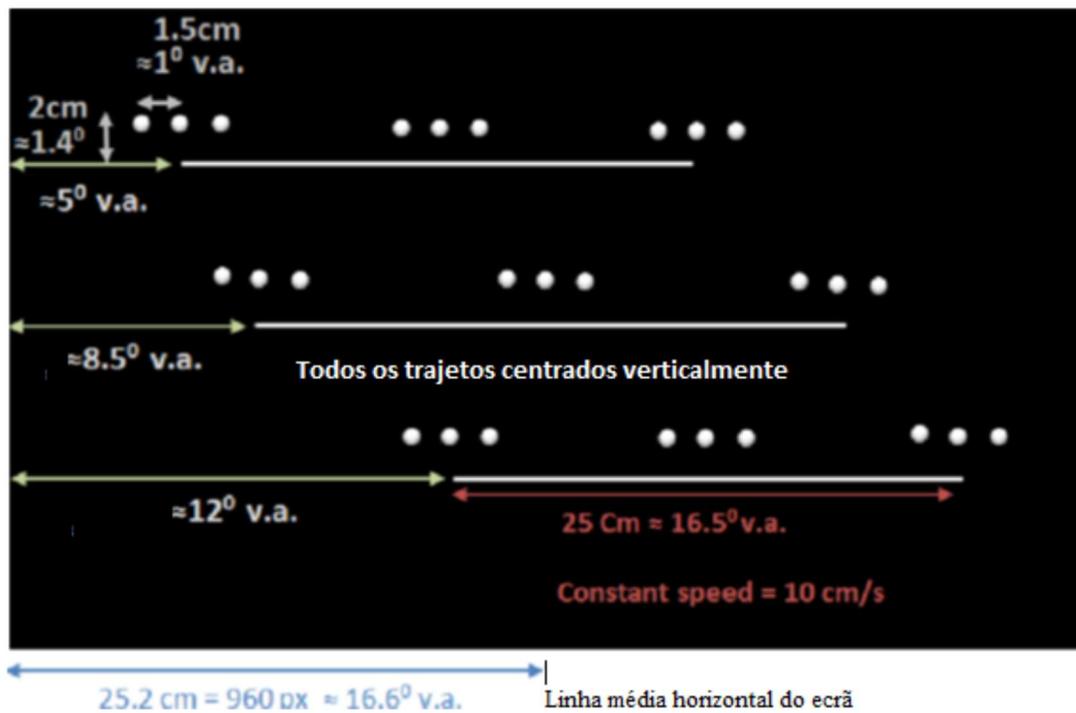
#### **4.3.2. Estímulos**

Os estímulos consistiram em animações áudio e vídeo interleave (*avi*) (a 60 frames por segundo: fps) envolvendo a apresentação de um estímulo em movimento, deslocando-se horizontalmente da esquerda para a direita sobre a linha média vertical do ecrã a uma velocidade de  $10 \text{ cm s}^{-1}$  ( $\approx 7^\circ \text{ a.v. s}^{-1}$  à distância de observação de 84,5 cm) durante 2500 ms, e um estímulo estático (marcador) apresentado brevemente (50 ms, correspondendo a três ciclos de refrescamento do ecrã a 60 Hz) no início, no meio, ou no final do trajeto, 2 cm ( $\approx 1.4^\circ \text{ a.v.}$ ) acima da linha do movimento. Dependendo das tarefas, o movimento apresentado era visual (V), auditivo (A), ou audiovisual (AV). Em experiências com movimento A ou AV, o marcador era visual. Em experiências com movimento V, o marcador era auditivo, visual ou audiovisual (em diferentes tarefas). A produção final dos ficheiros *.avi*, incluindo, nas tarefas intermodais, a sincronização da informação vídeo e áudio (ficheiros em formato *wav* estéreo) foi realizada no programa VirtualDub v1.9.11 (SourceForge, 2010). Todos os vídeos incluíam 2 *frames* adicionais após o termo do movimento (+33 ms), de modo que a apresentação do marcador no termo do trajeto coincidissem com a última posição visível/audível do móvel, persistindo por dois ciclos de

refrescamento após a sua desapareção. Descreve-se em seguida a síntese das diferentes componentes de informação – visual e auditiva, estática e dinâmica – incorporadas nas animações *.avi*.

*Estímulos visuais em movimento* – Gerados no programa *Interactive Physics 2000 v5.2.1.1* (*MSC.Software Corporation, 2000*), consistiam num disco branco (RGB: 255, 255, 255), com 1 cm de diâmetro ( $\approx 0.7^\circ$  v.a. à distância de observação imposta), em movimento horizontal da esquerda para a direita sobre um fundo preto (RGB:0,0,0), percorrendo um de três trajetos com 25 cm de extensão ( $\approx 16.5^\circ$  a.v.) a uma velocidade constante de  $10 \text{ cm s}^{-1}$  ( $\approx 7^\circ$  a.v./ $\text{s}^{-1}$ ). Todos os trajetos se encontravam centrados verticalmente no ecrã, mas desfasados horizontalmente entre si (a passos cumulativos de 5,25 cm,  $\approx 3.5^\circ$  a.v.), implicando diferentes posições de origem e termo do movimento (ver **Figura 4**). As animações foram guardadas sob a forma de sequências de 152 imagens *.bmp* (150 posições do móvel + 2 imagens do fundo, na ausência de móvel), importáveis pelo *VirtualDub v1.9.11*.

*Estímulos visuais estáticos (marcadores visuais)* – Um disco branco (RGB: 255, 255, 255) sobre fundo preto, com 1 cm de diâmetro, produzido em formato *.bmp*. Este disco foi inserido 2 cm ( $\approx 1,4^\circ$  a.v.) acima do trajeto do móvel nos três primeiros *frames* (f1 a f3), em três *frames* centrais (f75 a f77), ou nos três últimos *frames* (f150 a f152) da sequência de imagens representativa do movimento. Em cada um destes momentos (início, meio ou final do trajeto) o disco foi inserido igual número de vezes com um desfasamento horizontal (de 1,5 cm,  $\approx 1^\circ$  a.v.) para trás relativamente à posição do móvel na imagem, um desfasamento simétrico para diante, ou em alinhamento espacial com o móvel (ver **Figura 4**). Tal como na tarefa de Müsseler et al. (2002), esta manipulação visou limitar a utilização pelos participantes da posição do marcador como um indicador fiável da posição do móvel. Depois de editada (com adição do disco estático nos *frames* referidos) e importada no *VirtualDub v1.9.11*, a sequência de imagens permitiu gerar animações *.avi* a 60 fps que incluíam, para além do movimento, a apresentação de um marcador visual, no local e momento pretendidos, durante 50 ms (3 ciclos de refrescamento do ecrã a 60 Hz).



**Figura 4.** Diagrama da estrutura dos estímulos. As linhas brancas horizontais identificam três trajetetos (de cima para baixo: trajetetos 1, 2 e 3), com a mesma extensão (25 cm,  $\approx 3.5^\circ$  a.v.) percorridos por um móvel (V, A ou AV) a uma velocidade constante de 10 cm/s ( $\approx 7^\circ$  a.v.  $s^{-1}$ ). Para clareza da representação, os diferentes trajetetos apresentam-se verticalmente separados, mas todos surgiam sobre a linha média vertical do ecrã. Os grupos de 3 pontos brancos localizados no início, meio ou final de cada trajeteto (acima da linha do movimento), correspondem às apresentações de marcadores (A, V ou AV) correspondentes, respetivamente, aos três ciclos do EFL (CIM, CC e CTM). Em cada grupo de três pontos, o desfasamento horizontal para trás ou para diante de dois dos pontos relativamente à posição do móvel ( $\pm 1,5$  cm,  $\approx \pm 1^\circ$  a.v.) corresponde a uma manipulação visando limitar a utilização do marcador como um indicador fiável da posição horizontal do móvel (ver texto).

*Estímulos auditivos estáticos (marcadores auditivos)* – Gerados no Audacity v2.0.2 (Audacity Team, 2012), consistiram em ruído branco filtrado entre os 300 e os 1100 Hz, com uma frequência de amostragem de 44.1 kHz e precisão simples de 32-bit floating depth. Os sons foram espacializados com o slab3d v6.6.1 (NASA & Miller, 2012) utilizando diferenças interaurais de tempo (*interaural time differences*: ITD) e de intensidade (*interaural level differences*: ILD), de modo a replicarem auditivamente (mediante apresentação em altifalantes; ver abaixo descrição dos procedimentos) as posições dos marcadores visuais no início, meio e fim dos trajetetos de movimento. Para minimizar o eventual impacto de transientes acústicos (*spectral splatter*) nas pistas de localização, um *fade-in* e um *fade-out* linear de 5 ms foram aplicados, respetivamente, ao *onset* e *offset* dos sons, cuja duração total foi fixada nos 50 ms. Dependendo da sua espacialização, os sons foram inseridos em diferentes momentos (correspondendo temporalmente à apresentação de *frames* específicos das animações de movimento: f1, f75 ou f150) de ficheiros

estéreo de silêncio (amplitude áudio 0) com duração total idêntica à dos ficheiros vídeo (2533 ms). Depois de importados no *VirtualDub* v1.9.11, os arquivos *.wav* resultantes foram sincronizados com os arquivos vídeo (usando entrelaçamento áudio-vídeo por *frame*), dando lugar a animações *.avi* com movimento visual e marcadores auditivos espacializados de 50 ms.

*Estímulos auditivos em movimento* – O mesmo ruído branco filtrado entre os 300 os 1100 Hz (frequência de amostragem de 44.1 kHz; precisão simples de *32-bit floating depth*) mas agora espacializado em movimento. Como anteriormente, a espacialização foi realizada no *slab3d* v6.6.1 (NASA & Miller, 2012) com base em ITDs e ITLs (considerando a apresentação em colunas, não foram utilizadas no processamento funções de transferência relacionadas com a cabeça: HRTF). O sistema de renderização virtual do *slab3d* v6.6.1 permite modelizar parametricamente a localização de fontes sonoras num espaço auditivo 3D, incorporando a posição do ouvinte (e.g., distância e orientação relativamente à fonte), propriedades do ambiente (e.g., dimensões e localização das superfícies, coeficientes de reflexão e absorção, reverberação tardia) e propriedades da fonte (e.g., tamanho, dado pelo raio, velocidade, orientação) (Miller & Wenzel, 2002). As deslocações da fonte sonora foram modelizadas, a uma velocidade implícita de  $10 \text{ cm s}^{-1}$  (equivalente a uma duração do movimento de 2500 ms) entre pontos correspondentes às posições inicial e final dos diferentes trajetos visuais no ecrã (para um ouvinte localizado a 84,5 cm de distância). Esta velocidade situa-se abaixo da gama de velocidades utilizadas por Alais e Burr (2003) (entre os 20 e os  $80^\circ \text{ a.v. s}^{-1}$ ), uma opção justificada pela evidência de que velocidades mais baixas (desde que acima de  $1^\circ \text{ a.v. s}^{-1}$ : Perrott & Saberi, 1990) facilitam a localização de fontes sonoras em movimento (Carlile & Leung, 2016; Chandler & Grantham, 1992; Perrott & Musicant, 1977). Todos os sons foram guardados como ficheiros *.wav* estéreo, com *fade in* e *fade out* de 5 ms e aumentados com 33 ms de silêncio. A sua combinação e sincronização no *VirtualDub* com sequências de 152 imagens do fundo preto homogéneo, contendo apenas, em *frames* específicos (f1-f3, f75- f77, ou f150- f152) e em posições correspondentes à origem, meio e termo do movimento auditivo, um disco branco estático (ver acima, estímulos visuais estáticos), suportou a geração de ficheiros *.avi* com movimento auditivo e marcadores visuais de 50 ms,

*Estímulos audiovisuais em movimento* – Obtidos a partir da combinação de arquivos *.wav* correspondentes aos estímulos auditivos em movimento (ver ponto anterior) e de ficheiros *.avi* com movimento visual e marcadores visuais. Desta combinação resultou, em simultâneo, a conjugação de movimento AV com marcadores visuais, que não requereu assim passos adicionais.

*Estímulos audiovisuais estáticos (marcadores AV)* – Obtidos por combinação de arquivos *.wav* correspondentes aos estímulos auditivos estáticos e de ficheiros *.avi* com movimento e marcadores visuais. A conjugação de marcadores AV e movimento visual resultou também, em simultâneo, desta combinação.

Não existe no domínio de estudo dos erros de localização do movimento auditivo uma prática estabilizada quanto à natureza e características (em particular de frequência) dos sons a utilizar. Nos seus trabalhos sobre MR auditivo, Perrot e Musicant (1977) e Mateeff e Hohnsbein (1988b) utilizaram tons puros de 500 e 400 Hz, respetivamente, Getzmann (2005b) ruído branco filtrado entre os 1.0 e 3.0 kHz, Schmiedchen et al. (2013) ruído entre os 250 e 1000 Hz (experiência 1) e entre os 2.0 e 8.0 kHz (experiência 2), Feinkhol et al. (2014) ruído entre os 0.3 e os 16 kHz. Nos estudos de Alais e Burr (2003) e Arrighi et al. (2005a) sobre o FLE auditivo e audiovisual, a fonte sonora em movimento consistiu em ruído branco filtrado abaixo dos 1000 Hz (filtro passa-baixo) e os marcadores auditivos foram tons puros de 1000 Hz e 400 Hz, respetivamente.

A opção pela utilização de ruído branco filtrado entre os 300 e os 1100 Hz (amplitude de  $\approx$  1.87 oitavas) resultou no nosso caso de diferentes considerações. Por um lado, mantém a comparabilidade com gamas de frequência utilizadas em estudos anteriores do EFL auditivo e audiovisual (e.g., < 1000 Hz: Alais & Burr, 2003) e do MR auditivo (e.g., 250-1000 Hz; Schmiedchen et al., 2013). Por outro, é exterior à região onde, de acordo com o modelo duplex da localização sonora (Balkany & Zeitler, 2013), o sistema auditivo humano experiencia maiores dificuldades no uso da informação interaural (1.5-3.0 kHz) (Akeroyd, 2014; Middlebrooks & Green, 1991). Uma limitação possível do recurso a frequências abaixo dos 1.5 kHz seria, de acordo com o mesmo modelo, uma redução drástica da contribuição das ILD para a localização destes estímulos (Middlebrooks & Green, 1991). Contudo, um papel substancial das ILD na localização de tons com frequências significativamente inferiores a 1000 Hz tem sido reconhecido em formas revistas da teoria duplex (e.g., Hartmann et al., 2016). Neste mesmo sentido, os resultados obtidos por Schmiedchen et al. (2013) com ruído filtrado entre os 250 e 1000 Hz foram no essencial replicados com ruído filtrado entre os 2.0 e os 8.0 kHz. Finalmente, em contraste com a localização de tons e sons de banda estreita (tipicamente abaixo de uma oitava), nos quais se baseia a teoria duplex, a precisão da localização de ruídos com amplitude próxima das duas oitavas ou superior não depende, em normo-ouvintes, da frequência central (Risoud et al., 2018; Yost & Zhong, 2014). À luz do que precede, é possível esperar que, ao mesmo tempo que favorecem a comparabilidade com os estudos disponíveis do EFL audiovisual (designadamente, Alais & Burr, 2003), as opções tomadas quanto à banda de frequências e ao seu centro (700 Hz) não influam particularmente na localização dos sons.

### 4.3.3. Desenho experimental

Cada tarefa pode ser descrita como o cruzamento fatorial completo de três fatores: ciclo do EFL (ciclo), com três níveis, correspondendo aos três momentos de apresentação do marcador (CIM, CC, CTM), trajeto do movimento (trajeto), com três níveis (trj1, trj2, trj3) e resposta de localização (resposta) com dois níveis implementados em blocos distintos (resposta ao marcador e ao móvel,  $R_{MC}$  e  $R_{MOV}$ ). Todos os participantes realizaram todas as condições experimentais. O desenho experimental associado a cada tarefa correspondeu assim a um desenho fatorial completo de medidas repetidas  $3$  (ciclo)  $\times$   $3$  (trajeto)  $\times$   $2$  (resposta). Tratando-se de uma manipulação com propósitos unicamente metodológicos, a variação espacial introduzida nos marcadores em cada ciclo (alinhamento com o móvel, desfasamento de 1º a.v. para trás, desfasamento de 1º a.v. para diante: ver **Figura 4**) não é aqui tomada como um fator experimental, sendo os seus níveis tratados agregadamente. Em cada bloco de respostas cada condição experimental foi replicada 12 vezes, resultando em 108 ensaios experimentais, para um total de 216 ensaios nos dois blocos. Cada bloco foi adicionalmente precedido de 10 ensaios de treino.

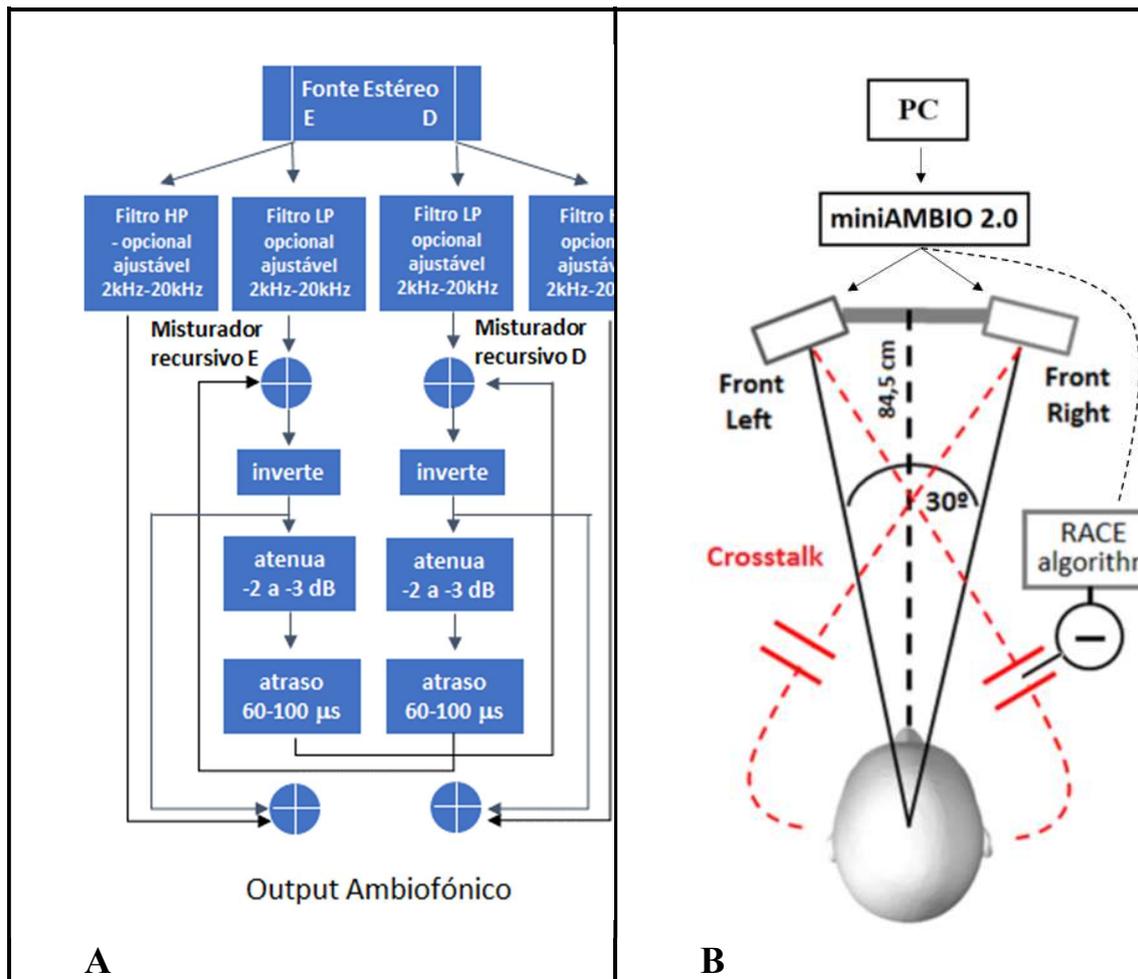
A amostra de participantes A ( $n=15$ ) realizou três tarefas intermodais (combinando marcadores e móveis em diferentes modalidades sensoriais):  $V_{MC-A_{MOV}}$ ;  $V_{MC-A_{V_{MOV}}}$ ;  $A_{V_{MC-V_{MOV}}}$ . As tarefas foram realizadas em diferentes sessões, em dias consecutivos, e a sua ordem contrabalanceada através dos participantes, utilizando todas as ordenações possíveis ( $3! = 6$ ; dois participantes foram atribuídos aleatoriamente a cada uma das ordens, e uma ordem foi aleatoriamente associada a cada um dos três participantes restantes). Em cada tarefa, metade dos participantes começou por localizar o móvel e a outra metade o marcador.

A amostra de participantes B ( $n=16$ ) realizou cinco tarefas, todas com movimento visual, envolvendo a variação da probabilidade de ocorrência de marcadores auditivos e visuais entre os 0 e os 100 % (tarefas  $A_{MC-V_{MOV}}$ , quando não há marcadores visuais, e  $V_{MC-V_{MOV}}$ , quando todos os marcadores são visuais), a passos de 25% (25% marcadores V, 50% marcadores V, 75% marcadores V). As tarefas foram realizadas em três sessões (duas tarefas em duas das sessões, uma na terceira) distando entre si cerca de uma semana. De modo a limitar os efeitos de ordem, 16 ordenações das 5 tarefas, extraídas ao acaso, sem reposição, das 120 permutações possíveis ( $5!$ ), foram aleatoriamente associadas aos participantes. Em cada tarefa metade dos participantes começou por localizar o móvel e a outra metade o marcador. Tomadas em conjunto, estas cinco tarefas, realizadas pelos mesmos participantes, correspondem a um desenho fatorial de medidas repetidas  $3$  (ciclo)  $\times$   $3$  (trajeto)  $\times$   $2$  (resposta)  $\times$   $5$  (probabilidade).

#### 4.3.4. Procedimento e opções operacionais

As experiências decorreram numa cabina insonorizada, na Escola Superior de Tecnologia de Saúde de Coimbra, em ambiente de quase total obscuridade. Os estímulos visuais eram apresentados num monitor LCD plano de 23” (DELL S2340T, 50.9 × 28,6 cm), com resolução de ecrã de 1920 × 1080 px e taxa de refrescamento de 60 Hz. Os participantes sentavam-se a uma distância de 84.5 cm do ecrã, numa cadeira de altura regulável, com a cabeça apoiada num suporte queixo-testa, a linha de visão alinhada com o centro do ecrã e a altura dos olhos ajustada à sua linha média vertical. Os estímulos sonoros eram apresentados em duas colunas HP NN109AA (SNR: 78 dB; 72 × 48 × 38 mm) acopladas a um processador digital miniAMBIO 2.0 (Ambio4you, 2010) para eliminação dos efeitos de *cross-talk* que afetam a localização do som apresentado por colunas (e.g. distorção das ITD e ILD, efeitos de pente, pistas de lateralização na *pinnae* inconsistentes com as ITD e ID, restrição da amplitude do campo sonoro: ver Glasgal, 2007; Levental & Glasgal, s.d.). O miniAMBIO 2.0 implementa um algoritmo recursivo para o cancelamento acústico do som emitido por uma coluna no ouvido mais distante através da emissão de uma réplica do som, com polaridade inversa e atraso e atenuação adequadas, pela coluna mais próxima desse ouvido (*Recursive Ambiophonic Crosstalk Eliminator* ou RACE). Cancelamentos de 2ª ordem e ordem superior são recursivamente aplicados aos próprios sons de cancelamento, até que a sua amplitude se situe abaixo dum limiar fixado (Ambio4you, 2010; Glasgal, 2007). O sistema é facilmente parametrizável, requerendo apenas, do ponto de vista de instalação, a disposição das colunas num ângulo (com vértice no centro do eixo interaural do ouvinte) não superior a 30° (de modo a minimizar a ocorrência de falsas “sombra de cabeça” associadas a ângulos maiores) (ver em baixo a figura 5). Dependendo das tarefas, as colunas ocupavam uma de duas posições verticais. Em tarefas com movimento A ou AV, os centros situavam-se ao nível da linha média vertical do ecrã (correspondendo à elevação do som móvel). Em tarefas com marcador A ou AV, encontravam-se 2 cm acima da linha média vertical (correspondendo à elevação do som do marcador). O som era apresentado com uma intensidade de 60 dB (A), medida à saída das colunas com um sonómetro (Brüel & Kjær, 2260; Brüel & Kjær, Nærum, Denmark). O recurso à apresentação em colunas com eliminação do *crosstalk* acústico permitiu deste modo ultrapassar, com vantagem, vários dos problemas conhecidos da alternativa de apresentação por *headphones*: impedimento da função de filtragem do pavilhão auricular (Baumgartner et al., 2017), dificuldades na externalização do som (Best, Baumgartner, Lavandier, Majdak, & Kopčo, 2020; Leclère, Lavandier, & Perrin, 2019; Mendonça et al., 2012), inadequação das HRTF (*head-related transfer function*) médias tipicamente utilizadas (Jenny & Reuter, 2020; Kim & Choi, 2005), dificuldades na produção de pistas adequadas de elevação do som (Wightman & Kistler, 1989).

A tarefa do participante consistia, dependendo dos blocos de resposta, em localizar o marcador ou em localizar o móvel no momento da ocorrência do marcador, utilizando para o efeito o posicionamento de um cursor “+” controlado por um rato ótico sem fios (um clique no botão esquerdo do rato confirmava a localização escolhida). Não foram impostas restrições aos movimentos oculares. Esta opção difere da prática corrente de solicitar aos participantes que mantenham a fixação até ao momento da resposta (e.g., Shi e de’Sperati, 2008, Müsseler et al., 2002), embora na maioria dos casos o cumprimento dessa instrução não seja verificado por registo oftalmográfico. Na tradição dominante de estudo do EFL com movimento circular, a evidência sobre o desvanecimento do EFL quando o seguimento ocular do movimento é permitido (Nijhawan, 1997; 2001) justifica a interdição dos movimentos oculares. Uma segunda motivação é o controlo da excentricidade retiniana. Nenhuma destas motivações parece, contudo, natural em tarefas com movimento linear (ver, eg., van Beers et al., 2001). Tal como no caso de outros erros de localização, a ideia de que a motricidade ocular introduz complicações supérfluas (planeamento motor, integração sensoriomotor) presume demasiado sobre a natureza dos mecanismos subjacentes à localização espacial (ver, e.g., Jordan et al., 2002). Um papel intrínseco do movimento ocular e da direção do olhar na produção do FLE tem sido, por exemplo, admitido em modelos assentes na articulação de processos de localização egocêntrica e allocêntrica (Becker et al., 2009; cf. Blohm et al., 2003; Brenner & Cornelissen, 2000; Rotman et al., 2004, 2005). No caso particular das nossas experiências, envolvendo respostas de localização absoluta, o seguimento oculomotor torna possível que tanto a apresentação dos estímulos como a sua localização ocorram em visão central, e não em condições de visão distintas (apresentação periférica, localização central).



**Figura 5.** A. Representação em diagrama de blocos do processamento digital de sinais no RACE (*recursive Ambiphonic crosstalk eliminator*), adaptado de Glasgal e Miller (2011). As cadeias laterais suportam a recursão de sinais de cancelamento invertidos, atenuados e diferidos, para uma configuração estéreo de dois canais. B. Diagrama do arranjo experimental: colunas dispostas num ângulo de 30° e processamento do sinal estéreo pelo miniAMBIO 2.0, resultando na eliminação do *crosstalk* acústico (linhas vermelhas tracejadas).

Cada ensaio iniciava-se pela apresentação de um sinal de atenção audiovisual (palavra “atenção” apresentada no centro do ecrã e articulada simultaneamente por uma voz masculina, registada em “mono” e com apresentação diótica), com uma duração de 1000 ms, seguida por um intervalo (ISI) de 1500 ms e pela apresentação do estímulo. Ao mesmo tempo que o sinal de “atenção”, o cursor “+” do rato surgia 273 px abaixo do centro vertical do ecrã ( $\approx 7$  cm;  $\approx 4.7^\circ$  a.v.), numa coordenada horizontal variada aleatoriamente, através dos ensaios, entre os 500 px à esquerda ( $\approx 9^\circ$  a.v.) e os 500 px à direita da linha média horizontal, mantendo-se visível até ao final da resposta do participante. O participante era assim livre de proceder à resposta de localização, seja do marcador ou do móvel, no momento que entendesse conveniente, sem ter que aguardar o final do estímulo, cuja apresentação era interrompida pela resposta. Este procedimento difere da estratégia seguida em estudos anteriores (Shi e de’Sperati, 2008, Müsseler et al., 2002), em que a resposta só era possível após o *offset* do estímulo. Nas tarefas de Shi e de’Sperati (2008),

os estímulos duravam obrigatoriamente mais 500 a 800 ms após a apresentação do *flash* (que ocorria a meio do movimento); no caso de Müsseler et al. (2002), tinham uma duração fixa de 270 ms, podendo o flash ocorrer no início, no meio ou no final. Nas nossas experiências, a duração significativamente mais longa dos estímulos (2533 ms) importava tempos de espera até à resposta substancialmente diferentes nos três ciclos do EFL, tornando a tarefa vulnerável a efeitos mnésicos com impactos diferenciais no CIM, CC e CTM. Permitir que a localização tivesse lugar no momento em que o participante considerasse estar em condições de responder tornou possível contornar este problema, reduzindo em geral a dependência da tarefa relativamente à memória e restabelecendo a comparabilidade dos resultados entre os ciclos. Um dos riscos associados à presença do cursor “+” durante a apresentação do estímulo é, contudo, o de poder operar como uma referência ou marca espacial para a localização (Hubbard & Ruppel, 1999). A aleatorização da posição do cursor, entre os ensaios, ao longo de um conjunto considerável de coordenadas horizontais (correspondendo a uma extensão angular de  $\approx 18^\circ$  a.v.) destinou-se a excluir ou minimizar substancialmente esse risco. Um segundo risco a evitar era o da eventual captura exógena da atenção pelo cursor caso surgisse abruptamente no início ou durante a apresentação do estímulo. A sua aparição simultânea com o sinal de “atenção”, mantendo-se depois visível até à resposta, descarta essa possibilidade.

Após a resposta do participante, um ISI de 1500 ms era apresentado, seguindo-se-lhe o sinal de atenção que dava início ao novo ensaio. A apresentação dos estímulos foi aleatorizada através dos ensaios. Entre os dois blocos de respostas (ao marcador e ao móvel), os participantes podiam realizar um intervalo, com uma duração de até 10 minutos. Cada tarefa, no total dos dois blocos, durava em média entre os 35 e os 45 minutos. As respostas de localização foram registadas sob a forma de coordenadas XY do ecrã (em pixels) e os TR registados em ms. Precedendo a realização de cada bloco da experiência, os participantes realizavam uma série de 10 ensaios de treino supervisionado, de modo a adquirirem familiaridade com a tarefa e garantiram o bom entendimento das instruções. Todos os aspetos da aleatorização e apresentação dos estímulos, bem como o registo em linha das respostas, foram geridos pelo SuperLab v4.0.7b (Cedrus Corporation, 2008).

#### ***4.3.5. Análise dos dados***

Dada a correspondência entre cada uma das tarefas e um plano fatorial de medidas repetidas  $3$  (ciclo)  $\times$   $3$  (trajeto)  $\times$   $2$  (resposta), as análises gráficas e estatísticas assentaram sobretudo em ANOVAs de medidas repetidas conduzidas sobre os erros de localização do marcador e do móvel,

por um lado, e sobre os valores de  $FLE_D$  derivados a partir dos dois erros absolutos (erro do móvel - erro do marcador), por outro.

No conjunto das 5 tarefas envolvendo a variação da probabilidade da modalidade do marcador em cinco níveis, todas realizadas pelo mesmo grupo de participantes (amostra B), a análise dos efeitos da Probabilidade e suas interações com os restantes fatores assentou numa ANOVA de medidas repetidas de 4 vias: 3 (ciclo)  $\times$  3 (trajecto)  $\times$  2 (resposta)  $\times$  5 (probabilidade), desdobrada depois em ANOVAs parciais em função das necessidades de análise.

A estratégia seguida para análise dos efeitos da modalidade do móvel ou do marcador consistiu por sua vez em comparar: (1) tarefas com marcador visual (traço comum), mas diferindo entre si na modalidade do movimento (A, AV ou V); (2) tarefas com movimento visual (traço comum), mas diferindo entre si na modalidade sensorial do marcador (V, A ou AV). Em cada um destes tipos de comparação, envolvendo três tarefas, duas delas foram realizadas pelos mesmos participantes (e.g.,  $V_{MC-A_{MOV}}$ ,  $V_{MC-AV_{MOV}}$ ) e uma por participantes diferentes (e.g.,  $V_{MC-V_{MOV}}$ ). Nas comparações entre tarefas realizadas pelos mesmos participantes, a modalidade do marcador (ou do móvel), foi tratada como um novo fator intra-sujeitos (tarefa) numa ANOVA de medidas repetidas – que, no caso mais geral, pode incluir quatro fatores, 3 (ciclo)  $\times$  3 (trajecto)  $\times$  2 (resposta)  $\times$  2 (tarefa). Nas comparações onde a modalidade do marcador (ou do móvel), foi variada entre-sujeitos, a análise foi conduzida por meio de ANOVAs mistas, incluindo, no caso mais geral três fatores intra-sujeitos (ciclo, trajecto, resposta) e um fator inter-sujeitos (tarefa).

Os erros de localização horizontal, tanto do móvel como do marcador, foram calculados como a diferença (em pixels) entre a coordenada  $x$  seleccionada pelo participante e a coordenada  $x$  da localização verídica do estímulo (móvel ou marcador) no ecrã. Erros positivos indicam assim deslocamentos para diante da posição percebida do estímulo e erros negativos um deslocamento percebido para trás. Os erros de localização vertical foram, de modo semelhante, calculados como a diferença (em pixels) entre a coordenada  $y$  seleccionada pelo participante e a coordenada  $y$  da localização verídica do alvo no ecrã ( $y = 0$ , correspondendo ao centro vertical do ecrã, no caso do móvel;  $y = 75$  px,  $\approx 2$  cm ou  $1.4^\circ$  a.v. acima do centro vertical, no caso do marcador). Erros verticais negativos indicam assim deslocamentos percebidos para baixo, erros positivos deslocamentos percebidos para cima.

O valor  $p = .05$  foi utilizado como critério de significância estatística nas análises. A correção épsilon de Greenhouse-Geisser foi usada em casos de violação de esfericidade (avaliada pelo teste de Mauchly). O  $p$  e os graus de liberdade (em geral fracionários) reportados nesses casos são os corrigidos, sendo também reportado o valor de épsilon ( $\epsilon$ ) utilizado na correção. Exceto se indicado de outra forma, os valores de  $p$  fornecidos são bilaterais. Todas as comparações aos pares subsequentes a ANOVAs foram ajustadas pela correção de Bonferroni para a inflação do erro de Tipo I. As comparações estatísticas de variâncias para dados emparelhados (amostras correlacionadas) foram realizadas com o teste Pitman-Morgan (Morgan, 1939; Pitman, 1939;

Snedecor & Cochran, 1989); para a comparação de variâncias entre amostras independentes foi utilizado o teste de Levene (Levene, 1960; Brown & Forsythe, 1974).

## 4.4. Resultados

### 4.4.1. Efeitos da modalidade do movimento

Nesta secção analisam-se os efeitos da variação da modalidade do movimento (V, A, AV) em tarefas com marcador visual. A constância da modalidade do marcador permite atribuir as diferenças observadas entre tarefas a um efeito principal da modalidade sensorial do movimento e/ou aos efeitos da sua interação com uma ou mais das restantes variáveis independentes (ciclo, trajeto, resposta). As variáveis dependentes consideradas são o erro horizontal ( $D_x$ ) de localização do marcador, o erro horizontal de localização do móvel, os TR associados a cada uma destas respostas, o indicador  $EFL_D$  (medida indireta do EFL enquanto combinação dos dois erros de localização absoluta) e os erros verticais ( $D_y$ ) de localização do marcador e do móvel.

#### 4.4.1.1 $D_x$ : Deslocamento horizontal do marcador e do móvel

A **Figura 6** resume graficamente os resultados relativos aos erros de localização horizontal do marcador (coluna na esquerda) e do móvel (coluna da direita) em cada um dos ciclos do EFL (em linha: de cima para baixo, CIM, CC, CTM). Em cada gráfico, as barras correspondentes aos  $D_x$  das diferentes tarefas, diferendo entre si na modalidade sensorial do movimento, dispõem-se, de cima para baixo, na seguinte ordem: tarefas com movimento V ( $V_{MOV}$ ), com movimento AV ( $AV_{MOV}$ ) e com movimento A ( $A_{MOV}$ ). Os erros de localização são fornecidos em  $px$ . Uma conversão aproximada para valores do erro em ângulo visual subentendido pode obter-se a partir da equivalência  $57 px \approx 1^\circ$  a.v.

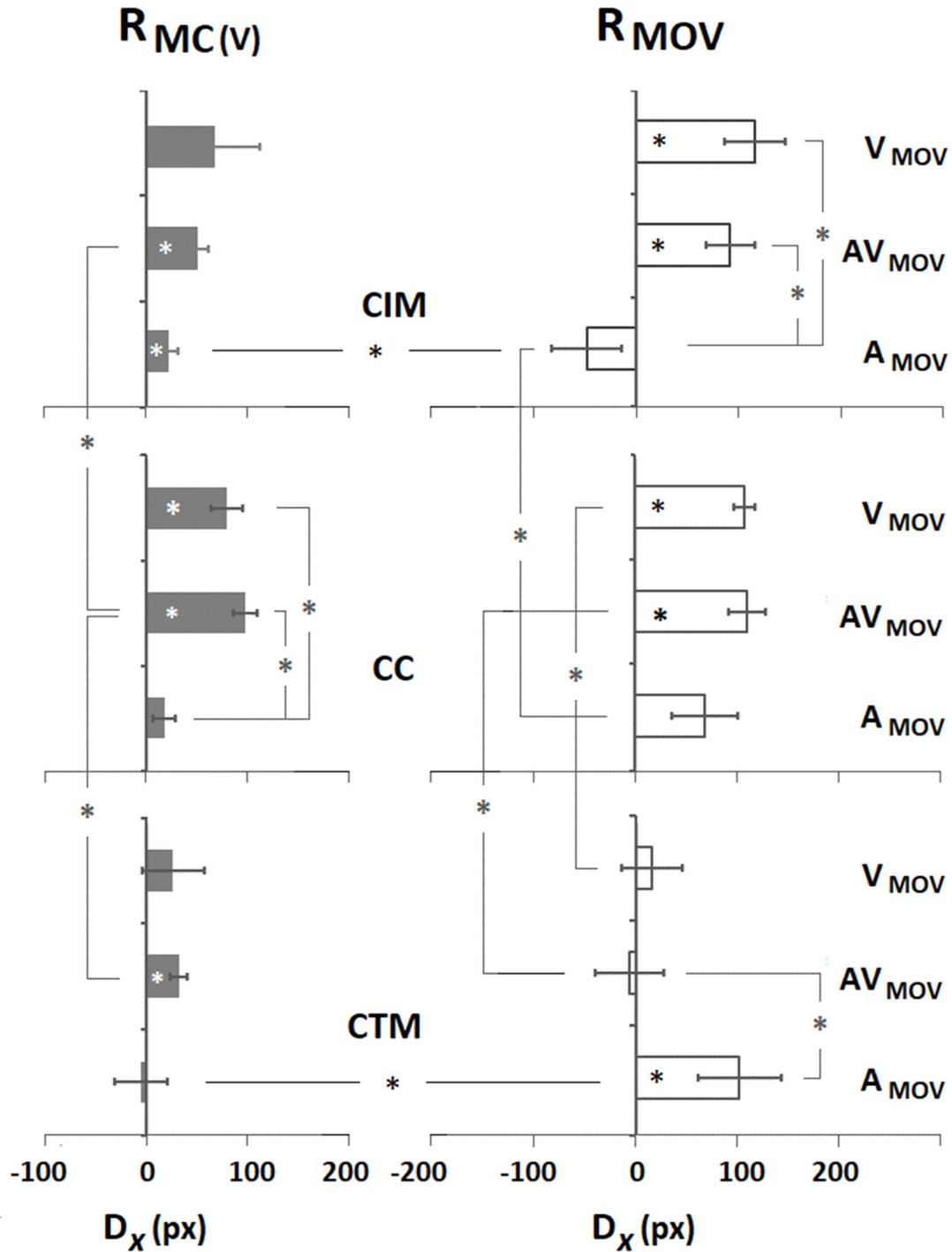
##### 4.4.1.1.1. Erros de localização do marcador.

Graficamente, os erros de localização do marcador (colunas da esquerda) ocorrem predominantemente para diante, com exceção da tarefa  $A_{MOV}$  no CTM. Este resultado aponta para a generalidade de um efeito de *flash-drag*, suportando a previsão  $P_{A5}$  (ver **Tabela 1**). Exceto no

CIM da tarefa  $A_{MOV}$ , o sentido dos erros de localização do marcador foi o mesmo dos erros de localização do móvel, apenas com magnitudes inferiores (com exceção do CTM em  $AV_{MOV}$ ). No CIM e no CC, o perfil ordinal dos  $D_x$  do marcador através das tarefas reflete, adicionalmente, a ordenação dos  $D_x$  do móvel, contribuindo para a sugestão de uma associação robusta entre os dois tipos de erros. Reforçando estas indicações, a mesma correspondência ordinal entre os  $D_x$  do móvel e do marcador é observável, agora através dos ciclos, em  $AV_{MOV}$  e, de forma parcial, em  $V_{MOV}$  (com uma pequena desordinalidade entre CIM e CC). Em concordância, de novo, com a previsão  $P_{A5}$ , os  $D_x$  do marcador nos ciclos CIM e CC foram superiores, em todas as tarefas, aos observados no CTM. Os maiores erros de localização para diante ocorreram nas tarefas  $V_{MOV}$  (no CIM) e  $AV_{MOV}$  (nos CC e CTM) e os menores, em todos os ciclos, na tarefa  $A_{MOV}$ .

A análise estatística apoiou no essencial a inspeção visual, assinalando a significância estatística dos erros para diante em várias das condições (*t-student* de uma amostra, valor de teste = 0): CIM –  $AV_{MOV}$ :  $t(14) = 4.602, p < .001$ ;  $A_{MOV}$ :  $t(14) = 2.174, p = .047$ . CC –  $V_{MOV}$ :  $t(15) = 5.147, p < .001$ ;  $AV_{MOV}$ :  $t(13) = 8.375, p < .001$ ; CTM –  $AV_{MOV}$ :  $t(13) = 3.655, p = .003$  (a flutuação dos *g.l.* na tarefa  $AV_{MOV}$  deveu-se à exclusão de um participante com valores extremos de  $D_x$  em CC e CTM: ver abaixo). A aplicação da correção de Bonferroni para o número de comparações por tarefa (ou por ciclo) conduziria à adoção de  $p \leq .0167$  ( $0.05/3$ ) como limiar estatístico, questionando a significância do resultado obtido em  $A_{MOV}$ . Por sua vez, a ausência de um resultado significativo no CIM da tarefa  $V_{MOV}$ ,  $t(15) = 1.522, p = .149$ , onde se regista o maior erro para diante nesse ciclo ( $V_{MOV}$ :  $M = 68.2, \pm EPM 44.7$ ;  $AV_{MOV}$ :  $M = 50.7, EPM \pm 11.0$ ;  $A_{MOV}$ :  $M = 22.2, EPM \pm 10.2$ ), é atribuível a um incremento importante na variabilidade das observações ( $DP = 179.11$  em  $V_{MOV}$ , contra 39.47 e 42.74, respetivamente, em  $AV_{MOV}$  e  $A_{MOV}$ ), claramente refletida pela magnitude das barras de erro.

O erro estatisticamente significativo no CTM da tarefa  $AV_{MOV}$  é favorável a um papel do sinal de movimento anterior ao marcador na produção do *flash-drag* (presente também, graficamente, no CTM da tarefa  $V_{MOV}$ ), sugerindo que a existência de movimento posterior ao *flash*, embora contribuindo para o “efeito de arrastamento” (o arrastamento no CTM é o menor de todos os ciclos), não constitui em todo o caso um requisito necessário.



**Figura 6.** Erros de localização horizontal ( $D_x$ ) do marcador (coluna da esquerda) e do móvel (coluna da direita) em cada um dos ciclos do EFL (de cima para baixo: CIM, CC, CTM). No interior de cada ciclo, as designações verticais à direita identificam a modalidade sensorial do movimento (movimento visual:  $V_{MOV}$ ; audiovisual:  $AV_{MOV}$ ; auditivo:  $A_{MOV}$ ), permanecendo o marcador visual. A magnitude média dos erros de localização, indicada pelas barras, é fornecida em pixels (px, no eixo das abcissas). Valores positivos assinalam erros para diante (no sentido do movimento) e valores negativos erros para trás (contrários ao sentido do movimento). As barras de erro correspondem ao erro padrão da média (EPM). As diferenças estatisticamente significativas entre ciclos (para uma mesma tarefa), entre tarefas (num mesmo ciclo), e entre respostas ao marcador e ao móvel (mesma tarefa e mesmo ciclo) são assinaladas por um asterisco. Os asteriscos localizados no interior de barras indicam magnitudes de erro significativamente diferentes de zero (0).

Quanto às diferenças entre tarefas, uma ANOVA mista (conduzida sobre os  $D_x$  do marcador) com ciclo como fator intra-sujeitos e tarefa como fator entre-sujeitos (com dois níveis), documentou uma diferença significativa entre  $A_{MOV}$  e  $V_{MOV}$ ,  $F(1,29) = 5.983, p = .021, \eta_p^2 = .171$  ( $A_{MOV}$ :  $M = 11.6, \pm 13.7$  EPM;  $V_{MOV}$ :  $M = 58.4, \pm 13.3$  EPM). O mesmo sucedeu na comparação entre  $A_{MOV}$  e  $AV_{MOV}$  por meio de uma ANOVA de medidas repetidas com ciclo e tarefa como fatores intra-sujeitos,  $F(1,13) = 6.178, p = .027, \eta_p^2 = .322$  ( $A_{MOV}$ :  $M = 11.0, \pm 15.6$  EPM;  $AV_{MOV}$ :  $M = 60.6, \pm 8.3$  EPM). O fator tarefa não apresentou, por sua vez, um efeito principal significativo na ANOVA mista utilizada para comparar  $AV_{MOV}$  e  $V_{MOV}$ ,  $F(1,28) = 0.20, p = .890, \eta_p^2 = .001$ . Estes resultados suportam estatisticamente a redução da magnitude dos erros de localização do marcador na tarefa  $A_{MOV}$  comparativamente às tarefas  $V_{MOV}$  e  $AV_{MOV}$ , em concordância com a previsão  $P_{A6}$  (Tabela 1). As comparações aos pares subsequentes conduzidas em cada um dos ciclos (testes  $t$  para amostras emparelhadas nas comparações  $A_{MOV}$ - $AV_{MOV}$ : testes  $t$  para amostras independentes nas comparações  $A_{MOV}$ - $AV_{MOV}$ ), apenas atingiram o critério de significância estatística ( $p \leq .0167$ , após correção de Bonferroni) no CC -  $A_{MOV}$ - $AV_{MOV}$ :  $t(13) = 4,335, p = .001$ ;  $A_{MOV}$ - $V_{MOV}$ :  $t(29) = 3.212, p = .003$ . É possível, no entanto, que este resultado exprima em larga medida a conjunção entre as limitações de poder estatístico decorrentes da dimensão das amostras e o caráter conservador do critério de Bonferroni.

Apesar de em todas as tarefas ( $V_{MOV}$ ,  $AV_{MOV}$ ,  $A_{MOV}$ ) a magnitude dos erros de localização do marcador ser superior no CIM e no CC comparativamente ao CTM, o fator ciclo, avaliado em ANOVAs de medidas repetidas de uma via (com a contribuição dos restantes fatores agregada através dos níveis do fator ciclo), apenas apresentou um efeito principal significativo na tarefa  $AV_{MOV}$ ,  $F(2,26) = 16.146, p < .001, \eta_p^2 = .554$ . As comparações aos pares subsequentes assinalaram uma diferença significativa entre o CTM ( $M=31,7$ ,  $EPM \pm 15.6$ ) e o CC ( $M=98.3$ ,  $EPM \pm 11.7$ ),  $p < .001$ , mas não entre o CTM e o CIM ( $M=51,8$ ,  $EPM \pm 11.8$ ),  $p = .507$ , suportando apenas parcialmente a análise gráfica. Na ANOVA de medidas repetidas conduzida na tarefa  $V_{MOV}$ , embora o fator ciclo não apresente um efeito significativo,  $F(1,023,15.339) = 0.562$  ( $\epsilon = .511$ ),  $p = .460, \eta_p^2 = .036$ , o decréscimo das valores médios de  $D_x$  entre o CIM ( $M=68,2$ ,  $EPM \pm 44.8$ ) e o CC ( $M=79,9$ ,  $EPM \pm 15.3$ ), com valores próximos, por um lado, e o CTM ( $M=27.2$ ,  $EPM \pm 30.9$ ), com valores claramente inferiores, por outro, foi assinalado por um contraste polinomial quadrático significativo,  $F(1,15) = 21.8, p < .001, \eta_p^2 = .592$ , um resultado estatístico consistente com a previsão  $P_{A5}$ . A ANOVA conduzida na tarefa  $AV_{MOV}$  identificou um participante com resíduos studentizados  $\geq 3$  e distâncias de Cook marcadamente acima da média (chegando a ultrapassar os 0.9, com a generalidade dos restantes participantes abaixo dos 0.05) nas condições CC e CTM. Este participante, cujos erros de localização excederam nestas condições os 16° de a.v., foi removido de todas as comparações envolvendo a apresentação do marcador no meio e no final do trajeto com movimento AV.

#### 4.4.1.1.2. Erros de localização do móvel

Graficamente, os erros de localização do móvel apresentam igualmente uma predominância de deslocamentos para diante, com a tarefa  $A_{MOV}$  no CIM como única exceção. Divergindo da previsão  $P_{A1}$ , inspirada nos resultados anteriores de Müsseler et al. (2002), não se observaram erros de localização para trás no CTM e sim, com exceção da tarefa  $A_{MOV}$  (que apresenta um claro deslocamento para diante), um desvanecimento do erro, com valores muito próximos de zero. Na tarefa  $V_{MOV}$ , a mais diretamente comparável com o estudo de Müsseler et al. (2002), a tendência observável no CTM pode mesmo descrever-se como um MR residual (um deslocamento negligenciável do móvel para diante). Este resultado é análogo à redução do MR obtida com pistas espaciais válidas, em particular quando apresentadas após a desapareção do móvel (Hubbard et al., 2009). A diferença relativamente aos resultados de Müsseler et al. (2002) poderá dever-se a vários fatores, incluindo a diferença entre trajetórias (circular *versus* linear), a liberdade de seguimento ocular do móvel nas nossas tarefas, ou a circunstância de o marcador, no nosso caso, perdurar durante dois ciclos de refrescamento do ecrã após o termo do movimento (aproximando-se assim das condições de pista espacial posterior ao movimento tratadas em Hubbard et al., 2009). Em todo o caso, de novo com exceção da tarefa  $A_{MOV}$ , os resultados são consistentes com a previsão  $P_{A2}$ , que antecipava erros de localização para diante superiores no CIM e no CC comparativamente ao CTM. Quanto à antecipação da ocorrência de erros de magnitude superior no CIM relativamente ao CC, guiada também pelos resultados anteriores de Müsseler et al. (2002) e objeto também da previsão  $P_{A2}$ , verifica-se graficamente na tarefa  $V_{MOV}$ , embora com reduzida expressão.

De acordo com as previsões  $P_{A3}$  e  $P_{A4}$ , as tarefas intermodais não reproduziram o perfil de resultados da tarefa unimodal visual ( $V_{MOV}$ ), com a tarefa  $A_{MOV}$  a distinguir-se marcadamente das duas restantes (perfil de ordenação dos erros oposto ao da  $V_{MOV}$ , decrescendo do CTM para o CIM, passando pelo CC) e as tarefas  $V_{MOV}$  e  $AV_{MOV}$  a apresentarem um perfil muito semelhante, diferindo apenas na ordenação relativa dos erros no CIM e no CC (uma diferença sem expressão estatística). Este resultado confirma que a utilização de movimento simultaneamente auditivo e visual conduz a erros de localização do móvel mais próximos dos obtidos com movimento visual do que a utilização de movimento exclusivamente auditivo.

Estatisticamente, os valores de  $D_x$  nas tarefas  $V_{MOV}$  e  $AV_{MOV}$  diferiram significativamente de zero no CIM ( $V_{MOV}$ :  $t(15) = 3.882$ ,  $p = .001$ ;  $AV_{MOV}$ :  $t(14) = 3.862$ ,  $p = .002$ ) e no CC ( $V_{MOV}$ :  $t(15) = 10.376$ ,  $p < .001$ ;  $AV_{MOV}$ :  $t(13) = 6.070$ ,  $p < .001$ ), mas não no CTM ( $V_{MOV}$ :  $t(15) = 0.541$ ,  $p = .596$ ;  $AV_{MOV}$ :  $t(13) = 0.187$ ,  $p = .555$ ). Na tarefa  $A_{MOV}$ , pelo contrário, apenas no CTM o erro de localização (para diante) atingiu o critério de significância estatístico,  $t(14) = 2.507$ ,  $p = .025$ . Um efeito principal significativo do fator ciclo foi documentado em ANOVAs de medidas repetidas conduzidas sobre os erros de localização do móvel em cada uma das tarefas –  $V_{MOV}$ :  $F(2,30) =$

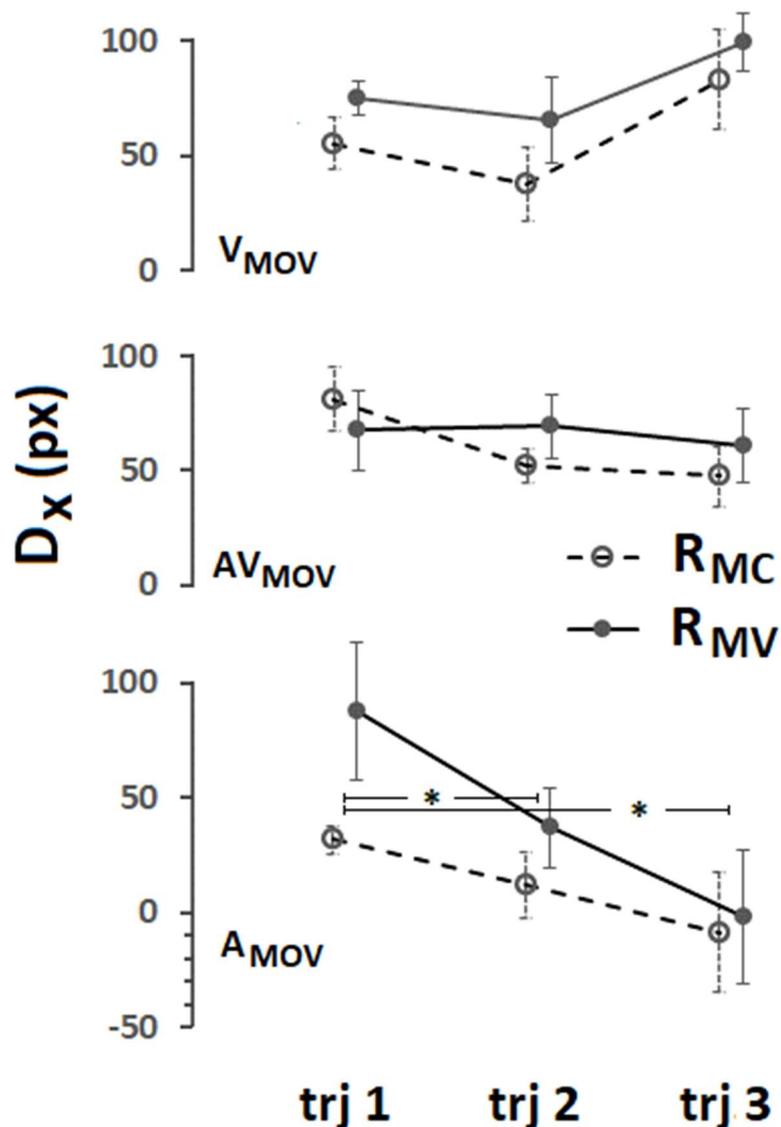
3.538,  $p = .042$ ,  $\eta_p^2 = .191$ ;  $AV_{MOV}$ :  $F(1,125,14.631) = 4.944$  ( $\varepsilon = .563$ ),  $p = .039$ ,  $\eta_p^2 = .276$ ;  $A_{MOV}$ :  $F(1,360,19.045) = 7.870$  ( $\varepsilon = .680$ ),  $p = .030$ ,  $\eta_p^2 = .258$ . Comparações aos pares subsequentes identificaram diferenças significativa entre o CC e o CTM nas tarefas  $V_{MOV}$  ( $p = 0.01$ ; CC:  $M=107.3$ ,  $EPM \pm 10.3$ ; CTM:  $M=16.3$ ,  $EPM \pm 30.1$ ) e  $AV_{MOV}$  ( $p = .038$ ; CC:  $M=110.1$ ,  $EPM \pm 18.1$ ; CTM:  $M=-6.3$ ,  $EPM \pm 34.0$ ) e entre o CIM ( $M=-47.8$ ,  $EPM \pm 34.0$ ) e o CC ( $M=67.9$ ,  $EPM \pm 32.8$ ) na tarefa  $A_{MOV}$ . Apesar de a diferença entre o CIM e o CTM não ter atingido o critério de significância nas tarefas  $V_{MOV}$  e  $AV_{MOV}$ , ambas produziram um contraste polinomial quadrático significativo –  $V_{MOV}$ :  $F(1,15) = 25.126$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .626$ ;  $AV_{MOV}$ :  $F(1,3) = 15.007$ ,  $p < .002$ ,  $\eta_p^2 = .536$ ), que assinala uma disposição das médias marcada pela proximidade dos valores no CIM ( $V_{MOV}$ :  $M= 115.3$ ,  $EPM \pm 29.7$ ;  $AV_{MOV}$ :  $M= 94.7$ ,  $EPM \pm 24.1$ ) e no CC seguida por uma queda dos valores no CTM. Pelo contrário, a tarefa  $A_{MOV}$  deu lugar a um contraste linear significativo,  $F(1,14) = 5.28$ ,  $p < .038$ ,  $\eta_p^2 = .274$ , que assinala a tendência linear crescente das médias entre o CIM e o CTM ( $M= 102.3$ ,  $EPM \pm 40.8$ ).

Uma ANOVA de medidas repetidas com inclusão de um fator tarefa com dois níveis,  $A_{MOV}$  e  $AV_{MOV}$ , revelou uma ausência de efeito principal da tarefa,  $F(1,13) = .501$ ,  $p = .491$ ,  $\eta_p^2 = .037$ , mas uma interação significativa ciclo  $\times$  tarefa,  $F(2,26) = 8.336$ ,  $p = .002$ ,  $\eta_p^2 = .391$ , exprimindo as ordenações virtualmente opostas das médias dos ciclos nas duas tarefas. O mesmo sucedeu numa ANOVA mista com ciclo como fator intra-sujeitos e  $A_{MOV}$  e  $V_{MOV}$  como níveis de um fator tarefa, entre-sujeitos. Tarefa produziu um efeito principal nulo,  $F(1,29) = 3.084$ ,  $p = .09$ ,  $\eta_p^2 = .096$ , mas a uma interação ciclo  $\times$  tarefa significativa,  $F(1,215,39.239) = 7.379$  ( $\varepsilon = .608$ ),  $p = .007$ ,  $\eta_p^2 = .203$ . Diferentemente, na ANOVA mista com  $AV_{MOV}$  e  $V_{MOV}$  como níveis do fator tarefa (entre-sujeitos), este último não produziu qualquer efeito significativo, seja principal ( $p = .367$ ) ou de interação com ciclo ( $p = .766$ ). Estes resultados confirmam a semelhança dos perfis de  $D_x$  nas tarefas  $V_{MOV}$  e  $AV_{MOV}$  e a natureza distintiva dos perfis na tarefa  $A_{MOV}$ . Nas comparações efetuadas em cada um dos ciclos (testes  $t$  para amostras emparelhadas nas comparações  $A_{MOV}$ - $AV_{MOV}$ ; testes  $t$  para amostras independentes nas comparações  $A_{MOV}$ - $AV_{MOV}$ ),  $A_{MOV}$  distinguiu-se significativamente de  $AV_{MOV}$  no CIM,  $t(14) = 3.490$ ,  $p = .004$ , e no CTM,  $t(13) = 2.336$ ,  $p = .034$ , e de  $AV_{MOV}$  no CIM,  $t(29) = 3.625$ ,  $p = .001$ .

#### 4.4.1.1.3. Fatores resposta e trajeto.

Como assinalado já a propósito da **Figura 6**, com exceção da tarefa  $AV_{MOV}$  no CTM, os erros de localização do marcador apresentam valores inferiores aos erros de localização do móvel quando comparados na mesma tarefa e no mesmo ciclo. Este resultado seria esperável, nos ciclos em que o movimento prossegue após a apresentação do marcador (não necessariamente no CTM), na medida em que a deslocação percebida do marcador seja um efeito induzido pelo movimento do móvel. A menos que esse movimento seja interrompido, o efeito direto do movimento do móvel na sua localização ( $D_x$  do móvel) não deveria ser inferior ao efeito induzido num estímulo estático adjacente ( $D_x$  do marcador). Apesar de observável, de forma recorrente, nos gráficos correspondentes ao CIM e CC, este efeito do fator resposta não teve expressão estatística nas ANOVAS gerais de medidas repetidas conduzidas em cada tarefa,  $3(\text{ciclo}) \times 3(\text{trajeto}) \times 2(\text{resposta}) - V_{MOV}$ :  $F(1,15) = 2.624, p = .126, \eta_p^2 = .149$ ;  $AV_{MOV}$ :  $F(1,13) = 0.386, p = .545, \eta_p^2 = .029$ ;  $A_{MOV}$ :  $F(1, 14) = 1.542, p = .235, \eta_p^2 = .049$ . Uma interação significativa resposta  $\times$  ciclo foi contudo observada na tarefa  $A_{MOV}$ ,  $F(1.412,19.765) = 6.969 (\epsilon = .686), p = .01, \eta_p^2 = .332$ . A análise desta interação, através de ANOVAs conduzidas por ciclo, revelou diferenças significativas entre os  $D_x$  do móvel e do marcador no CIM ( $F(1, 14) = 5.152, p = .04, \eta_p^2 = .269$ ) e no CTM ( $F(1, 14) = 6.345, p = .025, \eta_p^2 = .312$ ), assinaladas nos gráficos da **Figura 6**.

O fator trajeto não apresentou, por sua vez, qualquer efeito, principal ou de interação, nas tarefas  $V_{MOV}$  (trajeto:  $F(2, 30) = 2.284, p = .119, \eta_p^2 = .132$ ) e  $AV_{MOV}$  (trajeto:  $F(2, 326) = 1.115, p = .343, \eta_p^2 = .079$ ). Na tarefa  $A_{MOV}$ , em contraste, apresentou um efeito principal significativo,  $F(1.278,17.888) = 6.801 (\epsilon = .639), p = .013, \eta_p^2 = .327$ , com diferenças identificadas por comparações múltiplas entre traj1 ( $M= 59.5, EPM \pm 14.3$ ) e traj2 ( $M= 24.5, EPM \pm 12.3$ ),  $p = 0.042$ , e traj1 e traj3 ( $M= -5.3, EPM \pm 23.1$ ),  $p = 0.043$ . Um contraste linear significativo,  $F(1, 14) = 7.816, p = .014, \eta_p^2 = .358$ , assinalou ainda a tendência, nesta tarefa, para uma disposição linear decrescente dos valores de  $D_x$  em função dos níveis do trajeto. Quando avaliado em ANOVAs conduzidas separadamente para a localização do marcador ( $R_{MC}$ ) e do móvel ( $R_{MOV}$ ), a significância do fator trajeto apenas se manteve na localização do móvel,  $F(1.411,19.749) = 6.043 (\epsilon = .705), p = .015, \eta_p^2 = .301$ , não na do marcador ( $p = .108$ ).



**Figura 7.** Representação gráfica dos valores médios de  $D_x$  agregados através do fator ciclo (em ordenada), em função do fator trajeto (em abcissa) e com o fator resposta (ao marcador e ao móvel:  $R_{MC}$  e  $R_{MV}$ ) como parâmetro das curvas. Os três gráficos na vertical correspondem, de cima para baixo, às tarefas  $V_{MOV}$ ,  $AV_{MOV}$  e  $A_{MOV}$ . As barras de erro representam o EPM. Os asteriscos assinalam diferenças significativas entre os níveis de trajeto.

A **Figura 7** representa graficamente os  $D_x$  (valores médios agregados através dos ciclos, em ordenada) do marcador e do móvel (fator resposta, como parâmetro das curvas) em função do trajeto (em abcissa), para cada uma das tarefas (na vertical, de cima para baixo:  $V_{MOV}$ ,  $AV_{MOV}$ ,  $A_{MOV}$ ). O contraste entre os traçados correspondentes às tarefas  $V_{MOV}$ ,  $AV_{MOV}$ , ilustrando uma relativa constância (com flutuações) dos  $D_x$  através dos níveis de trajeto, e o traçado correspondente à tarefa  $A_{MOV}$ , ilustrando um marcado decréscimo linear dos erros de localização (que caem, no caso da localização do móvel, de 87.6 px para um valor de -2.0 px) entre os níveis 1 e 3 do trajeto, é sensível na figura. Estes resultados apontam para uma dependência distintiva

da tarefa  $A_{MOV}$  relativamente ao local do espaço onde o movimento (auditivo) é apresentado, ausente nas outras duas tarefas. Com efeito, diferentemente do fator ciclo, que se refere especificamente ao momento e localização do marcador relativamente ao trajeto do movimento (início, meio e fim), o fator trajeto refere-se a diferentes locais de apresentação da origem e termo do movimento, mais à esquerda no ecrã em trj1, mais à direita no ecrã em trj3 e com uma localização intermédia em trj2. A posição de origem do movimento mais distante do centro do ecrã (à esquerda) encontra-se assim no trj1 e a posição do termo do movimento mais distante do centro (à direita) no traj3 (ver **Figura 4**, no ponto **4.3.2.** ).

O facto de a tarefa  $A_{MOV}$  ser, diferentemente das restantes, afetada por esta variável é relevante para a interpretação do perfil dos erros de localização do móvel observados nesta tarefa no CIM e no CTM. No CIM, a tarefa  $A_{MOV}$  fornece a única ilustração de um erro para trás (contrário ao sentido do movimento) na localização do móvel, correspondendo a um ORE (*onset repulsion effect*: Thornton, 2002). Não existem, do nosso melhor conhecimento, estudos sobre o ORE na audição, e o debate sobre os mecanismos subjacentes ao ORE com movimento visual mantém-se em aberto (ver Hubbard, 2018a; Kerzel, 2010; Müsseler & Kerzel, 2018). Fatores frequentemente invocados na explicação do ORE visual, como a incerteza sobre o local de início do movimento (maior incerteza favorecendo o ORE relativamente ao FE: ver Kerzel, 2010; Thornton, 2002). não parecem aplicar-se aqui. Considerando que a localização de sons próximos do azimute  $0^\circ$  (alinhado com a orientação da cabeça do ouvinte, que se encontrava fixa) é melhor (mais exata e precisa) do que em posições mais laterais no azimute (Carlile et al., 1997; Mironovs & Lee, 2018; Parseihian et al., 2014; Razavi et al., 2007), a maior incerteza sobre o início do movimento deveria ocorrer no trj1. É, contudo, no traj3, onde o movimento se inicia mais perto do centro do ecrã, que se regista o maior erro para trás no CIM ( $M = -104.4$ ,  $EPM \pm 57.8$ ) seguido do traj2 ( $M = -58.2$ ,  $EPM \pm 42.5$ ) e com um erro positivo (para diante) no trj1 ( $M = 19.1$ ,  $EPM \pm 33.9$ ).

O mesmo vale para a interpretação do erro de localização do móvel no CTM, que exhibe na tarefa  $A_{MOV}$  um efeito significativo de MR (deslocamento para diante da última posição percebida do móvel). Uma explicação por um acréscimo de incerteza na localização do termo do trajeto auditivo (comparativamente ao trajeto V e AV), permitindo uma expressão mais marcada de um enviesamento de localização no sentido do movimento, confronta-se com o facto de que, pela mesma ordem de razões invocada antes, a maior incerteza deveria registar-se agora no trj3, onde o *offset* do movimento é mais periférico. Contudo, é no trj1, onde o termo do trajeto se encontra mais próximo do centro do ecrã (azimute  $0$ ), que se observa o maior erro de localização para diante ( $M = 179.2$ ,  $EPM \pm 44.7$ ) seguido do trj2 ( $M = 90.1$ ,  $EPM \pm 49.4$ ) e, finalmente, do trj3 ( $M = 37.6$ ,  $EPM \pm 42.6$ ). Uma possibilidade de acomodar estes resultados (tanto para o ORE como para o MR) seria a de conjecturar, em adição à incerteza, efeitos de enquadramento associados aos limites laterais do ecrã: admitindo um cenário em que os participantes procuram dotar o

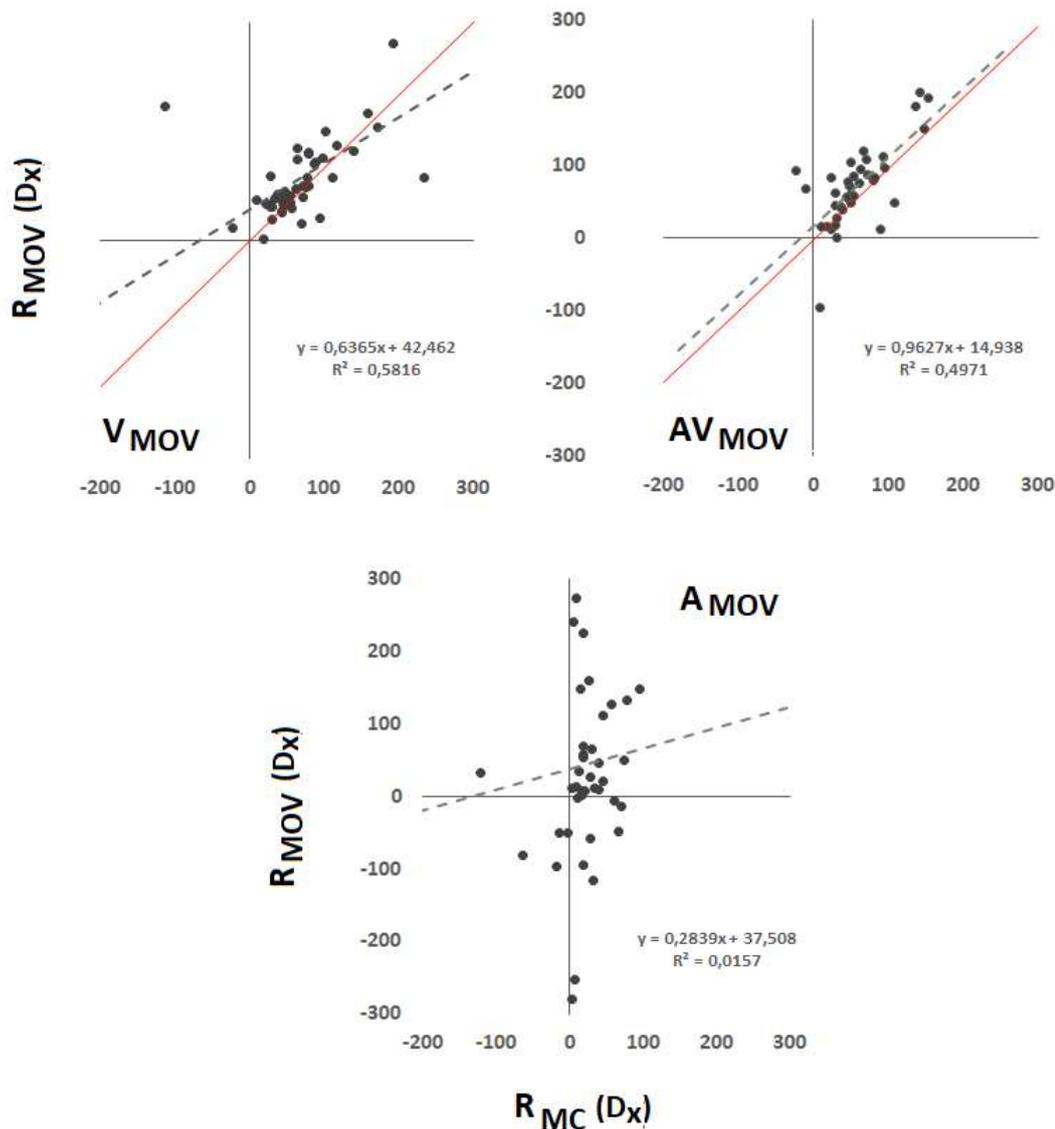
movimento de uma “história natural”, para trás quando o movimento se inicia (ver Thornton, 2002), para diante quando termina, uma maior proximidade aos bordos do ecrã (como sucede com as posições mais distantes do centro) poderia condicionar esta forma de extrapolação, reduzindo tanto o erro para trás como o erro para diante, ao invés de os aumentar. Na medida em que as experiências decorriam num ambiente de quase completa obscuridade, sem que os bordos do ecrã fossem claramente perceptíveis, este tipo de explicação não parece provável.

Uma outra razão conjecturável para a dependência diferencial da tarefa  $A_{MOV}$  relativamente ao local de apresentação do movimento é o eventual desalinhamento entre os mapas espaciais auditivo e visual. Na audição, o registo da informação no espaço é relativo à cabeça do ouvinte (mantendo aí os ouvidos uma posição fixa) e na visão à posição de olhos móveis, sendo a consistência dos dois mapas o produto de alinhamentos e calibrações recíprocos (Razavi et al., 2007; Schechtman et al., 2012). A manutenção da liberdade de seguimento ocular conjugada com a fixação da cabeça, nas nossas experiências, poderá ter dificultado e introduzido variância nestas calibrações. Evidência tanto de compressões gerais do espaço auditivo (Königs & Bremmer, 2010), como de alterações inconsistentes (variáveis) da posição percebida de fontes sonoras (Razavi et al., 2007) induzidas por movimentos oculares tem sido reportada, sustentando essa possibilidade. Replicar a tarefa com imposição de fixação ocular poderia contribuir para esclarecer este ponto. No caso do erro para diante (RM) observado no CTM, a hipótese de um desalinhamento do espaço auditivo e visual potenciado pelos movimentos oculares parece contrária às indicações de Getzmann (2005b) e Getzmann & Lewald (2009) de que o MR auditivo espacial não é afetado pela permissão ou interdição de movimentos oculares. Contudo, as experiências de Getzmann não incluíam um marcador visual e a instrução de responder quando o marcador fosse apresentado, não sendo assim os seus resultados imediatamente extrapoláveis para o contexto da tarefa  $A_{MOV}$ . Em qualquer caso, esta dependência observada do erro de localização do móvel (e também, em menor grau, do marcador), na tarefa  $A_{MOV}$ , relativamente ao local onde decorre o movimento auditivo estende-se necessariamente também aos  $EFL_D$  (resultantes da diferença entre os dois erros). Na hipótese de que o EFL consiste de facto na combinação de dois erros absolutos, deve assim esperar-se que uma replicação da tarefa  $A_{MOV}$  com recurso a uma medida direta (padrão) do EFL enquanto erro relativo revele as mesmas dependências quanto ao local do movimento auditivo evidenciadas pelo  $EFL_D$  (uma previsão testável em investigações futuras).

Uma das observações suscitadas pela inspeção visual da **Figura 6**, envolvendo a relação entre os  $D_x$  do móvel e do marcador, foi a de que apresentavam perfis de ordenação correspondentes através dos ciclos (CIM, CC e CTM) nas tarefas  $V_{MOV}$  e  $A_{MOV}$ , sugerindo uma associação robusta entre os dois tipos de erro. Em conformidade com esta indicação, correlações

(coeficiente de Pearson) calculadas, para cada tarefa, entre os  $D_x$  do móvel e os  $D_x$  do marcador através dos três ciclos, revelaram uma associação positiva entre os dois erros nas tarefas  $V_{MOV}$ ,  $r(46) = .76, p < .001$ , e  $AV_{MOV}$ ,  $r(37) = 0.71, p < .001$  mas não na tarefa  $A_{MOV}$ ,  $r(43) = .13, p = .417$ .

A **Figura 8** ilustra graficamente, para cada uma das tarefas ( $V_{MOV}$  e  $AV_{MOV}$  na linha superior,  $A_{MOV}$  na linha inferior), a relação entre os  $D_x$  obtidos na resposta de localização do marcador ( $R_{MC}$ ), em abcissa, e na resposta de localização do móvel ( $R_{MOV}$ ), em ordenada. As linhas tracejadas correspondem a tendências lineares ajustadas aos dados (equações e valores de  $R^2$  fornecidos nos gráficos). Enquanto nas tarefas  $V_{MOV}$  e  $AV_{MOV}$  a linearidade é aparente, refletindo a correlação positiva entre as duas variáveis, na tarefa  $A_{MOV}$  apresenta um claro desajuste aos dados. Nesta última tarefa, a nuvem de pontos distribui-se sobretudo na vertical, ao longo do eixo  $R_{MOV}$ , com todos os valores de  $D_x$  no eixo  $R_{MC}$ , exceto um, a uma distância do 0 inferior a  $\pm 100$  px. Este resultado é consistente com a previsão  $P_{A6}$ , que antecipava a possibilidade de uma redução da capacidade do movimento auditivo para induzir deslocamentos perceptivos de um marcador visual (ver  $P_{A6}$  na **Tabela 1** e a sua derivação no ponto **4.2.2**).



**Figura 8.** Relação entre os valores de  $D_x$  obtidos nas respostas de localização do marcador através dos três ciclos do EFL ( $R_{MC}$ , em abcissa) e os  $D_x$  correspondentes obtidos nas respostas de localização do móvel ( $R_{MOV}$ , em ordenada) em cada uma das tarefas ( $V_{MOV}$  e  $AV_{MOV}$  na linha superior, respetivamente à esquerda e à direita;  $A_{MOV}$  na linha inferior). As linhas tracejadas representam tendências lineares ajustadas aos dados. As linhas vermelhas que cruzam a origem (0,0) representam um cenário (hipotético) de proporcionalidade direta entre as duas variáveis.

As linhas vermelhas nos dois gráficos superiores exprimem por sua vez uma relação (hipotética) de proporcionalidade direta entre os dois erros. A maioria dos pontos nas tarefas  $V_{MOV}$  e  $AV_{MOV}$  situam-se acima dessa linha, ilustrando o resultado já assinalado de que os erros de localização do móvel foram, no CIM e no CC, consistentemente superiores aos do marcador. No conjunto, os resultados sugerem que o sinal de movimento constitui uma causa comum aos dois erros (sustentando a correlação positiva documentada em  $V_{MOV}$  e  $AV_{MOV}$ ), com um impacto diferencial na localização do móvel e do marcador (menor no último caso) e modulável por fatores

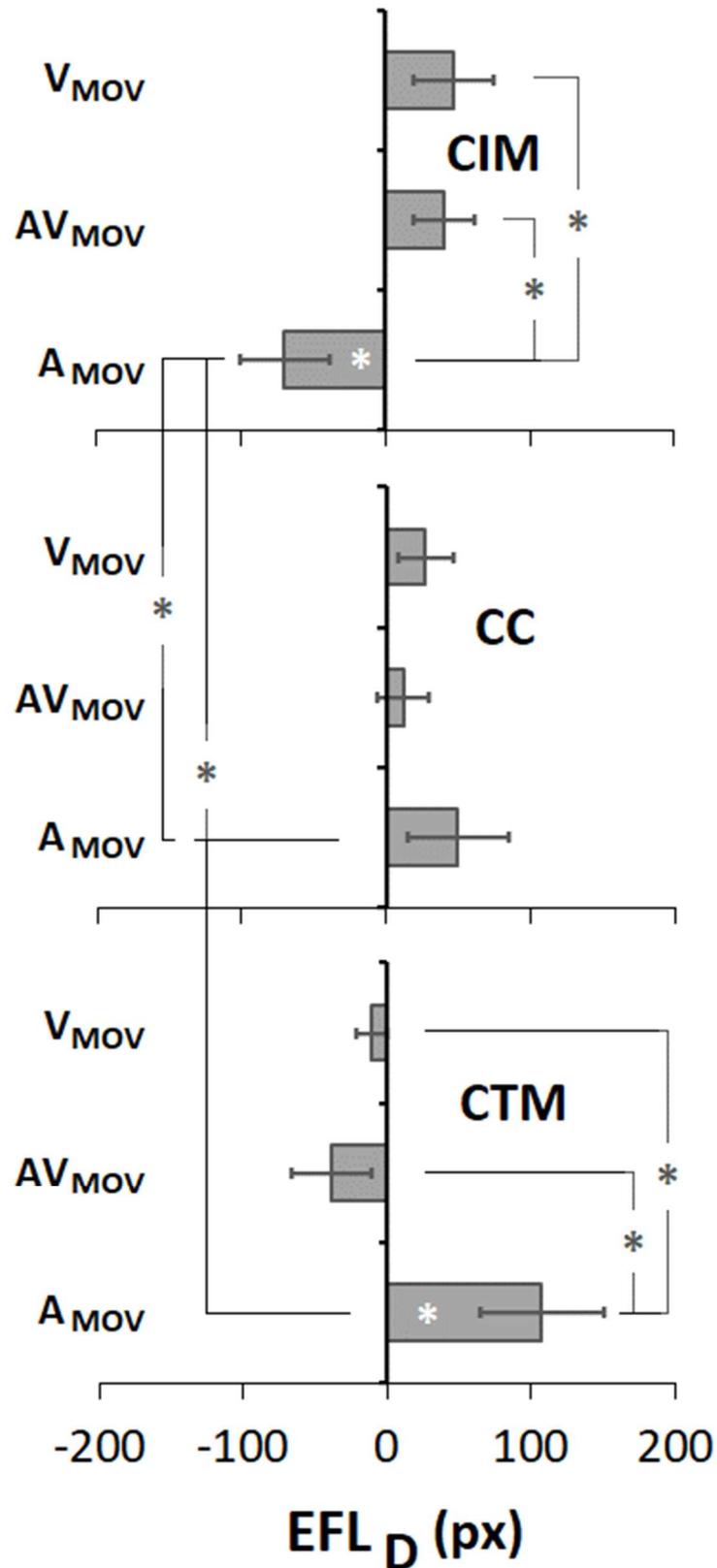
como a apresentação dos estímulos numa única ou em diferentes modalidades (como indicado pela dissociação dos dois tipos de erro na tarefa  $A_{MOV}$ ). Eagleman e Sejnowski (2007) reportaram anteriormente que sinais de movimento podem enviesar a localização de objetos estáticos num grau variável, dependente de fatores como a proximidade espacial do marcador ao movimento, entre outros eventuais. Os nossos resultados convergem com essa indicação, estabelecendo adicionalmente que a pertença do marcador e do móvel à mesma ou a diferentes modalidades como um dos fatores moduladores a considerar.

#### 4.4.1.2. $EFL_D$ : efeitos de atraso/liderança do marcador

##### 4.4.1.2.1. Valores médios.

A análise dos  $EFL_D$  (combinação, por mera subtração, de dois erros absolutos) e do seu eventual acordo com os perfis de EFL (erro relativo) documentados na literatura relevante constitui a componente central da avaliação da hipótese de partida da dissertação. Na **Figura 9** representam-se graficamente os valores de  $EFL_D$  (médias das distribuições de diferenças entre os  $D_x$  do móvel e do marcador, em px, no eixo horizontal) obtidas nos diferentes ciclos (de cima para baixo: CIM, CC, CTM), em cada uma das tarefas ( $V_{MOV}$ ,  $AV_{MOV}$ ,  $A_{MOV}$ , de cima para baixo, no interior de cada ciclo).

De acordo com as previsões  $P_{B1}$  e  $P_{B2}$  (ver **Tabela 1** e derivações no ponto **4.2.2**), é possível observar nas tarefas  $V_{MOV}$  e  $AV_{MOV}$  valores de  $EFL_D > 0$  (atraso do *flash*) no CIM e no CC, e valores de  $EFL_D < 0$  (liderança do *flash*) no CTM, com magnitudes de  $EFL_D$  superiores no CIM relativamente ao CC em ambas as tarefas. A observação de  $EFL_D < 0$  no CTM, ao invés de  $EFL_D$  positivos residuais ( $\approx 0$ ), é consistente com a ocorrência de efeitos de liderança do *flash* em estudos em que o móvel desaparece no termo do trajeto (Roulston et al., 2006). Tendo em conta que as previsões  $P_{B1}$  e  $P_{B2}$  se basearam em estudos do EFL visual com imposição de fixação ocular e respostas de localização aloentríca (relativa a um estímulo de referência), o acordo com as previsões reveladas pela inspeção visual na tarefa  $V_{MOV}$  indica, adicionalmente, que os movimentos oculares não cancelam ou alteram o perfil do EFL em tarefas com trajetos lineares (apoiando os resultados de van Beers et al. 2001), e que a distinção entre sistemas de coordenadas egocêntricos e aloentrícos não impede a recuperação dos perfis de localização relativa a partir da combinação de localizações absolutas, convergindo com os resultados anteriores de Shi e de'Sperati (2008).



**Figura 9.** Valores médios de  $EFL_D$  obtidos pela subtração do erro de localização do marcador ao erro de localização do móvel (na abcissa, em px) em cada um dos ciclos do EFL (de cima para baixo: CIM, CC, CTM). As designações à esquerda, identificam a modalidade sensorial do movimento ( $V_{MOV}$ ,  $AV_{MOV}$ ,  $A_{MOV}$ ). As barras de erro correspondem ao EPM. Diferenças estatisticamente significativas entre tarefas (num mesmo ciclo) e entre ciclos (para uma mesma tarefa) são assinaladas por asteriscos. Asteriscos no interior das barras assinalam magnitudes de erro significativamente diferentes de zero (0).

Menos claros são os resultados relativos às previsões  $P_{B3}$  e  $P_{B4}$ , respeitantes às tarefas intermodais (ver **Tabela 1**). A base de derivação das previsões é neste caso restrita, limitada aos estudos de Alais e Burr (2003) e Arrighi et al. (2005a). A previsão  $P_{B3}$  baseia-se na ordem de magnitudes do EFL observada por Alais e Burr (2003), com EFLs superiores nas tarefas intermodais ( $A_{MC-V_{MOV}}$  e  $V_{MC-A_{MOV}}$ ) relativamente à unimodal visual ( $V_{MC-V_{MOV}}$ ), e superiores, por sua vez, na tarefa  $A_{MC-V_{MOV}}$  relativamente a  $V_{MC-A_{MOV}}$ . Não sendo a tarefa  $A_{MC-V_{MOV}}$  objeto de análise nesta secção (4.4.1. ), apenas na seguinte (4.4.2. ), a segunda parte da previsão não pode ser para já avaliada. Apenas a primeira parte, envolvendo a comparação entre as tarefas  $V_{MOV}$  e  $A_{MOV}$ , é aqui considerada, dando lugar a resultados mistos. Enquanto no CC e no CTM (mais claramente neste último ciclo), os  $EFL_D$  se ordenam de acordo com a previsão, com magnitudes superiores na tarefa  $A_{MOV}$  (CC:  $M=49.9$ ,  $EPM \pm 35.1$ ; CTM:  $M=107.6$ ,  $EPM \pm 42.7$ ) comparativamente a  $V_{MOV}$  (CC:  $M=27.4$ ,  $EPM \pm 19.4$ ; CTM:  $M=-10.8$ ,  $EPM \pm 10.6$ ), o contrário sucede no CIM, com valores de  $EFL_D$  superiores na tarefa  $V_{MOV}$  ( $M=47.1$ ,  $EPM \pm 28.2$ , vs.  $M=-70$ ,  $EPM \pm 30.8$  em  $A_{MOV}$ ). Na medida em que a ordenação de magnitudes reportada por Alais e Burr (2003) foi obtida especificamente no CC, os resultados da inspeção gráfica podem apesar de tudo tomar-se como ilustrando uma tendência favorável ao sentido da previsão  $P_{B3}$ . Quanto à tarefa  $A_{V_{MOV}}$ , sem equivalente no estudo de Alais e Burr (2003), apresentou valores de  $EFL_D$  inferiores aos da tarefa  $V_{MOV}$  em todos os ciclos, sugerindo que a associação espaço-temporalmente congruente de um marcador visual com um marcador acústico opera no sentido da redução do  $EFL_D$ . Este resultado converge com a redução do EFL reportada por Vroomen e de Gelder (2004) quando um som abrupto foi adicionado em sincronia com o *flash*.

A previsão  $P_{B4}$  assenta no paralelismo dos perfis do EFL observado por Alais e Burr (2003) na condição unimodal visual e nas condições intermodais (agregadas) através dos diferentes ciclos do EFL, documentando em ambos os casos magnitudes idênticas no CIM e no CC e um cancelamento do EFL no CTM. É possível ver na **Figura 9** que enquanto a tarefa  $A_{V_{MOV}}$  reproduz qualitativamente o perfil de  $EFL_D$  da tarefa  $V_{MOV}$  (visual unimodal) através dos ciclos, o perfil de  $EFL_D$  na tarefa  $A_{MOV}$  segue uma direção oposta (com valores crescentes de  $EFL_D$  do CIM para o CTM). A previsão  $P_{B4}$  é assim contrariada pelos dados. Esta conclusão decorre especificamente da tarefa ( $V_{MC-A_{MOV}}$ ), podendo não se generalizar à tarefa  $A_{MC-V_{MOV}}$ , objeto de análise na secção seguinte.

A análise estatística encontra-se limitada pela escassez de resultados significativos. Apenas a tarefa  $A_{MOV}$  esteve associada a valores de  $EFL_D$  com expressão estatística, no CIM ( $EFL_D < 0$ : liderança do marcador),  $t(14) = 2.270$ ,  $p = .040$ , e no CTM ( $EFL_D > 0$ : atraso do marcador),  $t(14) = 2.519$ ,  $p = .025$ . ANOVAs de medidas repetidas conduzidas em cada uma das tarefas com ciclo como único fator intra-sujeitos, apenas revelaram um efeito significativo na tarefa  $A_{MOV}$ ,  $F(1.412, 19.765) = 6.969$  ( $\varepsilon = .706$ ),  $p = .010$ ,  $\eta_p^2 = .332$ , associado a diferenças entre o CIM e o CC ( $p$

=.033) e o CIM e o CTM ( $p = .038$ ) (comparações múltiplas subsequentes). Na comparação entre  $V_{MOV}$  e  $AV_{MOV}$ , o fator tarefa (entre-sujeitos) não apresentou qualquer efeito significativo, nem principal,  $F(1,28) = 2.612$ ,  $p = .112$ ,  $\eta_p^2 = .088$ , nem de interação com ciclo,  $F(1.215, 34.014) = 0.128$  ( $\varepsilon = .607$ ),  $p = .772$ ,  $\eta_p^2 = .005$ . Embora com efeitos principais estatisticamente nulos, o fator tarefa produziu, em contrapartida, interações significativas com ciclo tanto na comparação entre  $A_{MOV}$  e  $V_{MOV}$ ,  $F(1.350, 39.141) = 9.281$  ( $\varepsilon = .675$ ),  $p = .002$ ,  $\eta_p^2 = .242$  (ANOVA mista; tarefa como fator entre-sujeitos), como entre  $A_{MOV}$  e  $AV_{MOV}$ ,  $F(1.274, 16.568) = 10.133$  ( $\varepsilon = .637$ ),  $p = .004$ ,  $\eta_p^2 = .438$  (ANOVA de medidas repetidas). A análise subsequente destas interações revelou diferenças significativas entre  $A_{MOV}$  e  $V_{MOV}$  no CIM,  $t(29) = 2.810$ ,  $p = .009$ , e no CTM,  $t(29) = 2.772$ ,  $p = .010$ , o mesmo sucedendo nas comparações com testes  $t$  emparelhados entre  $A_{MOV}$  e  $AV_{MOV}$ : CIM,  $t(14) = 2.918$ ,  $p = .011$ ; CTM,  $t(13) = 3.508$ ,  $p = .004$ .

As análises estatísticas suportam assim apenas a existência de uma diferença clara entre os  $EFL_D$  registados na tarefa  $A_{MOV}$ , por um lado, e aqueles observados nas tarefas  $V_{MOV}$  e  $AV_{MOV}$ , por outro. Uma razão possível para isto, já referida antes, prende-se com a dimensão reduzida das mostras, que limita o poder estatístico dos testes (em particular quando combinada com uma variabilidade importante nos dados). Uma segunda razão, porém, de natureza substantiva, deve ser considerada. Enquanto o efeito de arrastamento do marcador (*flash-drag*) é observado nas nossas tarefas a partir de respostas especificamente dirigidas ao marcador, com atenção focalizada, o *flash-drag* enquanto componente do EFL (erro relativo) ocorreria, em princípio, num contexto de atenção dividida entre a localização do marcador e do móvel. Na eventualidade de a atenção focalizada potenciar a magnitude do *flash-drag*, que opera no sentido de uma diluição perceptiva do EFL (Eagleman & Sejnowski, 2007), os  $EFL_D$  calculados tenderiam então a ser menores do que os EFL correspondentes, dificultando a sua diferenciação estatística relativamente ao zero (0). A literatura disponível sobre o papel da atenção no *flash-drag* não permite esclarecer esta eventualidade, apontando tanto para uma reduzida relevância (e.g., Fukiage et al., 2011, Maus et al., 2013; Whitney & Cavanagh, 2000) como para um papel central da atenção (Shim & Cavanagh, 2005; Tse et al., 2011). Replicações futuras da tarefa de localização do marcador em condições de atenção dividida poderiam ajudar a estabelecer o grau em que os  $EFL_D$  são afetados por esta diferença de regimes atencionais. Em todo o caso, a secção 4.4.2.3 dedicada aos efeitos no  $EFL_D$  da variação da modalidade do marcador) oferece, mais à frente, uma possibilidade de contornar as limitações da análise estatística nesta subsecção – na condição de replicar as tendências aqui assinaladas pela análise gráfica, assegurando-lhes ao mesmo tempo suporte estatístico adequado.

#### 4.4.1.2.2. Diferenças interindividuais.

Apesar de tipicamente negligenciada, a importante variabilidade interindividual qualitativa documentada nos estudos de EFL, (Kreegipuu & Allik, 2003; Gabbard, 2013; Holcombe, 2021) levaria a esperar, de acordo com as previsões  $P_{B6}$  e  $P_{B7}$  (ver **Tabela 1**) que o mesmo ocorresse com os perfis de  $EFL_D$ . A **Figura 10** sumariza a variação nos perfis qualitativos do  $EFL_D$  (relativos à sua direção, positiva ou negativa, por um lado, e à sua ocorrência ou cancelamento, por outro) entre os participantes em cada tarefa. As sequências de três sinais “+” ou “-“ (colunas da esquerda) identificam cada um dos oito perfis de  $EFL_D$  resultantes da combinação três a três (3 ciclos) de duas direções possíveis (“+”, “-“) do  $EFL_D$  ( $2^3 = 8$ ). As barras horizontais à direita de cada sequência representam o número de participantes (n) que, em cada tarefa, exibiu o perfil de  $EFL_D$  correspondente. De modo a isolar, num primeiro momento, a variação direcional do  $EFL_D$ , não foi considerada nesta representação a proximidade a zero (magnitude negligenciável) dos valores apresentados por alguns participantes nalguns ciclos (o que equivaleria a agregar numa categoria “ $\approx 0$ ” direções distintas do  $EFL_D$ ).

A coluna da direita na figura ( $EFL_D \approx 0$ ) permite, no entanto, qualificar a representação por barras, indicando adicionalmente, para cada perfil, em cada tarefa, o número de participantes com magnitudes absolutas de  $EFL_D$  não superiores a 13 px (os três números entre parênteses retos referem-se, da esquerda para a direita, ao CIM, ao CC e ao CTM). Este valor corresponde a um desfasamento entre a localização do móvel e do marcador superior a  $1/3$  ( $\approx 34\%$ ) do tamanho dos alvos visuais (38 px:  $\approx 1$  cm,  $\approx 0,7^\circ$  a.v.), tomado aqui como limite superior dos desfasamentos praticamente equivalentes a “0”. Embora substantivamente motivado (reflete a ocorrência de EFL da ordem dos  $0.3^\circ$  de a.v. com velocidades próximas da utilizada,  $\approx 7^\circ$  a.v.  $s^{-1}$ : ver Vaziri-Pashkamr, 2011), não deve esquecer-se a natureza convencional deste critério. Serve, em todo o caso, o propósito de apreciação comparativa da ocorrência versus ausência/cancelamento (magnitude negligenciável) do  $EFL_D$  através das diferentes tarefas, ciclos e participantes.

CIM	CC	CTM	n	EFL <sub>D</sub> ≈ 0
+	+	+	3	[ 0, 1, 1 ]
+	+	-	6	[ 1, 1, 4 ]
+	-	+	1	[ 0, 1, 0 ]
+	-	-	2	[ 0, 0, 1 ]
-	-	-	1	[ 0, 0, 0 ]
-	-	+	0	<b>V<sub>MOV</sub></b>
-	+	-	1	
-	+	+	2	[ 2, 2, 1 ]
+	+	+	4	[ 2, 2, 4 ]
+	+	-	4	[ 0, 1, 3 ]
+	-	+	1	[ 0, 0, 0 ]
+	-	-	2	[ 0, 1, 0 ]
-	-	-	0	<b>AV<sub>MOV</sub></b>
-	-	+	0	
-	+	-	1	[ 0, 0, 0 ]
-	+	+	2	[ 0, 0, 0 ]
+	+	+	2	[ 0, 0, 1 ]
+	+	-	0	<b>A<sub>MOV</sub></b>
+	-	+	0	
+	-	-	2	[ 1, 1, 1 ]
-	-	-	2	[ 1, 0, 1 ]
-	-	+	3	[ 0, 0, 0 ]
-	+	-	0	<b>A<sub>MOV</sub></b>
-	+	+	6	

**Figura 10.** Resumo das diferenças interindividuais quanto aos perfis de EFL<sub>D</sub> obtidos através do CIM, CC e CTM nas diferentes tarefas (V<sub>MOV</sub>, AV<sub>MOV</sub>, A<sub>MOV</sub>). Nas três colunas da esquerda, os sinais “+” e “-” indicam valores de EFL<sub>D</sub> positivos (*flash-lag*) ou negativos (*flash-lead*) obtidos, respectivamente da esquerda para a direita, no CIM, CC e CTM. Todas as combinações dos dois valores (“+”, “-”) através dos três ciclos se encontram representadas em cada uma das tarefas. Uma sequência de três sinais (em linha) define assim um perfil possível de EFL<sub>D</sub> através dos ciclos. As barras horizontais representam o número (n) de participantes que, em cada tarefa, exibiu cada um dos perfis, considerando apenas as direções do EFL<sub>D</sub> e sem consideração pela sua magnitude. Na coluna da direita (EFL<sub>D</sub> ≈ 0) é indicado o número de participantes que, em cada perfil, apresentou magnitudes absolutas de EFL<sub>D</sub> não superiores a ± 13 px (para a fixação deste critério de equivalência a 0 ver texto). Os números entre parênteses retos indicam, da esquerda para a direita, respectivamente, o n° de participantes que, em cada perfil, apresentou valores de EFL<sub>D</sub> ≈ 0 no CIM, no CC e no CTM.

A inspeção da **Figura 10** confirma de imediato a variabilidade de perfis de  $EFL_D$  entre participantes, como antecipado na previsão  $P_{B6}$ . Sete dos oito perfis direcionais possíveis encontram-se representados na tarefa  $V_{MOV}$  (16 participantes), 6 dos 8 na tarefa  $AV_{MOV}$  (14 participantes), e 5 dos 8 na tarefa  $A_{MOV}$  (15 participantes). Em todos os ciclos, em todas as tarefas, se encontram participantes que diferem na direccionalidade do  $EFL_D$  (atraso vs. liderança do marcador). Os perfis modais (com maior número de participantes) determinam os perfis agregados (valores médios de  $EFL_D$ ) observados na **Figura 9**: o perfil “+, +, -“ nas tarefas  $V_{MOV}$  e  $AV_{MOV}$  e o perfil “-, +, +” na tarefa  $A_{MOV}$ . Na tarefa  $AV_{MOV}$ , o perfil médio dominante encontra-se *ex aequo* com o perfil “+, +, +” (ambos com 4 participantes). No entanto, como pode ver-se na coluna da direita ( $EFL_D \approx 0$ ), todos os participantes neste último perfil apresentaram valores positivos próximos de zero no CTM ( $\leq 13$  px), justificando o predomínio agregado do perfil “+, +, -“. A distribuição dos participantes pelos diferentes perfis nas tarefas  $V_{MOV}$  e  $AV_{MOV}$  (amostras diferentes) é marcadamente semelhante, sugerindo que as diferenças individuais não são aleatórias e sim estruturadas em torno de alguns perfis. Neste mesmo sentido, é possível notar em geral, nas tarefas  $V_{MOV}$  e  $AV_{MOV}$ , um número crescente de  $EFL_D \approx 0$  com a passagem do CIM para o CC e para o CTM (respetivamente, 3, 5 e 8 na tarefa  $V_{MOV}$  e 2, 4 e 7 na tarefa  $AV_{MOV}$ ).

Ainda no capítulo das diferenças interindividuais, a previsão  $P_{B7}$  antecipava a possibilidade de que, entre os participantes agrupados num mesmo perfil qualitativo de  $EFL_D$  (e.g., “+, +, -“), subsistam diferenças individuais significativas quanto ao modo de produção dos  $EFL_D$  a partir dos erros de localização absoluta do marcador e do móvel. De modo a verificar essa possibilidade, os participantes categorizados nos perfis de  $EFL_D$  dominantes em cada uma das tarefas foram individualmente examinados quanto aos erros de localização do móvel e do marcador subjacentes.

A **Figura 11** sintetiza os resultados obtidos. As duas colunas da esquerda ( $R_{MOV}$  e  $R_{MC}$ ) indicam, respetivamente, o sentido do erro de localização do móvel e do marcador (“+”: para diante, no sentido do movimento; “-“: para trás, no sentido contrário ao movimento). Embora a combinação destes sinais dois a dois resulte em 4 sequências (indicadas para cada uma das tarefas), apenas 3 das sequências são aplicáveis à situação concreta do  $EFL_D$  em cada ciclo. Valores de  $EFL_D > 0$  [+] podem ser obtidos a partir das sequências  $R_{MOV}-R_{MC}$  “+, +”, “+, -“, ou “-, -“ (a sequência “-, +” não pode, por definição, originar um  $EFL_D$  positivo). Valores de  $EFL_D < 0$  [-] podem por sua vez ser obtidos a partir de sequências  $R_{MOV}-R_{MC}$  “+, +”, “-, -“, ou “-, +” (por definição, a sequência “+, -“ não pode originar um  $EFL_D$  negativo). À direita, entre parênteses retos colocados após a identificação da tarefa, as sequências de três sinais (“+” e “-“) especificam o perfil em análise através da direção (positiva ou negativa) do  $EFL_D$  nos diferentes ciclos, na ordem CIM, CC, CTM. Tendo em conta que na tarefa  $AV_{MOV}$  houve dois perfis dominantes *ex aequo*, as sequências correspondentes ([+, +, -], [+, +, +]) foram ambas consideradas. Finalmente, o “n” indicado à direita (sob as sequências em parênteses retos) identifica o número de participantes que, em cada tarefa, forneceram o perfil de  $EFL_D$  em análise.

$R_{MOV}$ $R_{MC}$		CIM		CC		CTM	
+	+	5		5		6	
+	-	1		1		0	
-	-	0		0		0	$V_{MOV} [++-]$
-	+	0		0		0	n = 6
+	+	4		4		3	
+	-	0		0		0	
-	-	0		0		1	$AV_{MOV} [++-]$
-	+	0		0		0	n = 4
+	+	3		4		4	
+	-	1		0		0	
-	-	0		0		0	$AV_{MOV} [+++]$
-	+	0		0		0	n = 4
+	+	1		5		5	
+	-	0		1		0	
-	-	3		0		1	$A_{MOV} [-++]$
-	+	2		0		0	n = 6

**Figura 11.** Diferenças individuais no modo de produção dos perfis de EFL<sub>D</sub> dominantes (i.e., exibidos por uma maioria de participantes) a partir dos erros de localização absoluta do móvel e do marcador. A identificação das tarefas encontra-se à direita (de cima para baixo:  $V_{MOV}$ ,  $AV_{MOV}$ ,  $A_{MOV}$ ), seguida por uma sequência de três sinais (“+” ou “-”) entre parênteses retos que caracterizam o perfil de EFL<sub>D</sub> considerado (da esquerda para a direita, os sinais especificam a direção positiva, “+”, ou negativa, “-”, do EFL<sub>D</sub> no CIM, no CC e no CTM). Os dois perfis que na tarefa  $AV_{MOV}$  foram exibidos ex aequo por um maior número de participantes ([+, +, -], [+, +, +]) foram ambos incluídos nesta análise (segundo e terceiro perfis a contar de cima). Os sinais “+” e “-” à esquerda, nas colunas  $R_{MOV}$  (resposta ao móvel) e  $R_{MC}$  (resposta ao marcador) indicam, respetivamente, o sentido do erro de localização absoluta do móvel e do marcador, para diante (“+”) ou para trás (“-”). As barras horizontais representam o número de participantes (indicado na origem, à esquerda) que, em cada ciclo de um dado perfil, produziram o EFL<sub>D</sub> correspondente a partir das direções especificadas dos dois erros absolutos (colunas  $R_{MOV}$  e  $R_{MC}$ ). O número total de participantes que, em cada tarefa, exibiu o perfil de EFL<sub>D</sub> em análise (n) é especificado à direita, sob os parênteses retos.

Apenas em 4 das 12 condições consideradas (três ciclos  $\times$  quatro perfis) se regista uma forma única (comum a todos os participantes num dado perfil) de produzir a direção característica do EFL<sub>D</sub> a partir dos erros de localização absoluta do marcador e do móvel. Em todos os perfis existe, por outro lado, pelo menos um ciclo em que os participantes se repartem por duas formas distintas (diferenças individuais) de produção do EFL<sub>D</sub>. Na tarefa  $AV_{MOV}$  isso verifica-se no CTM para o perfil de EFL<sub>D</sub> [++-] e no CIM para o perfil [+++]. Na tarefa  $V_{MOV}$  (perfil [+-]) observa-se em dois dos ciclos (CIM e CC), e na tarefa  $A_{MOV}$  (perfil [-++]) em todos os ciclos, sendo que no CIM os participantes se dividem mesmo pelas três formas possíveis de produzir um EFL<sub>D</sub> negativo. Uma das indicações deste resultado, para além do acordo geral com a previsão  $P_{B7}$ , é a sugestão de que as diferenças individuais no modo de produção de EFL<sub>D</sub> com a mesma direção (a partir dos erros de localização absolutos) têm maior expressão na tarefa  $A_{MOV}$ .

A prevalência da sequência  $R_{MOV}-R_{MC}$  “+ +” na produção de valores de  $EFL_D$  negativos no CTM (visível na tarefa  $V_{MOV}$  e no perfil [+ + -] da tarefa  $AV_{MOV}$ ) tem por outro lado implicações relevantes para a interpretação do cancelamento e/ou inversão do EFL no CTM como contrária a um mecanismo de extrapolação do movimento. Na realidade, a direção positiva do erro de localização do móvel (“+”) assinala a presença de MR (deslocamento percetivo para diante da posição do móvel) nestes grupos de participantes (6 em  $V_{MOV}$ , 3 em  $AV_{MOV}$ ), sendo o valor negativo de  $EFL_D$  determinado por um deslocamento superior do marcador para diante (“+”). Isto pode observar-se igualmente, para o CIM, num participante da tarefa  $A_{MOV}$  (perfil [- + +]), onde 3 outros participantes agrupados no mesmo perfil produzem, diferentemente, o  $EFL_D$  negativo a partir da sequência  $R_{MOV}-R_{MC}$  “- -”. A sequência “- -” assinala erros de localização para trás tanto do móvel como do marcador, necessariamente mais acentuados no caso do móvel, de modo a produzir o sentido negativo do  $EFL_D$ . O mesmo sucede, no CTM, com um dos participantes classificado no perfil [+ + -] da tarefa  $AV_{MOV}$  (terceira barra a contar de cima na coluna CTM). Entretanto, num participante da tarefa  $A_{MOV}$ , a mesma sequência “- -” dá origem ao  $EFL_D$  positivo do CTM, implicando um erro de localização para trás do marcador superior ao deslocamento para trás da posição percebida do móvel (ver última barra a contar de cima na coluna CTM).

No conjunto, as previsões  $P_{B6}$  (relativa às diferenças individuais qualitativas nos perfis de  $EFL_D$  através dos ciclos) e  $P_{B7}$  (relativa às diferenças individuais na produção de  $EFL_D$  direccionalmente idênticos a partir de diferentes combinações de erros absolutos) podem considerar-se bem ilustradas pelos dados. Este resultado sugere que a observação de diferenças individuais importantes no EFL não é incompatível, em si mesma, com explicações de natureza predominantemente espacial, podendo resultar, em alternativa à variabilidade das latências diferenciais de processamento (Murai & Murakami, 2016; Ögmen et al., 2004), da variabilidade individual ao nível dos erros de localização absoluta do móvel e do marcador.

#### ***4.4.1.3 Tempos de resposta: localização do móvel e do marcador***

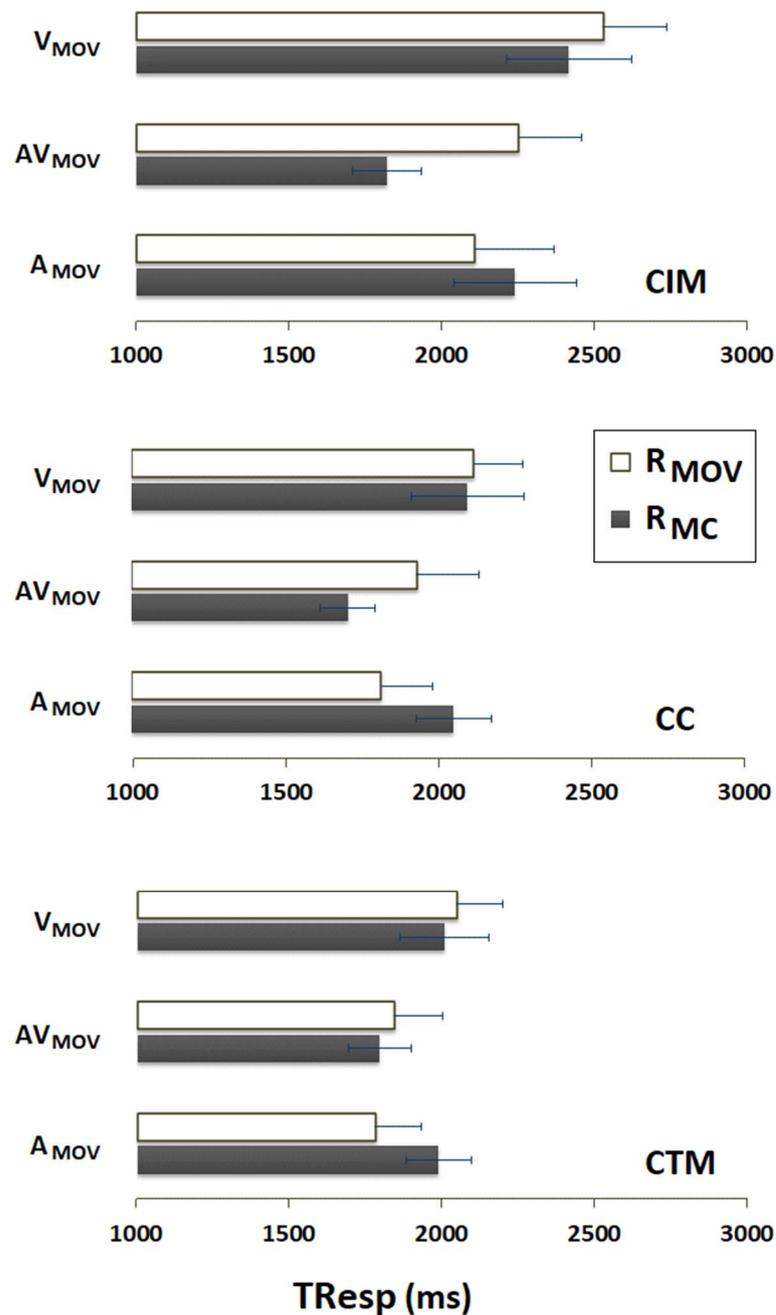
##### ***4.4.1.3.1. Médias dos $TR_{esp}$ .***

Os tempos das respostas de localização do marcador e do móvel não constituem variáveis dependentes centrais na avaliação da hipótese de que o EFL possa resultar da combinação de dois erros absolutos. No entanto, conforme indicado na previsão  $P_{D1}$  (ver **Tabela 1**), podem contribuir para a discussão de hipóteses influentes avançadas na literatura do EFL, como a de um processamento sequencial do marcador e do móvel. Esta hipótese é explícita ou implicitamente admitida em vários modelos explicativos (e.g., modelo da codificação sequencial de Priess et al.,

2012; modelo de latência generalizado de Baldo, Kihara, et al., 2002; modelo da transição entre localização egocêntrica e allocêntrica de Becker et al., 2009: ver secção 4.2.2 ), permitindo prever, em geral,  $TR_{esp}$  de localização do móvel superiores aos da localização do marcador.

Importa, contudo, recordar que a derivação desta previsão envolveu duas assunções auxiliares (ver secção 4.2.2 ). O confronto de  $P_{D1}$  com os dados não constitui assim um teste direto à hipótese do processamento sequencial, e sim ao conjunto da hipótese e assunções auxiliares. A observação de um acordo permitirá suportar simultaneamente a hipótese e as assunções. Diferentemente, a observação de um desacordo não autoriza conclusões claras, podendo sinalizar uma inadequação da hipótese, de uma ou ambas as assunções, ou ainda de todas estas componentes. Adicionalmente, uma das assunções auxiliares (que a exigência de localizar o marcador, em  $R_{MC}$ , não altera a natureza do seu processamento em  $R_{MOV}$ , onde apenas assinala o momento da resposta) é apoiada basicamente por estudos com estímulos visuais (ver discussão em 4.2.2 ), não sendo claro o grau em que pode estender-se a tarefas intermodais. A previsão  $P_{D1}$  deve assim entender-se como primariamente dirigida à condição visual unimodal (tarefa  $V_{MOV}$ ), admitindo apenas acessoriamente que possa verificar-se também em condições intermodais.

Na figura 12 estão representadas as médias dos  $TR_{esp}$  da localização do móvel ( $R_{MOV}$ ) e do marcador ( $R_{MC}$ ) nos três ciclos do EFL (CIM, CC, CTM) em cada uma das tarefas ( $V_{MOV}$ ,  $AV_{MOV}$ ,  $A_{MOV}$ ). Anteriormente ao cálculo das médias, os  $TR_{esp}$  foram escrutinados quanto à presença de valores extremos (avaliados pelos resíduos studentizados e distâncias de Cook obtidas em ANOVAs de medidas repetidas). Dois participantes foram removidos na tarefa  $A_{MOV}$  e um na tarefa  $AV_{MOV}$ , por apresentarem distâncias de Cook que excediam em mais de três vezes a média e/ou valores de resíduos studentizados  $\geq 3$ .



**Figura 12.** Tempos de resposta ( $TR_{\text{esp}}$ ) da localização do móvel ( $R_{\text{MOV}}$ ) e do marcador ( $R_{\text{MC}}$ ) nos três ciclos do EFL (de cima para baixo: CIM, CC e CTM) em cada uma das tarefas (de cima para baixo, em cada ciclo:  $V_{\text{MOV}}$ ,  $AV_{\text{MOV}}$ ,  $A_{\text{MOV}}$ ). Os  $TR_{\text{esp}}$ , em abcissa, são fornecidos em ms. As barras de erro representam o EPM.

A comparação visual entre os  $TR_{\text{esp}}$  do móvel e do marcador documenta um perfil consistente através dos ciclos, com  $R_{\text{MOV}} > R_{\text{MC}}$  nas tarefas  $V_{\text{MOV}}$  e  $AV_{\text{MOV}}$  e  $R_{\text{MOV}} < R_{\text{MC}}$  na tarefa  $A_{\text{MOV}}$ . A tarefa  $V_{\text{MOV}}$ , objeto principal da previsão, suporta assim a hipótese de processamento sequencial (ou em cascata, com precedência temporal do marcador: McClelland, 1979) do marcador e do móvel, bem como as duas assunções auxiliares da previsão, sendo este resultado replicado na

tarefa  $AV_{MOV}$ . A inversão da ordem dos  $TR_{esp}$  em  $A_{MOV}$  ( $R_{MC} > R_{MOV}$ ) é, por sua vez, algo surpreendente. Um resultado deste tipo foi antecipado como possível, na previsão  $P_{D1}$  (ver **Tabela 1** para a condição com marcador auditivo ( $A_{MC-V_{MOV}}$ ), a analisar adiante (secção 4.4.2). Com efeito, face à desvantagem (em geral) da audição em tarefas de localização espacial, é fácil admitir que a localização espacial de um marcador acústico origine  $TR_{esp}$  superiores aos da localização de um estímulo visual dinâmico no momento indicado pelo marcador. No entanto, os resultados observáveis na tarefa  $A_{MOV}$  ( $V_{MC-A_{MOV}}$ ) vão num outro sentido, indicando uma localização espacial do estímulo auditivo em movimento, no momento indicado pelo marcador visual, mais rápida do que a localização do marcador visual.

Interpretações com base num efeito de alteração da modalidade (EAM: lentificação da resposta a alvos precedidos por estímulos noutra modalidade; ver Spence & Driver, 1997; Turatto et al., 2002) teriam como condição uma subida do  $TR_{esp}$  ao marcador em  $A_{MOV}$  comparativamente a  $V_{MOV}$  (onde não ocorre alteração de modalidade), contrariada pelos dados – em todos os ciclos, o  $TR_{esp}$  ao marcador é no essencial idêntico, e mesmo ligeiramente inferior, ao observado em  $V_{MOV}$ . A mesma objeção vale para hipóteses como a de uma dificuldade específica em desligar a atenção de estímulos auditivos dinâmicos (Spence et al., 2001). Na realidade, como pode ver-se pela comparação dos  $TR_{esp}$  ao móvel ( $R_{MOV}$ ) através das tarefas, a inversão dos resultados em  $A_{MOV}$  deve-se, não ao aumento dos tempos na localização do marcador, mas a uma redução comparativa dos tempos de resposta ao móvel, que apresentam na tarefa  $A_{MOV}$  os menores valores em todos os ciclos. As razões para isto não são claras. Uma possibilidade (conjetural) é a de que se trate de um efeito de compromisso (*trade-off*) velocidade-precisão, acelerando a resposta ao estímulo auditivo em movimento ao preço de uma redução na qualidade da localização. A maior variabilidade dos erros de localização do móvel na tarefa  $A_{MOV}$ , ilustrada pelas barras de erro na **Figura 6**, é compatível com esta possibilidade, mas insuficiente para a suportar.

A tarefa  $AV_{MOV}$  apresenta por sua vez, de forma consistente em todos os ciclos, os menores tempos da resposta de localização do marcador ( $R_{MC}$ ). Um princípio de interpretação para este resultado pode talvez encontrar-se na evidência de que, em contextos de estimulação bimodal (e.g., audiovisual) a atenção seletiva a informação numa das modalidades (e.g. visão) favorece a eficiência geral do processamento nessa modalidade (Johnson & Zatorre, 2005; Morrill et al., 2022). Na hipótese de os participantes privilegiarem seletivamente, mobilizando recursos de atenção endógena, a informação visual de movimento disponível no fluxo audiovisual, o processamento do marcador (visual) poderia desse modo beneficiar de um efeito de preparação atencional. Esta agilização do processamento do marcador seria por sua vez suficiente, com base no tratamento sequencial do marcador e do móvel, para explicar a redução do  $TR_{esp}$  ao móvel também observada em  $AV_{MOV}$  comparativamente a  $V_{MOV}$ .

Por fim, a figura 12 ilustra um decréscimo global dos tempos (em todas as tarefas e tanto em  $R_{MOV}$  como em  $R_{MC}$ ) com a passagem do CIM ao CC e ao CTM, nesta ordem. Este resultado é compatível com um efeito de previsibilidade da apresentação do marcador, ao qual o nosso arranjo experimental, com os ciclos aleatorizados num mesmo bloco de ensaios, é suscetível (ver discussão em 4.2.2). A ausência de marcador no início do trajeto torna com efeito mais provável a possibilidade de que surja a meio ou no fim (CC ou CTM) e, transcorrida uma porção do trajeto superior à metade sem que seja apresentado, torna certa a sua apresentação no final (CTM). O incremento de previsibilidade do marcador corresponde assim à ordem do decréscimo observado nos  $TR_{esp}$  (CIM > CC > CTM). Reduções da magnitude do EFL com o aumento da previsibilidade temporal do marcador têm sido reportadas na literatura (Vreven & Verghese, 2005) e os perfis de  $EFL_D$  na **Figura 9** exibem nas tarefas  $V_{MOV}$  e  $AV_{MOV}$  decréscimos de magnitude crescentes do CIM para o CTM, passando pelo CC. O decréscimo dos  $TR_{esp}$  através dos ciclos poderá assim ser parte dum padrão mais geral de resultados revelador de um efeito de previsibilidade induzido pelo arranjo experimental. Não sendo para já possível excluir essa hipótese, estes resultados podem, alternativamente, como indicado acima (ver secção 4.2.2), dever-se a fatores intrínsecos à definição dos ciclos, como a ausência de movimento anterior ao marcador no CIM e a ausência de movimento posterior ao marcador em CTM.

Em nenhuma das ANOVAs de medidas repetidas conduzidas para cada tarefa o fator resposta ( $R_{MOV}$ ,  $R_{MC}$ ) apresentou um efeito principal significativo –  $A_{MOV}$ :  $F(1,12) = 2.755$ ,  $p = .123$ ,  $\eta_p^2 = .187$ ;  $AV_{MOV}$ :  $F(1,13) = 2.407$ ,  $p = .145$ ,  $\eta_p^2 = .156$ ;  $V_{MOV}$ :  $F(1,15) = 1.269$ ,  $p = .278$ ,  $\eta_p^2 = .078$ . Apenas uma interação resposta  $\times$  ciclo foi identificada na tarefa  $AV_{MOV}$ ,  $F(2,28) = 8.062$ ,  $p = .002$ ,  $\eta_p^2 = .383$ , associada a um contraste linear  $\times$  linear significativo,  $F(1,13) = 10.172$ ,  $p = .007$ ,  $\eta_p^2 = .439$ . A significância da componente bilinear da interação sinaliza a tendência em  $AV_{MOV}$  para uma redução progressiva da diferença entre os  $TR_{esp}$  ao móvel e ao marcador com a transição do CIM para o CC e do CC para o CTM. Todas as ANOVAs revelaram, por outro lado, um efeito significativo do fator ciclo –  $A_{MOV}$ :  $F(1.378, 16.536) = 5.028$  ( $\epsilon = .689$ ),  $p = .029$ ,  $\eta_p^2 = .295$ ;  $AV_{MOV}$ :  $F(1.185, 15.405) = 9.843$  ( $\epsilon = .592$ ),  $p = .005$ ,  $\eta_p^2 = .431$ ;  $V_{MOV}$ :  $F(1.214, 18.213) = 15.497$  ( $\epsilon = .607$ ),  $p = .001$ ,  $\eta_p^2 = .508$ . Este resultado suporta estatisticamente a redução dos tempos de resposta observada, em todas as tarefas, entre o CIM e o CTM, com o CC em posição intermédia.

Quanto às comparações entre tarefas, uma ANOVA mista com  $A_{MOV}$  e  $V_{MOV}$  como níveis de um fator tarefa entre-sujeitos revelou uma interação tarefa  $\times$  resposta significativa,  $F(1,27) = 4.443$ ,  $p = .044$ ,  $\eta_p^2 = .141$ . Esta interação, desordinal, assinala a inversão da ordem dos  $TR_{esp}$  ao marcador e ao móvel entre as tarefas  $A_{MOV}$  ( $R_{MOV} = 1902$  ms <  $R_{MC} = 2093$  ms) e  $V_{MOV}$  ( $R_{MOV} = 2231$  ms >  $R_{MC} = 2173$  ms). Também a ANOVA de medidas repetidas com  $A_{MOV}$  e  $AV_{MOV}$  como níveis de um fator tarefa intra-sujeitos registou uma interação tarefa  $\times$  resposta significativa,

$F(1,11) = 5.726, p = .036, \eta_p^2 = .346$ . Como anteriormente, este resultado reflete a inversão da ordem dos tempos de resposta ao marcador e ao móvel, agora entre as tarefas  $A_{MOV}$  ( $R_{MOV} < R_{MC}$ ) e  $AV_{MOV}$  ( $R_{MOV} = 1913 \text{ ms} > R_{MC} = 1704 \text{ ms}$ ). A decomposição desta interação por meio de ANOVAs conduzidas separadamente para as respostas ao marcador ( $R_{MC}$ ) e ao móvel ( $R_{MOV}$ ), documentou, nas respostas ao marcador, uma diferença significativa entre  $A_{MOV}$  e  $AV_{MOV}$ ,  $F(1,12) = 6.543, p = .025, \eta_p^2 = .353$ , confirmando a redução observada dos  $TR_{esp}$  ao marcador em  $AV_{MOV}$ . Também nas respostas ao marcador, embora sem atingir o critério  $p \leq 0.05$ , a diferença entre  $AV_{MOV}$  e  $V_{MOV}$  aproximou-se da significância estatística,  $F(1,28) = 3.833, p = 0.06, \eta_p^2 = .353$ . Por fim, na ANOVA mista com  $A_{MOV}$  e  $V_{MOV}$  como níveis do fator tarefa (entre-sujeitos), não se registou qualquer efeito significativo do fator tarefa, seja principal  $F(1,28) = 2.137, p = .155, \eta_p^2 = .071$  ou de interação com os fatores resposta,  $F(1,28) = 1.350, p = .155, \eta_p^2 = .071$ , ou ciclo,  $F(2,56) = 2.362, p = .104, \eta_p^2 = .078$ . Tomados conjuntamente, os resultados das comparações estatísticas entre tarefas apoiam as principais tendências destacadas pela análise visual: um padrão oposto entre as tarefas  $V_{MOV}$  e  $AV_{MOV}$ , por um lado, e a tarefa  $A_{MOV}$ , por outro, quanto à ordem dos tempos de resposta ao marcador e ao móvel ( $R_{MOV} > R_{MC}$  nas duas primeiras;  $R_{MOV} < R_{MC}$ , na última); menores tempos de resposta ao marcador na tarefa  $AV_{MOV}$ , comparativamente às tarefas  $A_{MOV}$  e  $V_{MOV}$ .

#### 4.4.1.3.2. Correlações entre $TR_{esp}$ e $EFL_D$ .

A verificação, em  $V_{MOV}$  e  $AV_{MOV}$ , de dados favoráveis à hipótese de um processamento sequencial (ou, numa versão contínua, em cascata: McClelland, 1979) do marcador e do móvel, torna possível pensar numa relação entre a diferença de  $TR_{esp}$  entre o móvel e o marcador e a magnitude do  $EFL_D$ . Mediante as mesmas suposições utilizadas para derivar a previsão  $P_{D1}$  (componentes motoras das respostas ao marcador e ao móvel equivalentes; natureza inalterada do processamento do marcador nos dois tipos de resposta), a diferença entre os  $TR_{esp}$  do móvel e do marcador poderia com efeito tomar-se como indicativa de uma latência associada à deslocação da atenção da posição do marcador para a do móvel (Baldo, Kihara, et al., 2002), ou à transição entre coordenadas egocêntricas (localização do marcador) e allocêntricas (localização do marcador relativamente ao móvel) (Becker et al., 2009; Blohm et al., 2003). Na medida em que o móvel se desloca durante esse intervalo, e essa deslocação não seja descontada pelo sistema perceptivo, este tipo de latências de processamento tem sido proposto como um dos fatores contribuintes para o EFL (ver, e.g., modelo de latência generalizado: Baldo, Kihara, et al., 2002; Baldo & Klein, 2010). A observação de uma correlação positiva entre o diferencial dos  $TR_{esp}$  ao móvel e ao marcador ( $D TR_{esp}$ ) e a magnitude dos  $EFL_D$  seria assim, nas nossas tarefas, consistente com este tipo de cenário.

Correlações de Pearson entre a diferença dos tempos de resposta ao móvel e ao marcador ( $D TR_{esp}$ , em ms) e os valores correspondentes de  $EFL_D$  (em px) foram calculadas em cada um dos ciclos (CIM, CC, CTM) nas tarefas  $V_{MOV}$  e  $AV_{MOV}$ . Na tarefa  $V_{MOV}$  nenhuma das correlações foi significativa, sendo uma delas negativa e outra próxima de zero – CIM:  $r(16) = .365, p = .165$ ; CC:  $r(16) = .037, p = .890$ ; CTM:  $r(16) = -.426, p = .100$ . Na tarefa  $AV_{MOV}$  duas das correlações foram significativas – CIM:  $r(15) = .530, p = .042$ ; CC:  $r(15) = .578, p = .024$ ; CTM:  $r(15) = -.484, p = .068$ . O limiar de significância corrigido pelo procedimento de Bonferroni, considerando o número de correlações (3) calculadas em cada tarefa, seria, contudo, de  $p \leq .017$ , não atingido por nenhuma das correlações. No conjunto, considerando adicionalmente a ocorrência de valores de correlação negativos no CTM em ambas as tarefas, os resultados apontam para a independência destas duas variáveis, não para a sua associação positiva.

Na realidade, sendo o  $D TR_{esp}$  calculado pela subtração dos  $TR_{esp}$  do marcador aos do móvel, e o  $EFL_D$  a partir da subtração dos erros de localização horizontal ( $D_x$ ) do marcador aos do móvel, esta independência deveria poder já antecipar-se a partir das correlações entre os  $TR_{esp}$  ao móvel e os  $D_x$  do móvel, por um lado, e entre os  $TR_{esp}$  ao marcador e os  $D_x$  do marcador, por outro. Na tarefa  $AV_{MOV}$ , no conjunto das correlações (6) entre os  $D_x$  e os  $TR_{esp}$  calculadas separadamente para a resposta ao móvel e ao marcador em cada um dos ciclos, apenas duas correlações se apresentaram significativas, envolvendo a resposta ao móvel no CC e no CTM. Ambas foram negativas, tornando-se a segunda estatisticamente nula por aplicação do critério de Bonferroni : CC:  $r(15) = -.671, p = .006$ ; CTM:  $r(14) = -.602, p = .023$ . Na tarefa  $V_{MOV}$  foram igualmente registadas duas correlações significativas, uma envolvendo a resposta ao marcador no CIM,  $r(16) = .693, p = .003$ , a outra a resposta ao móvel no CIM,  $r(16) = .647, p = .007$  (três das restantes correlações, sem expressão estatística, apresentaram valores negativos). Como esperado, face aos resultados anteriores das correlações entre  $D TR_{esp}$  e  $EFL_D$ , a magnitude (espacial) dos erros de localização do marcador e do móvel mostra-se assim essencialmente independente dos tempos (latências) da resposta.

#### ***4.4.1.4. Respostas de localização vertical do móvel e do marcador***

Nas respostas de localização horizontal, a eventual influência da posição de um dos estímulos na posição percebida do outro não é separável dos efeitos da informação de movimento horizontal. As respostas de localização vertical, contudo, envolvendo a direção ortogonal ao movimento, tornam possível avaliar eventuais efeitos de atração ou repulsão entre a posição do marcador e do móvel, desfasadas entre si 2 cm na vertical. A observação de uma influência da posição do marcador na localização vertical do móvel, em particular, seria indicativa de que,

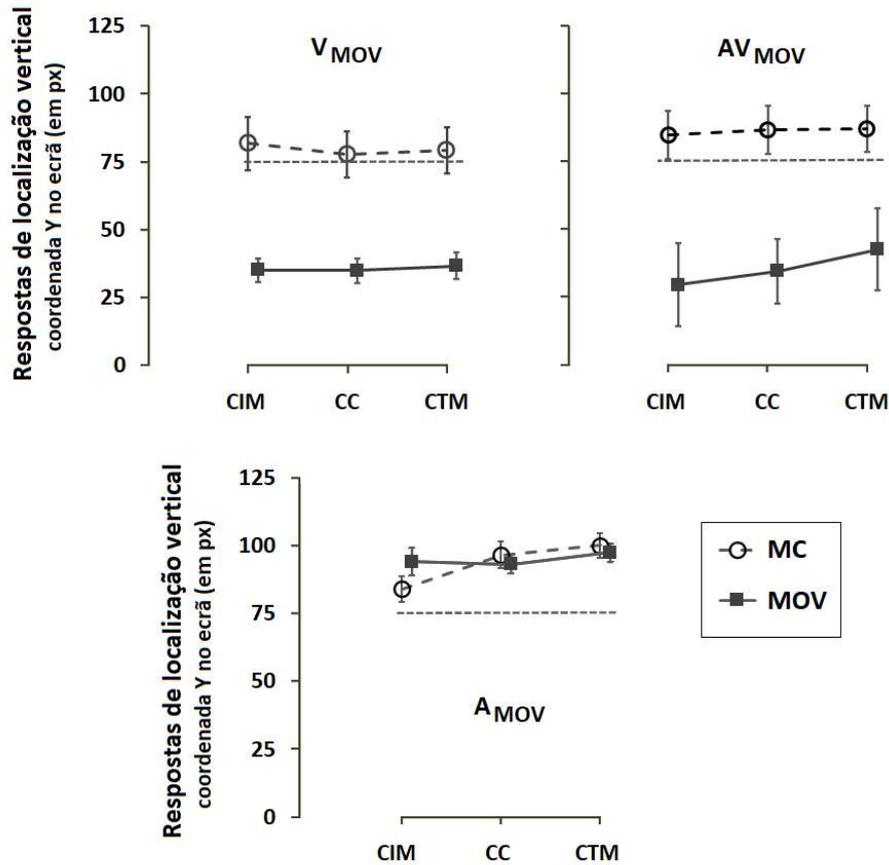
mesmo quando o marcador assinala o momento de localizar o móvel (função temporal), a sua informação espacial, ainda que nominalmente irrelevante para a tarefa, é processada e tida em conta. Sugestões de que o processamento da informação espacial precede a da informação temporal na percepção de estímulos visuais (Park et al., 2003) apontariam nesse sentido, tendo em conta que neste conjunto de tarefas o marcador é invariavelmente visual. Van Beers et al. (2001), reportaram, por sua vez, um deslocamento vertical percebido de um *flash* para “mais longe” da trajetória de um movimento horizontal, compatível com uma eventual influência da posição vertical do móvel na localização vertical do *flash*.

A previsão  $P_{D3}$  formulada acima (ver **Tabela 1**) considerou justamente a possibilidade de uma influência recíproca da informação posicional dos dois estímulos nas respostas de localização vertical, assumindo um mecanismo de combinação-integração da sua informação posicional (consistente, em geral, com os efeitos de atração para marcas espaciais documentados na literatura sobre erros de localização: Hubbard & Ruppel, 1999; 2000; 2018), modulado, no caso das tarefas intermodais, pela precisão da informação oferecida por cada modalidade (ver Ernst & Banks, 2002, Ernst & Di Luca, 2011). Erros verticais para baixo na localização do marcador e para cima na localização do móvel seriam neste sentido esperáveis, com magnitudes relativas dependentes das modalidades dos estímulos (no caso da tarefa  $A_{MOV}$ , por exemplo, face à menor precisão da informação espacial auditiva, um deslocamento particularmente acentuado da localização do móvel para cima, e pouco ou nenhum deslocamento do marcador para baixo, poderiam antecipar-se).

A **Figura 13** apresenta as respostas de localização vertical ao marcador (MC) e ao móvel (MOV) nos três ciclos do EFL para cada uma das tarefas. Na ordenada encontram-se as coordenadas verticais do ecrã, em abcissa os ciclos, e os diferentes gráficos correspondem às três tarefas ( $V_{MOV}$  e  $AV_{MOV}$  em cima, da esquerda para a direita e  $A_{MOV}$  em baixo). A linha horizontal tracejada indica a posição vertical verídica do marcador, e o zero (0) na ordenada corresponde à posição vertical verídica do trajeto do movimento. Os valores fornecidos correspondem a médias obtidas após a eliminação, em cada uma das tarefas, de participantes com resultados extremos (critério: resíduos studentizados  $\geq 3$  e ou distâncias de Cook excedendo em mais de três vezes a média). Na tarefa  $A_{MOV}$  foram excluídas as respostas de localização do móvel de um participante, o mesmo sucedendo com dois participantes na tarefa  $AV_{MOV}$  e um na tarefa  $V_{MOV}$ . Nesta última tarefa, erros detetados no ficheiro de dados determinaram ainda a eliminação adicional de dois participantes.

A inspeção dos três gráficos revela um contraste marcado entre o padrão observado nas tarefas  $V_{MOV}$  e  $AV_{MOV}$ , por um lado, onde as curvas correspondentes à localização do marcador e do móvel mantêm uma separação clara, e na tarefa  $A_{MOV}$ , por outro, onde as curvas se sobrepõem. Este resultado converge com a previsão incluída em  $P_{D3}$  de um deslocamento acentuado para cima da localização do móvel nesta tarefa. No caso vertente, a sobreposição dos traçados traduz mesmo

a desconsideração completa da informação posicional vertical do móvel (peso zero) e a consideração exclusiva da informação posicional vertical do marcador na resposta de localização do móvel. Este resultado foi suportado estatisticamente por um efeito significativo do fator resposta (MC, MOV) nas ANOVAs de medidas repetidas ciclo  $\times$  resposta conduzidas nas tarefas  $V_{MOV}$ ,  $F(1,12) = 20.580$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .632$ , e  $AV_{MOV}$ ,  $F(1,12) = 8.608$ ,  $p = .013$ , e estatisticamente nulo na tarefa  $A_{MOV}$ ,  $F(1,13) = .110$ ,  $p = .745$ ,  $\eta_p^2 = .008$ .



**Figura 13.** Respostas de localização vertical (coordenada Y do ecrã, em px, na ordenada) do marcador (MC) e do móvel (MOV) nos três ciclos do EFL (em abcissa) em cada uma das tarefas (em cima, da esquerda para a direita:  $V_{MOV}$  e  $AV_{MOV}$ ; em baixo:  $A_{MOV}$ ). A linha tracejada horizontal assinala a coordenada vertical verídica do marcador. O zero (0) da ordenada corresponde à coordenada vertical verídica do trajeto do móvel. As barras de erro representam o EPM.

Ainda de acordo com a previsão  $P_{D3}$ , os erros de localização vertical do móvel ocorreram, em todas as tarefas, para cima (em direção ao marcador). Estatisticamente, com exceção do CIM na tarefa  $AV_{MOV}$ , o deslocamento do móvel para cima foi significativo em todos os ciclos em todas as tarefas (*t-student* de uma amostra, valor de teste = 0). Na tarefa  $A_{MOV}$  o menor valor de *t* observado foi  $t(13) = 18.448$ ,  $p < .001$  (no CIM) e na tarefa  $V_{MOV}$   $t(12) = 7.624$ ,  $p < .001$  (no CTM). Na tarefa  $AV_{MOV}$ , apenas o CC,  $t(12) = 2.854$ ,  $p = .015$ , e o CTM,  $t(12) = 2.813$ ,  $p = .016$ ,

se distinguiram significativamente de zero ( $p = .083$  no CIM; o limiar de significância associado à correção de Bonferroni para o número de comparações por tarefa é de  $p \leq .0167$ ). Os resultados suportam assim um efeito generalizado de atração do móvel pela posição vertical do marcador.

Diferentemente do antecipado em  $P_{D3}$ , contudo, a localização vertical percebida do marcador não se deslocou nunca da sua posição verídica em direção ao trajeto do móvel, e sim, tendencialmente, para mais longe do trajeto. Esta observação converge com o resultado antes referido de Van Beers et al. (2001), apontando para um efeito de repulsão, e não de atração, relativamente à coordenada vertical do movimento. O efeito é menor na tarefa  $V_{MOV}$  e tem a sua maior expressão na tarefa  $A_{MOV}$ . Do ponto de vista estatístico, só no CC,  $t(14) = 4.733$ ,  $p < .001$ , e no CTM,  $t(14) = 5.974$ ,  $p < .001$ , desta última tarefa atingiu o critério de significância (*t-student* para uma amostra, valor de teste = 75). O facto de a curva correspondente à localização do móvel coincidir, em  $A_{MOV}$ , com a da localização do marcador, situada por sua vez acima da posição verídica, constitui uma indicação de que o efeito de atração exercido pelo marcador não dependeu da sua posição real e sim percebida.

Por fim, as barras de erro sinalizam a existência de diferenças importantes na variância das localizações do móvel e do marcador, quer numa mesma tarefa, quer entre tarefas. A diferença graficamente mais saliente ocorre entre as tarefas  $V_{MOV}$  e  $AV_{MOV}$ , com indicação duma variabilidade superior da localização do móvel nesta última tarefa. Essa diferença foi confirmada pelo teste de Levene para a igualdade de variâncias, que revelou diferenças significativas entre as duas tarefas em todos os ciclos – CIM ( $s^2_{AV} = 3036.23 > s^2_V = 243.16$ ):  $F(1,24) = 22.037$ ,  $p < .001$ ; CC ( $s^2_{AV} = 1845.06 > s^2_V = 264.86$ ):  $F(1,24) = 19.641$ ,  $p < .001$ ; CTM ( $s^2_{AV} = 2979.30 > s^2_V = 302.55$ ):  $F(1,24) = 9.834$ ,  $p = .004$ . Comparações com o teste de Pitman-Morgan para amostras emparelhadas confirmaram igualmente uma superioridade estatística da variância na localização do móvel em  $AV_{MOV}$  relativamente a  $A_{MOV}$  em todos os ciclos – CIM:  $t(10) = 4.028$ ,  $p = .002$ ; CC:  $t(10) = 5.689$ ,  $p < .001$ ; CTM:  $t(10) = 8.809$ ,  $p < .001$ . Entre a tarefa  $A_{MOV}$  e a tarefa  $V_{MOV}$ , a variância na localização do móvel não diferiu estatisticamente em qualquer dos ciclos (menor  $p$  associado ao teste de Levene = .527). Este último resultado deve, contudo, interpretar-se no contexto, assinalado acima, da utilização exclusiva da informação posicional do marcador na localização vertical do móvel. A reduzida variabilidade da resposta ao móvel não exprime assim na tarefa  $A_{MOV}$  uma característica da sua localização auditiva, e sim a variabilidade característica da localização do marcador visual (da qual não se distingue significativamente: menor  $p$  observado = .199, associado ao teste de Pitman-Morgan no CC). A variabilidade distintiva da localização do móvel na tarefa  $AV_{MOV}$  poderá indicar que o movimento audiovisual coloca dificuldades particulares à sua localização vertical, porventura dependentes da competição entre pistas visuais e auditivas de elevação, ou da necessidade de compatibilizar diferentes quadros de referência associados à informação visual e auditiva (ver Barfield et al., 1997).

O conjunto dos resultados suporta convincentemente a existência de um efeito de atração posicional (espacial) do marcador relativamente ao móvel, mais acentuado quando o movimento é auditivo, a operar na dimensão vertical (ortogonal ao movimento). Evidência favorável a um efeito de repulsão exercido pelo móvel sobre o marcador na dimensão vertical é também aparente nos gráficos, mas com um apoio estatístico limitado a dois ciclos na tarefa  $A_{MOV}$ ). O efeito de atração documentado é em qualquer caso suficiente para estabelecer que a posição do marcador é representada, mesmo quando nominalmente irrelevante para os objetivos da tarefa (como no caso da localização do móvel). A existência desta representação posicional torna possível uma influência espacial do marcador na localização absoluta do móvel também na dimensão horizontal (alinhada com o movimento). Todavia, a principal influência documentada na análise dos erros de localização horizontal do móvel e do marcador (ver **Figura 6**, secção **4.4.1.1.1**), é a informação de movimento horizontal, ocorrendo a generalidade dos erros para diante (no sentido do movimento) e com magnitudes superiores na localização do móvel (i.e., num sentido contrário ao eventual efeito de atração do marcador). Duas hipóteses possíveis são a de que a representação posicional do marcador, apesar de disponível, não é utilizada na localização horizontal do móvel, ou a de que, em alternativa, os efeitos dessa representação são negligenciáveis face à modulação da posição percebida do móvel pelo movimento.

#### ***4.4.2. Efeitos da modalidade do marcador***

Nesta secção analisam-se os efeitos da variação da modalidade do marcador (V, A, AV) em tarefas com movimento. Em contraste com a secção anterior, é agora a modalidade do movimento que se mantém constante. As diferenças observadas entre tarefas podem assim atribuir-se ou à modalidade do marcador ou ao jogo das interações entre essa modalidade e os restantes fatores considerados. A tarefa com marcador visual ( $V_{MC}$ ) e movimento visual é a mesma da secção anterior (as designações  $V_{MC}$  e  $V_{MOV}$  referem-se à mesma tarefa no contexto de duas secções distintas, constituindo formas abreviadas da designação completa  $V_{MC-V_{MOV}}$ ). O seu tratamento estará por isso aqui limitado à sua comparação com as novas tarefas ( $A_{MC}$  e  $AV_{MC}$ ), às quais fornece um termo de referência. O propósito fundamental da secção é o de estabelecer o grau em que as novas tarefas, ambas intermodais, replicam, contrariam ou especificam (contribuindo para as esclarecer) as tendências destacadas nas análises da secção anterior.

#### 4.4.2.1 $D_x$ : Deslocamento horizontal do móvel e do marcador

Na **Figura 14** estão representados, na coluna da esquerda, os valores médios do erro de localização horizontal do marcador ( $D_x$ ), em px, em cada um dos ciclos e para cada uma das tarefas. Na coluna da direita, por sua vez, idêntica representação é oferecida para os erros de localização do móvel. Como anteriormente, uma ideia aproximada do valor dos erros em graus de ângulo visual subentendido pode obter-se através da equivalência  $57 \text{ px} \approx 1^\circ \text{ a.v.}$

##### 4.4.2.1.1. Erros de localização do marcador

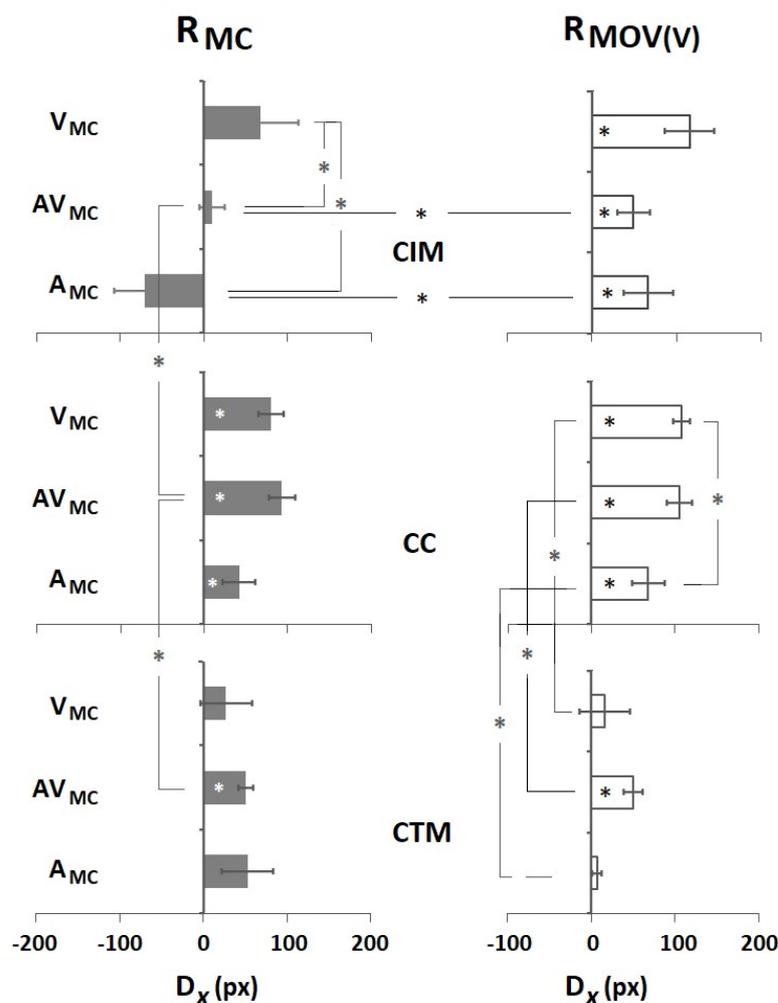
Com uma única exceção (CIM na tarefa  $A_{MC}$ ), todos os erros de localização do marcador ocorrem para diante, confirmando a generalidade do efeito *flash-drag* e reforçando assim a previsão orientadora  $P_{A6}$  (ver **Tabela 1**). De novo com a mesma exceção, o sentido do erro do marcador é o mesmo do erro de localização do móvel, que ocorreu sempre na direção do movimento, sendo, além disso, a magnitude do  $D_x$  do marcador tipicamente inferior à do móvel no CIM e no CC. Estes resultados encontram-se também alinhados com as tendências estabelecidas na secção anterior.

Nas tarefas  $V_{MC}$  e  $AV_{MC}$  o perfil ordinal das magnitudes do erro do marcador através dos ciclos acompanha o perfil ordinal do erro do móvel (à semelhança do observado também, na secção anterior, na tarefa  $AV_{MOV}$ ). Diferentemente, em  $A_{MC}$  os dois perfis são opostos (crescente do CIM para o CTM no  $D_x$  do marcador e decrescente no  $D_x$  do móvel). A mesma oposição entre estes dois perfis ocorreu, na secção anterior, na tarefa  $A_{MOV}$ , com a diferença de que o perfil decrescente era então o do erro do marcador (visual) e o perfil crescente o do erro de localização do móvel (auditivo). Este resultado parece confirmar de duas formas um efeito distintivo da informação auditiva: (1) a apresentação, seja do marcador ou do móvel, na modalidade auditiva (mantendo-se o outro estímulo visual) rompe a associação positiva entre o erro do móvel e o do marcador observável nas restantes tarefas; (2) o sentido e ordenação dos erros da localização do estímulo auditivo através dos ciclos é a mesma no caso do marcador (magnitude crescente do CIM, com valores negativos, para o CTM em  $A_{MC}$ ) e do móvel (magnitude crescente do CIM, com valores negativos, para o CTM em  $A_{MOV}$ ), sugerindo uma dependência consistente do perfil dos erros relativamente à modalidade.

A observação, no CIM e no CC, de menores erros de localização para diante do marcador na tarefa  $A_{MC}$  comparativamente à tarefa unimodal visual ( $V_{MC}$ ) permite adicionalmente distinguir entre os dois cenários contemplados na previsão  $P_{A6}$ . Esta previsão admitia, a par de efeitos de arrastamento do marcador nas tarefas intermodais, a possibilidade de que (i) fossem em geral

menores do que na tarefa unimodal visual (primeiro cenário) ou, em alternativa, (ii) menores no caso particular do movimento auditivo ( $A_{MOV}$ ), em virtude da menor precisão da informação espacial auditiva (segundo cenário) (ver a derivação de  $P_{A6}$  na **Tabela 1**). A redução comparativa do efeito de arrastamento na tarefa  $A_{MOV}$ , na secção anterior, mantinha-se compatível com ambos os cenários. A manutenção desta redução na tarefa  $A_{MC}$  (em que o movimento é agora visual e o marcador auditivo) ilustra, por sua vez, uma diminuição simétrica da capacidade do movimento visual para induzir o arrastamento de um marcador auditivo, suportando assim o primeiro cenário e desfavorecendo o segundo.

A análise estatística confirmou a significância de vários dos erros de localização para diante (*flash-drag*), assinalada na figura por um asterisco no interior das barras:  $CC - AV_{MC}: t(14) = 5.320, p < .001$ ;  $A_{MC}: t(15) = 2.299, p = .036$ ;  $CTM - AV_{MC}: t(14) = 6.013, p < .001$  (os resultados relativos à tarefa  $V_{MC}$ , fornecidos na secção anterior, não são aqui reportado; a correção do limiar de significância pelo procedimento de Bonferroni conduziria a um critério de  $p \leq .0167$ , não atingido na tarefa  $A_{MC}$ ). O resultado significativo no CTM da tarefa  $AV_{MC}$ , replicando um resultado já discutido da tarefa  $AV_{MOV}$  na secção anterior, reforça a conclusão de que a presença de movimento posterior ao móvel não constitui uma condição indispensável para a ocorrência de *flash-drag*.



**Figura 14.** Erros de localização horizontal ( $D_x$ ) do marcador (coluna da esquerda) e do móvel (coluna da direita) em cada um dos ciclos do EFL (de cima para baixo: CIM, CC, CTM). No interior de cada ciclo, as designações verticais à esquerda identificam a modalidade sensorial do marcador (visual:  $V_{MC}$ ; audiovisual:  $AV_{MC}$ ; auditivo:  $A_{MC}$ ), permanecendo o movimento visual. A magnitude média dos erros de localização, indicada pelas barras, é fornecida em pixels (px, no eixo das abcissas). Valores positivos assinalam erros para diante (no sentido do movimento) e valores negativos erros para trás (contrários ao sentido do movimento). As barras de erro correspondem ao erro padrão da média (EPM). As diferenças estatisticamente significativas entre ciclos (para uma mesma tarefa), entre tarefas (num mesmo ciclo), e entre respostas ao marcador e ao móvel (mesma tarefa e mesmo ciclo) são assinaladas por um asterisco. Os asteriscos localizados no interior de barras indicam magnitudes de erro significativamente diferentes de zero (0).

A comparação entre as tarefas  $V_{MC}$  e  $A_{MC}$  (ANOVA de medida repetidas sobre os  $D_x$  do marcador com tarefa como fator intra-sujeitos) revelou um efeito significativo do fator tarefa,  $F(1,15) = 11.675$ ,  $p = .004$ ,  $\eta_p^2 = .438$ , suportando a redução comparativa do efeito de arrastamento na tarefa  $A_{MC}$  relativamente a  $V_{MC}$  ( $V_{MOV}$ ). Comparações subsequentes entre as duas tarefas em cada ciclo (teste  $t$  para amostras emparelhadas) tiveram expressão estatística no CIM,  $t(15) = 2.977$ ,  $p = .009$ , mas não no CC,  $t(15) = 1.433$ ,  $p = .173$ . Também a comparação entre  $A_{MC}$  e  $AV_{MC}$  (ANOVA mista sobre os  $D_x$  do marcador com tarefa como fator entre-sujeitos) assinalou um efeito significativo da tarefa,  $F(1,29) = 14.318$ ,  $p = .001$ ,  $\eta_p^2 = .331$ , indicando que o menor efeito global de arrastamento se verificou em  $A_{MC}$  (8.7 px, contra 49.3 em  $AV_{MC}$ ). Nenhuma das

comparações subsequentes entre as duas tarefas em cada ciclo (teste  $t$  para amostras independentes) atingiu, contudo, o critério de significância. Na comparação entre  $AV_{MC}$  e  $V_{MC}$  (ANOVA mista) o fator tarefa não apresentou um efeito significativo,  $F(1,29) = 0.411$ ,  $p = .526$ ,  $\eta_p^2 = .014$ . Os resultados relativos às diferenças entre tarefas são assim paralelos aos observados na secção anterior, indicando a proximidade entre os padrões de  $R_{MC}$  na tarefa unimodal visual ( $V_{MC}-V_{MOV}$ ) e nas tarefas envolvendo um estímulo audiovisual ( $AV_{MOV}$ , na secção anterior;  $AV_{MC}$ , na presente secção), e o carácter distintivo do erro do marcador nas tarefas envolvendo um estímulo auditivo ( $A_{MOV}$ , na secção anterior, e  $A_{MC}$ , na presente secção).

O fator ciclo, avaliado em ANOVAs de medidas repetidas conduzidas em cada uma das tarefas, apenas apresentou um efeito significativo na tarefa  $AV_{MC}$ ,  $F(1.119,15.672) = 6.837$  ( $\epsilon = .560$ ),  $p = .017$ ,  $\eta_p^2 = .328$ , associado a diferenças significativas (identificadas por comparações aos pares subsequentes) entre o CIM e o CC ( $p = .046$ ) e o CC e o CTM ( $p = .008$ ). Este resultado, obtido em respostas a um marcador AV adjacente a um movimento V, foi similar ao obtido, na secção anterior, na tarefa  $AV_{MOV}$ , com respostas a um marcador V adjacente a movimento AV (sugerindo simetria na forma como o sinal de movimento, através da inversão das modalidades respetivas dos dois estímulos, induz o arrastamento percetivo do marcador). Diferentemente do observado na tarefa  $AV_{MOV}$  (secção anterior), na tarefa  $AV_{MC}$  o  $D_x$  do marcador no CIM foi inferior ao do CTM. No entanto, a diferença entre estes ciclos não se mostrou significativa em nenhuma das duas tarefas.

#### 4.4.2.1.2. Erros de localização do móvel

A coluna da direita na **Figura 14** relativa aos erros de localização do móvel, permite ver que todos, sem exceção, ocorreram para diante. Tal como sucedera já na secção anterior, em divergência com parte da previsão  $P_{A1}$  (inspirada nos resultados de Müsseler et al., 2002), não se observaram erros de localização para trás no CTM em nenhuma das tarefas. Enquanto a tarefa  $A_{MC}$ , à semelhança da tarefa  $V_{MC}$ , ilustra a virtual desapareição do erro de localização no CTM, a tarefa  $AV_{MOV}$  apresenta mesmo um erro significativo de localização para diante (um efeito de MR). A previsão  $P_{A2}$  (maiores erros de localização no CIM e no CC do que no CTM) que, na secção anterior, foi ilustrada pelas tarefas  $V_{MOV}$  e  $AV_{MOV}$  (excetuando-se a tarefa  $A_{MOV}$ ) é aqui também ilustrada pela tarefa  $A_{MC}$ , mas apenas parcialmente pela tarefa  $AV_{MC}$ , que apresenta valores de  $D_x$  no CIM semelhantes aos do CTM.

Na medida em que a previsão  $P_{A2}$ , assente nos resultados obtidos por Müsseler et al. (2002) com estímulos visuais, se aplica primariamente à tarefa visual unimodal ( $V_{MC}$ ), a exceção introduzida pela tarefa  $AV_{MOV}$  constitui menos um problema para  $P_{A2}$  do que uma ilustração da previsão  $P_{A3}$ , que antecipa uma reprodução apenas parcial, nas tarefas intermodais, do perfil observado na tarefa visual ( $V_{MC}$ ). No entanto, a maior proximidade dos resultados na tarefa  $A_{MC}$  ao padrão observado na tarefa  $V_{MC}$  limita e qualifica o alcance da previsão  $P_{A4}$ . Esta previsão admitia que tarefas com um estímulo audiovisual (marcador ou móvel) apresentassem resultados mais semelhantes aos da tarefa unimodal visual do que tarefas com um estímulo unicamente auditivo (marcador ou móvel). Os dados da secção anterior (4.4.1.), envolvendo alterações na modalidade do movimento (mantendo-se o marcador visual) foram favoráveis a esta previsão. O que os resultados da presente secção sugerem é que o mesmo poderá não suceder quando as alterações de modalidade envolvem o marcador (mantendo-se o movimento visual). Em todo o caso, o perfil dos erros, com exceção da alteração de ordem notada entre o CIM e o CC em  $AV_{MC}$ , é genericamente semelhante em todas as tarefas, enquanto na secção 4.4.1. a tarefa com movimento auditivo ( $A_{MOV}$ ) apresentava um perfil altamente distintivo, com uma ordenação inversa (crescendo linearmente do CIM para o CTM) da magnitude dos  $D_x$  do móvel através dos ciclos.

Do ponto de vista estatístico, todos os valores de  $D_x$ , em todas as tarefas, diferiram significativamente de zero no CIM –  $A_{MC}$ :  $t(15) = 2.613, p = .02$ ;  $AV_{MC}$ :  $t(14) = 2.644, p = .019$ ) e no CC –  $A_{MC}$ :  $t(15) = 3.889, p = .001$ ;  $AV_{MC}$ :  $t(13) = 7.120, p < .001$  (os resultados para a tarefa  $V_{MC}$ - $V_{MOV}$  foram já reportados em 4.4.1.1.2. não sendo aqui fornecidos). No CTM, apenas em  $AV_{MC}$  o erro de localização para diante se revelou significativo,  $t(13) = 4.404, p = .001$ , suportando um efeito de MR (deslocamento para diante da última posição percebida do móvel).

O fator ciclo (CIM, CC, CTM) teve um efeito significativo em todas as tarefas (ANOVAs de medidas repetidas conduzidas sobre os  $D_x$  do móvel) –  $A_{MC}$ :  $F(1.193, 16.698) = 4.680$  ( $\varepsilon =$

.596),  $p = .04$ ,  $\eta_p^2 = .251$ ;  $AV_{MC}$ :  $F(1,174, 15.268) = 5.519$  ( $\varepsilon = .587$ ),  $p = .028$ ,  $\eta_p^2 = .298$  (os resultados para a tarefa  $V_{MC}$ - $V_{MOV}$  podem consultar-se em **4.4.1.2.** ). Comparações aos pares subsequentes identificaram, em todas as tarefas, diferenças significativas entre o CC e o CTM, confirmando a redução da magnitude dos erros de localização para diante neste último ciclo –  $A_{MC}$  (CC:  $M= 67.9$ ,  $EPM \pm 19.3$ ; CTM:  $M= 6.9$ ,  $EPM \pm 5.9$ ),  $p = 0.01$ ;  $AV_{MC}$  (CC:  $M=104.9$ ,  $EPM \pm 14.7$ ; CTM:  $M= 49.6$ ,  $EPM \pm 11.3$ ),  $p = .038$  (para a tarefa  $V_{MC}$ - $V_{MOV}$ . À semelhança da tarefa  $V_{MC}$  (ver ponto **4.4.1.1.2.** ), a tarefa  $A_{MC}$  apresentou um contraste polinomial quadrático significativo,  $F(1,14) = 11.555$ ,  $p = .004$ ,  $\eta_p^2 = .452$ , refletindo o encurvamento introduzido na tendência das médias pela queda dos valores de  $D_x$  no CTM após a relativa constância dos valores no CIM e CC (em conformidade com a previsão  $PA_2$ ). O mesmo sucedeu ainda na tarefa  $AV_{MC}$ ,  $F(1,13) = 16.900$ ,  $p = .001$ ,  $\eta_p^2 = .565$ . Porém, neste último caso o contraste quadrático assinala a descida comparativa dos  $D_x$  no CIM e CTM (onde apresentam valores idênticos) relativamente ao CC. Apesar desta diferença, o padrão dos resultados estatísticos relativos ao fator ciclo foi o mesmo em todas as tarefas, sublinhando a semelhança qualitativa geral dos resultados. As comparações entre tarefas revelaram uma diferença significativa ente  $A_{MC}$  e  $V_{MC}$ ,  $F(1,14) = 7.721$ ,  $p = .015$ ,  $\eta_p^2 = .355$  (ANOVA sobre os  $D_x$  do móvel incluindo um fator tarefa intra-sujeitos com dois níveis). Nas comparações subsequentes conduzidas em cada ciclo (testes  $t$  para amostras emparelhadas), a diferença apenas obteve expressão estatística no CC,  $t(15) = 2.305$ ,  $p = .036$ .

Um participante da tarefa  $A_{MC}$  e um participante da tarefa  $AV_{MC}$  foram excluídos das comparações precedentes por apresentarem resíduos studentizados  $\geq 3$  e/ou distâncias de Cook mais de três vezes superiores à média nas respostas de localização do móvel.

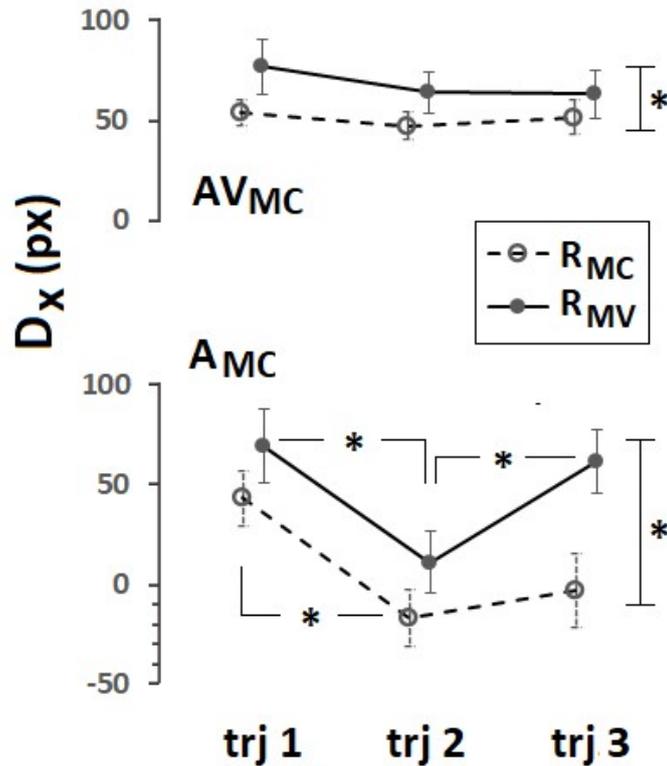
#### 4.4.2.1.3. Fatores resposta e trajeto.

As ANOVAS gerais de medidas repetidas  $3(\text{ciclo}) \times 3(\text{trajeto}) \times 2(\text{resposta})$  conduzidas em cada tarefa revelaram efeitos significativos da resposta ( $R_{MOV}$  versus  $R_{MC}$ ) nas tarefas  $A_{MC}$ ,  $F(1,14) = 5.078$ ,  $p = .041$ ,  $\eta_p^2 = .266$  e  $AV_{MC}$ ,  $F(1,13) = 5.186$ ,  $p = .040$ . Este resultado suporta estatisticamente a observação, no CIM e no CC, de maiores erros para diante na localização do móvel do que do marcador (ver **Figura 14**). Embora essa mesma tendência se verifique também, graficamente, na tarefa  $V_{MC}$ , o fator resposta não atingiu aí o critério de significância estatística (ver ponto **4.4.1.1.3**).

O fator trajeto, por sua vez, apresentou um efeito principal significativo na tarefa  $A_{MC}$ ,  $F(2,28) = 12.780$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .477$ , associado a diferenças significativas (comparações aos pares subsequentes) entre  $trj1$  e  $trj2$  ( $p < .001$ ) e  $traj2$  e  $traj3$  ( $p = .05$ ). Estes resultados mantiveram-se numa ANOVA limitada às resposta de localização do móvel ( $R_{MOV}$ ),  $F(2,28) =$

25.186,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .643$  (trj1-traj2:  $p < .001$ ; traj3-traj2:  $p = .001$ ) e, no essencial, na ANOVA equivalente limitada a  $R_{MC}$ ,  $F(2,28) = 4.312$ ,  $p = .023$ ,  $\eta_p^2 = .235$  (trj1-traj2:  $p = .002$ ). Em contrapartida, o efeito principal de trajeto foi estatisticamente nulo em  $AV_{MC}$ ,  $F(2,26) = 1.157$ ,  $p = .330$ ,  $\eta_p^2 = .082$  e em  $V_{MC}$  (análise reportada no ponto 4.4.1.1.3).

Em nenhuma das tarefas a interação resposta  $\times$  trajeto se mostrou significativa. A **Figura 15** representa os valores médios de  $D_x$  do marcador ( $R_{MC}$ ) e do móvel ( $R_{MOV}$ ) em função do trajeto (em abcissa) nas tarefas  $AV_{MC}$  e  $A_{MC}$  (o gráfico correspondente para a tarefa  $V_{MC}$ - $V_{MOV}$  pode consultar-se na **Figura 7**). Tal como estabelecido anteriormente para a tarefa com movimento auditivo ( $A_{MOV}$ ), que apresentou uma dependência distintiva face aos níveis de trajeto (ver ponto 4.4.1.1.3) a tarefa com marcador auditivo ( $A_{MC}$ ) mostrou-se na presente secção distintivamente dependente do trajeto – com os menores valores de  $D_x$  no traj2 (negativos, no caso do marcador: -16.5 px) e erros para diante significativos nos traj1 e traj3, particularmente acentuados nas resposta de localização do móvel (respetivamente, 69.1 e 61.2 px). Como indicado antes, diferentemente dos níveis do fator ciclo, que especificam a localização espaço-temporal do marcador relativamente ao trajeto (no início, a meio, no fim), os níveis do trajeto especificam diferentes localizações absolutas do trajeto no espaço do ecrã. Os resultados observados reforçam assim a dependência particular (ausente em qualquer das restantes tarefas) das tarefas envolvendo estímulos auditivos relativamente ao local da apresentação dos estímulos.



**Figura 15.** Representação gráfica dos valores médios de  $D_x$  agregados através do fator ciclo (em ordenada), em função do fator trajeto (em abcissa) e com o fator resposta (ao marcador e ao móvel:  $R_{MC}$  e  $R_{MOV}$ ) como parâmetro das curvas nas tarefas  $AV_{MC}$  e  $A_{MC}$ . As barras de erro representam o EPM. Os asteriscos assinalam diferenças significativas.

O perfil desta dependência não foi no entanto o mesmo nas tarefas  $A_{MOV}$ , onde o erro era maior no trajeto mais à esquerda no ecrã (traj1) e menor no trajeto mais à direita (trj3) (ver **Figura 7**), e  $A_{MC}$ , onde o erro foi claramente menor no traj2 (o mais central no ecrã). Apesar de uma dependência comum do estímulo auditivo relativamente ao local de apresentação nas duas tarefas, o impacto e os mecanismos subjacentes parecem assim diferir de forma importante, dependendo de o estímulo auditivo ser o marcador ou o móvel. Uma razão plausível para isso (para além da natureza estática do marcador e dinâmica do móvel) reside na própria tarefa de localização, exigindo o processamento da informação espacial do marcador quando se trata de o localizar e permitindo (em abstrato) um processamento limitado à sua informação temporal quando se trata de localizar o móvel. Os erros de localização do móvel (visual) em  $A_{MC}$  foram, no geral, os menores de todas as tarefas (com uma única exceção, no CIM, onde a tarefa  $AV_{MC}$  apresenta um valor ligeiramente inferior: ver **Figura 14**) – um resultado compatível com uma melhor precisão do *timing* da localização (conduzindo a uma diminuição do deslocamento para diante) assegurada pelo marcador auditivo. Em qualquer caso, a dependência distintiva da tarefa  $A_{MC}$  face ao trajeto aponta para que dimensões propriamente espaciais do marcador auditivo (relacionadas com o local de apresentação no ecrã) não deixariam, ainda assim, de ser consideradas. A título de

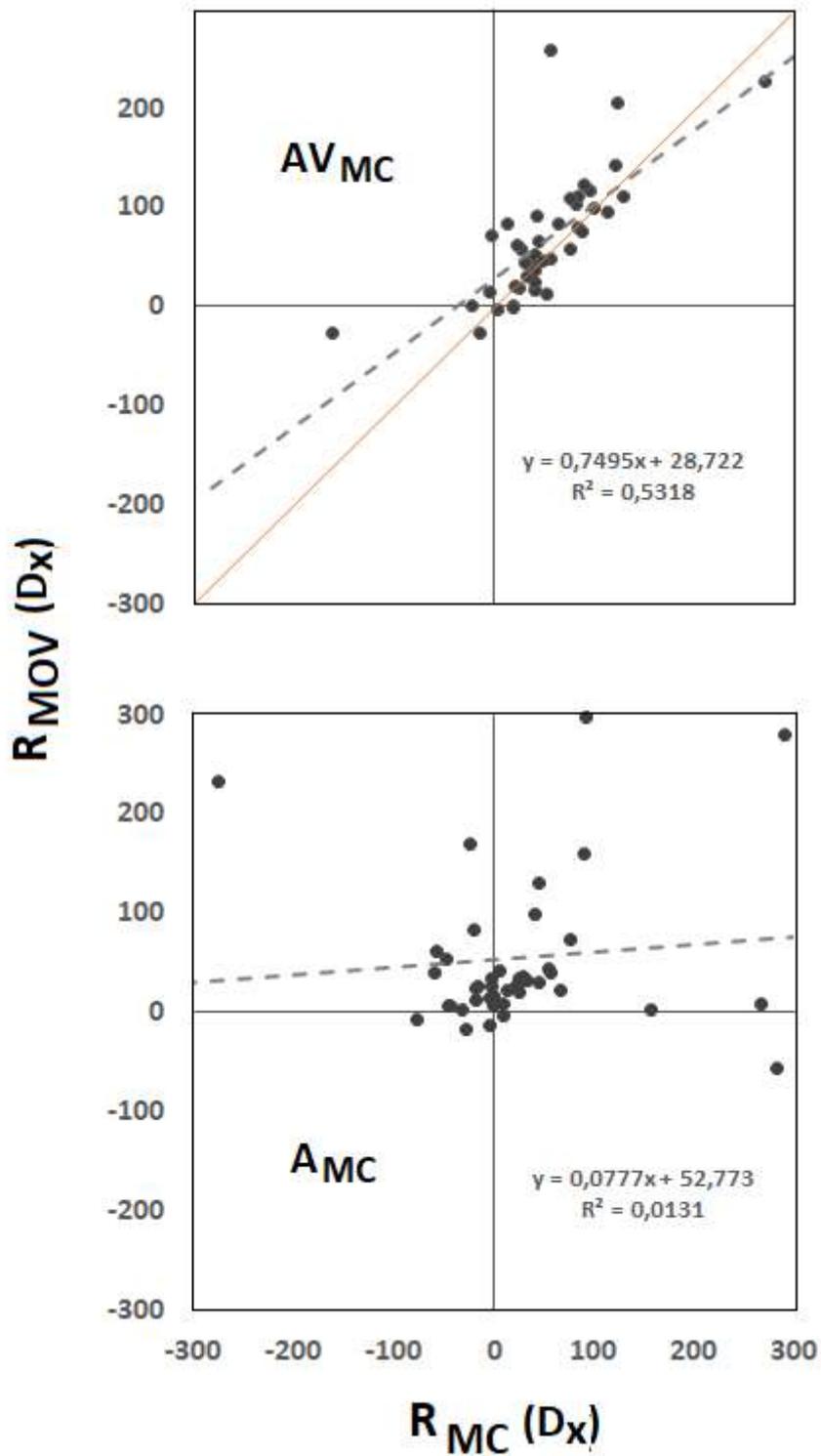
implicações para trabalho futuro, na hipótese de uma redução do EFL à combinação dos dois erros absolutos, a replicação da tarefa  $A_{MC}$  com uma medida psicofísica do EFL enquanto erro relativo deveria dar lugar a padrões de dependência face ao local de apresentação idênticos aos aqui observados.

#### 4.4.2.1.4. Correlações entre os $D_x$ do móvel e do marcador

Na inspeção gráfica da **Figura 14** foi assinalada a correspondência entre o perfil ordinal dos erros do marcador e do móvel, através dos ciclos, nas tarefas  $V_{MC}$  e  $AV_{MC}$ , em contraste com a tarefa  $A_{MC}$ , onde os dois perfis são opostos (magnitudes crescentes do CIM para o CTM no marcador e decrescentes no móvel). Este resultado replica o observado na secção 4.4.1.1 (ponto 4.4.1.1.4), apontando para uma associação positiva robusta entre os dois erros na tarefa visual unimodal ( $V_{MC}$ - $V_{MOV}$ ) e nas tarefas intermodais com um estímulo audiovisual ( $AV_{MOV}$ ,  $AV_{MC}$ ), e a rutura dessa associação nas tarefas intermodais envolvendo um estímulo auditivo ( $A_{MOV}$  e  $A_{MC}$ ). Os coeficientes de correlação (de Pearson) entre os  $D_x$  do móvel e do marcador, calculados através dos três ciclos confirmaram a inspeção gráfica, revelando uma correlação positiva significativa em  $AV_{MC}$ ,  $r(43) = .73$ ,  $p < .001$ , e uma correlação estatisticamente nula em  $A_{MC}$ ,  $r(47) = 0.11$ ,  $p = .444$  (o valor da correlação em  $V_{MC}$ , reportado na secção **4.4.1.1**, foi de 0.76, associado a um  $p < .001$ ).

A relação entre os  $D_x$  obtidos na resposta de localização do marcador ( $R_{MC}$ ), em abcissa, e na resposta de localização do móvel ( $R_{MOV}$ ), em ordenada, está representada na **Figura 16** para as tarefas  $AV_{MC}$  e  $A_{MC}$  (uma representação equivalente para a tarefa  $V_{MC}$ - $V_{MOV}$  é fornecida na **Figura 8**).

As linhas tracejadas correspondem a retas de regressão ajustadas (equações e coeficientes de determinação  $R^2$  fornecidos nos gráficos), mostrando uma associação positiva linear entre os erros do marcador e do móvel em  $AV_{MC}$  e a virtual ausência de relação entre as duas séries de  $D_x$  em  $A_{MC}$ . Nesta última tarefa, a maioria dos pontos encontra-se concentrada em torno da origem, assinalando a maior exatidão comparativa (menores magnitudes de erro) das localizações. Na tarefa  $AV_{MC}$ , por sua vez, a maioria dos pontos situa-se acima da diagonal vermelha (correspondente a uma relação de proporcionalidade direta entre as duas variáveis) assinalando a magnitude superior dos erros de localização do móvel.



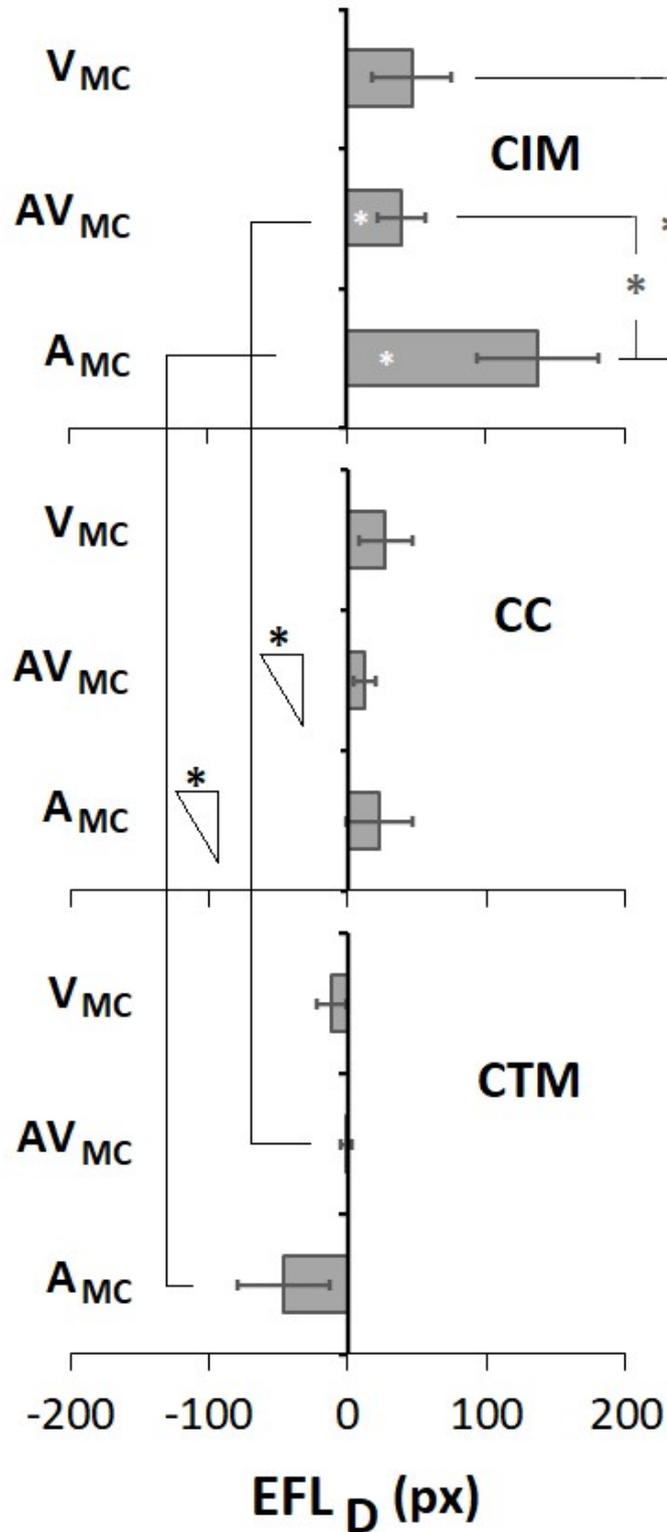
**Figura 16.** Relação entre os valores de  $D_x$  obtidos nas respostas de localização do marcador através dos três ciclos do EFL ( $R_{MC}$ , em abcissa) e os  $D_x$  correspondentes obtidos nas respostas de localização do móvel ( $R_{MOV}$ , em ordenada) nas tarefas  $AV_{MC}$  e  $A_{MC}$ . As linhas tracejadas representam tendências lineares ajustadas aos dados. A linha vermelha que cruza a origem (0,0) em  $AV_{MC}$  corresponderia a uma relação de proporcionalidade direta entre as duas variáveis.

A análise das relações entre os  $D_x$  do móvel e do marcador na presente secção (com duas novas tarefas intermodais) reforça assim, e amplia, indicações anteriores (ver ponto 4.4.2.1.4.) de que: (1) o sinal de movimento constitui uma causa comum aos dois erros, dando lugar a uma associação positiva entre eles; (2) o sinal de movimento afeta diferencialmente a localização do móvel e do marcador (onde as magnitudes de erro para diante são inferiores); (3) o impacto do movimento é modulável por efeitos de modalidade, como assinalado pela dissociação entre os dois erros nas tarefas  $A_{MC}$  e  $A_{MOV}$ ; (4) esta dissociação deve-se à redução da capacidade do movimento numa modalidade para induzir efeitos de arrastamento de um marcador apresentado noutra modalidade (combinada com uma dependência distintiva das tarefas  $A_{MC}$  e  $A_{MOV}$  relativamente ao local de apresentação dos estímulos no ecrã).

#### 4.4.2.2. $EFL_D$ : efeitos de atraso/liderança do marcador

##### 4.4.2.2.1. Valores médios

Na **Figura 17** representam-se graficamente os valores médios de  $EFL_D$  (diferenças entre os  $D_x$  do móvel e do marcador, em px) obtidas nos diferentes ciclos (CIM, CC, CTM) em cada tarefa ( $V_{MC}$   $AV_{MC}$ ,  $A_{MC}$ ). O primeiro ponto a notar são as semelhanças fundamentais do perfil qualitativo dos erros nas três tarefas. Em todas, os valores de  $EFL_D$  são positivos ( $> 0$ ) no CIM e no CC (correspondendo a um efeito de “atraso do *flash*”) e negativos ( $< 0$ ) no CTM (correspondendo a um efeito de “liderança do *flash*”). A ordenação dos valores de  $EFL_D$  através dos ciclos é também idêntica em todas as tarefas, com valores decrescentes do CIM para o CC e do CC para o CTM. Estas observações ilustram o conteúdo das previsões orientadoras  $P_{B1}$  e  $P_{B2}$  (ver **Tabela 1**) e replicam os resultados observados na secção anterior com a tarefa  $AV_{MOV}$ . No conjunto das cinco tarefas consideradas nas duas secções (4.4.1. e 4.4.2.), apenas a tarefa  $A_{MOV}$ , na secção anterior, divergiu do antecipado em  $P_{B1}$  e  $P_{B2}$ . Tendo em conta que ambas as previsões assentaram em estudos do EFL visual, aplicando-se assim primariamente à tarefa unimodal visual ( $V_{MC}$ - $V_{MOV}$ ), a generalidade deste resultado, transversal à maioria das tarefas, não pode deixar de entender-se como favorável a uma correspondência qualitativa robusta entre os perfis de  $EFL_D$  observado e os perfis de EFL documentados pela literatura.



**Figura 17.** Valores médios de  $EFL_D$  obtidos pela subtração do erro de localização do marcador ao erro de localização do móvel (na abcissa, em px) em cada um dos ciclos do EFL (CIM, CC, CTM). As designações à esquerda, identificam a modalidade sensorial do marcador ( $V_{MC}$ ,  $AV_{MC}$ ,  $A_{MC}$ ), sendo o movimento sempre visual. As barras de erro correspondem ao EPM. Diferenças estatisticamente significativas entre tarefas (num mesmo ciclo) e entre ciclos (para uma mesma tarefa) são assinaladas por asteriscos. Os triângulos assinalados com asterisco indicam tendências lineares significativas (decréscimo dos valores entre o CIM e o CTM) nas médias das tarefas  $AV_{MC}$  e  $A_{MC}$ . Asteriscos no interior das barras assinalam magnitudes de erro significativamente diferentes de zero (0).

O estatuto das previsões  $P_{B3}$  e  $P_{B4}$ , relativas às tarefas intermodais (ver **Tabela 1**), é distinto.  $P_{B4}$  – antecipando uma reprodução, nas tarefas intermodais, do perfil qualitativo do  $EFL_D$  observado na tarefa unimodal visual – é inteiramente suportado pelos resultados da presente secção e parcialmente (com a exceção representada pela tarefa  $A_{MOV}$ ) pelos resultados da secção anterior (ponto **4.4.1.2.2.**). No conjunto, pode considerar-se como uma previsão válida, embora a qualificar quanto à generalidade (válida para a maioria das tarefas intermodais consideradas, não para todas).  $P_{B3}$  – antecipando valores de  $EFL_D$  superiores nas tarefas intermodais aos da tarefa unimodal visual – não foi, na presente secção, apoiada pelos dados. Apenas no CIM a tarefa  $A_{MC}$  apresenta um  $EFL_D$  superior ao registado em  $V_{MC}$ , e  $AV_{MC}$  exhibe tipicamente os mais baixos valores de  $EFL_D$ . Considerando que  $P_{B3}$  foi derivada a partir de resultados obtidos por Alais e Burr (2003) no ciclo completo (CC) do EFL, o perfil dos  $EFL_D$  no CC é particularmente relevante para a sua avaliação. Em divergência com a previsão, ambas as tarefas intermodais apresentam nesse ciclo valores inferiores, e não superiores, a  $V_{MC}$ . O mesmo se verificara já, na secção anterior (ponto **4.4.1.2.2.**), com a tarefa  $AV_{MOV}$  no CC (onde, apesar de tudo,  $A_{MOV}$  apresentou valores superiores aos de  $V_{MOV}$ , em consonância com  $P_{B3}$ ). No conjunto, a previsão  $P_{B3}$  deve assim considerar-se como não conforme aos dados.

A infirmação de  $P_{B3}$  não limita em nada a conclusão anterior de uma correspondência qualitativa, consistente através de quatro das cinco tarefas, entre os perfis de  $EFL_D$  e os perfis de EFL documentados pela literatura. Apenas ilustra um desacordo entre as magnitudes relativas dos  $EFL_D$  visuais ( $V_{MC}$ - $V_{MOV}$ ) e intermodais e as magnitudes relativas dos EFL visuais e intermodais reportadas em Alais & Burr (2003). Estas magnitudes relativas constituem em Alais & Burr (2003) a base para uma avaliação da (in)consistência entre os EFL observados e os EFL previsíveis a partir das latências diferenciais entre modalidades (ver também Arrighi et al, 2005a). As implicações deste desacordo deverão assim avaliar-se adiante (Capítulo 5) pelo confronto entre os valores de  $EFL_D$  observados e os valores de  $EFL_D$  previsíveis a partir das latências diferenciais investigadas na 2ª série experimental da dissertação.

Estatisticamente, apenas os  $EFL_D$  registados no CIM para as tarefas  $AV_{MC}$ ,  $t(14) = 2.194$ ,  $p = .050$ , e  $A_{MC}$ ,  $t(15) = 3.061$ ,  $p = .008$  tiveram expressão estatística (apenas em  $A_{MC}$ , no entanto, o limiar de significância corrigido para o número de comparações por tarefa –  $\leq .167$  – é atingido). No entanto, o fator ciclo apresentou um efeito principal significativo tanto em  $AV_{MC}$ ,  $F(2, 26) = 3.790$ ,  $p = .036$ ,  $\eta_p^2 = .226$ , como em  $A_{MC}$ ,  $F(2, 28) = 6.163$ ,  $p = .006$ ,  $\eta_p^2 = .306$  (ANOVAs de medidas repetidas conduzidas sobre os  $EFL_D$  para cada tarefa). As comparações aos pares subsequentes não revelaram diferenças entre níveis de ciclo, mas em ambas as ANOVAs o efeito de ciclo esteve associado a um contraste linear significativo, refletindo o decréscimo linear das médias de  $EFL_D$  na transição do CIM para o CTM através do CC –  $AV_{MC}$ :  $F(1, 13) = 6.658$ ,  $p = .023$ ,  $\eta_p^2 = .339$ ;  $A_{MC}$ :  $F(1, 14) = 6.602$ ,  $p = .022$ ,  $\eta_p^2 = .320$ . Estes contrastes lineares,

representados na **Figura 17** por triângulos assinalados por asteriscos, suportam estatisticamente a ordenação de magnitudes prevista em  $P_{B2}$  e  $P_{B4}$ .

Quanto às diferenças entre tarefas, interações significativas ciclo  $\times$  tarefa foram documentadas na ANOVA utilizada para a comparação entre  $A_{MC}$  e  $V_{MC}$  (incluindo um fator tarefa intra-sujeitos),  $F(2,28) = 3.660$ ,  $p = .039$ ,  $\eta_p^2 = .207$ , e na ANOVA (mista) utilizada para a comparação entre  $A_{MC}$  e  $AV_{MC}$  (incluindo um fator tarefa entre-sujeitos),  $F(2,28) = 3.660$ ,  $p = .039$ ,  $\eta_p^2 = .207$ . A análise subsequente destas interações revelou uma diferença significativa no CIM entre  $A_{MC}$  e  $V_{MC}$ ,  $t(15) = 2.564$ ,  $p = .022$  ( $t$  para amostras emparelhadas) e entre  $A_{MC}$  e  $AV_{MC}$ ,  $t(29) = 2.251$ ,  $p = .032$  ( $t$  para amostras independentes). Estes resultados, envolvendo a ausência de efeitos principais significativos do fator tarefa e a manifestação de diferenças apenas pontuais no CIM entre  $A_{MC}$  e as restantes duas tarefas, é consistente com a falência sinalizada acima da previsão  $P_{B3}$  (maiores magnitudes nas tarefas intermodais do que na unimodal visual, particularmente no CC).

#### 4.4.2.2.2. Diferenças interindividuais

A variabilidade interindividual nos perfis qualitativos de  $EFL_D$  através dos ciclos encontra-se descrita na **Figura 18**, que adota as mesmas convenções de representação utilizadas na **Figura 10**. As sequências de três sinais “+” ou “-” à esquerda especificam os oito perfis possíveis de  $EFL_D$ , indicando a direção, positiva (+) ou negativa (-), do  $EFL_D$  em cada ciclo (CIM, CC, CTM). As barras horizontais representam o número de participantes na tarefa ( $n$ ) que exibiu cada um dos perfis. Os três Algarismos entre parênteses retos na coluna “ $EFL_D \approx 0$ ” indicam o número de participantes que em cada perfil apresentaram magnitudes absolutas de  $EFL_D$  não superiores a  $\pm 13$  px (consideradas negligenciáveis: ver ponto 4.4.1.2.2. ) no CIM, CC e CTM. Esta descrição foi já apresentada para a tarefa  $V_{MC}$ - $V_{MOV}$  (ver **Figura 10**) sendo agora apenas fornecida para as tarefas  $AV_{MC}$  e  $A_{MC}$ .

CIM	CC	CTM	n	EFL <sub>D</sub> ≈ 0
+	+	+	2	[ 0, 1, 1 ]
+	+	-	6	[ 0, 1, 5 ]
+	-	+	1	[ 0, 0, 0 ]
+	-	-	1	[ 0, 1, 1 ]
-	-	-	3	[ 1, 2, 2 ]
-	-	+	0	$A_{MC}$
-	+	-	1	[ 1, 0, 0 ]
-	+	+	0	
<hr/>				
+	+	+	5	[ 1, 0, 1 ]
+	+	-	3	[ 0, 0, 1 ]
+	-	+	1	[ 1, 1, 1 ]
+	-	-	3	[ 0, 1, 0 ]
-	-	-	0	
-	-	+	1	$A_{MC}$ [ 1, 0, 0 ]
-	+	-	0	
-	+	+	2	[ 1, 1, 1 ]

**Figura 18.** Resumo das diferenças interindividuais quanto aos perfis de EFL<sub>D</sub> obtidos através do CIM, CC e CTM nas tarefas AV<sub>MC</sub> e A<sub>MC</sub>. Os sinais “+” e “-” nas colunas da esquerda indicam, respetivamente, valores de EFL<sub>D</sub> positivos (*flash-lag*) ou negativos (*flash-lead*) obtidos no CIM, CC e CTM. No conjunto, definem os oito perfis possíveis de EFL<sub>D</sub> através dos ciclos. As barras horizontais representam o número (n) de participantes que, em cada uma das tarefas, exibiu cada um dos perfis. Na coluna da direita (EFL<sub>D</sub> ≈ 0) é indicado adicionalmente o número de participantes que, em cada perfil, apresentou magnitudes absolutas de EFL<sub>D</sub> não superiores a ± 13 px (tomado como um intervalo de equivalência a zero). Os números entre parênteses retos indicam, da esquerda para a direita, o nº de participantes que, em cada perfil, apresentou valores de EFL<sub>D</sub> negligenciáveis (≈ 0) no CIM, no CC e no CTM.

De acordo com a previsão orientadora P<sub>B6</sub>, e tal como sucedeu com as tarefas analisadas na secção 4.2.2 (V<sub>MOV</sub>, AV<sub>MOV</sub>, A<sub>MOV</sub>), é possível verificar que os participantes em cada tarefa se repartem por um largo número de perfis qualitativos de EFL<sub>D</sub> (6 em 8 possíveis). O perfil “+, +, -” é dominante (partilhado por uma maioria e participantes) em AV<sub>MC</sub>, coincidindo com o perfil médio observável na **Figura 17**. Embora o perfil médio seja o mesmo na tarefa A<sub>MC</sub> (+, +, -) (ver **Figura 17**), o perfil qualitativo dominante entre os participantes é no entanto o “+, +, +”. Este resultado ilustra o modo como características dominantes da heterogeneidade interindividual nos EFL<sub>D</sub> podem divergir do perfil associado à agregação por média.

De acordo com a previsão orientadora  $P_{B7}$ , foram ainda documentadas diferenças individuais entre participantes agrupados num mesmo perfil qualitativo quanto ao modo de produção dos  $EFL_D$  a partir dos erros de localização do móvel e do marcador. A **Figura 19** resume essas diferenças individuais para os participantes nos perfis dominantes (maioritários) das tarefas  $AV_{MC}$  e  $A_{MC}$ , adotando as mesmas convenções de representação anteriormente utilizadas na **Figura 11** (ponto 4.4.1.2.2. ). As colunas à esquerda ( $R_{MOV}$  e  $R_{MC}$ ) indicam o sentido, positivo (+) ou negativo (-), do erro de localização do móvel e do marcador: Os algarismos entre parênteses retos à direita identificam o perfil de  $EFL_D$ , especificado pela direccionalidade, positiva (+) ou negativa (-), do  $EFL_D$  no CIM, CC, e CTM. As barras horizontais representam o número de participantes que, no perfil em questão, produziram o  $EFL_D$  característico de cada ciclo a partir das direções dos erros absolutos especificadas em  $R_{MOV}$  e  $R_{MC}$ .

$R_{MOV}$ $R_{MC}$		CIM	CC	CTM
+	+	4	6	5
+	-	2	0	0
-	-	0	0	0
-	+	0	0	1
$AV_{MC} [++-]$ n = 6				
+	+	1	2	1
+	-	0	0	0
-	-	0	0	0
-	+	4	3	4
$A_{MC} [+++]$ n = 5				

**Figura 19.** Diferenças individuais na produção dos perfis de  $EFL_D$  dominantes nas tarefas  $AV_{MC} [+ , + , -]$  e  $A_{MC} [+ , + , +]$  a partir dos erros de localização absoluta do móvel e do marcador. Os sinais “+” e “-” à esquerda, nas colunas  $R_{MOV}$  (resposta ao móvel) e  $R_{MC}$  (resposta ao marcador) indicam o sentido do erro de localização do móvel e do marcador, para diante (“+”) ou para trás (“-”). As barras horizontais representam o número de participantes que, em cada um dos ciclos, produziram o perfil de  $EFL_D$  a partir das direções especificadas dos erros absolutos (colunas  $R_{MOV}$  e  $R_{MC}$ ). O número total de participantes que, em cada tarefa, exibiu o perfil de  $EFL_D$  em análise (n) é indicado à direita, sob os parênteses retos.

Com uma única exceção, no CC da tarefa  $AV_{MC}$ , os participantes num mesmo perfil repartem-se, em todos os ciclos, entre duas formas distintas de produzir a mesma direção do  $EFL_D$ . Resultado semelhante foi obtido com os perfis dominantes das tarefas examinadas no ponto 4.4.1.2.2. , onde a tarefa  $A_{MOV}$ , no CIM, apresentou mesmo três formas distintas de originar um  $EFL_D$  com a mesma direção. Particularmente relevante é o facto de, como sucedera anteriormente no perfil dominante das tarefas  $V_{MC}$ - $V_{MOV}$  e  $AV_{MOV}$ , o  $EFL_D < 0$  do CTM em  $AV_{MC}$  ser predominantemente obtido a partir da combinação de dois erros de localização positivos (em 5 dos 6 participantes agrupados no mesmo perfil). Este resultado confirma a compatibilidade entre a existência de um MR no CTM (extrapolação do movimento para diante) e um  $EFL_D$  nulo ou

negativo (requerendo apenas que o deslocamento perceptivo do marcador tenha uma magnitude idêntica ou superior ao deslocamento do móvel).

#### 4.4.2.3 Tempos de resposta: localização do móvel e do marcador

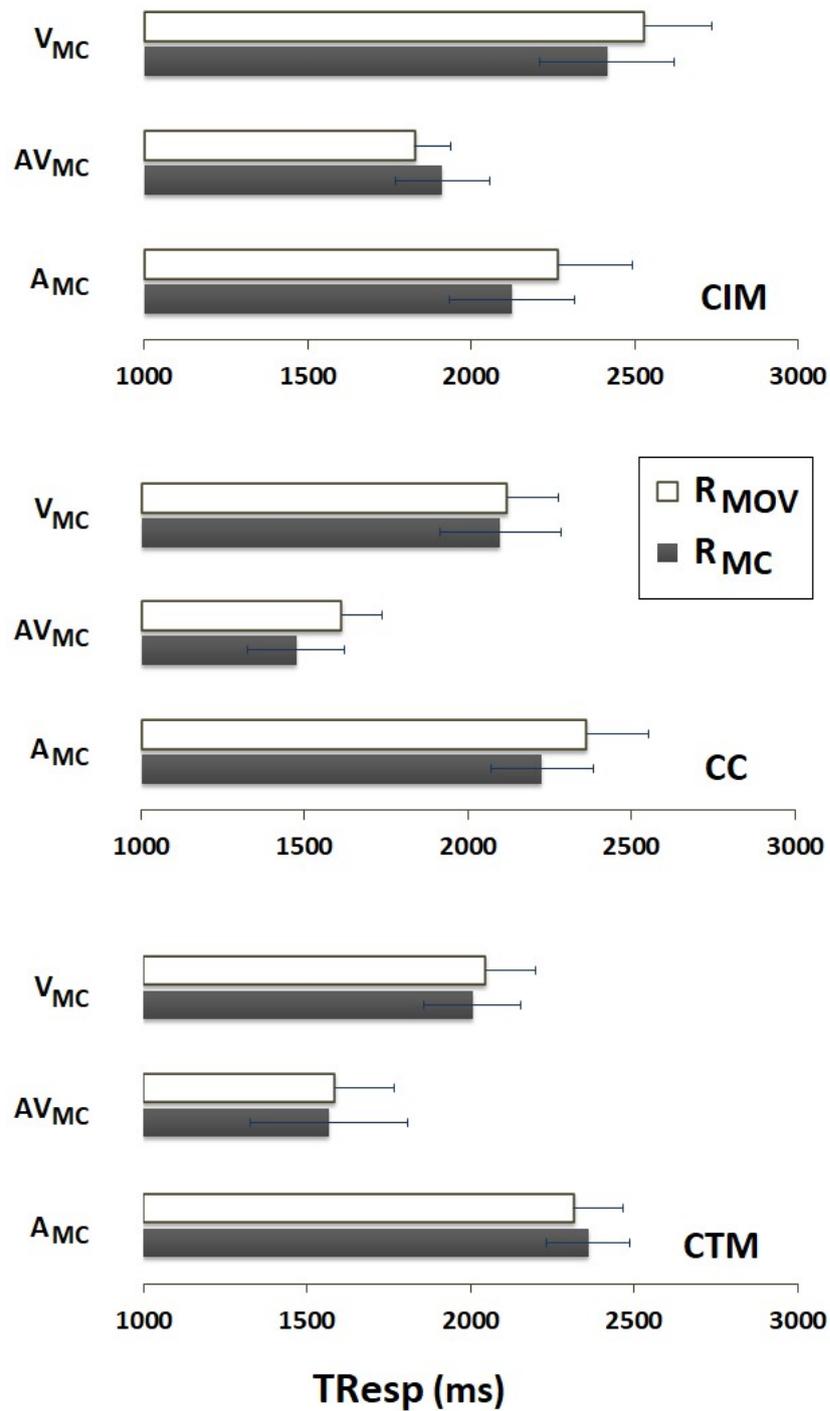
##### 4.4.2.3.1. Médias dos $TR_{esp}$ .

As médias dos  $TR_{esp}$  ao marcador ( $R_{MOV}$ ) e ao móvel ( $R_{MC}$ ) encontram-se representadas (em ms) para cada um dos ciclos de cada uma das tarefas, na **Figura 20**. Os resultados de um dos participantes na tarefa  $AV_{MC}$  foram removidos do cálculo da média da resposta ao móvel no CIM, por apresentarem valores de resíduos studentizados  $\geq 3$  e distâncias de Cook muito superiores à média (em virtude do procedimento de eliminação por lista, este participante ficou igualmente excluído de todas as comparações de medidas repetidas).

Em geral, com duas exceções ( $AV_{MC}$  no CIM e  $A_{MC}$  no CTM), os  $TR_{esp}$  ao móvel apresentam-se graficamente superiores aos do marcador, um resultado favorável à previsão  $P_{D1}$  (inspirada pela hipótese de um processamento sequencial, ou em cascata, do marcador e do móvel: ver **Tabela 1** e derivação da previsão no ponto **4.2.2**). Esta superioridade dos  $TR_{esp}$  do móvel foi observada anteriormente também na tarefa  $AV_{MOV}$  (ver acima, ponto **4.4.1.3.1**), constituindo-se assim a tarefa  $A_{MOV}$ , no conjunto das cinco tarefas analisadas, como o único caso de inversão consistente destes resultados (apresentando menores tempos de resposta ao móvel do que ao marcador em todos os ciclos). Apesar disso, tal como anteriormente, o fator resposta não apresentou efeitos significativos em nenhuma das ANOVAs de medidas repetidas conduzidas em cada uma das novas tarefas –  $AV_{MC}$ :  $F(1,14) = 0.042$ ,  $p = .840$ ,  $\eta_p^2 = .003$ ;  $A_{MC}$ :  $F(1,15) = 0.650$ ,  $p = .433$ ,  $\eta_p^2 = .042$ , limitando o alcance das indicações gráficas.

A tarefa  $AV_{MC}$  apresentou, de forma transversal a todos os ciclos, os menores tempos da resposta de localização. Esta diferença foi suportada estatisticamente nas ANOVAs mistas (com inclusão de um fator tarefa entre-sujeitos) utilizadas para a comparação entre  $AV_{MC}$  e  $V_{MC}$ ,  $F(1,28) = 5.172$ ,  $p = .031$ ,  $\eta_p^2 = .156$ , e entre  $AV_{MC}$  e  $A_{MC}$ :  $F(1,28) = 7.212$ ,  $p = .012$ ,  $\eta_p^2 = .205$ . Quando conduzidas separadamente para as respostas ao marcador e ao móvel, as ANOVAs continuaram a revelar efeitos significativos da tarefa tanto em  $R_{MC}$ ,  $F(1,29) = 4.527$ ,  $p = .042$ ,  $\eta_p^2 = .135$ , como em  $R_{MOV}$ ,  $F(1,28) = 7.179$ ,  $p = .012$ ,  $\eta_p^2 = .204$ , no caso da comparação com  $A_{MC}$ , e em  $R_{MOV}$  no caso da comparação com  $V_{MC}$ ,  $F(1,28) = 6.092$ ,  $p = .020$ ,  $\eta_p^2 = .179$ . A redução dos  $TR_{esp}$  em  $AV_{MC}$  é assim suportada, em geral, tanto para as respostas de localização do móvel

como do marcador. Em contraste, a comparação entre  $V_{MC}$  e  $A_{MC}$  (ANOVA de medidas repetidas) revelou um efeito estatisticamente nulo da tarefa,  $F(1,15) = 0.739$ ,  $p = .020$ ,  $\eta_p^2 = .179$ .



**Figura 20.** Tempos de resposta ( $TR_{esp}$ ) da localização do móvel ( $R_{MOV}$ ) e do marcador ( $R_{MC}$ ) nos três ciclos do EFL (de cima para baixo: CIM, CC e CTM) em cada uma das tarefas (de cima para baixo, em cada ciclo:  $V_{MC}$ ,  $AV_{MC}$ ,  $A_{MC}$ ). Os  $TR_{esp}$ , em abcissa, são fornecidos em ms. As barras de erro representam o EPM.

Um resultado semelhante de redução dos  $TR_{esp}$  ao marcador foi documentado, no ponto **4.4.1.3.1**, na tarefa  $AV_{MOV}$ , envolvendo, tal como a tarefa  $AV_{MC}$ , um estímulo audiovisual (no caso, o móvel). O facto de, em  $AV_{MOV}$ , esta redução não se estender no mesmo grau às respostas ao móvel (diferentemente do que sucede em  $AV_{MC}$ ), sugere que os mecanismos subjacentes a estas reduções de latências não serão os mesmos. No entanto, em ambos os casos poderão estar envolvidos efeitos de benefício audiovisual, comumente observados na literatura (e.g., Bazilinskyy & Winter, 2018; Diederich & Colonius, 2004; Harrison et al., 2010). No caso da tarefa  $AV_{MC}$ , um benefício audiovisual na deteção do marcador conduziria não apenas à redução dos tempos de resposta ao marcador, como à redução praticamente equivalente do tempo total de resposta ao móvel no momento assinalado pelo marcador (admitindo a natureza sequencial do processamento dos dois estímulos). Por outro lado, a ausência de diferenças nos  $TR_{esp}$  entre  $A_{MC}$  e  $V_{MC}$  é contrária à possibilidade admitida (ver  $P_{D1}$ , na **Tabela 1**) de que a localização de um marcador auditivo ( $A_{MC}$ ), em virtude da desvantagem comparativa da audição em tarefas de localização espacial, acarretasse um aumento desproporcionado dos  $TR_{esp}$  ao marcador – suscetível mesmo, no limite, de inverter a superioridade esperada dos  $TR_{esp}$  ao móvel.

Quanto ao efeito dos ciclos, a tarefa  $AV_{MC}$  apresenta a mesma tendência da tarefa  $V_{MC}$  (e das tarefas  $AV_{MOV}$  e  $A_{MOV}$  no ponto **4.4.1.3.1**) para uma redução geral (abarcando tanto  $R_{MOV}$  como  $R_{MC}$ ) dos  $TR_{esp}$  na ordem CIM, CC e CTM, mais acentuada entre o CIM e o CC. Diferentemente, esta tendência não se observa em  $A_{MC}$ . Confirmando esta indicação, a ANOVA de medidas repetidas conduzida em  $AV_{MC}$  revelou um efeito principal significativo do fator ciclo  $F(1.194, 15.519) = 4.845$  ( $\epsilon = .597$ ),  $p = .038$ ,  $\eta_p^2 = .272$ , que em  $A_{MC}$  apresentou, pelo contrário, um efeito estatisticamente nulo.  $F(1.226, 18.389) = 0.998$  ( $\epsilon = .613$ ),  $p = .349$ ,  $\eta_p^2 = .062$ . Como assinalado antes, o decréscimo dos  $TR_{esp}$ , na ordem indicada, através dos ciclos, poderá refletir um efeito crescente de previsibilidade do marcador induzido pela aleatorização dos ciclos num mesmo bloco experimental (Vreven & Verghese, 2005), compatível com a previsão  $P_{D2}$  (ver **Tabela 1**). As razões para a exceção constituída pela tarefa  $A_{MC}$  não são claras. Tendo em conta que em todas as outras tarefas o marcador envolve informação visual, isolada ou em conjunção com informação auditiva (AV), enquanto que em  $A_{MC}$  é unicamente auditivo, uma conjectura possível é a de que, admitindo um privilégio da informação temporal na audição e da informação espacial na visão (em geral), o aumento da previsibilidade temporal do marcador em  $A_{MC}$  seja menos eficiente na redução dos tempos de resposta do que o aumento da previsibilidade da sua localização espacial nas restantes tarefas (Vreven & Verghese, 2005, reportaram dados favoráveis a uma maior eficiência de pistas espaciais do que temporais no aumento da previsibilidade do marcador; num contexto distinto, relativo à localização de um *flash* apresentado durante a perseguição ocular de um alvo em movimento, Rotman et al., 2002, concluíram também em favor da maior eficiência de pistas espaciais na redução da imprevisibilidade do *flash*).

#### 4.4.2.3.2. Correlações entre $TR_{esp}$ e $EFL_D$

A existência de uma eventual relação entre as diferenças no  $TR_{esp}$  ao móvel e ao marcador ( $\Delta TR_{esp}$ ) e a magnitude dos  $EFL_D$  foi investigada, como anteriormente (ver ponto 4.4.1.3.2.) através da análise das correlações entre as duas variáveis. No quadro da hipótese de uma equivalência entre o  $EFL_D$  e o  $EFL$ ,  $\Delta TR_{esp}$  corresponderia, por analogia, às latências diferenciais entre o marcador e móvel que, de acordo com a hipótese clássica das latências, determinam a ocorrência e magnitude do  $EFL$ . Nenhuma das correlações (coeficiente de Pearson) calculadas para cada um dos ciclos em  $AV_{MC}$  se revelou significativa – CIM:  $r(15) = .098, p = .729$ ; CC:  $r(15) = -.113, p = .687$ ; CTM:  $r(15) = -.149, p = .596$ . Em  $A_{MC}$ , apenas uma das três correlações foi significativa – CIM:  $r(16) = .118, p = .665$ ; CC:  $r(16) = .428, p = .098$  CTM:  $r(16) = .572, p = .020$ . A correção do limiar de significância (pelo procedimento de Bonferroni) para o número de comparações por tarefa conduziria a um critério de  $p \leq .0167$ , tornando a última correlação estatisticamente nula. Estes resultados obtidos com as duas novas tarefas intermodais, convergem com os registados nas restantes tarefas ( $V_{MC}$ - $V_{MOV}$ ,  $AV_{MOV}$ ,  $A_{MOV}$ ), apontando para a independência entre a magnitude das diferenças temporais nas respostas de localização ao marcador e ao móvel e a magnitudes das diferenças espaciais ( $EFL_D$ ).

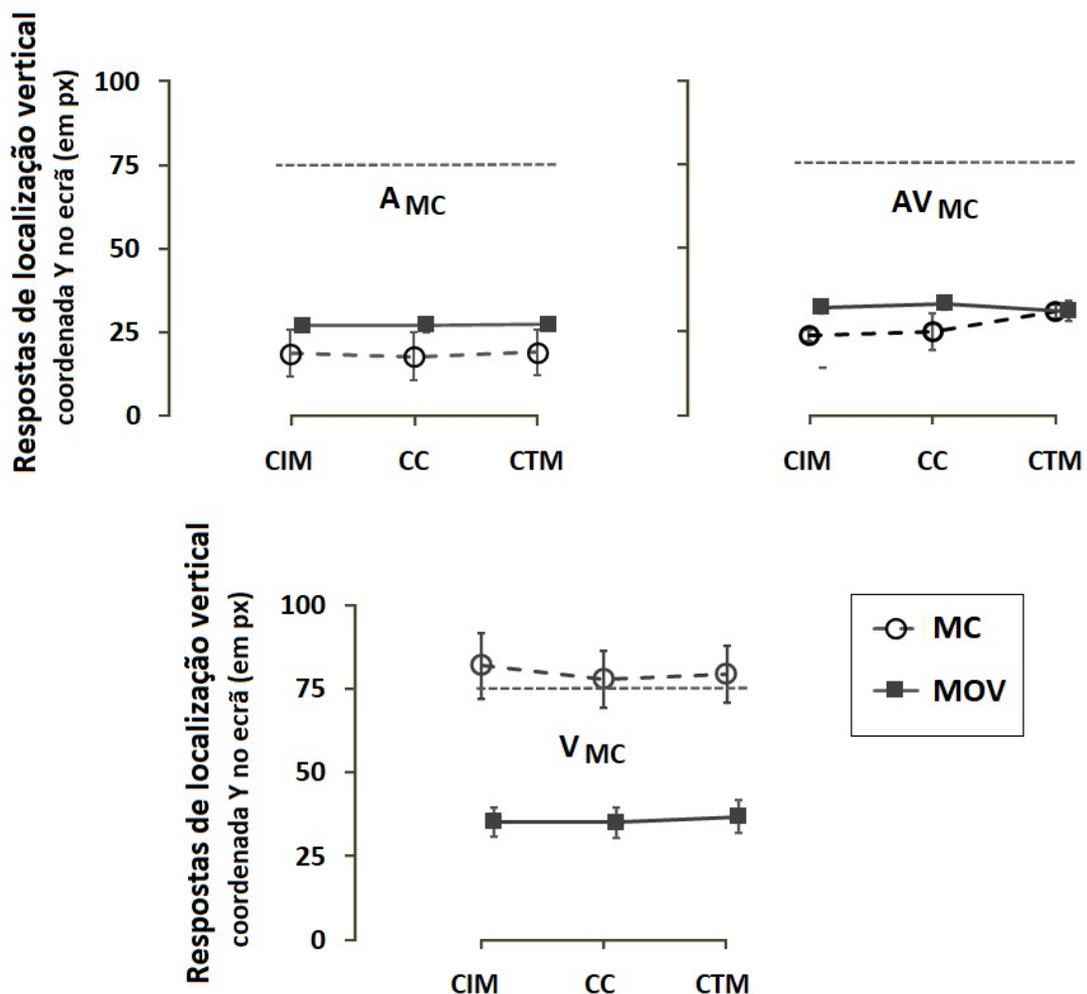
O mesmo sucedeu com o exame das correlações entre erros de localização absolutos ( $D_x$ ) do móvel e do marcador, por um lado, e os  $TR_{esp}$  ao móvel e ao marcador. Nenhuma correlação em qualquer dos ciclos das tarefas  $AV_{MC}$  e  $A_{MC}$  se mostrou significativa. A maior correlação observada em  $AV_{MC}$  foi de  $r(14) = -.349, p = .221$ , para a resposta ao móvel ( $R_{MOV}$ ), no CIM (todas as correlações em  $AV_{MC}$  foram negativas). A maior correlação registada em  $A_{MC}$  foi de  $r(16) = -.281, p = .291$ , para a resposta ao móvel no CC (duas das 6 correlações em  $A_{MC}$  apresentaram, adicionalmente, sinal negativo). Nenhuma relação consistente entre a magnitude do erro e a latência da resposta foi assim documentada.

#### 4.4.2.4 $D_y$ : Deslocamento vertical do móvel e do marcador

Na **Figura 21** encontram-se representadas as respostas de localização vertical (coordenada Y do ecrã, na ordenada) para o móvel e o marcador nas tarefas  $A_{MC}$ ,  $AV_{MC}$  e  $V_{MC}$ . O gráfico relativo a esta última tarefa (em baixo) é apenas fornecido para efeitos de comparação, tendo já sido anteriormente apresentado na **Figura 13** (ponto 4.4.1.4.). A linha a tracejado sinaliza, em cada gráfico, a posição vertical verídica do marcador, enquanto a posição vertical verídica do móvel corresponde ao valor zero (0) da ordenada.

De acordo com a previsão orientadora  $P_{D3}$  (ver **Tabela 1**), antecipando uma influência posicional recíproca dos dois estímulos (marcador e móvel), os gráficos relativos às tarefas  $A_{MC}$  e  $AV_{MC}$  ilustram a ocorrência de erros “para baixo” (em direção ao trajeto do móvel) na localização do marcador e “para cima” (em direção ao marcador) na localização do móvel. A “atração” exercida pelo trajeto do móvel sobre o marcador é em ambos os casos, claramente superior à “atração” recíproca exercida pela posição do marcador sobre o móvel. Este aspeto dos resultados é coadunável com a previsão de uma modulação geral destes efeitos pela precisão relativa das modalidades do marcador e do móvel quanto à localização espacial (Ernst & Banks, 2002, Ernst & Di Luca, 2011). No caso da tarefa  $A_{MC}$ , face à menor precisão da informação espacial auditiva, um deslocamento mais acentuado do marcador em direção ao móvel seria antecipável. No caso da tarefa  $AV_{MC}$ , diferindo unicamente da tarefa  $V_{MC}$  pela adição de um som espácio-temporalmente alinhado com o marcador visual (marcador AV), o deslocamento pronunciado do marcador em direção ao móvel seria interpretável, neste contexto, como o resultado de uma redução da precisão espacial do marcador (eventualmente correlativa de um aumento da sua precisão temporal) induzida pela adição do som. Em qualquer caso, a atração do móvel em direção ao marcador foi maior, e a atração recíproca do marcador em direção ao trajeto menor, em  $AV_{MC}$  do que em  $A_{MC}$ .

Suportando estatisticamente estas indicações, a localização percetiva do marcador distinguiu-se significativamente da sua posição verídica em todos os ciclos das tarefas  $A_{MC} - CIM$ ,  $t(14) = 7.943$ ,  $p < .001$ ;  $CC$ ,  $t(14) = 7.855$ ,  $p < .001$ ;  $CTM$ ,  $t(14) = 8.054$ ,  $p < .001$ , e  $AV_{MC} - CIM$ ,  $t(13) = 31.587$ ,  $p < .001$ ;  $CC$ ,  $t(13) = 9.791$ ,  $p < .001$ ;  $CTM$ ,  $t(13) = 23.230$ ,  $p < .001$  (testes *t-student* para uma amostra; valor de teste = 75). Também a localização percetiva do móvel diferiu de zero (posição verídica) em todos os ciclos das duas tarefas, apoiando a hipótese de uma influência posicional recíproca do marcador sobre o móvel:  $A_{MC} - CIM$ ,  $t(15) = 15.249$ ,  $p < .001$ ;  $CC$ ,  $t(15) = 14.456$ ,  $p < .001$ ;  $CTM$ ,  $t(15) = 21.959$ ,  $p < .001$ , e  $AV_{MC} - CIM$ ,  $t(13) = 20.616$ ,  $p < .001$ ;  $CC$ ,  $t(13) = 18.593$ ,  $p < .001$ ;  $CTM$ ,  $t(13) = 10.702$ ,  $p < .001$ . O fator resposta (ao móvel, ao marcador) apresentou um efeito principal significativo ANOVA de medidas repetidas conduzida em  $AV_{MC}$ ,  $F(1,12) = 13.730$ ,  $p = .003$ ,  $\eta_p^2 = .554$ , mas não em  $A_{MC}$ ,  $F(1,14) = 1.825$ ,  $p = .198$ ,  $\eta_p^2 = .115$ . Este resultado suporta a maior atração exercida pelo marcador sobre a localização do móvel em  $AV_{MC}$ .



**Figura 21.** Respostas de localização vertical (coordenada Y do ecrã, em px, na ordenada) do marcador (MC) e do móvel (MOV) nos três ciclos do EFL (em abcissa) em cada uma das tarefas (em cima, da esquerda para a direita:  $A_{MC}$  e  $AV_{MC}$ ; em baixo:  $V_{MC}$ ). A linha tracejada horizontal assinala a coordenada vertical verídica do marcador. O zero (0) da ordenada corresponde à coordenada vertical verídica do trajeto do móvel. As barras de erro representam o EPM.

O conjunto destes resultados aponta essencialmente na mesma direção que os resultados anteriormente obtidos com as tarefas  $AV_{MOV}$  e  $A_{MOV}$  (ver ponto 4.4.1.4.). A ausência de uma deslocação perceptiva “para baixo” do marcador nessas tarefas, onde o marcador é visual, tal como em  $V_{MC}-V_{MOV}$ , mantém-se, no limite, compatível com a hipótese de uma influência posicional recíproca modulada pela precisão relativa dos dois estímulos (dependente da modalidade e do carácter dinâmico versus estático). A dificuldade do movimento horizontal para influenciar a informação posicional vertical (ortogonal) de um marcador estático visual poderia com efeito entender-se como um caso limite desta modulação, manifestando-se como uma atração unidirecional do móvel para o marcador.

Independentemente do mecanismo exato destes efeitos, os deslocamentos verticais ilustrados nesta secção pelas duas novas tarefas apoiam a existência de uma representação da posição espacial do marcador mesmo quando nominalmente irrelevante para a tarefa (como no caso da localização espacial do móvel). Por fim, a ocorrência em  $A_{MC}$  e  $AV_{MC}$  de erros de localização horizontal do móvel para diante significativamente superiores aos da localização do marcador – um efeito de direção oposta à implicada pela atração posicional entre os estímulos – reforça a conclusão anterior (ver ponto 4.4.1.4.) de que esta representação posicional, apesar de disponível, não intervém na localização horizontal do móvel, ou tem um impacto negligenciável face ao efeito de deslocação para diante induzido pelo sinal de movimento.

#### ***4.4.3. Efeitos da probabilidade da modalidade do marcador***

Nesta secção analisam-se os efeitos da probabilidade da modalidade do marcador, variada em 5 níveis, a passos de 25%, entre 100% de ocorrência de marcadores visuais (0% de auditivos) e 100% de ocorrência de marcadores auditivos (0% de marcadores visuais), mantendo-se o movimento sempre visual. As duas condições extremas, nos polos da variação, correspondem assim, respetivamente, às tarefas  $V_{MC}$ - $V_{MOV}$  e  $A_{MC}$ - $V_{MOV}$  analisadas nas secções anteriores.

A análise é orientada, no essencial, por três quadros previsionais (ver secção 4.2., ponto 4.2.2). O primeiro, relacionado com a evidência de uma redução do EFL quando a previsibilidade espacial do marcador aumenta – e com a interpretação dessa redução como um efeito atencional de aceleração do processamento do marcador (reduzindo as diferenças de latência entre o marcador e o móvel) – conduz a antecipar, por analogia, uma redução do  $EFL_D$  quando o marcador surge na modalidade mais provável (previsível). Os  $EFL_D$  constituem, neste caso, a primeira variável dependente de interesse. No entanto, o mesmo quadro (e a mesma interpretação com base numa facilitação atencional) permitem também antecipar  $TR_{esp}$  mais rápidos a um marcador apresentado na modalidade mais provável, bem como, admitindo o processamento sequencial do marcador e do móvel, uma redução do  $TR_{esp}$  de localização do móvel nessas condições. A par dos  $EFL_D$ , os  $TR_{esp}$  constituem por isso aqui uma segunda variável dependente de interesse.

Enquanto o primeiro quadro é favorável a um impacto da preparação atencional na alteração das latências de processamento (ver modelo de latência generalizado: Baldo, Kihara, et al., 2002; Baldo & Klein, 2010), os dois quadros restantes admitem igualmente a mobilização de mecanismos atencionais, mas com efeitos estratégicos (diretamente dependentes dos objetivos da tarefa) e não, prioritariamente, nas latências de processamento. Assim, num destes quadros, uma maior ponderação (estratégica) da informação temporal do marcador quando os marcadores auditivos são mais prováveis poderia repercutir-se numa localização mais exata e precisa do

móvel “no momento indicado pelo marcador” – pelo menos quando o marcador surge na modalidade auditiva. O erro de localização ( $D_x$ ) do móvel constitui desse modo, para as previsões emergentes deste quadro, a variável dependente prioritária. Embora antecipe igualmente, como o quadro anterior, uma redução dos  $TR_{esp}$  ao marcador na modalidade mais provável (efeito de preparação atencional), este quadro não prevê, em sentido estrito (embora a admita) uma redução do  $EFL_D$  (dependente do que acontece também com o  $D_x$  do marcador), nem uma redução do  $TR_{esp}$  ao móvel (os mecanismos através dos quais um *timing* mais preciso do marcador se converte numa localização mais exata e precisa do móvel podem ou não implicar um aumento do custo em tempo, não tendo assim que existir uma correlação positiva entre os  $TR_{esp}$  ao marcador e ao móvel).

Por fim, no terceiro e último quadro (o segundo baseado em possíveis efeitos estratégicos), a alteração do grau de previsibilidade geral do marcador (com 50% A\_50% V como a tarefa onde a previsibilidade é menor e a incerteza maior) poderia determinar diferentes ponderações da informação do móvel e do marcador. De acordo com um princípio de ponderação inversa em função do grau de incerteza (Ernst & Banks, 2002, Ernst & Di Luca, 2011), poderia antecipar-se neste caso que o peso relativo da informação posicional do marcador seria o menor, e o da informação posicional do móvel o maior, na condição de maior incerteza. Concretamente, poderia esperar-se na tarefa 50% A\_50%V a maior redução do erro de localização do móvel, efeitos mais pronunciados de arrastamento perceptivo do móvel pelo marcador, e uma redução mais acentuada do  $EFL_D$  (em virtude deste duplo efeito). Os  $EFL_D$  e os  $D_x$  do móvel e do marcador constituem assim neste último quadro as principais variáveis dependentes relevantes.

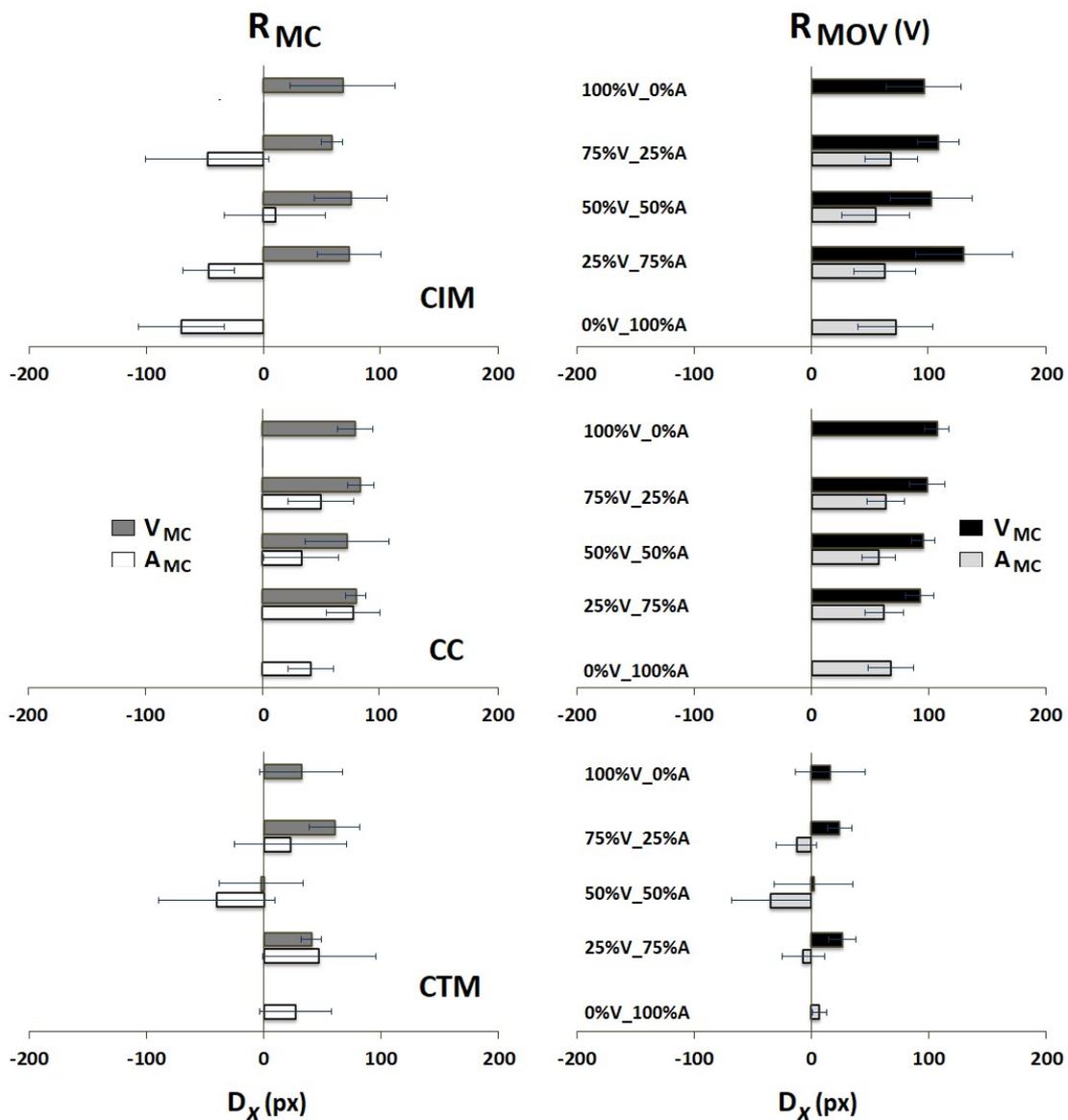
A previsão central de cada um destes quadros corresponde, na ordem em que foram aqui mencionados, ao conteúdo das antecipações orientadoras  $P_{C1}$ ,  $P_{C2}$  e  $P_{C3}$ , respetivamente, da Tabela 1 (ponto 4.2.2).

As previsões relativas aos  $TR_{esp}$ , permitindo completar e diferenciar as anteriores, correspondem por sua vez às antecipações  $P_{C4}$  e  $P_{C5}$  da Tabela 1. É este conjunto de antecipações que, nesta seção, é confrontado com os dados.

#### 4.4.3.1 $D_x$ : Deslocamento horizontal do móvel e do marcador

A Figura 22 representa graficamente os valores médios de  $D_x$  do marcador ( $R_{MC}$ ) e do móvel ( $R_{MOV}$ ) em cada um dos cinco níveis de probabilidade da modalidade do marcador (entre 100% V e 100% A, a passos de 25%). Os resultados são apresentados para cada um dos ciclos e distinguindo, adicionalmente, entre as respostas a ensaios com marcador visual ( $V_{MC}$ ) e auditivo

( $A_{MC}$ ). As médias reportadas excluem, em várias das tarefas, a contribuição de participantes que apresentaram nas ANOVAs conduzidas por tarefa resíduos studentizados  $\geq 3$  e/ou distâncias de Cook excedendo em mais de três vezes a média: 1 participante nas tarefas 0%V\_100%A (CTM), 25%V\_75%A (CTM) e 75%V\_25%A (CIM e CTM); 2 participantes na tarefa 50%V\_50%A (CIM e CC). A exclusão destes participantes nalgumas das condições ocasiona, em razão do procedimento de eliminação por lista, alguma variação nos graus de liberdade das comparações intra-sujeitos apresentadas adiante.



**Figura 22.** Erros de localização horizontal ( $D_x$ ) do marcador ( $R_{MC}$ ) e do móvel ( $R_{MOV}$ ) nos três ciclos do EFL (CIM, CC, CTM) para cada um dos níveis de probabilidade da modalidade do marcador (variando, de cima para baixo, entre 100% V e 100% A, a passos de 25%). Os valores de  $D_x$  são fornecidos em pixels, na abcissa. Os códigos de cores associados, em cada uma das colunas, às designações  $V_{MC}$  e  $A_{MC}$ , distinguem entre ensaios com marcador visual e auditivo, respetivamente. As barras de erro representam o EPM.

Um dado comum aos dois tipos de resposta de localização (do marcador e do móvel) é a ocorrência de menores erros para diante, em todas as tarefas (independentemente da modalidade), nos ensaios com marcador auditivo. Este resultado, já notado na comparação entre as tarefas  $A_{MC}-V_{MOV}$  e  $V_{MC}-V_{MOV}$  (ver acima, pontos 4.4.2.1.1 e 4.4.2.2). apresenta-se assim como robusto e geral, sendo consistente, no caso da localização do móvel, com uma melhoria da localização induzida por um refinamento do *timing* (informação temporal veiculada pelo marcador) da localização (ver Nazaré & Oliveira, 2021; Vroomen e de Gelder, 2004). No entanto, esta possibilidade implicaria também, em princípio, uma redução da variabilidade da localização (maior precisão, além de maior exatidão) com o marcador auditivo – algo que apenas sucede no CIM da tarefa 25%V\_75%A ( $DP_{MA}=144$ ;  $DP_{MV}=155$ ) e no CTM das tarefas 100%A ( $DP=23$ ) e 100%V ( $DP=121$ ). Estatisticamente, a diferença entre respostas ao marcador visual e auditivo mostrou-se igualmente significativa em todas as tarefas envolvendo os dois tipos de marcador – 25%V\_75%A:  $F(1,14) = 10.090, p = .007, \eta_p^2 = .419$ ; 50%V\_50%A:  $F(1,13) = 11.456, p = .005, \eta_p^2 = .468$ ; 75%V\_25%A:  $F(1,14) = 26.135, p < .001, \eta_p^2 = .651$  (ANOVAs de medidas repetidas).

Em desacordo com a antecipação  $P_{C2}$ , não há evidência de que um aumento da probabilidade de ocorrência de um marcador auditivo (crescente, em cada ciclo, de cima para baixo, entre 0% A e 100% A) conduza a uma redução do erro de localização do móvel, quer no caso particular de ensaios com marcador auditivo, quer no caso geral, abarcando os dois tipos de marcador. Na realidade, considerando apenas as respostas de localização do móvel com marcador auditivo, os maiores valores de  $D_x$  em todos os ciclos foram atingidos na tarefa 0%V\_100%A, um resultado contrário à previsão. Considerando por sua vez as respostas de localização do móvel com marcador visual, não se encontra igualmente evidência consistente de uma redução do  $D_x$  em função do aumento da probabilidade de ocorrência de marcadores visuais (crescente, em cada ciclo, de baixo para cima, entre 0% V e 100% V): enquanto uma ligeira tendência nesse sentido pode observar-se no CIM, a tendência é contrária no CC e inconsistente no CTM (onde a tarefa 50%V\_50%A apresenta o menor  $D_x$ ). Embora os menores valores de erro para diante na localização do móvel tenham ocorrido na tarefa 50%V\_50%A, nos ensaios com marcador auditivo, o conjunto dos resultados não suporta também a previsão orientadora  $P_{C3}$ , que antecipava uma redução geral dos  $D_x$  do móvel nessa tarefa específica

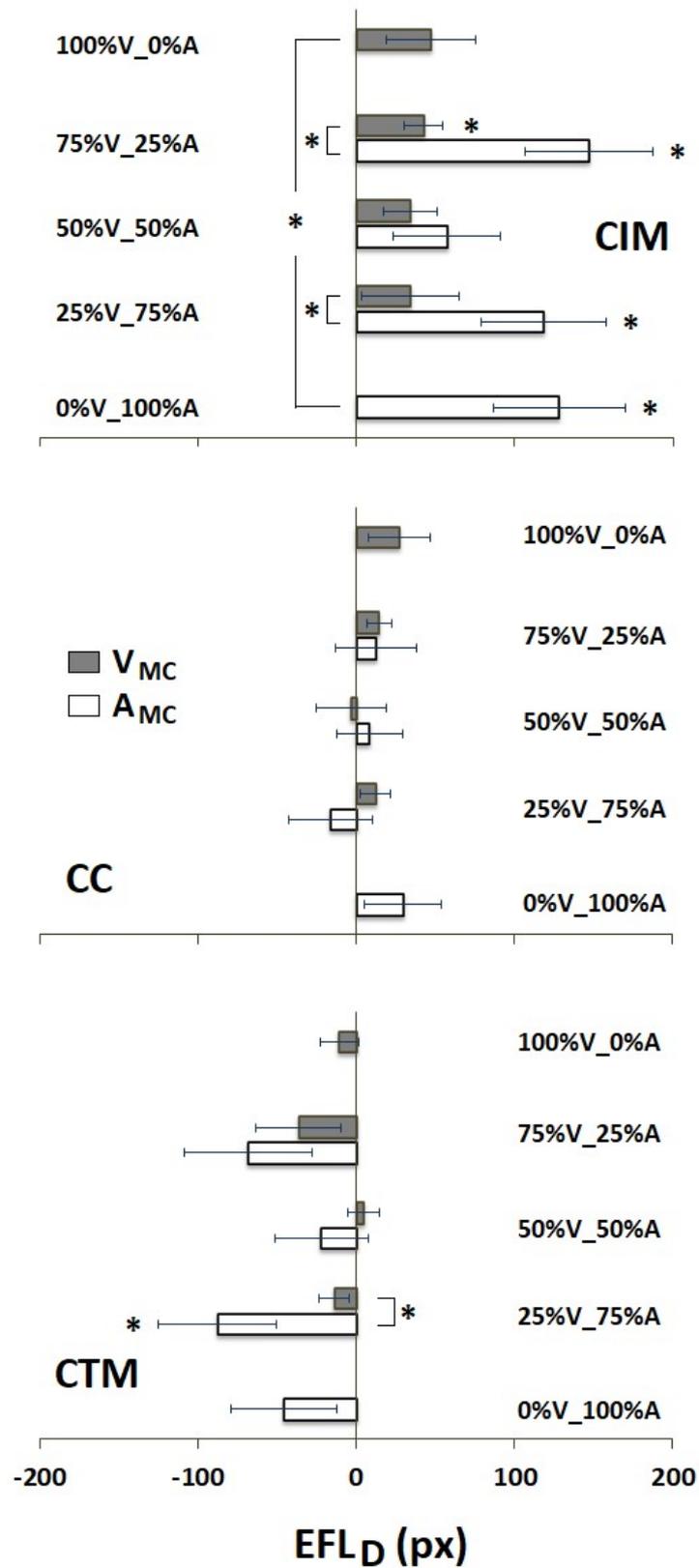
Estatisticamente, nenhuma das ANOVAs de medidas repetidas limitadas aos  $D_x$  do móvel e conduzidas separadamente, em cada ciclo, para os ensaios com marcador auditivo e com marcador visual, revelou um efeito significativo da probabilidade. Nestas ANOVAs o fator probabilidade incluiu apenas quatro, e não cinco, níveis: as tarefas 100%A, 25%V\_75%A, 50%V\_50%A e 75%V\_25%A no caso dos ensaios com marcador auditivo (na tarefa 100%V não existem marcadores auditivos); as tarefas 25%V\_75%A, 50%V\_50%A, 75%V\_25%A e 100%V, nos

ensaios com marcador visual (na tarefa 100%A não existem marcadores visuais). O maior valor de  $F$  nos ensaios com marcador auditivo foi registado no CTM,  $F(3,39) = 1.089$ ,  $p = .365$ ,  $\eta_p^2 = .077$ , o mesmo sucedendo nos ensaios com marcador visual,  $F(3,39) = 2.003$ ,  $p = .129$ ,  $\eta_p^2 = .134$ . Tomadas em conjunto, a inspeção gráfica e a análise estatística indicam assim um papel reduzido, se algum, da variação da modalidade do marcador na localização do móvel.

Para além da componente relativa aos  $D_x$  do móvel, a previsão  $P_{C3}$  envolve igualmente uma antecipação relativa aos  $D_x$  do marcador, admitindo maiores efeitos de arrastamento no sentido do movimento na tarefa 50%V\_50%A. A observação dos gráficos na coluna esquerda da **Figura 22** mostra que apenas no CIM, e com maior clareza apenas nos ensaios com marcador auditivo, os dados poderiam ler-se como favoráveis a esta previsão. No CC, onde os  $D_x$  atingem o menor valor, quer para os marcadores auditivos quer para os visuais, na tarefa 50%V\_50%A, são mesmo opostos ao previsto. Tal como no caso das respostas ao móvel, o efeito do fator probabilidade foi estatisticamente nulo em todas as ANOVAs limitadas aos  $D_x$  do marcador e conduzidas separadamente, em cada ciclo, para os marcadores auditivos e visuais. O maior valor de  $F$  registado, quer nos ensaios com marcador auditivo quer visual, ocorreu no CTM, respetivamente  $F(3,45) = 1.831$ ,  $p = .155$ ,  $\eta_p^2 = .109$  e  $F(3,39) = 1.233$ ,  $p = .311$ ,  $\eta_p^2 = .087$ . De novo, para além de não suportarem, graficamente, a componente da previsão  $P_{C3}$  envolvendo o erro de localização do marcador, os resultados sugerem sobretudo um impacto limitado da variação da probabilidade da modalidade do marcador na sua localização.

#### 4.4.3.2. *EFL<sub>D</sub>: efeitos de atraso/liderança do marcador*

Na **Figura 23** estão representados os valores médios de  $EFL_D$  obtidos nos diferentes níveis de probabilidade da modalidade do marcador, em cada um dos ciclos, separadamente para os ensaios com marcador visual e com marcador auditivo. Sendo calculados pela subtração dos  $D_x$  do marcador aos  $D_x$  do móvel, os  $EFL_D$  caracterizam já não as magnitudes do erro de localização do móvel ou do marcador, analisadas no ponto precedente, e sim o modo como a relação entre essas duas magnitudes varia com a probabilidade da modalidade do marcador.



**Figura 23.** Valores médios de EFL<sub>D</sub> nos três ciclos do EFL (CIM, CC, CTM) em cada um dos níveis de probabilidade da modalidade do marcador (variando, de cima para baixo, entre 100% V e 100% A, a passos de 25%). As designações V<sub>MC</sub> e A<sub>MC</sub> distinguem entre ensaios com marcador visual e auditivo, respetivamente. As barras de erro correspondem ao EPM. Os asteriscos assinalam resultados estatisticamente significativos.

Contrariamente à previsão  $P_{C1}$ , que antecipava uma redução do  $EFL_D$  nos ensaios com marcador auditivo quando a probabilidade deste tipo de marcador aumenta, e nos ensaios com marcador visual quando a probabilidade dos marcadores visuais aumenta, os menores valores de  $EFL_D$  foram registados, no CIM e no CTM, na tarefa 50%V\_50%A. Quanto ao CTM, onde a generalidade dos  $EFL_D$  apresentam valores negativos (correspondendo a um efeito de “liderança do marcador”), a tarefa 50%V\_50%A apresenta os menores valores absolutos de  $EFL_D$ , tanto nos ensaios com marcador auditivo como visual. Ainda em oposição à previsão  $P_{C1}$ , os maiores valores de  $EFL_D$  nos ensaios com marcador visual foram registados, no CIM e no CC, na tarefa 100% V, e nos ensaios com marcador auditivo, no CC, na tarefa 100% A.

A redução dos  $EFL_D$ , em todos os ciclos, na tarefa 50%V\_50%A é concordante com uma das componentes da previsão  $P_{C3}$  (ver **Tabela 1**), tendo, no entanto, as duas outras componentes desta previsão (redução do  $D_x$  do móvel e maior arrastamento para diante do marcador nessa mesma tarefa) sido descartadas pela análise anterior dos erros de localização horizontal. Uma forma reconvertida de  $P_{C3}$  pode, contudo, ser harmonizada com o conjunto dos resultados: mantendo o mesmo princípio estratégico de maior ponderação da informação posicional do móvel na condição de maior incerteza quanto à modalidade do marcador (50%V\_50%A), um resultado antecipável seria o de uma maior proximidade da localização percebida do marcador à localização percebida do móvel. Todavia, enquanto na formulação anterior esta proximidade era antecipada como o resultado de uma melhor localização objetiva do móvel (redução do erro para diante) em conjunto com um maior arrastamento do marcador no sentido do movimento, na formulação transformada refere-se simplesmente a uma captura mais acentuada da localização percebida do marcador pela localização percebida (subjativa) do móvel, independentemente das suas contrapartes objetivas. Nesta versão inteiramente “perceptiva” de  $P_{C3}$ , a previsão de uma redução do  $EFL_D$  na tarefa 50% V\_50% A torna-se compatível com os resultados do ponto **4.4.3.1** . Adicionalmente, a previsão passa a incluir de forma natural a ocorrência nesta tarefa do menor valor absoluto de  $EFL_D$  no CTM (refletindo a proximidade das duas localizações percebidas), onde as reduções do  $EFL_D$  são, em sentido estrito, maiores nas outras tarefas (correspondendo a inversões mais pronunciadas da direção do efeito: ver **Figura 1**).

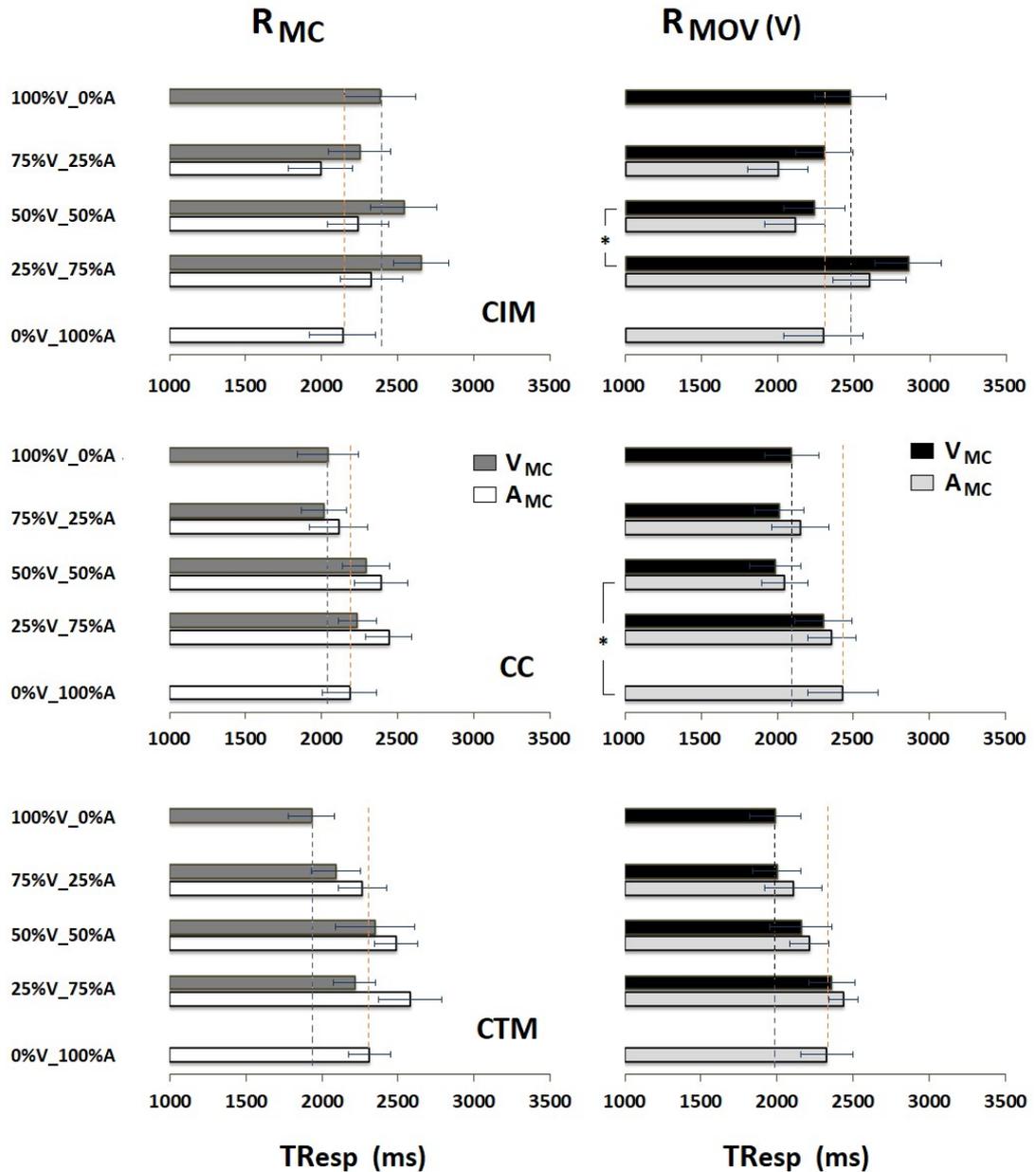
Apesar da consistência com que as menores magnitudes de  $EFL_D$  ocorreram na condição de maior incerteza quanto à modalidade do marcador, o fator probabilidade (com quatro níveis; ver explicação acima, no ponto **4.4.3.1** ), não produziu efeitos significativos nas ANOVAs conduzidas separadamente, em cada ciclo, para os ensaios com marcador auditivo e com marcador visual. O maior valor de  $F$  registado ocorreu, em ambos os tipos de ensaio, no CTM – marcador auditivo:  $F(3,39) = 1.348$ ,  $p = .273$ ,  $\eta_p^2 = .094$ ; marcador visual:  $F(3,39) = 1.350$ ,  $p = .272$ ,  $\eta_p^2 = .094$ .

Como assinalado pelos asteriscos associados a barras individuais, todos os  $EFL_D$  registados no CIM para ensaios com marcador auditivo se distinguiram significativamente de zero (0) – 100%A:  $t(15) = 3.062$ ,  $p = .008$ ; 25%V\_75%A:  $t(15) = 2.986$ ,  $p = .009$ ; 75%V\_25%A:  $t(14) =$

3.618,  $p = .003$  – exceto na tarefa 50%V\_50%A,  $t(14) = 1.684$ ,  $p = .114$ . O EFL<sub>D</sub> associado aos marcadores auditivos na tarefa 25%V\_75%A no CTM foi também estatisticamente diferente de zero,  $t(14) = 2.343$ ,  $p = .034$ , bem como, no caso dos marcadores visuais, o valor registado no CIM na tarefa 75%V\_25%A,  $t(14) = 3.545$ ,  $p = .003$  (em todas estas comparações o limiar de significância corrigido para o número de contrastes em cada ciclo, por tipo de marcador, seria de  $p \leq .0125$ ). A observação geral de maiores magnitudes absolutas de EFL<sub>D</sub> nas condições com marcador auditivo (comparativamente ao visual) foi suportada estatisticamente, no CIM, por uma ANOVA de medidas repetidas com probabilidade (três níveis: 25%V\_75%A, 50%V\_50%A e 75%V\_25%A) e modalidade do marcador (A, V) como fatores intra-sujeitos,  $F(1,13) = 7.013$ ,  $p = .020$ ,  $\eta_p^2 = .351$ . Esta diferença entre os dois tipos de marcador teve expressão estatística, em comparações subseqüentes com testes  $t$  para amostras emparelhadas, nas tarefas 25%V\_75%A:  $t(15) = 2.547$ ,  $p = .011$  (unilateral) e 75%V\_25%A:  $t(14) = 2.531$ ,  $p = .012$  (unilateral). Estes resultados confirmam e generalizam a observação anterior (ver ponto 4.4.2.2.1.) de valores de EFL<sub>D</sub> significativamente superiores na tarefa A<sub>MC</sub> (100%A) aos da tarefa V<sub>MC</sub> (100%V),  $t(15) = 2.564$ ,  $p = .022$  (comparação também assinalada por um asterisco na **Figura 23**).

#### 4.4.3.3 Tempos de resposta: localização do móvel e do marcador

A **Figura 24** apresenta graficamente os valores de TR<sub>esp</sub> para a localização do marcador (coluna da esquerda: R<sub>MC</sub>) e do móvel (coluna da direita: R<sub>MOV</sub>), em cada um dos ciclos, para cada um dos níveis de probabilidade da modalidade do marcador). Foram excluídos do cálculo destas médias dois participantes, um na tarefa 50%V\_50%A (no CTM), outro na tarefa 75%V\_25%A (no CIM e no CC), por apresentarem nas ANOVAs conduzidas por tarefa resíduos studentizados  $\geq 3$  e/ou distâncias de Cook excedendo em mais de três vezes a distância média.



**Figura 24.** Tempos de resposta ( $TR_{esp}$ ) da localização do marcador ( $R_{MC}$ ) e do móvel ( $R_{MOV}$ ) nos três ciclos do EFL (CIM, CC e CTM) em cada um dos níveis de probabilidade da modalidade do marcador (variando, de cima para baixo, entre 100% V e 100% A, a passos de 25%). Os  $TR_{esp}$ , em abcissa, são fornecidos em ms. Os códigos de cores associados às designações  $V_{MC}$  e  $A_{MC}$  em cada coluna distinguem entre ensaios com marcador visual e auditivo, respetivamente. O “v” entre parêntesis após a designação  $R_{MOV}$  da coluna da direita sublinha que o móvel a localizar é sempre visual. As linhas tracejadas vermelhas indicam, em cada gráfico o  $TR_{esp}$  na tarefa 100% A (0% V). As linhas tracejadas pretas indicam os  $TR_{esp}$  na tarefa 100% V (0% A). As barras de erro representam o EPM.

A previsão  $P_{C4}$ , antecipando uma redução do  $TR_{esp}$  de localização do marcador numa dada modalidade (A ou V) quando a probabilidade da ocorrência de marcadores nessa modalidade é maior parece razoavelmente ilustrada pelos dados nos ensaios com marcador visual, mas não nos ensaios com marcador auditivo. A previsão implica, com efeito, no caso dos marcadores visuais, que os menores  $TR_{esp}$  ao marcador deveriam registar-se na tarefa 100% V (0% A), o que se

verifica no CTM e (*ex aequo* com a tarefa 75% V\_25% A) no CC – e ainda, excetuando a tarefa 75% V\_25% A, no CIM (ver, na coluna da esquerda da **Figura 24**, o padrão da interseção das barras cinzentas pelas linhas pretas tracejadas, que representam o  $TR_{esp}$  na tarefa 100% V). Descrevendo de outro modo, em todos os ciclos, sem exceção, a localização do marcador visual foi mais rápida nas duas tarefas onde a probabilidade do marcador visual é mais alta (100% e 75%) comparativamente às duas tarefas onde a sua probabilidade de ocorrência é mais baixa (50% e 25%) (os 0% encontram-se excluídos, por não darem lugar a respostas de localização do marcador visual).

No caso dos marcadores auditivos, a mesma previsão implica, simetricamente, que os menores  $TR_{esp}$  deveriam ocorrer na tarefa 100% A, o que não sucede em nenhum dos ciclos (ver a interseção das barras brancas pelas linhas vermelhas tracejadas, que representam o valor dos  $TR_{esp}$  na tarefa 100% A). Pelo contrário, as respostas mais rápidas ao marcador auditivo observam-se invariavelmente na tarefa 75%V\_25%A, onde a probabilidade da ocorrência de marcadores auditivos é a menor. Adicionalmente, após uma subida inicial dos  $TR_{esp}$  na passagem da tarefa 100%A para a tarefa 25%V\_75%A, os  $TR_{esp}$  decrescem, em todos os ciclos, com a diminuição (e não com o aumento) da probabilidade de ocorrência de marcadores auditivos ( $TR_{esp} 25\%V_75\%A > TR_{esp} 50\%V_50\%A > TR_{esp} 75\%V_25\%A$ ). A razão para este perfil de resultados na resposta ao marcador auditivo pode apenas ser conjecturada. Uma possibilidade, inteiramente especulativa, é a de que a ocorrência de um número reduzido de marcadores visuais (25%), introduzindo imprevisibilidade na modalidade do marcador, cause um prejuízo (subida do  $TR_{esp}$ ) relativamente à situação 100% A, mas que, com o aumento do número marcadores visuais na série (50%, 75%), este prejuízo acabe por ser compensado por uma contribuição contextual da informação posicional dos marcadores visuais para a localização espacial dos sons (acelerando-a).

Estatisticamente o fator probabilidade (quatro níveis), não revelou efeitos significativos nas ANOVAs conduzidas separadamente, em cada ciclo, para os  $TR_{esp}$  de localização dos marcadores auditivos e visuais. O maior valor de  $F$  nos ensaios com marcador visual foi registado no CIM,  $F(3,45) = 0.845$ ,  $p = .457$ ,  $\eta_p^2 = .053$  e, no caso dos marcadores auditivos, no CC,  $F(3,45) = 1.620$ ,  $p = .108$ ,  $\eta_p^2 = .097$ . No conjunto, os resultados são assim desfavoráveis à previsão  $P_{C4}$ , de duas maneiras: graficamente, questionando a sua generalidade (apenas os marcadores visuais fornecem indicações conformes ao previsto) e, estatisticamente, colocando em dúvida a significância dos efeitos observáveis nos gráficos.

Quanto aos  $TR_{esp}$  na localização do móvel, a previsão  $P_{C5}$  antecipava igualmente maior rapidez (menor latência) da resposta nos ensaios em que a modalidade do marcador (A ou V) coincidia com a modalidade mais provável na tarefa. Na realidade, esta previsão consiste numa extensão da previsão  $P_{C4}$  às respostas de localização do móvel, com base na assunção de que uma

aceleração do processamento do marcador induzida pelo aumento da sua previsibilidade deveria traduzir-se também numa aceleração da resposta ao móvel no momento indicado pelo marcador (uma assunção natural no quadro dos modelos de latência: ver **Tabela 1**). O facto de a previsão  $P_{C4}$  apenas beneficiar de indicações graficamente favoráveis (embora estatisticamente nulas) nos ensaios com marcadores visuais conduz assim a privilegiar, na avaliação da previsão  $P_{C5}$ , os  $TR_{esp}$  ao móvel quando o marcador é visual. Com exceção do CTM, onde as duas tarefas com a menor probabilidade de ocorrência de marcadores visuais (50% e 25%) continuam a apresentar, como nas respostas ao marcador, as maiores latências (comparativamente às tarefas 100%V e 75%V), tanto no CIM como no CC, os menores  $TR_{esp}$  ocorrem agora na tarefa 50%V\_50%A, onde a incerteza quanto ao marcador é maior. Os maiores  $TR_{esp}$  ocorrem por sua vez, em todos os ciclos, na tarefa 25%V\_75%A, onde probabilidade dos marcadores visuais é a menor (um resultado convergente com parte do conteúdo da previsão  $P_{C5}$ ). A análise gráfica sugere assim que, embora a diminuição da probabilidade do marcador visual para um valor de 25% induza um aumento nos  $TR_{esp}$ , a diminuição dessa probabilidade entre os 100% e os 50% tem pelo contrário um efeito facilitador (redução das latências) que atinge o seu máximo na condição de máxima incerteza. No CIM, este efeito de facilitação na tarefa 50%V\_50%A foi suportado por um efeito significativo do fator probabilidade (com quatro níveis) na ANOVA conduzida nesse ciclo para os  $TR_{esp}$  ao móvel com marcador visual,  $F(3,42) = 5.491$ ,  $p = .003$ ,  $\eta_p^2 = .282$ , revelando nas comparações aos pares subsequentes um  $TR_{esp}$  na tarefa 50%V\_50%A ( $M = 2229$  ms;  $EPM \pm 188$ ) significativamente inferior ao da tarefa 25%V\_75%A ( $M = 2874$  ms;  $EPM \pm 205$ ),  $p = .007$  (diferença assinalada na **Figura 24** por um asterisco).

Pelo seu lado, os  $TR_{esp}$  de localização do móvel com marcadores visuais apresentam em geral, o mesmo perfil ordinal exibido nas respostas de localização do marcador, com as menores latências na tarefa 75%V\_25%A (onde a probabilidade dos marcadores A é menor), exceto no CC, onde as menores latências ocorreram na condição de máxima incerteza quanto à probabilidade do marcador (50%V\_50%A). Apenas a ANOVA conduzida no CC apresentou um efeito significativo do fator probabilidade (quatro níveis),  $F(3,45) = 2.981$ ,  $p = .041$ ,  $\eta_p^2 = .166$ , associado a uma diferença significativa entre os  $TR_{esp}$  nas tarefas 50%V\_50%A ( $M = 1975$  ms;  $EPM \pm 149$ ) e 0%V\_100% A ( $M = 2400$  ms;  $EPM \pm 204$ ),  $p = .030$  (diferença assinalada na **Figura 24** por um asterisco).

A comparação das magnitudes dos  $TR_{esp}$  ao móvel e ao marcador sugere ainda, de duas maneiras, um carácter distintivo da tarefa 50%V\_50%. Por um lado, enquanto nas restantes tarefas os  $TR_{esp}$  ao móvel são tipicamente superiores aos do marcador no CIM e no CC (e mesmo, nalgumas delas, no CTM), na tarefa 50%V\_50%A as latências da resposta ao marcador foram sempre superiores, em todos os ciclos e tanto no caso de ensaios com marcador visual como auditivo, às da resposta ao móvel. Em segundo lugar, apenas na tarefa 50%V\_50% algumas destas

diferenças deram lugar a resultados estatisticamente significativos – CC: ensaios com marcador V,  $t(15) = 3.578, p = .003$ ; ensaios com marcador A,  $t(15) = 2.438, p = .028$ . CTM: ensaios com marcador A,  $t(14) = 2.447, p = .028$ . Resumindo, a tarefa 50%V\_50%A foi a única a apresentar  $TR_{\text{esp}}$  ao móvel significativamente inferiores aos dos marcadores. Estes resultados são compatíveis com um cenário de alocação preferencial de recursos de processamento à informação posicional do móvel na condição de máxima incerteza quanto à modalidade do marcador (o quadro previsionar que inspirou a previsão  $P_{C3}$ ), conduzindo a respostas mais rápidas ao móvel do que ao marcador. São, por sua vez, desfavoráveis aos dois outros quadros considerados, implicando ambos uma redução dos  $TR_{\text{esp}}$  quer ao móvel quer ao marcador quando a modalidade do marcador se torna mais provável

Tomados em conjunto, os resultados discutidos nos três pontos consagrados à análise dos efeitos da variação da probabilidade da modalidade do marcador – menores valores de  $EFL_D$ , em todos os ciclos, na tarefa 50%V\_50%A (ver ponto 4.4.3.2.); desajuste das previsões orientadoras  $P_{C2}$  e  $P_{C3}$  no que se refere aos  $D_x$  do marcador e do móvel (ponto 4.4.3.1.);  $TR_{\text{esp}}$  de localização do móvel significativamente inferiores aos da localização do marcador na tarefa 50%V\_50%A (ponto 4.4.3.3) – parecem sobretudo harmonizáveis com a versão reformulada da previsão  $P_{C3}$  já sugerida anteriormente (ponto 4.4.3.2.). Nesta versão, inteiramente perceptiva, uma maior ponderação da informação posicional do móvel quando a incerteza quanto à modalidade do marcador é máxima induziria (i) uma maior rapidez na resposta de localização do móvel comparativamente à do marcador e (ii) uma captura mais acentuada da localização percebida do marcador pela localização percebida do móvel, induzindo uma redução do  $EFL_D$  (independente do perfil dos  $D_x$  do móvel). Os resultados parecem ilustrar, neste sentido, uma modulação atencional do  $EFL_D$  pela probabilidade da modalidade do marcador (maior alocação atencional à informação posicional do móvel quando a incerteza é máxima), mas cujo efeito se exerce prioritariamente não através de mecanismos de latência e sim de captura espacial (de uma localização percebida por outra).

#### ***4.5. Discussão e conclusões intercalares***

As secções precedentes ocuparam-se da apresentação dos resultados relativos ao impacto da manipulação da modalidade do movimento, da modalidade do marcador e da probabilidade da modalidade do marcador em diferentes variáveis dependentes: os  $D_x$  do marcador e do móvel, os  $EFL_D$  derivados por subtração entre os  $D_x$  do móvel e do marcador, os  $TR_{\text{esp}}$  ao marcador e ao

móvel, e mesmo, em duas das secções, os erros de localização vertical ( $D_y$ ) do móvel e do marcador. Embora os resultados fossem ao mesmo tempo sendo discutidos e relacionados entre si através das secções, o reporte combinado das análises gráficas e estatísticas, acompanhado de uma variedade de comentários interpretativos, dificulta a apreensão das principais tendências e das conclusões autorizadas, em particular, quanto à hipótese central de que a estrutura qualitativa do EFL é recuperável a partir da combinação linear de dois erros de localização absoluta. O ponto 4.5 propõe-se justamente ultrapassar esta dificuldade, fornecendo um sumário articulado dos principais resultados e conclusões deriváveis até ao momento:

(I) Duas tendências robustas documentadas nos erros de localização absoluta do móvel e do marcador foram: (i) a predominância virtualmente absoluta (com uma única exceção, ocorrida no CIM, com movimento auditivo) de erros de localização do móvel para diante em todos os ciclos, inclusive no CTM; (ii) o arrastamento para diante do marcador (*flash-drag*) em todos os ciclos, inclusive no CTM, onde não existe movimento posterior à apresentação do marcador. O resultado (i) aponta para a presença de MR no CTM, questionando o argumento de que a ausência característica de EFL neste ciclo seja, em si mesma, contrária à ideia de uma extrapolação do movimento para diante. O resultado (ii) é desfavorável ao pressuposto de que a posição do estímulo estático é veridicamente percebida (Nijhawan 1994, 1997; Khurana and Nijhawan 1995), suportando a plausibilidade da hipótese de que o EFL envolva, para além do erro de localização do móvel, deslocamentos perceptivos da posição do marcador; adicionalmente, a manutenção do arrastamento do marcador no CTM, indica que a existência de um sinal de movimento posterior ao marcador não é indispensável para a ocorrência do efeito.

(II) As indicações recolhidas sobre a relação entre os dois erros incluem, para além do acordo direcional já notado (ambos predominantemente para diante): (i) magnitudes superiores do erro na localização do móvel relativamente ao do marcador no CIM e no CTM; (ii) correspondência consistente entre o perfil ordinal dos dois erros através dos ciclos (CIM, CC, CTM) numa mesma tarefa, suportada por correlações positivas significativas; (iii) modulação do perfil da relação entre os dois erros pela modalidade, manifestando-se pelo cancelamento da correspondência entre as magnitudes dos dois erros nas tarefas com marcador auditivo (movimento visual) e com movimento auditivo (marcador visual), onde as correlações se tornam estatisticamente nulas. Os resultados (i) e (ii) são consistentes com a ideia do movimento como uma causa comum aos dois erros, afetando em primeiro lugar a localização do móvel e, em menor grau, o arrastamento para diante do marcador adjacente (ocasionando assim, simultaneamente, a menor magnitude do deslocamento perceptivo do marcador e a associação positiva entre os dois erros). O resultado (iii) é compatível com uma redução da capacidade do movimento numa modalidade (A ou V) para induzir efeitos de arrastamento posicional de um marcador noutra modalidade (V ou A); o facto de afetar a tarefa  $A_{MC}$  (com movimento visual), além da tarefa  $A_{MOV}$  permite excluir interpretações

assentes numa limitação específica do movimento auditivo para influenciar a posição percebida de um estímulo estático visual.

(III) Com exceção da tarefa  $A_{MOV}$ , em todas as restantes tarefas o perfil característico do EFL (erro de localização relativa) através dos ciclos foi qualitativamente reproduzido pelos  $EFL_D$  calculados a partir dos erros de localização absoluta, com  $EFL_D > 0$  no CIM e no CC, e  $EFL_D \approx 0$  ou, mais frequentemente  $< 0$  (“*flash-lead*”) no CTM. A tendência predominante para efeitos de liderança do marcador no CTM é concordante com a predominância de *flash-lead* (ao invés da simples redução ou cancelamento do *flash-lag*) em estudos em que o móvel desaparece no termo do trajeto, ao invés de simplesmente parar (Roulston et al., 2006). Adicionalmente, a tendência reportada nalguns estudos para maiores valores de EFL no CIM do que no CC (Ögmen et al., 2004; Patel et al., 2000; Rizk et al., 2009) tendo inspirado a previsão orientadora  $P_{B2}$ , encontra-se igualmente refletida nos perfis de  $EFL_D$ . Como assinalado antes, este resultado sugere adicionalmente, que os movimentos oculares não cancelam o perfil do EFL em tarefas com trajetos lineares (convergindo com resultados anteriores de Van Beers et al., 2001), e que a distinção entre sistemas de coordenadas egocêntricos e allocêntricos não impede a recuperação dos perfis de localização relativa a partir da combinação de localizações absolutas (apoiando resultados anteriores de Shi e de’Sperati, 2008).

(IV) A magnitude dos  $EFL_D$  não apresentou relações consistentes (avaliadas pelo  $r$  de Pearson) com a diferença entre os  $TR_{esp}$  ao móvel e ao marcador ( $\Delta TR_{esp}$ ), o mesmo sucedendo com as relações entre os  $TR_{esp}$  e a magnitude dos erros de localização do móvel e do marcador ( $D_x$ ). Estes resultados apontam para uma independência entre os tempos (latências) envolvidos e os erros de localização espacial, tanto absolutos ( $D_x$ ) como relativos ( $EFL_D$ ). Uma tendência geral para maiores  $TR_{esp}$  ao móvel do que ao marcador foi observada (com exceção da tarefa  $A_{MOV}$ , onde a tendência é inversa), mas não atingindo expressão estatística em qualquer das tarefas. Este resultado poderá, quando muito, sugerir um apoio modesto à ideia de um processamento sequencial (ou em cascata) da informação do marcador e do móvel quando se trata de localizar este último (no momento indicado pelo marcador).

(V) A replicação qualitativa do perfil característico do EFL através dos três ciclos pelos perfis médios de  $EFL_D$  foi acompanhada por importantes diferenças interindividuais. Esta diferença entre participantes foi documentada a dois níveis, tanto na direccionalidade do  $EFL_D$  ( $> 0$ : *flash-lag*;  $< 0$ : *flash-lead*) em cada ciclo como, no caso de participantes exibindo um  $EFL_D$  com a mesma direção (e.g.,  $> 0$ ), no perfil dos erros de localização absoluta (i.e.,  $D_x$  do móvel e do marcador) que lhe deram origem. Em geral, este resultado converge com a significativa variabilidade qualitativa interindividual presente (embora pouco assinalada) nos estudos de EFL (Gabbard, 2013; Holcombe, 2021; Kreegipuu & Allik, 2003). Assinala ainda a possibilidade de conceber uma base espacial para a variabilidade interindividual do EFL, que tradicionalmente

tem sido procurada na variabilidade interindividual das latências de processamento (Murakami, 2001a; Murai & Murakami, 2016; Ögmen et al., 2004).

(VI) Indicações relevantes de efeitos posicionais (refletindo um impacto da localização espacial percebida de um estímulo na localização do outro) foram registadas (i) nos dados relativos à localização vertical do móvel e do marcador, e (ii) nos efeitos da manipulação da probabilidade da modalidade do marcador (A ou V). No primeiro caso (i), efeitos de atração do móvel (para cima) pelo marcador e de atração recíproca entre os estímulos (do marcador “para baixo” e do móvel “para cima”) foram documentados, compatíveis com um modelo de ponderação da informação posicional dos estímulos pela sua precisão relativa (dependente da modalidade de apresentação e da sua natureza dinâmica ou estática) (Ernst & Banks, 2002, Ernst & Di Luca, 2011). Este resultado suporta a existência de uma representação da posição espacial do marcador mesmo quando nominalmente irrelevante para a tarefa (localização espacial do móvel). No segundo caso (ii), os menores valores de  $EFL_D$  foram obtidos na condição de maior incerteza quanto à modalidade do marcador (50%A\_50%V), tanto nos ensaios com marcador visual como auditivo (o movimento mantinha-se visual). Este resultado foi interpretado como um efeito da ponderação acrescida da informação posicional do móvel quando a incerteza quanto à modalidade do marcador é máxima, induzindo uma captura da localização percebida do marcador pela localização percebida do móvel e a consequente redução do  $EFL_D$  (ver discussão nos pontos 4.4.3.2. e 4.4.3.3 ).

## 2ª Série experimental

### Latências diferenciais de processamento

O capítulo 5 investiga as diferenças de latência entre estímulos estáticos e dinâmicos na mesma e em diferentes modalidades (visual e auditiva), em condições tanto quanto possível próximas das condições estimulares – propriedades físicas dos estímulos, tipo de movimento e localização relativa – utilizadas nas experiências apresentadas e discutidas no capítulo 4.

A hipótese clássica da latência assenta na ideia de que estímulos em movimento beneficiam de um processamento mais rápido do que estímulos estáticos. Destas diferenças de latência poderiam inferir-se variações na magnitude do EFL, maior quando a vantagem temporal comparativa do estímulo móvel aumenta, menor quando diminui. Contudo, apesar de alguns resultados neurofisiológicos favoráveis a uma pequena vantagem temporal do processamento de estímulos móveis (Jancke et al., 2004; Orban et al., 1985) – limitados a estruturas pré-corticais e ao córtex visual primário (ver, para resultados contrários em áreas extra-estriadas, Raiguel et al., 1989) e reconhecidamente insuficientes para explicar a magnitude do EFL –, a evidência comportamental mantém-se sob debate. Enquanto alguns dos efeitos da manipulação de atributos dos estímulos como a velocidade (Brenner & Smeets, 2000) ou a luminância relativa (Purushothaman et al., 1998) se apresentam compatíveis com a hipótese da latência diferencial (ver, contudo, para a variabilidade dos resultados associados a estas duas variáveis, a revisão de Hubbard, 2014a), a implicação à partida mais direta da hipótese – que estímulos em movimento deveriam ser percebidos como anteriores a estímulos estáticos simultâneos – não recebeu suporte consistente, sendo mesmo contrariada por estudos com julgamentos de ordem temporal (TOJ) (Chappel et al., 2006; Eagleman & Sejnowski, 2000c; Nijawhan et al., 2004), julgamentos de simultaneidade (JS) (Fouriezos et al., 2007), ou ainda tempos de reação (TR) (Nijawhan et al., 2004; Arrighi et al., 2005a).

Estes resultados negativos, obtidos quase exclusivamente no domínio da visão e relativos, na sua maioria, a diferenças temporais entre o *onset* de estímulos estáticos e dinâmicos (para uma exceção, ver Eagleman & Sejnowski, 2000c, que contempla também o *offset* do estímulo dinâmico), são comprometedores para a versão clássica da hipótese da latência, mas não para versões sofisticadas desta hipótese. Baldo e Caticha (2005) e Cravo e Baldo (2008) mostraram, neste sentido, que num modelo em que as latências diferenciais se desenvolvem dinamicamente através de mecanismos de facilitação espaço-temporal (não pré-existindo no momento da

apresentação abrupta simultânea de dois estímulos, um estático e um em movimento), a ocorrência de EFL no CIM não implica uma precedência temporal (perceptiva) do estímulo dinâmico em tarefas TOJ. Perceber veridicamente os estímulos como simultâneos no *onset* não constitui por isso, como defenderam Eagleman & Sejnowski (2000c), uma refutação geral da hipótese das latências. Não é claro, no entanto, que este tipo de limitação à inferência de diferenças temporais a partir de diferenças espaciais (e vice-versa) se mantenha para inferências baseadas nas latências diferenciais entre modalidades (e.g., A e V) – e já não entre estímulos estáticos e dinâmicos, ou com e sem *onset* abrupto. A troca de um marcador visual por um auditivo (ambos estáticos, ambos abruptos) admitindo um processamento inerentemente mais rápido do estímulo sonoro, deveria, *no quadro da hipótese explicativa das latências*, conduzir a consequências previsíveis e confrontáveis com alterações na magnitude espacial do EFL. Foi esse, por exemplo, o racional das investigações de Alais & Burr (2003) e Arrighi et al. (2005a) sobre o EFL intermodal, que produziram igualmente resultados desfavoráveis a uma explicação em termos de latências.

Os resultados fornecidos pelos paradigmas mais comuns de estudo da percepção temporal de eventos (TOJ, JS e TR) manifestam uma forte dependência relativamente a propriedades específicas dos estímulos (e.g., características físicas, complexidade, natureza intra ou intermodal, tipo de movimento, velocidade: Burr et al., 1998; Eg & Behne, 2015; Fink et al., 2006; Kwon et al., 2014; Schlittenlacher et al., 2017; van Eijk et al., 2008) e a atributos contextuais das tarefas (distância do observador, apresentação dos estímulos no mesmo ou diferentes locais, dimensão a considerar para efeitos de resposta: Arnold et al., 2005; Spence et al., 2003; Zampini et al., 2003; Zampini et al., 2005a) (para revisões ver Arstilla et al., 2020 e Keetels & Vroomen, 2012). Esta circunstância inviabiliza a utilização de indicações gerais da literatura (e.g., a vantagem temporal usualmente atribuída a estímulos auditivos relativamente a visuais: Goldstone, 1968; Jaśkowski et al., 1990; Zampini et al., 2003) como base para uma apreciação do acordo entre o sentido das diferenças de latência entre modalidades e os resultados obtidos em tarefas de EFL audiovisual (ou, no caso vertente, os EFL<sub>D</sub> audiovisuais). Os estudos incluídos neste capítulo propõem-se justamente examinar esse acordo (ou desacordo) em condições favoráveis à comparabilidade e relevância recíproca dos dois conjuntos de dados – utilizando os mesmos estímulos do capítulo 4, em condições de apresentação semelhantes e distinguindo entre diferenças temporais relativas ao *onset* (diretamente relevantes para o CIM) e ao *offset* (diretamente relevantes para o CTM).

As tarefas utilizadas para o efeito são de dois tipos, TOJ e TR, oferecendo duas medidas distintas da latência de processamento (Cardoso-Leite et al., 2007; Diederich & Colonius, 2015; Jaśkowski, 1999). O recurso a tarefas TOJ, em alternativa a tarefas JS (julgamentos de simultaneidade), foi motivado por diferentes ordens de razões: por um lado, as primeiras são mais comuns na literatura relevante, facilitando assim a comparação com resultados anteriores; por outro, mantêm uma relação direta com a questão colocada, que envolve não a percepção da

sincronia (versus assincronia) e sim, expressamente, a da ordem temporal dos estímulos (ver Allan, 1975; Hirsh & Sherrick, 1961; Vatakis et al., 2008; Zampini et al., 2003); finalmente, os parâmetros extraídos das tarefas TOJ têm-se revelado mais estáveis em comparações intermodais – um dos objetivos centrais nestes estudos – do que os fornecidos pelas JS (Hirsh & Sherrick, 1961; Kanabus et al., 2002). Nas tarefas TOJ apenas o *onset* dos estímulos foi considerado, para o *onset* quer para o *offset*. As implicações deriváveis das TOJ interessam assim em primeiro lugar aos EFL<sub>D</sub> obtidos no CIM, enquanto as implicações das experiências com TR interessam igualmente aos EFL<sub>D</sub> no CIM e no CTM.

## ***5.1. Julgamentos de ordem temporal: TOJ***

### ***5.1.1. Método***

#### ***5.1.1.1. Participantes***

Participaram nesta tarefa 15 estudantes de graduação da Escola Superior de Tecnologia da Saúde do Instituto Politécnico de Coimbra (12 F, 3 M), com idades compreendidas entre os 19 e os 22 anos ( $M = 21$ ,  $DP = 1,08$ ). Nenhum dos participantes esteve envolvido em qualquer das tarefas anteriores. Todos desconheciam os objetivos do estudo, apresentavam visão normal ou corrigida-a-normal e possuíam um histórico de ausência de problemas de audição. A participação foi voluntária, tendo cada um dos participantes fornecido o seu consentimento livre e informado. Todos os procedimentos associados à realização da tarefa obedeceram aos requisitos da declaração de Helsínquia.

#### ***5.1.1.2. Estímulos***

Estímulos visuais e estímulos auditivos espacializados, tanto estáticos como em movimento, apresentados aos pares, com diferentes graus de assincronia entre si. Em blocos experimentais distintos, os pares apresentados poderiam envolver dois estímulos estáticos, dois estímulos em movimento, ou um estímulo estático e um em movimento. Em cada par, por sua vez, a modalidade sensorial dos estímulos podia ser a mesma (ambos V ou ambos A) ou diferente (um estímulo A e um estímulo V). Por fim, em pares AV, os estímulos poderiam ser apresentados no mesmo local (sobrepostos no centro do ecrã) ou com um desfasamento vertical idêntico ao utilizado nas tarefas

do capítulo 4 – um estímulo localizado no centro do ecrã, sobre a linha média vertical, o outro 2 cm ( $\approx 1.4^\circ$  a.v.) acima do primeiro, sobre a linha média horizontal. Nos pares visuais os estímulos foram sempre apresentados em locais separados (desfasados verticalmente) e nos pares auditivos no mesmo local (sobrepostos).

Os estímulos dinâmicos (em movimento) A e V foram fisicamente idênticos aos utilizados no capítulo 4: (i) ruído branco filtrado entre os 300 e os 1100Hz, modelizado no slab3d v6.6.1 (NASA & Miller, 2012) em translação para a direita (a direção do movimento nas experiências anteriores) a uma velocidade implícita de  $10 \text{ cm s}^{-1}$ , e apresentados a 60 dB (A) (como nas experiências anteriores, todos os sons incluíram um *fade in* e *fade out* de 5 ms); (ii) um disco branco (RGB: 255, 255, 255) sobre fundo preto, com 1 cm de diâmetro, em movimento para a direita, a uma velocidade de  $10 \text{ cm s}^{-1}$ .

A sua combinação com estímulos estáticos obedeceu a uma de 11 condições de assincronia (incluindo o valor 0) entre os *onsets* dos estímulos, variando entre os -500 ms e os + 500 ms a passos de 100 ms. Quando combinados com outro estímulo dinâmico, ambos os estímulos surgiam inicialmente imóveis no ecrã por um período variável entre os 1500 e os 2000 ms antes de iniciarem o movimento para a direita. As assincronias (de novo,  $\pm 500$  ms,  $\pm 400$ ,  $\pm 300$ ,  $\pm 100$  e 0 ms) envolveram nestes pares os *onsets* do movimento e não da apresentação dos estímulos. Os valores de assincronia selecionados foram superiores aos utilizados nos pares de estímulos estáticos (ver adiante), levando em conta indicações sobre o ângulo mínimo de movimento audível (MAMA: Grantham 1986; Chandler & Grantham, 1992) e as janelas temporais de integração associadas (Ducommun et al., 2002; Getzmann, 2011; Lewald et al, 2008) (para uma revisão, ver Carlile & Leung, 2016). Estas indicações sugerem o potencial para um aumento dos JND (diferença minimamente perceptível) na deteção do movimento auditivo, com o risco de excederem a amplitude de gamas de assincronia mais estreitas. Uma tarefa piloto envolvendo a deteção e discriminação de movimento auditivo no *onset* suportou a gama utilizada como compatível com a deteção do movimento auditivo significativamente acima do nível do acaso.

Os estímulos estáticos foram também fisicamente idênticos aos marcadores utilizados nas experiências do capítulo 4: (i) ruído branco filtrado entre os 300 Hz e os 1100 Hz (frequência de amostragem de 44.1 kHz), apresentado durante 50 ms (882 amostras) no azimute  $0^\circ$  (imagem central, em alinhamento com a orientação da cabeça do ouvinte) – para utilização nos pares AA, foram igualmente sintetizados, com as mesmas especificações de amostragem, duração e localização virtual, sons estáticos consistindo num tom de 400 Hz e num tom de 2600 Hz. (ii) disco branco (RGB: 255, 255, 255) sobre fundo preto, com 1 cm de diâmetro, apresentado no centro horizontal do ecrã durante 50 ms (3 ciclos de refrescamento do ecrã a 60 Hz).

A assincronia entre os *onsets* dos estímulos (SOA) em cada par variou entre os -167 e os + 167 ms, a passos de  $\approx 33$  ms (2 ciclos de refrescamento do ecrã a 60 Hz). Amplitudes de

assincronia idênticas (e.g., Cravo e Baldo, 2008; Kanai et al., 2004) e mesmo inferiores (e.g., Cardoso-Leite et al., 2007,  $\pm 100$  ms; Kreegipuu & Allick, 2003,  $\pm 150$  ms; Nijawhan et al. 2004,  $\pm 120$  ms) têm sido utilizadas em julgamentos de ordem temporal entre estímulos visuais estáticos e em movimento. Contrariando a sugestão inicial de uma constância dos JND através das modalidades (Hirsh & Sherrick, 1961), alguma evidência tem apontado para JNDs superiores em tarefas TOJ auditivas comparativamente a visuais (Tiipana & Salmela, 2018), e audiovisuais comparativamente a unimodais (Zampini et al., 2003; Alais & Cass, 2010). Apesar disso, gamas de assincronia análogas à utilizada mantêm-se comuns em estudos de ordem temporal com pares auditivos e audiovisuais (e.g., Zampini et al., 2003; Tiipana & Salmela, 2018; Kwon et al., 2014).

A síntese de cada uma das componentes dos estímulos (estáticas e dinâmicas, auditivas e visuais) obedeceu aos procedimentos descritos na secção de método do capítulo anterior (4.3.2.). Os estímulos finais, combinando sempre duas componentes (par de estímulos assíncronos) consistiram em ficheiros .avi produzidos no programa VirtualDub v1.9.11 (SourceForge, 2010), integrando no caso dos pares AV e AA a informação auditiva (arquivos .wav estéreo) e visual (reduzida, no último caso, à permanência de um fundo preto durante toda a duração do vídeo) (para detalhes da sincronização áudio-vídeo, ver secção 4.3.2.).

### 5.1.1.3. Desenho experimental

O estudo compreendeu um total de 12 tarefas TOJ, realizadas por todos os participantes em duas sessões separadas entre si por aproximadamente duas semanas. Uma das sessões envolveu os pares AV em que ambos os estímulos eram dinâmicos ( $A_{din}-V_{din}$ ) ou estáticos ( $A_{est}-V_{est}$ ), apresentados no mesmo local (com sobreposição espacial) ou em locais separados (desfasamento vertical) e, neste último caso, com o estímulo A ou V em posição elevada, resultando em 6 tarefas distintas: (i) pares dinâmicos com A elevado, (ii) V elevado e (iii) A e V sobrepostos; (iv) pares estáticos com A elevado, (v) V elevado, e (vi) A e V sobrepostos. As tarefas (i), (ii), (iv) e (v), envolvendo separação espacial entre os estímulos compõem entre si um desenho fatorial de medidas repetidas  $2$  (A elevado, V elevado)  $\times 2$  (dinâmicos, estáticos).

A outra sessão incluiu os pares compostos por um estímulo estático e um dinâmico, pertencentes à mesma (VV, AA) ou a diferentes modalidades (AV). Neste último caso, o estímulo dinâmico podia ser A ou V, e a apresentação dos estímulos ocorrer no mesmo local ou com um desfasamento vertical (com o estímulo estático em posição elevada). Nos pares VV a apresentação foi sempre espacialmente desfasada e nos AA envolveu sempre sobreposição (em 6 dos participantes, o estímulo estático dos pares AA consistiu num tom de 2600 Hz, nos restantes 9

num tom de 400 Hz). Tal como a anterior, a sessão compreendeu assim 6 tarefas: (i) pares AV com desfasamento espacial e  $A_{din}$  ou (ii)  $V_{din}$ ; (iii) pares AV com sobreposição e  $A_{din}$  ou (iv)  $V_{din}$ ; (v) pares VV (com desfasamento); (vi) pares AA (com sobreposição). As tarefas (i) a (iv) compõem um desenho fatorial de medidas repetidas  $2$  (desfasamento vertical, sobreposição)  $\times 2$  ( $A_{din}$ ,  $V_{din}$ ).

A ordem das sessões foi contrabalanceada através dos participantes (8 participantes começaram pela sessão com pares de estímulos estáticos ou dinâmicos, os restantes 7 pela sessão com pares compostos por um estímulo estático e um dinâmico). Em cada sessão, 15 ordenações das 6 tarefas, extraídas ao acaso, sem reposição, das 720 permutações possíveis (6!), foram aleatoriamente associados aos participantes.

#### 5.1.1.4. Procedimento

As experiências decorreram numa cabina insonorizada e na obscuridade, em condições idênticas às descritas no capítulo anterior. Os participantes sentavam-se numa cadeira de altura regulável, com a cabeça imobilizada por um suporte queixo-testa, a altura dos olhos ajustada à linha média vertical do ecrã localizado a 84.5 cm de distância (DELL S2340T,  $50.9 \times 28,6$  cm; resolução de  $1920 \times 1080$  px; taxa de refrescamento de 60 Hz) e a linha de visão alinhada com o seu centro. Os estímulos sonoros foram, como anteriormente, apresentados em duas colunas (HP NN109AA: SNR: 78 dB) associadas a um processador digital miniAMBIO 2.0 (para eliminação dos efeitos de *cross-talk*: ver secção 4.3.4. ), com uma intensidade de 60 dB (A), verificada à saída por um sonómetro (Brüel & Kjær, 2260; Brüel & Kjær, Nærum, Denmark). O arranjo das colunas foi também o mesmo, com localização de um e de outro lado do ecrã (no mesmo plano) e formando um ângulo de  $30^\circ$  com vértice no centro do eixo interaural (ver **Figura 5** e justificação na secção 4.3.4. ). As colunas situavam-se, na vertical, a uma de duas alturas. Em tarefas implicando um estímulo auditivo estático ou dinâmico elevado, os centros das colunas eram alinhados 2 cm acima da linha média vertical do ecrã; em todas as restantes tarefas, encontravam-se à altura da linha média. A informação relativa à elevação (em contraste com o azimute) da fonte sonora resultava assim da localização física das colunas.

Cada ensaio tinha início com a apresentação audiovisual (voz masculina, registada em “mono” e com apresentação diótica) da palavra “atenção” no centro do ecrã. Nos pares de estímulos estáticos ou compostos por um estímulo estático e um dinâmico, seguia-se um ISI variável entre os 1500 e os 2000 ms, após o qual os dois estímulos eram apresentados com um valor de assincronia (SOA) aleatoriamente selecionado entre os 11 pré-estabelecidos (método dos estímulos constantes). Os participantes eram instruídos a fornecer julgamentos de ordem temporal

relativamente ao *onset* dos estímulos, expressos através de uma escolha forçada de duas alternativas (2AFC) entre um botão à esquerda e um botão à direita numa caixa de resposta RB-610 da Cedrus. Nas tarefas com pares estáticos o botão da esquerda indicava “auditivo antes” e o da direita “visual antes”. Nas tarefas com pares estático-dinâmico, o botão da esquerda indicava “dinâmico antes” e o da direita “estático antes”. Nas tarefas com pares de estímulos dinâmicos (AV), 150 ms após o termo da palavra atenção, os dois estímulos eram apresentados simultaneamente durante um período variável entre os 1500 e os 2000 ms, após o que iniciavam assincronicamente (com uma assincronia aleatoriamente selecionada entre a gama de 11 valores) um movimento para a direita durante 2000 ms. Os participantes julgavam a ordem temporal do início (*onset*) do movimento. O botão da esquerda na caixa de respostas significava “auditivo antes” e o da direita “visual antes”.

Em todos os casos, a resposta do participante, fornecida sem pressão temporal (*unspedeed response*), terminava a apresentação do estímulo, desencadeando, após um ISI de 500 ms, o início de novo ensaio. Não foram impostos constrangimentos aos movimentos oculares. Em cada tarefa, cada condição de assincronia foi apresentada 5 vezes, perfazendo 55 ensaios experimentais – 330 no total de uma sessão (6 tarefas). Todas as tarefas foram precedidas por um conjunto de 10 ensaios de treino, destinados a assegurar o bom entendimento e cumprimento das instruções. Entre tarefas, os participantes podiam optar por um intervalo de repouso, sendo incentivados a fazê-lo, no mínimo, a cada duas tarefas. A duração média de cada sessão situou-se em torno dos 50 minutos. Todos os aspetos da apresentação dos estímulos e registo das respostas foram geridos pelo programa *SuperLab v4.0.7b* (Cedrus Corporation, 2008).

#### 5.1.1.5. Análise dos dados

As proporções de respostas “auditivo antes” (nas tarefas com pares estáticos e pares dinâmicos) e “dinâmico antes” (nas tarefas com um estímulo estático e um dinâmico) foram calculadas e ajustadas, para cada participante, por uma curva sigmoide logística, obedecendo à fórmula  $f(x) = \frac{1}{1+e^{-\beta(x-\alpha)}}$ , com  $\alpha$  = PSS (ponto de simultaneidade subjetiva) e  $\beta = \log_3/\text{JND}$  (diferença minimamente perceptível) (ver Caglar et al., 2018; Shi, 2018). O PSS, valor de SOA associado ao ponto da curva correspondente à proporção de 50 %, fornece uma medida indireta da sincronia percebida entre os dois estímulos (o valor de assincronia necessário para que sejam percebidos como simultâneos). O JND ( $\log_3/\beta$ ), equivalente a metade da diferença entre os SOA correspondentes às proporções de resposta 75% e 25% na curva, fornece um índice de discriminação ou resolução temporal (o desfasamento temporal mínimo que deve existir entre os dois estímulos para que o participante decida consistentemente qual surgiu primeiro). Uma

terceira medida, estreitamente associada ao JND, é a janela de integração temporal (JIT: *TIW* no inglês), expressa como  $PSS \pm JND$  e interpretada como o intervalo de tempo no interior do qual o sistema perceptivo integra a informação dos dois estímulos, impedindo a sua ordenação temporal (um intervalo de tolerância às assincronias) (para este conjunto de medidas, ver o texto-síntese de Kostaki & Vatakis, 2018).

O ajuste da função logística aos dados foi realizado com a ferramenta Solver do Excel, por minimização dos resíduos do modelo (diferença entre os dados previstos e observados). Dois critérios de bom ajuste foram utilizados, de modo complementar. O primeiro baseou-se nos valores de  $R^2$  definido, de acordo com a proposta de Kvalseth (1985), como  $1 - \frac{\sum(y-\hat{y})^2}{\sum(y-\bar{y})^2}$ , onde  $y$  é a variável de resposta,  $\bar{y}$  a média observada e  $\hat{y}$  o valor previsto pelo modelo. Este indicador compara a variação dos resíduos com a das observações (ver Alexander et al., 2015). Um valor de  $R^2 \geq 0.5$  foi utilizado como critério, determinando a exclusão dos dados de participantes com valores inferiores (ver Kostaki & Vatakis, 2018; Love et al., 2013).

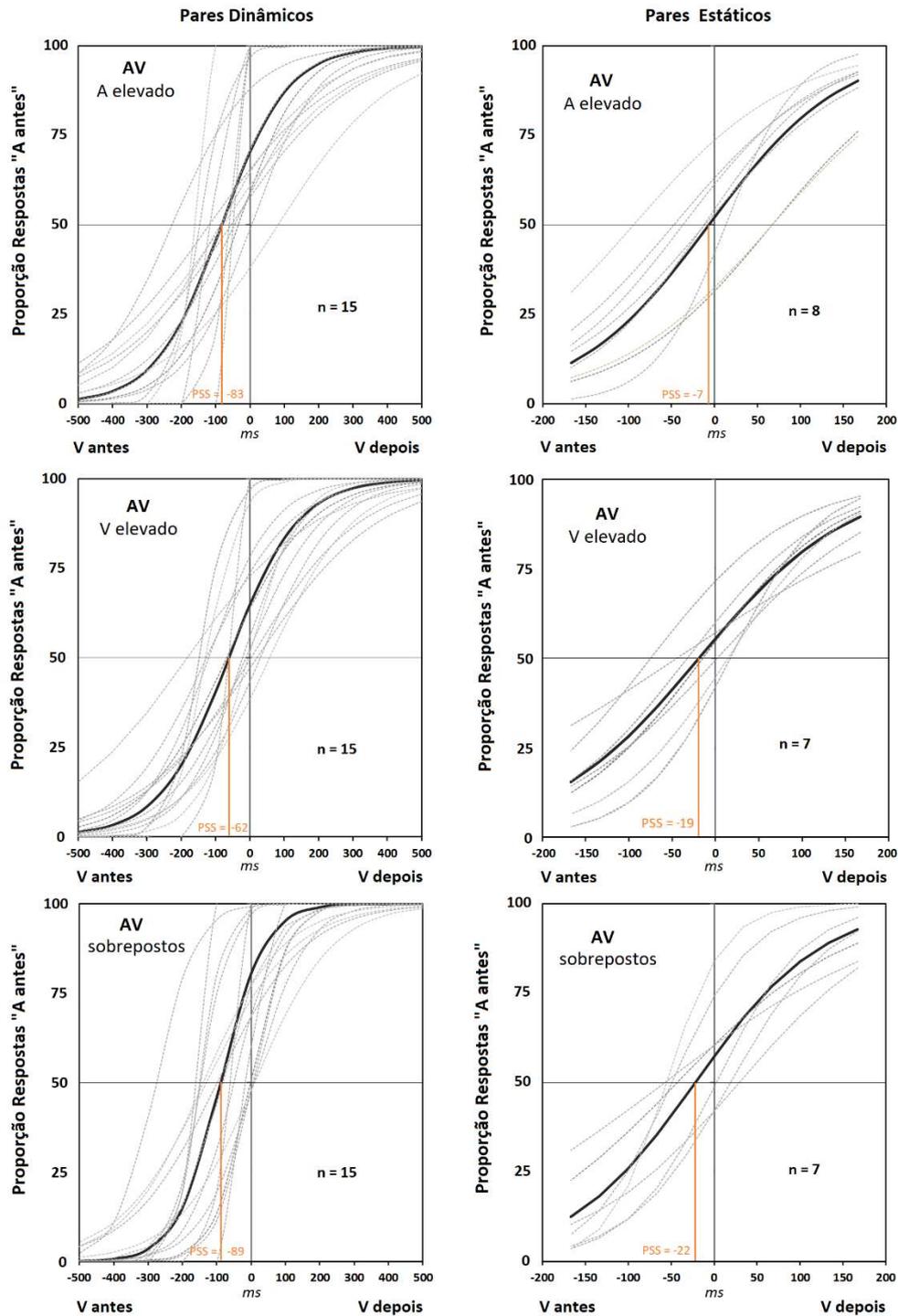
O segundo baseou-se no RMSE (raiz do erro quadrático médio), que fornece uma medida do desvio padrão dos resíduos:  $\sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}$ , com  $\hat{y}_i$  = valor previsto e  $y_i$  = valor observado. Sendo expresso nas mesmas unidades que a variável de resposta, não é assim possível – para além da indicação genérica de que quanto mais próximo de zero melhor é o ajuste –, fornecer (sem arbitrário) um critério de RMSE válido em qualquer contexto substantivo. Adaptando um procedimento de *benchmarking* proposto em Massaro (1998), obtivemos uma distribuição de 100 RMSE tomando como modelo “verídico” uma função logística com  $PSS = 0$  e  $JND = 100$  ms (convertido em  $\beta$  através de  $\log_3/JND$ ). A extração aleatória de 100 valores de PSS a partir de uma distribuição normal com  $M = 0$  e  $DP = 100$ , e de 100 valores de JND a partir de uma distribuição com  $M = 100$  e  $DP = 100$  (função INV.NORMAL do Excel, com a probabilidade determinada pela função ALEATÓRIO), permitiu construir outras tantas funções logísticas baseadas na variação aleatória (gaussiana) dos parâmetros da função de origem, tomando como valores de  $x$  (“entradas” da função) as 11 assincronias compreendidas entre  $\pm 500$  ms. A média dos valores de RMSE calculados a partir da diferença entre os valores de saída da função original (“verídica”) e de cada uma funções derivadas foi de 12.39 ( $DP = 6.25$ ). Um  $RMSE < 20$  (compreendendo abaixo de si  $\approx 90\%$  dos valores da distribuição) foi adotado como critério e utilizado complementarmente ao  $R^2 \geq 0.5$

Os gráficos e comparações estatísticas (testes  $t$  de Student,  $t$  para amostras emparelhadas e ANOVAs de medidas repetidas) apresentados na secção de resultados basearam-se nas distribuições dos valores de PSS e JND individuais fornecidas por participantes com ajustes válidos (i.e., que satisfizeram ambos os critérios).

## 5.1.2. Resultados

### 5.1.2.1. Estímulos auditivos versus visuais

A **Figura 25** apresenta as curvas sigmóides (logísticas) ajustadas aos dados de cada um dos participantes (linhas a cinzento claro) e a função construída a partir dos valores médios dos parâmetros PSS e JND calculados numa base individual (linha preta espessa, correspondendo ao modelo médio), nas tarefas envolvendo pares AV dinâmicos (DD: coluna da esquerda) e pares AV estáticos (EE: coluna da direita). Em cada coluna, a disposição dos gráficos na vertical corresponde à variação do modo de apresentação dos estímulos, especialmente desfasada ou com sobreposição (de cima para baixo, respetivamente: desfasada com A em cima, desfasada com V em cima, e apresentação no mesmo local). O valor de PSS (em ms) é fornecido em cada gráfico, ao lado da sua determinação gráfica (linhas a laranja). A proporção de respostas na ordenada diz respeito a “auditivo antes” e, na abcissa, os valores de assincronia negativos correspondem a condições em que o estímulo visual foi apresentado antes do auditivo (simetricamente, valores positivos indicam condições em que o estímulo auditivo precedeu o visual). A dispersão das curvas individuais assinala uma variabilidade interindividual importante. Embora, em todas as tarefas, o estímulo visual tivesse que ser apresentado antes do auditivo (pares EE) ou iniciar o seu movimento antes do estímulo auditivo (pares DD) para dar lugar a uma percepção de sincronia (50% de “auditivo antes”), podem observar-se valores individuais de PSS nas duas direções (prioridade temporal do estímulo auditivo ou visual) em praticamente todas as tarefas.

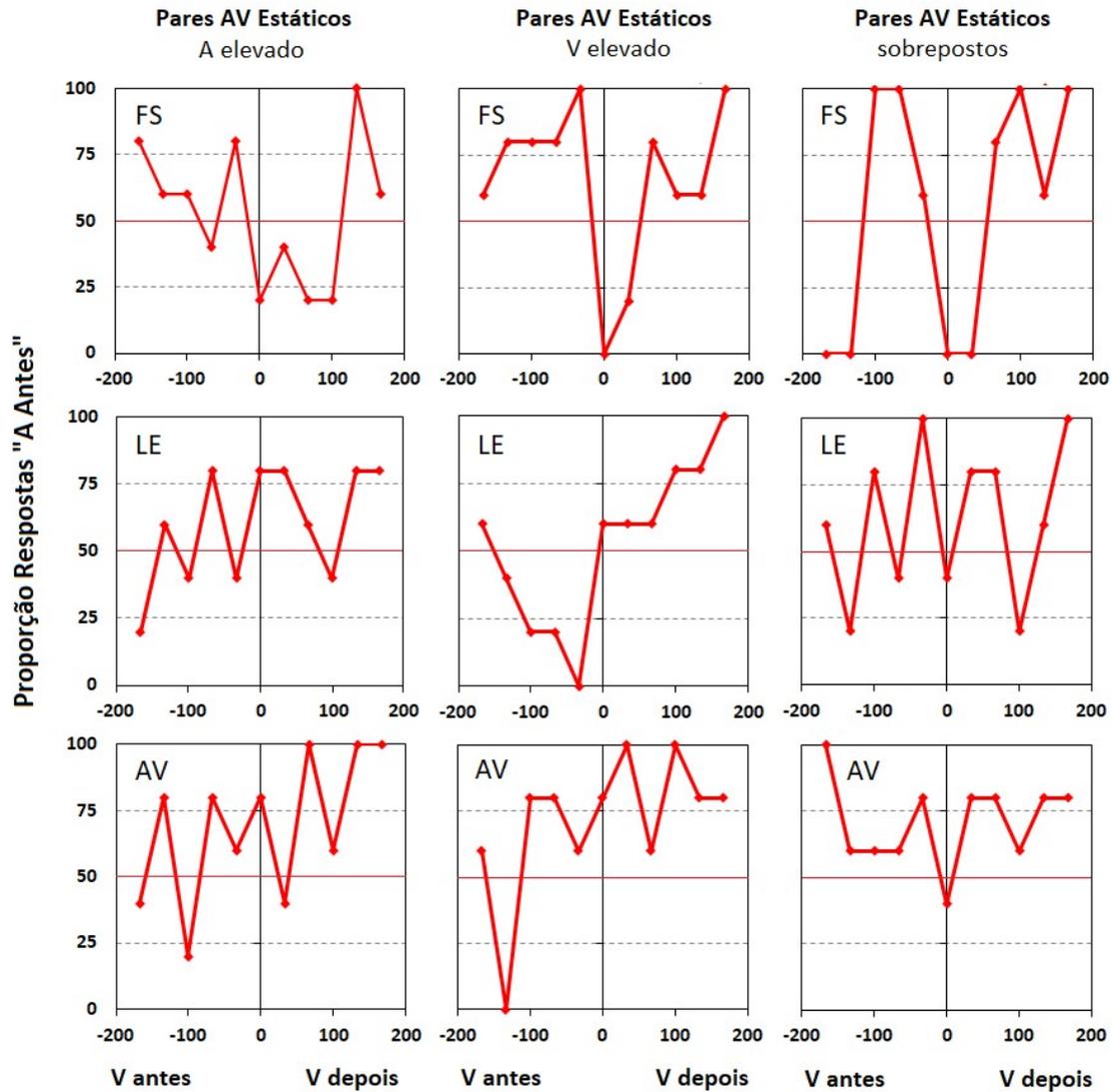


**Figura 25.** Curvas psicométricas (função logística: ver texto para fórmula) ajustadas aos dados das tarefas TOJ envolvendo pares de estímulos AV em movimento (coluna da esquerda) e estáticos (coluna da direita). As curvas exprimem a proporção de respostas “auditivo antes” (ordenada) em função das assincronias (abscissa) entre o *onset* do movimento dos estímulos (nos pares dinâmicos) e do *onset* da sua apresentação (nos pares estáticos). Valores de assincronia negativos referem-se a condições em que o estímulo visual (ou o início do movimento visual) precedeu o estímulo auditivo (ou o início do movimento auditivo), valores positivos a condições simétricas. As linhas a cinzento claro representam o melhor ajuste aos dados de cada participante. As linhas pretas mais espessas correspondem à função produzida a partir do valor médio dos parâmetros (PSS e JND) extraídos dos ajustes individuais. As linhas laranja projetam sobre a abscissa o ponto de interseção da curva com a proporção de 50% de respostas, indicando o valor do

PSS. De cima para baixo, em cada coluna, os gráficos representam, respetivamente, os resultados quando o estímulo A se encontrava acima do V, o V acima do A, ou ambos os estímulos eram apresentados no mesmo local (sobrepostos). Em cada gráfico, o “n” indica o número de participantes que contribuíram para o resultado (não excluídos).

Por outro lado, enquanto todos os participantes forneceram ajustes válidos nas tarefas DD ( $n = 15$ ), nas tarefas EE a taxa de exclusão de participantes foi próxima dos 50% (47% na tarefa com A elevado e 53% nas duas restantes). Este facto indica que a banda de assincronia utilizada foi demasiado estreita para possibilitar à maioria dos participantes um julgamento consistente da ordem dos estímulos, confirmando as indicações de JNDs superiores em julgamentos de ordem temporal auditivos e audiovisuais comparativamente a visuais. (Tiipana & Salmela, 2018, Zampini et al., 2003; Alais & Cass, 2010). Na **Figura 26** ilustram-se, a título de exemplo, os perfis de resposta fornecidos por três participantes excluídos em todas as tarefas EE (ver legenda da figura). A linha vermelha fina ao nível dos 50% indica, em cada gráfico, o resultado previsível no longo termo de uma atitude de resposta inteiramente ao acaso (sem enviesamentos: respostas consistentemente acima ou abaixo desta linha indicariam enviesamentos sistemáticos). Em diferentes graus, vários dos traçados empíricos podem descrever-se como variações em torno de uma tendência de resposta ao caso, manifestando a incapacidade dos participantes para discriminar os *onsets* dos estímulos.

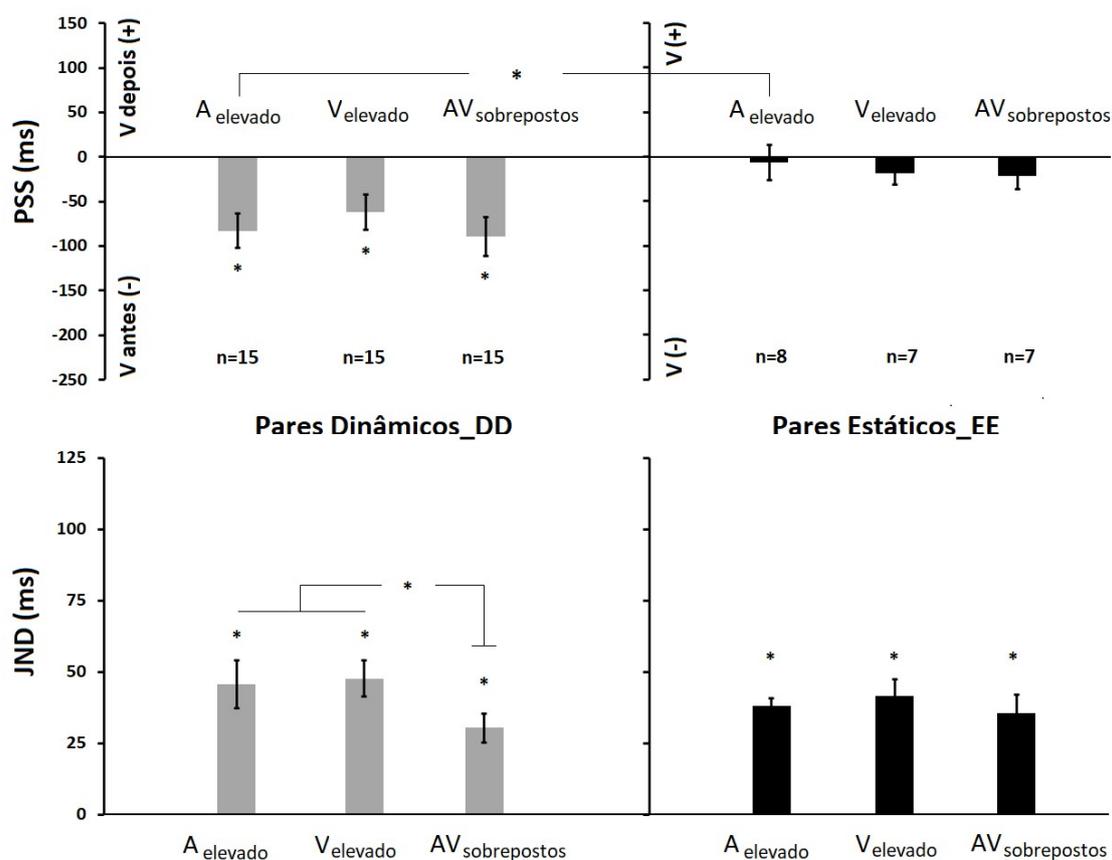
Embora não condicione os resultados fornecidos pelos participantes com ajustes válidos (vários deles com valores  $R^2 \geq 0.9$  e  $RMSE \approx 0$ ), a elevada taxa de exclusões nos pares EE constitui certamente um limite do estudo, quer do ponto de vista da perda de poder das comparações estatísticas quer, possivelmente, originando valores de PSS característicos de participantes com melhor resolução temporal AV. O critério de exclusão pelo  $R^2$  revelou-se, entretanto, mais exigente do que o critério baseado no RMSE. Todos os participantes excluídos em função do RMSE o foram também pelo  $R^2$ , mas alguns dos participantes admitidos pelo RMSE não satisfizeram o critério  $R^2 \geq 0.5$ .



**Figura 26.** Exemplos de dados excluídos nos pares AV estáticos, com amplitudes de assincronia compreendidas entre  $\pm 167$  ms. Os marcadores nas linhas vermelhas espessas correspondem a proporções de respostas “auditivo antes” fornecidas, em cada nível de assincronia, por um dado participante. A linha vermelha fina em cada gráfico identifica um padrão de respostas ao nível do acaso (valor constante de 50% em todas as assincronias). As três linhas de gráficos correspondem a três participantes identificado pelas iniciais respetivas (FS, LE, AV). Nenhum destes participantes (seleccionados entre outros possíveis) conseguiu realizar qualquer das tarefas com pares estáticos (da esquerda para a direita: A elevado, V elevado, A e V sobrepostos), tendendo para um perfil de respostas ao acaso.

Os valores médios de PSS (em cima) e JND (em baixo) obtidos nas diferentes tarefas são apresentados graficamente na **Figura 27** em milissegundos (ms), para os pares DD (à esquerda) e estáticos (à direita). Valores negativos de PSS indicam a necessidade de o estímulo visual preceder o auditivo (pares EE), ou de o estímulo visual iniciar o seu movimento antes do auditivo (pares DD), para dar lugar a uma percepção de simultaneidade. Em nenhuma das tarefas se observam PSS médios positivos, apontando assim, quer no caso dos estímulos dinâmicos quer dos estáticos, para uma vantagem temporal do estímulo auditivo. Esta vantagem apresenta-se

superior nas tarefas DD comparativamente às EE, atingindo o critério de significância estatística na apresentações desfasadas com o estímulo A elevado,  $t(7) = 3.552$ ,  $p = .009$  (teste  $t$  para amostras emparelhadas). Embora o mesmo não suceda nas outras condições de apresentação, todos os PSS das tarefas DD se distinguiram significativamente de zero (0),  $A_{\text{elevado}}$ :  $t(14) = 4.332$ ,  $p = .001$ ;  $V_{\text{elevado}}$ :  $t(14) = 3.111$ ,  $p = .008$ ;  $A$  e  $V_{\text{sobrepostos}}$ :  $t(14) = 4.059$ ,  $p = .001$ , em contraste com os resultados estatisticamente nulos observados nas tarefas EE – maior  $t$  registrado (na tarefa A e V sobrepostos):  $t(6) = 1.543$ ,  $p = .174$ .



**Figura 27.** Valores médios dos PSS (gráficos na linha superior) e JND (gráficos na linha inferior), expressos em ms (em ordenada), obtidos nas tarefas com pares de estímulos AV dinâmicos (gráficos à esquerda) e estáticos (gráficos à direita). As três barras verticais em cada gráfico (cinzentas para os pares dinâmicos, pretas para os pares estáticos) representam, da esquerda para a direita, as médias correspondentes às apresentações desfasadas com A elevado, desfasadas com V elevado, e com sobreposição dos estímulos. Asteriscos associados a uma barra indicam um valor significativamente distinto de zero (0). Asteriscos associados a diferenças entre barras indicam uma diferença significativa entre os valores respetivos. As barras de erro representam o EPM.

A vantagem temporal acrescida do estímulo auditivo nas tarefas DD (envolvendo o *onset* do movimento e não dos estímulos) é aparentemente contrária à evidência consistente de maiores latências na detecção do início de um movimento auditivo do que de um movimento visual (Arrighi et al., 2005a; Fairbank, 1969; Getzmann, 2009; Kreegipuu & Allik, 2007). Estas evidências provêm, contudo, essencialmente de estudos com tempos de reação (TR), não sendo do nosso conhecimento estudos anteriores sobre a ordem temporal percebida do início de um movimento auditivo e visual. A possibilidade de uma dissociação entre os dois tipos de medida não pode, por isso, ser excluída (Jaśkowski, 1999). Uma alternativa possível é a de que, apesar do *fade-in* de 5 ms que se destina a minimizá-los, alguns dos transientes associados à produção do movimento auditivo, e não a detecção do movimento em si, poderão determinar neste caso a percepção da ordem temporal. Os dados relativos aos TR na próxima secção, onde se comparam as latências de resposta ao *onset* do movimento de estímulos auditivos e visuais, podem contribuir para o esclarecimento destas alternativas. Na hipótese da ocorrência de transientes (artefactos acústicos), estes deverão igualmente produzir uma vantagem da resposta ao estímulo auditivo (menores TR); na hipótese de uma dissociação entre os dois tipos de medida (TOJ e RT), deverão, em conformidade com a evidência dominante na literatura, resultar em latências de resposta superiores ao estímulo auditivo (maiores TR).

O modo de apresentação dos pares de estímulos (A elevado, V elevado, estímulos sobrepostos) não tem um impacto apreciável nos PSS, apesar de uma tendência comum às tarefas DD e EE, para que o maior PSS ocorra na condição de sobreposição (apresentação dos dois estímulos no mesmo local). Do ponto de vista estatístico, apresentou um efeito nulo nas ANOVAs de medidas repetidas de uma via conduzidas separadamente para os pares DD,  $F(2,28) = 1.443$ ,  $p = .253$ ,  $\eta_p^2 = .093$ , e EE,  $F(2,8) = .594$ ,  $p = .575$ ,  $\eta_p^2 = .129$ .

Todos os valores de JND se distinguiram significativamente de zero, tanto nos pares DD,  $A_{\text{elevado}}: t(14) = 5.406$ ,  $p < .001$ ;  $V_{\text{elevado}}: t(14) = 7.521$ ,  $p < .001$ ; A e  $V_{\text{sobrepostos}}: t(14) = 5.859$ ,  $p < .001$ , como EE,  $A_{\text{elevado}}: t(7) = 13.766$ ,  $p < .001$ ;  $V_{\text{elevado}}: t(6) = 7.062$ ,  $p < .001$ ; A e  $V_{\text{sobrepostos}}: t(6) = 5.362$ ,  $p = .002$ . Uma tendência para maiores valores nas tarefas DD, comparativamente a EE, é perceptível nos gráficos, apontando para maiores janelas de integração temporal (JIT) no caso da informação de movimento (Arrighi et al., 2006; Roggerone et al., 2019). No entanto, esta tendência não deu lugar a diferenças estatisticamente significativas – uma MANOVA de medidas repetidas com tipo de tarefa (DD, EE) como fator e modo de apresentação ( $A_{\text{elevado}}$ ,  $V_{\text{elevado}}$ ,  $AV_{\text{sobrepostos}}$ ) como medidas distintas do efeito (múltiplas variáveis dependentes) produziu um Traço de Pillai não significativo,  $V = .730$ ,  $F(3,2) = 1.801$ ,  $p = .376$ .

Os valores de JND nas tarefas EE apresentam valores semelhantes através das diferentes condições de apresentação (estímulos desfasados ou sobrepostos, com A elevado ou V elevado). A análise estatística convergiu com esta indicação, revelando um efeito nulo do modo de apresentação,  $F(2,28) = 1.443$ ,  $p = .253$ ,  $\eta_p^2 = .093$  (ANOVA de medidas repetidas de uma via).

Nas tarefas DD, o JND dos pares sobrepostos ( $30 \pm 5$  ms) foi inferior ao dos pares desfasados (que apresentam valores próximos entre si:  $46 \pm 8$  ms e  $48 \pm 6$  ms, respetivamente para  $A_{\text{elevado}}$  e  $V_{\text{elevado}}$ ). Este resultado, perceptível no gráfico, foi suportado estatisticamente numa ANOVA de medidas repetidas por um contraste de diferença (Helmert reverso) entre o terceiro nível do fator modo de apresentação (pares sobrepostos) e a média dos dois níveis anteriores ( $A_{\text{elevado}}$  e  $V_{\text{elevado}}$ ),  $F(1,14) = 7.951$ ,  $p = .014$  (diferença assinalada por um asterisco no gráfico correspondente da **Figura 27**). Esta redução no JND (e, por conseguinte, também, na JIT) quando os estímulos são apresentados no mesmo local é contrária ao resultado reportado por Zampini et al. (2003) de menores JND, em julgamentos de ordem assentes na modalidade (“que modalidade surgiu primeiro?”), quando a apresentação dos estímulos envolve uma separação espacial. No entanto, as separações espaciais no estudo de Zampini et al. (2003) envolviam diferentes lados do ecrã e não um pequeno desfasamento vertical, limitando a comparabilidade com o resultado aqui observado.

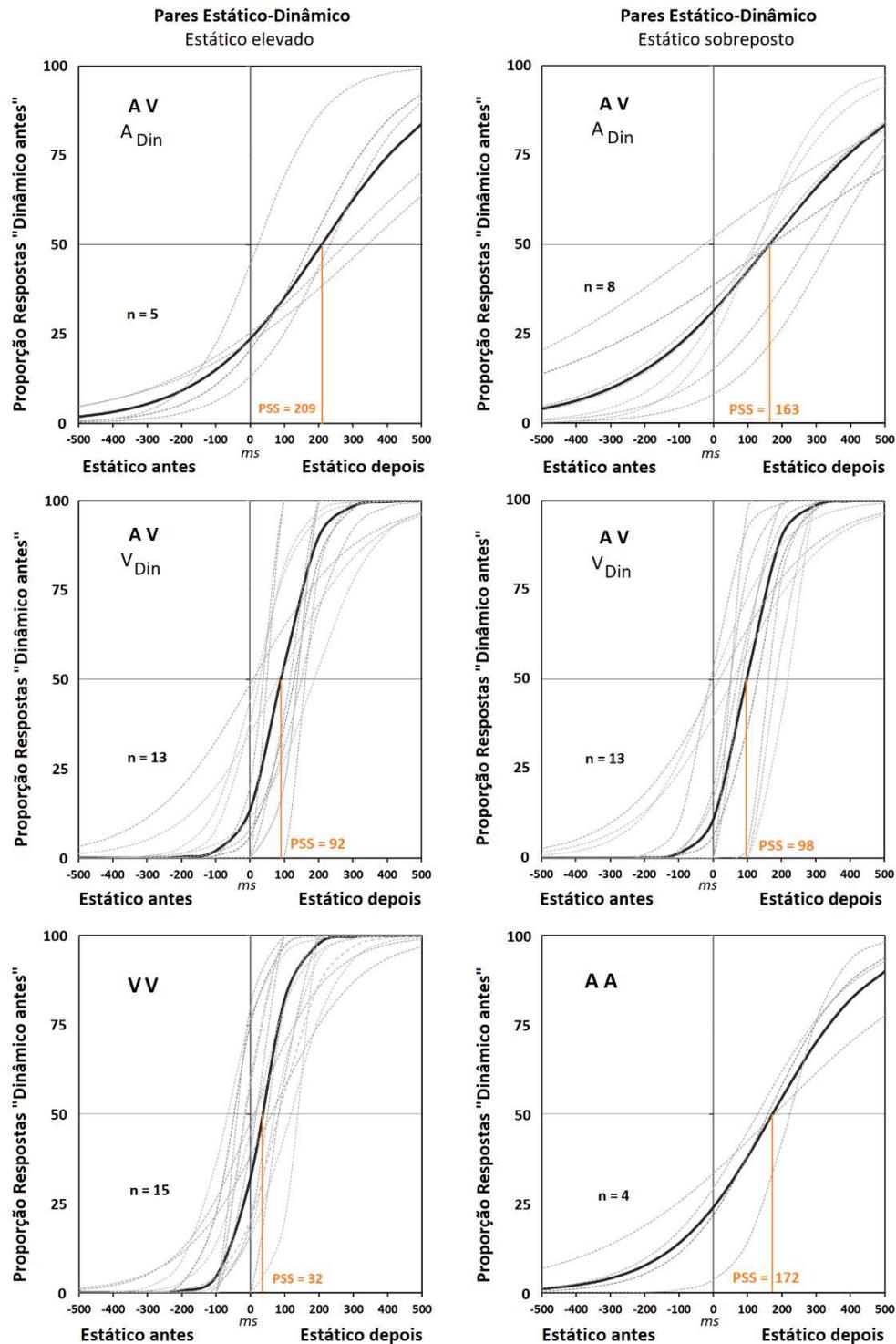
#### 5.1.2.2. Estímulos estáticos versus dinâmicos

Na **Figura 28** apresentam-se as curvas logísticas ajustadas aos dados de cada participante (linhas a cinzento claro) e a função obtida a partir dos PSS e JND médios extraídos dos ajustes individuais (linha preta espessa), nas tarefas envolvendo pares com um estímulo estático e um dinâmico (pares ED). As tarefas representadas na coluna da esquerda envolveram a apresentação verticalmente desfasada dos estímulos, com o estático em posição elevada (reproduzindo as condições do CIM no capítulo 4). As tarefas da direita envolveram a apresentação dos estímulos no mesmo local. De cima para baixo, os estímulos do par compreendiam, respetivamente, um estímulo A dinâmico (V estático), um estímulo V dinâmico (A estático) e dois estímulos, um dinâmico e um estático, na mesma modalidade (VV, à esquerda, e AA, à direita). Os julgamentos dos participantes incidiram sobre os *onsets* da apresentação dos estímulos estático e dinâmico. As proporções na ordenada referem-se à resposta “dinâmico antes”. Na abcissa, os valores de assincronia negativos indicam que o estímulo estático foi apresentado antes, valores positivos indicam que o estímulo dinâmico precedeu o estático. A linha a laranja corresponde à determinação gráfica do PSS, cujo valor é igualmente fornecido numericamente nos gráficos. Os valores de “n” indicados em cada gráfico referem-se ao número de participantes não excluídos.

Embora apresentem, como nos pares DD e EE, uma variação apreciável, as curvas individuais nos pares ED são direccionalmente mais consistentes, apresentando, com exceção dos pares VV, uma tendência praticamente comum a todos os participantes para valores de PSS positivos, i.e., indicando consistentemente uma vantagem temporal do estímulo estático (que deve

ser apresentado depois para suportar uma impressão perceptiva de simultaneidade). As maiores taxas de exclusão de participantes verificam-se agora nas tarefas com estímulos auditivos dinâmicos ( $\approx 67\%$  na tarefa AV com A dinâmico e apresentação desfasada;  $\approx 53\%$  na tarefa AV com A dinâmico e apresentação sobreposta;  $\approx 73\%$  na tarefa AA). Combinado com o facto de que os maiores valores de PSS e os menores declives das curvas (indicando menor precisão temporal) se observam também nestas três tarefas, os resultados estabelecem convincentemente uma dificuldade particular na produção de julgamentos temporais envolvendo o *onset* de estímulos auditivos dinâmicos. Uma razão plausível são as maiores janelas de integração temporal associadas à deteção de movimento auditivo (Carlile & Leung, 2016; Getzmann, 2008, 2011; Roggerone et al., 2019).

Estes resultados só aparentemente são contrários aos observados nos pares DD, onde os estímulos dinâmicos auditivos beneficiaram de uma vantagem temporal relativamente aos dinâmicos visuais. Com efeito, nas tarefas DD, os julgamentos incidiram sobre o *onset* dos movimentos (encontrando-se já os estímulos apresentados estaticamente), não sobre o *onset* da apresentação. Como ilustrado em Getzmann (2008), convergindo com as previsões de um modelo modular do processamento de movimento auditivo (Ducommun et al., 2002) a apresentação estática inicial de um estímulo auditivo acelera significativamente os TR ao *onset* do seu movimento (dependente também da velocidade). Este fato assinala que os resultados obtidos com julgamentos sobre o *onset* da apresentação não são generalizáveis ao CC ou ao CTM onde, no momento da apresentação do marcador, existe informação prévia relativa ao estímulo em movimento. Mais geralmente, contribuiu para sublinhar a insuficiência de indicações genéricas (sem referência a tarefas específicas) quanto às relações temporais ente modalidades.



**Figura 28.** Funções sigmóides ajustadas aos dados das tarefas TOJ envolvendo pares de estímulos estáticos e dinâmicos, com o estático localizado acima (coluna da esquerda) ou sobreposto ao dinâmico (coluna da direita). As curvas exprimem a proporção de respostas “dinâmico antes” (ordenada) em função das assincronias (abscissa) entre o *onset* dos estímulos em cada par. Valores de assincronia negativos referem-se a condições em que o estímulo estático precede o dinâmico, valores positivos a condições simétricas. As linhas a cinzento claro representam o melhor ajuste aos dados obtido para cada participante. As linhas pretas mais espessas representam a função produzida a partir do valor médio dos parâmetros (PSS e JND) extraídos dos ajustes individuais. As linhas laranja projetam sobre a abscissa no ponto de interseção da curva com a proporção de 50% das respostas, indicando o valor do PSS. De cima para baixo,

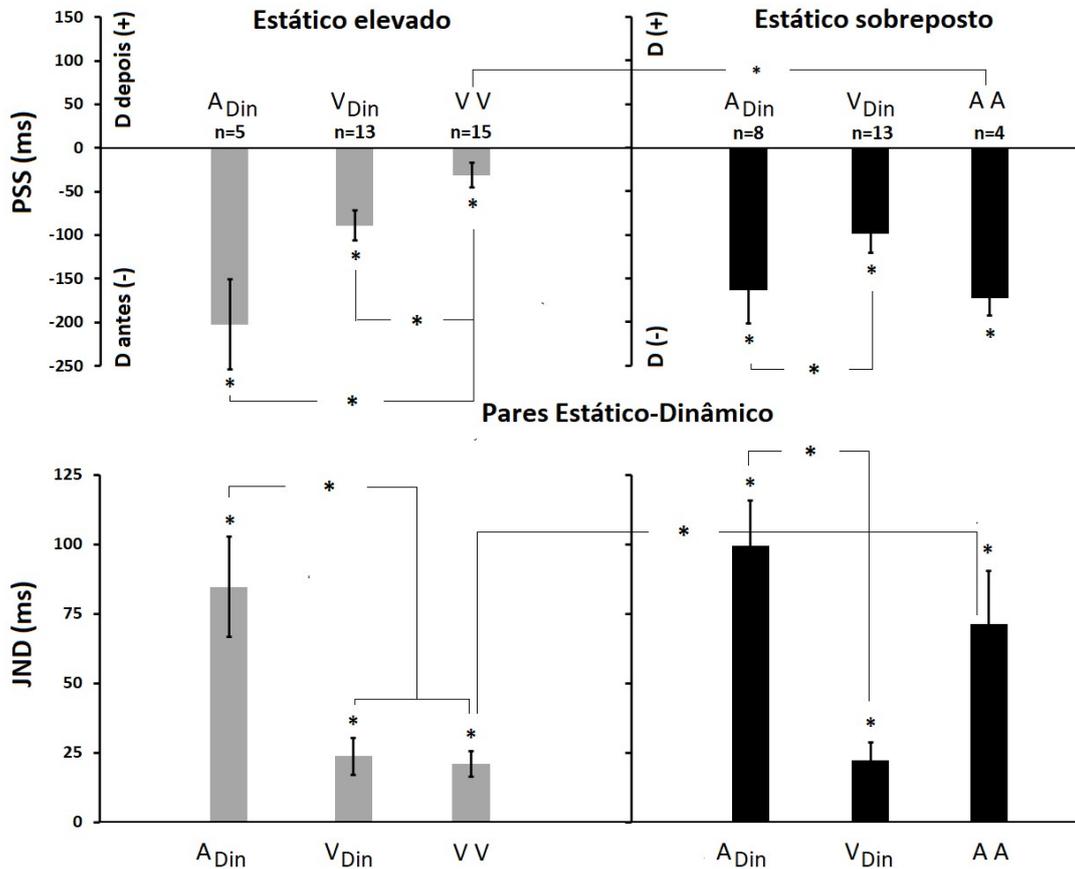
os gráficos representam, respetivamente, tarefas onde o estímulo em movimento é auditivo, visual, ou ambos os estímulos se encontram na mesma modalidade. O valor de “n” em cada gráfico especifica o número de participantes não excluídos.

Na **Figura 29** estão representados graficamente os PSS (em cima) e JND (em baixo) médios obtidos nas diferentes tarefas ED, com os pares desfasados (estático elevado) à esquerda e sobrepostos à direita. Valores negativos de PSS indicam a necessidade de o estímulo dinâmico preceder o estático para ser percebido como síncrono. Todos os valores são negativos e estatisticamente diferentes de zero, tanto nos pares desfasados,  $A_{\text{din}}$ :  $t(4) = 3.847, p = .018$ ;  $V_{\text{din}}$ :  $t(12) = 5.123, p < .001$ ;  $VV$ :  $t(14) = 2.215, p = .044$ , como sobrepostos,  $A_{\text{din}}$ :  $t(7) = 4.174, p = .004$ ;  $V_{\text{din}}$ :  $t(12) = 4.675, p = .001$ ;  $AA$ :  $t(3) = 8.864, p = .003$ , suportando assim a maior rapidez temporal de processamento dos estímulos estáticos (embora o  $p$  corrigido pelo procedimento de Bonferroni determine a exclusão de dois dos resultados, convém notar que, tratando-se de comparações unidireccionais relativamente a 0, a utilização de valores de  $p$  unilaterais poderia legitimamente adotar-se. Nessa eventualidade, apenas o valor associado à tarefa  $VV$  se situa aquém da significância corrigida, indicando estatisticamente uma ausência de diferenças na latência de estímulos visuais estáticos e em movimento).

Nos pares desfasados, a comparação do PSS médio em  $VV$  ( $32 \pm 14$  ms) com o da tarefa  $V_{\text{din}}$  ( $92 \pm 14$  ms) permite apreciar o efeito da substituição do estímulo estático  $V$  por um  $A$ . A acentuação do PSS negativo indica que o estímulo  $A$  incrementa a vantagem temporal do estímulo estático relativamente ao dinâmico  $V$  (que deve ser apresentado ainda mais cedo para parecer simultâneo). Este resultado é consistente com a menor latência dos estímulos  $A$  relativamente aos  $V$  documentada nos pares  $EE$  e implicaria, no caso de EFL audiovisuais com marcador  $A$  e movimento  $V$  (assumindo a hipótese da latência diferencial), uma redução da magnitude do EFL (na realidade, a ocorrência de *flash-lead*) no CIM. Por sua vez, a comparação do PSS em  $VV$  com o da tarefa  $A_{\text{din}}$  ( $209 \pm 54$  ms) permite avaliar o efeito da substituição do estímulo dinâmico  $V$  por um  $A$ . Mais ainda do que no primeiro caso, a acentuação marcada do PSS negativo assinala uma vantagem temporal aumentada do estímulo estático, indicando a necessidade de apresentar o  $A$  dinâmico mais cedo ainda (relativamente a um  $V$  estático) do que o  $V$  dinâmico. Este resultado não corresponde à evidência recolhida com os pares  $DD$ , por razões já discutidas (nos pares  $DD$  trata-se do *onset* do movimento, não do *onset* da apresentação), implicando, no caso de EFL audiovisuais com marcador  $V$  e movimento  $A$  (assumindo, de novo a hipótese das latências) a ocorrência de um *flash-lead* acentuado no CIM.

Estatisticamente, o fator tarefa ( $A_{\text{din}}$ ,  $V_{\text{din}}$ ,  $VV$ ) revelou, nos pares desfasados, um efeito estatisticamente significativo numa ANOVA de medidas repetidas de uma via,  $F(2,8) = 8.510, p = .01, \eta_p^2 = .680$ , associado a um contraste linear significativo,  $F(1,4) = 9.644, p = .036, \eta_p^2 = .707$ , que assinala o aumento linear do PSS entre  $VV$  e  $A_{\text{din}}$ . Adicionalmente, um contraste

simples, com VV como categoria de referência, revelou diferenças significativas tanto relativamente a  $A_{din}$ ,  $F(1,4) = 9.644$ ,  $p = .036$ , como a  $V_{din}$ ,  $F(1,4) = 7.878$ ,  $p = .048$ .



**Figura 29.** Valores médios dos PSS (gráficos na linha superior) e JND (gráficos na linha inferior), expressos em ms (em ordenada), obtidos nas tarefas com pares de estímulos estáticos e dinâmicos, com o estático localizado acima (coluna da esquerda) ou sobreposto ao dinâmico (coluna da direita). As três barras verticais em cada gráfico (cinzentas para os pares desfasados, pretas para os pares sobrepostos) representam, da esquerda para a direita, as médias correspondentes a pares com A dinâmico (V estático), V dinâmico (A estático), e unimodais (estímulos estático e dinâmico na mesma modalidade). Barras com asterisco correspondem a valores significativamente distintos de zero (0). Asteriscos associados a diferenças entre barras assinalam uma diferença significativa entre os valores respetivos. As barras de erro representam o EPM.

Nos pares sobrepostos, um exercício equivalente pode realizar-se utilizando o PSS da tarefa AA ( $172 \pm 19$  ms) como referência. A substituição do estímulo dinâmico A por um V (tarefa  $V_{din}$ ) reduz o valor do PSS negativo ( $98 \pm 21$  ms), indicando uma diminuição da vantagem temporal do estímulo A estático quando emparelhado com um V dinâmico. Este resultado é de novo consistente com menores latências dos estímulos V dinâmicos relativamente aos A dinâmicos. Por sua vez, a substituição do estímulo A estático por um V estático (tarefa  $A_{din}$ ) resulta num valor

de PSS ( $163 \pm 31$  ms) muito semelhante, indicando que a alteração da modalidade do estímulo estático não afeta a magnitude do PSS quando o estímulo dinâmico é auditivo. Estatisticamente, o fator tarefa ( $A_{\text{din}}$ ,  $V_{\text{din}}$ , VV) não produziu, nos pares sobrepostos, um efeito significativo,  $F(2,4) = 2.740$ ,  $p = .178$ ,  $\eta_p^2 = .578$ . Entretanto, um teste  $t$  para amostras emparelhadas entre  $A_{\text{din}}$  e  $V_{\text{din}}$  (permitindo escapar à limitação ao  $n = 4$  imposto pelo procedimento de eliminação por lista na ANOVA) revelou uma diferença significativa entre os PSS respectivos,  $t(6) = 2.791$ ,  $p = .032$ .

Os PSS não diferiram entre os pares desfasados e sobrepostos nas tarefas  $A_{\text{din}}$  e  $V_{\text{din}}$ . Uma MANOVA de medidas repetidas com tipo de pares (desfasados, sobrepostos) como fator e a modalidade do estímulo dinâmico ( $A_{\text{din}}$ ,  $V_{\text{din}}$ ) como medidas do efeito, resultou um Traço de Pillai não significativo,  $V = .875$   $F(2,1) = .353$ . A diferença entre VV e AA revelou-se significativa,  $t(3) = 3.686$ ,  $p = .035$ . O reduzido número de participantes (4) incluídos nas condições AA não permitiu a apreciação de eventuais diferenças devidas à diferença entre os tons estáticos (400 Hz e 2600 Hz, representadas cada uma por apenas 2 participantes).

Tal nas tarefas DD e EE, todos os valores de JND se distinguiram significativamente de zero nos pares desfasados,  $A_{\text{din}}$ :  $t(4) = 4.691$ ,  $p = .009$ ;  $V_{\text{din}}$ :  $t(12) = 3.620$ ,  $p = .004$ ; VV:  $t(14) = 4.478$ ,  $p = .001$ , como sobrepostos,  $A_{\text{din}}$ :  $t(7) = 6.035$ ,  $p = .001$ ;  $V_{\text{din}}$ :  $t(12) = 3.379$ ,  $p = .005$ ; AA:  $t(3) = 3.726$ ,  $p = .034$ . O traço comum aos JND nos dois tipos de pares, já assinalado no comentário ao declive das curvas nos gráficos da **Figura 28** é a diferença de magnitudes entre as tarefas envolvendo um estímulo A dinâmico, com os maiores valores de JND, e as tarefas envolvendo um estímulo V dinâmico, com os menores valores de JND. Nos pares desfasados, um contraste de Helmert significativo entre a tarefa  $A_{\text{din}}$  e as duas tarefas  $V_{\text{din}}$  e VV,  $F(1,4) = 16.298$ ,  $p = .036$ ,  $\eta_p^2 = .707$ , suportou um efeito significativo da modalidade do estímulo dinâmico no JND. Nos pares sobrepostos, um contraste quadrático significativo refletiu a redução dos valores de JND no nível central ( $V_{\text{din}}$ ) do fator tarefa,  $F(1,2) = 19.778$ ,  $p = .047$ ,  $\eta_p^2 = .908$ . A diferença entre  $A_{\text{din}}$  e  $V_{\text{din}}$  mostrou-se também significativa ( $p = .024$ ) nas comparações aos pares subsequentes ao estabelecimento de um efeito principal do fator na ANOVA,  $F(2,4) = 14.404$ ,  $p = .015$ ,  $\eta_p^2 = .878$ . Quanto às comparações entre tarefas desfasadas e sobrepostas, apenas as tarefas VV e AA diferiram entre si,  $t(3) = 3.342$ ,  $p = .044$ . Os resultados relativos aos JND apontam assim fundamentalmente para uma resolução temporal inferior e, conseqüentemente, janelas de integração temporal ( $\text{PSS} \pm \text{JND}$ ) superiores na deteção do *onset* de estímulos dinâmicos auditivos comparativamente a visuais.

### 5.1.2.3. Implicações para os $EFL_D$ assumindo a hipótese da latência diferencial

Nesta subsecção os resultados obtidos nas tarefas TOJ são confrontados com os valores de  $EFL_D$  registados nas experiências do Capítulo 4, assumindo a hipótese da latência diferencial (e algumas das convenções operacionais associadas) como base para a conversão de diferenças temporais em diferenças espaciais. Na medida em que envolveram unicamente julgamentos de ordem temporal no *onset*, as inferências baseadas nos TOJ são apenas comparadas com os perfis de  $EFL_D$  observados no CIM. Adicionalmente, uma vez que não foram utilizadas nas tarefas TOJ estímulos individuais AV (simultaneamente auditivos e visuais), as tarefas EFL com marcadores ou movimento AV encontram-se excluídas da comparação. Os pares ED (estático-dinâmico) desfasados (estático em posição superior), sendo os mais diretamente comparáveis com o arranjo estimular das experiências do Capítulo 4, fornecem o ponto de partida para as inferências. No entanto, dada a ausência de efeito do fator apresentação (desfasada versus sobreposta) e a replicação essencial dos resultados nos pares audiovisuais sobrepostos (ver ponto 5.1.2.2. as mesmas inferências são igualmente suportadas pelos pares ED sobrepostos.

A **Tabela 2** confronta, para as tarefas  $V_{MC}-A_{MOV}$ ,  $A_{MC}-V_{MOV}$  e  $V_{MC}-V_{MOV}$  do capítulo 4, a direção e magnitude do  $EFL_D$  (assumido como um indicador de EFL) implicada pelos valores médios de PSS registado nos TOJ (respetivamente, pares ED desfasados  $A_{din}$ ,  $V_{din}$  e  $VV$ ). Em linha com um procedimento padrão no quadro dos modelos de latência (e, mais geralmente, na própria quantificação do EFL: ver Kreegipuu & Allik, 2003), as diferenças de latência (PSS, em ms) foram convertidas em diferenças espaciais (em  $px$ ) através da multiplicação pela velocidade do movimento ( $\approx 381 \text{ px s}^{-1}$ ). A tabela especifica, na coluna da esquerda (tarefa e TOJ) o valor do PSS, correspondendo em todos os casos a um “atraso temporal perceptivo” do estímulo dinâmico relativamente ao estático. A coluna central apresenta graficamente a direção e magnitude do  $EFL_D$  implicado por este atraso (na hipótese de ser fundamentalmente determinado por esta latência diferencial), com as distâncias espaciais em abcissa (em  $px$ ), para cada uma das tarefas. A coluna da direita apresenta, num eixo de abcissas idêntico, a direção e magnitude do  $EFL_D$  observado. Os valores espaciais implicados foram calculados numa base individual (a partir do PSS de cada participante), tornando possível uma medida da dispersão prevista em  $px$  (expressa pelas barras de erro, correspondentes ao EPM).

**Tabela 2.** Inferências a partir dos resultados dos TOJ (PSS) para a direção e magnitude dos EFL<sub>D</sub> no CIM, num quadro em que estes exprimiriam fundamentalmente latências diferenciais de processamento.

Tarefa e TOJ	EFL <sub>D</sub> Implicado	EFL <sub>D</sub> Observado
<ul style="list-style-type: none"> <li>• V<sub>MC</sub>-A<sub>MOV</sub></li> <li>• A<sub>D</sub> percebido com um atraso de 209 ms</li> </ul>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• A<sub>MC</sub>-V<sub>MOV</sub></li> <li>• V<sub>D</sub> percebido com um atraso de 92 ms</li> </ul>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• V<sub>MC</sub>-V<sub>MOV</sub></li> <li>• V<sub>D</sub> percebido com um atraso de 32 ms</li> </ul>		

Na tarefa V<sub>MC</sub>-A<sub>MOV</sub>, com marcador visual e movimento auditivo, observa-se um bom acordo tanto qualitativo (direção do efeito, correspondendo a uma “liderança do marcador”) como quantitativo (uma diferença de apenas 10 px) entre os EFL<sub>D</sub> implicado e observado. Convergindo com esta indicação, os valores previstos e observados não diferiram significativamente entre si,  $t(18) = 0.1722, p = .865$  (embora o reduzido n, em particular na tarefa TOJ, possa ter determinado este resultado nulo). Na tarefa A<sub>MC</sub>-V<sub>MOV</sub>, com marcador auditivo e movimento visual, as direções prevista e observada do EFL<sub>D</sub> são discordantes, sendo essa discordância acentuada pela considerável magnitude do EFL<sub>D</sub> observado na direção oposta (+ 137 px). A diferença entre os valores inferidos e observados foi neste caso significativa,  $t(25) = 3.772, p = .001$ . Finalmente, na tarefa V<sub>MC</sub>-V<sub>MOV</sub>, regista-se igualmente uma discordância na direção dos efeitos previsto e observado. Apesar de reduzida (-12 px), a magnitude do EFL<sub>D</sub> implicado diferiu significativamente de zero,  $t(14) = 2.215, p = .044$ , bem como do EFL<sub>D</sub> observado (de sinal oposto),  $t(28) = 2.051, p = .049$ . No conjunto, os resultados (limitados ao CIM) apontam assim preferencialmente no sentido de um desacordo entre as implicações das latências perceptivas (estimadas pelo PSS) e o perfil observado dos EFL<sub>D</sub>. Esta indicação encontra-se limitada pela natureza entre-sujeitos das comparações entre os dois conjuntos de dados. Tendo em conta a existência de uma variabilidade interindividual importante quer nos EFL<sub>D</sub> (ver resultados do CAPÍTULO 4 ) quer nos TOJ, não é possível excluir que este desacordo exprima sobretudo uma heterogeneidade entre os dois grupos de participantes.

A variabilidade dos resultados, indexada pelas barras de erro, é perceptivelmente menor nos EFL<sub>D</sub> previstos, particularmente nas tarefas A<sub>MC</sub>-V<sub>MOV</sub> e V<sub>MC</sub>-V<sub>MOV</sub>. De novo, esta diferença poderá resultar da heterogeneidade entre grupos. É possível, também, que a redução do “n” nas tarefas TOJ, por exclusão de participantes, reduza a variabilidade dos resultados e, por conseguinte, dos EFL<sub>D</sub> previstos. Esta possibilidade, contudo, valeria sobretudo no caso da tarefa V<sub>MC</sub>-A<sub>MOV</sub> (onde a diferença de variância entre resultados previstos e observados é na realidade a menor), e não nas restantes tarefas, onde os “n” são praticamente os mesmos (13 previstos versus 14 observados, em A<sub>MC</sub>-V<sub>MOV</sub>, 15 previstos e 15 observados na tarefa V<sub>MC</sub>-V<sub>MOV</sub>). O teste de Levene para a igualdade da variância revelou uma diferença significativa entre as variâncias dos EFL<sub>D</sub> inferidos ( $\sigma^2 = 604,751$ ) e observados ( $\sigma^2 = 29429,061$ ) na tarefa A<sub>MC</sub>-V<sub>MOV</sub>,  $F(1,25) = 22.435$ ,  $p < .001$ . Embora a título de hipótese provisória, a menor variância dos valores previstos poderá, finalmente, constituir um indicador adicional da incapacidade das variações de latência para explicar a variância dos EFL<sub>D</sub> (algo que um estudo intra-sujeitos e com um efetivo amostral reforçado poderia futuramente suportar).

Os JND estimados, e a noção associada de janela de integração temporal (JIT: ver ponto 5.1.1.4.) podem também servir de base a previsões. Como notam Arrighi et al. (2005a), a noção de latência perceptiva abarca não apenas as latências de transdução sensorial e transmissão neural, mas igualmente os tempos da integração temporal e computação da informação. Enquanto indicador de resolução temporal, o JND pode neste sentido fornecer indicações distintas do PSS e refletir outros fatores modulatórios (Hao et al., 2016). A noção de integração temporal, por sua vez, envolve não apenas implicações quanto a latências (tempos de integração mais longos acarretam maiores latências) mas igualmente, designadamente no caso da informação de movimento, implicações quanto à integração de informação posicional durante esse intervalo. Várias alternativas explicativas à hipótese clássica da latência (assente na ideia de um processamento mais rápido de estímulos em movimento comparativamente a estáticos: Whitney et al., 2000) dependem das janelas de integração temporal, associando-lhes formas de amostragem (Brenner & Smeets, 2000) e/ou agregação (Eagleman & Sejnowski, 2000c; Krekelberg & Lappe, 2000b), de informação posicional.

As estimativas quanto às JIT (baseadas nos JND) podem assim suportar dois tipos de inferências qualitativas quanto aos EFL<sub>D</sub>: (i) baseadas na hipótese clássica das latências – maiores JIT (JND) originam maiores latências que, se associadas a um estímulo em movimento (diminuindo a vantagem temporal pressuposta relativamente ao estático) deverão reduzir o EFL (e no limite, invertê-lo); (ii) baseadas na ideia de integração de sinais posicionais no interior da janela temporal – maiores JIT no caso de um estímulo em movimento, integram maior número de posições para diante, devendo produzir um aumento do EFL (ver, para uma utilização deste racional, Arrighi et al., 2005a).

A indicação fundamental recolhida dos TOJ com os pares estático-dinâmico foi a de JITs significativamente mais longas na deteção do *onset* de estímulos dinâmicos auditivos comparativamente a visuais. Estes resultados convergem com os de Arrighi et al. (2005a) que, utilizando uma forma diversa de estimar os tempos de integração, concluíram por janelas significativamente superiores associadas ao movimento auditivo. Nos nossos resultados, os JND relativos a condições com movimento visual não diferiram, por sua vez, em função da modalidade (A ou V) do estímulo estático (diferentemente, Arrighi et al, 2005a reportaram, em condições com movimento visual, maiores tempos de integração quando o estímulo estático era auditivo). As implicações baseadas na hipótese clássica da latência são assim – face ao incremento de latência do estímulo dinâmico auditivo – que o  $EFL_D$  deve ser inferior na tarefa  $V_{MC}-A_{MOV}$  ao observado nas outras duas tarefas (ambas com um estímulo dinâmico visual) e aproximadamente equivalente nas tarefas  $V_{MC}-V_{MOV}$  e  $A_{MC}-V_{MOV}$  (a ausência de diferenças entre JNDs registada nos pares EE apoia também, indiretamente, esta equivalência). Nas hipóteses envolvendo amostragem e integração posicional durante esse intervalo, a implicação é simétrica, levando a esperar um  $EFL_D$  superior na tarefa  $V_{MC}-A_{MOV}$  e semelhante nas duas tarefas restantes.

A **Tabela 3** compara a ordenação dos  $EFL_D$  observados no CIM com as diferentes ordenações inferidas a partir dos JND, por um lado, e dos tempos de integração reportados em Arrighi et al. (2005a), por outro, com base na hipótese clássica da latência (secção superior da tabela) e na hipótese de integração de informação posicional durante um intervalo (secção inferior). A linha suplementar, a amarelo, informa adicionalmente sobre as ordenações observadas no CC.

**Tabela 3.** Inferências quanto à ordenação dos EFL<sub>D</sub> a partir dos JND (JIT) calculados e das estimativas de tempos de integração reportados por Arrighi et al. (2005a). As células destacadas a cinzento assinalam discordâncias entre ordenações previstas e entre ordenações previstas e as ordenações observadas no CIM. A linha suplementar, destacada a amarelo, apresenta as ordenações observadas no CC.

<i>Hipótese Clássica da Latência - Ordenação Inferida</i>			
<i>JND (JIT)</i>	$V_{MC-A_{MOV}} < V_{MC-V_{MOV}}$	$V_{MC-A_{MOV}} < A_{MC-V_{MOV}}$	$V_{MC-V_{MOV}} \approx A_{MC-V_{MOV}}$
Arrighi et al (2005a).	$V_{MC-A_{MOV}} < V_{MC-V_{MOV}}$	$V_{MC-A_{MOV}} < A_{MC-V_{MOV}}$	$V_{MC-V_{MOV}} > A_{MC-V_{MOV}}$
<i>Observado CIM</i>	$V_{MC-A_{MOV}} < V_{MC-V_{MOV}}$	$V_{MC-A_{MOV}} < A_{MC-V_{MOV}}$	$V_{MC-V_{MOV}} < A_{MC-V_{MOV}}$
<i>Integração Posicional durante <math>\Delta t</math> - Ordenação Inferida</i>			
<i>JND (JIT)</i>	$V_{MC-A_{MOV}} > V_{MC-V_{MOV}}$	$V_{MC-A_{MOV}} > A_{MC-V_{MOV}}$	$V_{MC-V_{MOV}} \approx A_{MC-V_{MOV}}$
Arrighi et al (2005a).	$V_{MC-A_{MOV}} > V_{MC-V_{MOV}}$	$V_{MC-A_{MOV}} > A_{MC-V_{MOV}}$	$V_{MC-V_{MOV}} < A_{MC-V_{MOV}}$
<i>Observado CIM</i>	$V_{MC-A_{MOV}} < V_{MC-V_{MOV}}$	$V_{MC-A_{MOV}} < A_{MC-V_{MOV}}$	$V_{MC-V_{MOV}} < A_{MC-V_{MOV}}$
<i>CC</i>	$V_{MC-A_{MOV}} > V_{MC-V_{MOV}}$	$V_{MC-A_{MOV}} > A_{MC-V_{MOV}}$	$V_{MC-V_{MOV}} \approx A_{MC-V_{MOV}}$

Na hipótese clássica de latência, as ordenações previstas a partir dos JND (JIT) e dos tempos estimados por Arrighi et al. (2005a) são concordantes exceto quanto à ordenação das tarefas  $V_{MC-V_{MOV}}$  e  $A_{MC-V_{MOV}}$ : com efeito, em função dos valores de JND semelhantes obtidos nestas duas tarefas, o EFL<sub>D</sub> é antecipado como semelhante ( $\approx$ ), enquanto os tempos de integração estimados por Arrighi antecipam um EFL<sub>D</sub> superior ( $>$ ) em  $V_{MC-V_{MOV}}$ . A ordenação dos EFL<sub>D</sub> observada no CIM, por sua vez, é também concordantes com os dois tipos de previsão exceto quanto às tarefas  $V_{MC-V_{MOV}}$  e  $A_{MC-V_{MOV}}$ , onde diverge de ambas ( $\approx$  ou  $>$ ), revelando um EFL<sub>D</sub> inferior ( $<$ ) em  $V_{MC-V_{MOV}}$  (as três células envolvidas nestas discordâncias entre as previsões, por um lado, e

entre as previsões e o observado, por outro, estão destacadas a cinzento na parte superior direita da **Tabela 3**.

Na hipótese da integração posicional, a mesma discordância entre previsões (JND e tempos de integração estimados por Arrighi) mantém-se quanto à ordenação das tarefas  $V_{MC}-V_{MOV}$  e  $A_{MC}-V_{MOV}$ . No entanto, as estimações de Arrighi (2005a) apontam agora para um  $EFL_D$  inferior ( $<$ ) em  $V_{MC}-V_{MOV}$  e, nos restantes pares de tarefas, as duas previsões prevêem agora um  $EFL_D$  superior ( $>$ ) na tarefa  $V_{MC}-A_{MOV}$  (com movimento auditivo). Por sua vez, os  $EFL_D$  observados (no CIM) divergem agora das previsões baseadas nos JND (JIT) em todos os pares de tarefas e, em dois dos pares, das previsões baseadas nas estimativas de Arrighi e colaboradores (as células relevantes para a apreciação das discordâncias encontram-se destacadas a cinzento, na secção inferior da **Tabela 3**).

Diferentemente de Arrighi et al. (2005a), que encontraram no seu estudo resultados irreconciliáveis com a hipótese clássica da latência e largamente favoráveis (embora não completamente) ao cenário da integração posicional, as comparações aqui realizadas (no contexto do CIM) favoreceram assim mais a hipótese da latência do que da integração posicional – apontando contudo (nos limites já assinalados às comparações entre-sujeitos e com efetivos amostrais reduzidos) para a inconsistência de ambas as hipóteses com a ordenação empírica dos  $EFL_D$ .

Na medida em que as estimações de Arrighi e colaboradores não estiveram limitadas ao *onset* do movimento (CIM) é possível examinar igualmente o seu grau de acordo com a ordenação observada dos  $EFL_D$  no CC, indicada na linha suplementar da tabela (a amarelo). Contrariando os resultados registados no CIM, as inferências baseadas na hipótese de integração posicional apresentaram agora um melhor acordo com as ordenações observadas (divergindo apenas no par de tarefas  $V_{MC}-V_{MOV}$  e  $A_{MC}-V_{MOV}$ : ver **Tabela 3**) do que as inferências baseadas na hipótese da latência (que divergiram do observado em todos os pares). Curiosamente, as previsões deriváveis dos JND (obtidos, no entanto, em julgamentos relativos ao *onset* dos estímulos e, por isso, com implicações em princípio limitadas ao CIM) num cenário de integração posicional corresponderam às ordenações observadas em todos os pares de tarefas no CC. A explicação para este resultado inesperado (com uma probabilidade de se dever ao acaso de  $12,5\% = \frac{1}{2^3} \times 100$ ) não é clara, contribuindo sobretudo para reforçar as indicações de inconsistência entre previsões deriváveis de medidas de latência em tarefas TOJ (PSS e JND-JIT) e a direção e magnitude observada dos  $EFL_D$ .

## 5.2. Tempos de Reação: TR

### 5.2.1. Método

#### 5.2.1.1. Participantes

Participaram nesta tarefa 10 estudantes de graduação da Faculdade de Psicologia e Ciências da Educação da Universidade de Coimbra (7F, 3M), com idades compreendidas entre os 18 e os 21 anos ( $M = 19,1$ ,  $DP = 0,87$ ). Nenhum dos participantes esteve envolvido em qualquer das tarefas anteriores. Estes participantes foram selecionados a partir de um conjunto inicial de 20 sujeitos que realizaram uma tarefa piloto de discriminação acelerada (com pressão temporal: TRs  $> 1000$  ms eram seguidos pela mensagem de que a resposta fora demasiado lenta) entre o início (*onset*) do movimento de um estímulo auditivo inicialmente imóvel e a imobilização (*offset* do movimento) de um estímulo auditivo inicialmente em movimento. Apenas os participantes que atingiram taxas consistentes de respostas corretas acima dos 75% foram incluídos nas experiências de tempos de reação (ver detalhes na subsecção “Procedimento”). Todos desconheciam os objetivos do estudo, apresentavam visão normal ou corrigida-a-normal e possuíam um histórico de ausência de problemas de audição. Foi obtido o consentimento livre e informado de cada participante. Todos os procedimentos associados à realização da tarefa obedeceram aos requisitos da declaração de Helsínquia.

#### 5.2.1.2. Estímulos

Tal como nas experiências anteriores, os estímulos auditivos consistiram em ruído branco filtrado entre os 300 e os 1100Hz (frequência de amostragem de 44.1 kHz e precisão simples de *32-bit floating depth*) e os estímulos visuais num disco branco (RGB: 255, 255, 255) sobre fundo preto, com 1 cm de diâmetro. No caso dos estímulos estáticos, tanto o som como o disco surgiam 2 cm acima da linha média vertical do ecrã em três locais horizontalmente distintos, correspondendo, respetivamente, à posição média do marcador no início, meio e final do trajeto do movimento nas experiências do capítulo 4. A espacialização do estímulo auditivo, com um *fade-in* e um *fade-out* linear de 5 ms, foi produzida, como anteriormente, no slab3d v6.6.1 (NASA & Miller, 2012). No caso dos estímulos dinâmicos: (i) tanto o som como o disco começavam por surgir imóveis sobre a linha média vertical, numa das duas localizações horizontais correspondentes à posição média do início e meio do trajeto nas experiências do capítulo 4, iniciando após um intervalo variável (500, 1000, 1500, 2000 ms) um movimento para a direita a

uma velocidade de  $10 \text{ cm s}^{-1}$ ; (ii) tanto o som como o disco surgiam em movimento, a uma velocidade de  $10 \text{ cm s}^{-1}$ , por um período variável (500, 1000, 1500, 2000 ms) após o qual se imobilizavam numa de três posições correspondendo, respetivamente, ao *offset* do movimento nos três trajetos utilizados nas experiências do capítulo 4. A espacialização do estímulo auditivo, que incluiu sempre um *fade in* e um *fade out* linear de 5 ms, foi realizada por alteração dinâmica dos ITD e ILD no slab3d v6.6.1.

### 5.2.1.3. Desenho experimental e Procedimento

Nas diferentes tarefas que integraram esta experiência os participantes eram solicitados a responder o mais rapidamente possível (i) à aparição de estímulos estáticos, (V e A), (ii) ao *onset* do movimento de estímulos inicialmente imóveis (V e A); (iii) ao *offset* do movimento de estímulos inicialmente dinâmicos que subitamente se imobilizavam (V e A). A resposta consistia em premir com o indicador da mão dominante um botão numa caixa de resposta RB-610 da Cedrus, que registava os tempos em ms. Todos os participantes realizaram todas as tarefas. A experiência foi realizada em duas sessões, uma compreendendo as tarefas com estímulos visuais, a outra as tarefas com estímulos auditivos. A separação entre sessões foi de aproximadamente uma semana, com a ordem contrabalanceada entre participantes (5 participantes realizaram primeiro a sessão com estímulos visuais e os restantes 5 a sessão com estímulos auditivos). Cada sessão incluiu 3 tarefas, envolvendo, respetivamente, as respostas à apresentação de estímulos estáticos, ao *onset* do movimento e ao *offset* do movimento. Em cada sessão, dois participantes foram aleatoriamente atribuídos a cinco das seis (3!) ordenações possíveis das 3 tarefas, e um participante à ordenação restante. A experiência decorreu nas mesmas condições que todas as anteriores, com o mesmo monitor, o mesmo dispositivo de apresentação dos sons e idênticas especificações quanto ao posicionamento dos participantes

*Respostas à aparição (onset) de estímulos estáticos.* Os estímulos foram apresentados num de três locais correspondentes à posição média dos marcadores no início, meio e fim do trajeto de movimento nas experiências do capítulo 4. Cada ensaio iniciou-se por um sinal de atenção com uma duração de 1000 ms, consistindo numa cruz de fixação no local da apresentação do estímulo (eliminando a incerteza posicional) em simultâneo com a apresentação auditiva da palavra “atenção”. Os estímulos surgiam após um período preparatório (PP) variável entre os 500 e os 2000 ms, a passos de 500 ms, permanecendo visíveis/audíveis até à resposta do participante, ou até atingirem uma duração de 2000 ms. À resposta seguia-se um ISI de 1000 ms, dando-se então início a novo ensaio. Os três locais de apresentação e os 4 períodos preparatórios foram

aleatorizados através dos ensaios. O estímulo (V nos TR visuais, A nos TR auditivos) foi apresentado em cada uma das posições 36 vezes, correspondendo a 9 replicações de cada PP, perfazendo um total de 108 ensaios experimentais. Em cada modalidade, a tarefa pode assim descrever-se como um desenho fatorial de medidas repetidas 3 (posições)  $\times$  4 (PP) com 9 replicações e, através das sessões, como um desenho fatorial 2 (modalidade: A, V)  $\times$  3 (posições)  $\times$  4 (PP) com 9 replicações por condição.

*Respostas ao início (onset) do movimento.* Cada ensaio iniciava-se pela apresentação audiovisual da palavra “atenção” durante 1000 ms, seguida por um ISI de 500 ms. O estímulo (A ou V, em sessões separadas) era apresentado imóvel na linha vertical média do ecrã, numa de duas localizações correspondendo, respetivamente, às posições médias do início e meio do trajeto do movimento nas experiências do capítulo 4. Subitamente, após um período variável de 500, 1000, 1500 ou 2000 ms, iniciava um movimento para a direita a uma velocidade de 10 cm s<sup>-1</sup> durante 2000 ms, ou até ser interrompido pela resposta do participante (que deveria assinalar o mais rapidamente possível o início do movimento). A resposta era seguida por um ISI de 1000 ms, que antecedia o início de um novo ensaio. Os dois locais de apresentação e os 4 períodos até ao início do movimento (PP) foram aleatorizados através dos ensaios. Em cada modalidade, foram apresentados 36 estímulos em cada posição, correspondendo a 9 replicações de cada período, resultando num total de 72 ensaios experimentais. A tarefa correspondeu a um desenho fatorial de medidas repetidas 2 (posições)  $\times$  4 (PP) com 9 replicações, compondo mais geralmente, através das duas sessões (A e V), um desenho fatorial 2 (modalidade: A, V)  $\times$  2 (posições)  $\times$  4 (PP), com 9 replicações por condição.

*Respostas ao final (offset) do movimento.* Após a apresentação audiovisual da palavra atenção (1000 ms), seguida de um ISI de 500 ms, o estímulo (A ou V, em sessões separadas) surgia em movimento da esquerda para a direita a uma velocidade de 10 cm s<sup>-1</sup>, parando após um período variável de 500, 1000, 1500 ou 2000 ms numa de três posições. Estas posições corresponderam ao *offset* espacial dos três trajetos de movimento das experiências do capítulo 4, visando impedir que o local de paragem fosse previsível. O estímulo permanecia visível/audível, depois de se imobilizar, até um máximo de 2000 ms ou até à resposta dos participantes, que indicavam o mais rapidamente possível o final do movimento. A resposta desencadeava um ISI de 1000 ms, seguido de um novo ensaio. A localização do *offset* e as durações do movimento foram aleatorizados através dos ensaios, com 12 apresentações de cada localização, correspondendo a 3 replicações dos 4 períodos de movimento, perfazendo um total de 36 ensaios experimentais. A localização do *offset* constituiu menos uma variável experimental do que um controlo metodológico (limitando o risco de que um *offset* espacialmente invariante permitisse antecipar e acelerar a resposta, particularmente no caso dos estímulos visuais). A tarefa pode assim descrever-se como envolvendo um único fator experimental, a duração do movimento, com

4 níveis, replicados 9 vezes. No conjunto das duas sessões (A e V), correspondeu a um desenho fatorial de medidas repetidas 2 (modalidade: A, V)  $\times$  4 (PP), com 9 replicações por condição.

Todas as tarefas incluíram, para além do bloco de ensaios experimentais, um bloco inicial de 10 ensaios de treino. A duração média de cada sessão foi de aproximadamente 50 minutos, sendo permitido ao participante descansar entre tarefas. A aleatorização e apresentação dos estímulos, bem como o registo das respostas, foram geridos com o SuperLab v4.0.7b (Cedrus Corporation, 2008).

*Seleção dos participantes.* Como indicado acima, as sessões experimentais foram precedidas por uma tarefa piloto, destinada a garantir a capacidade dos participantes para distinguir entre o *onset* (passagem de estático a dinâmico) e o *offset* (passagem de dinâmico a estático) do movimento de estímulos auditivos. O piloto decorreu cerca de duas semanas antes do início das sessões. Ao longo de 10 blocos de 50 ensaios, 20 sujeitos realizaram uma tarefa de discriminação acelerada entre os dois tipos de evento (início versus paragem do movimento). Cada bloco intercalou aleatoriamente sons a princípio imóveis que, após um intervalo variável, iniciavam um movimento (para a esquerda ou direita) e sons em movimento (para a esquerda ou direita) que se imobilizavam após um tempo variável. As respostas foram dadas pela seleção de um de dois botões (2AFC) numa caixa de respostas RB-630, seguidas de *feedback* corretivo (a informação “certo” ou “errado”, apresentada no ecrã) e executadas sob pressão temporal – TRs > 1000 ms originavam a mensagem “resposta demasiado lenta”. O critério de inclusão fixado exigia taxas de acerto não inferiores a 75% em cada um dos três últimos blocos (assumindo como nível do acaso uma probabilidade de 50% de acertos e independência entre os ensaios, a distribuição binomial fornece um  $p \approx .0001$  para 75% de acertos num bloco de 50 ensaios). Metade dos participantes não atingiram este valor de acertos em nenhum dos blocos, oscilando (enquanto subgrupo) em torno dos 50% para o *offset* e dos 56% para o *onset*. Os restantes participantes apresentaram uma exatidão próxima dos 75% logo no primeiro bloco no caso do *onset* (atingindo valores superiores a 80% nos últimos blocos) e, no caso do *offset*, a partir do segundo bloco, taxas de acerto crescentes entre os 80 e os quase 90% (nos dois últimos blocos), evidenciando uma clara curva de aprendizagem. A amostra utilizada nas tarefas experimentais ( $n = 10$ ) foi, de acordo com o critério fixado, composta por este segundo grupo de participantes.

#### 5.2.1.4. Análise dos dados

Os TR obtidos em todas as tarefas foram examinados com vista à deteção de *outliers* – definidos como valores mais de  $1,5 \times A_Q$  (Amplitude Interquartis) acima do terceiro quartil, ou

abaixo do primeiro quartil. Essa inspeção foi realizada ao nível da distribuição dos dados individuais em cada condição experimental (definida pela combinação de uma modalidade, um local de apresentação e um período preparatório). Em duas das condições envolvendo estímulos estáticos foram excluídos os dados de um participante; em três condições envolvendo a resposta ao *onset* do movimento foram excluídos os dados de um segundo participante. Por fim, numa das condições envolvendo ainda a resposta ao *onset* do movimento (modalidade auditiva, posição de apresentação 2, PP 2000 ms) foram eliminados os dados de dois participantes. Um lapso na gravação das respostas levou à perda dos dados de um dos participantes nas tarefas de resposta ao *onset* e ao *offset* do movimento (reduzindo assim o “n” nestas tarefas para 9).

Uma vez removidos os *outliers*, os resultados foram analisados estatisticamente por meio de ANOVAs de medidas repetidas e testes *t*-emparelhados (os testes de Friedman e de sinalização de Wilcoxon, respetivamente, foram também conduzidos como alternativas não-paramétricas, não tendo, em nenhum caso, fornecido resultados estatísticos discrepantes)

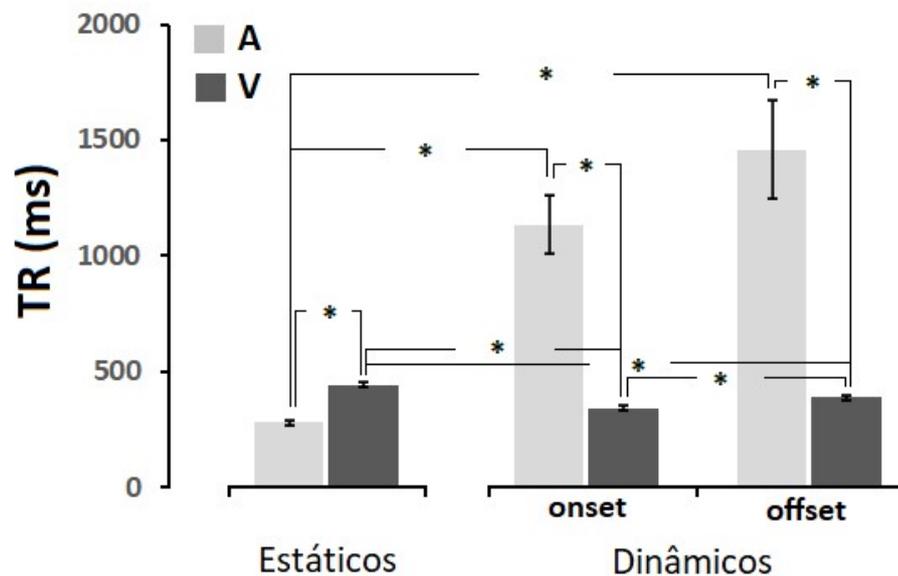
## 5.2.2. Resultados

### 5.2.2.1. Médias

A **Figura 30** resume graficamente os resultados médios agregados (média dos TR calculada através das diferentes posições de apresentação e períodos preparatórios) em cada uma das tarefas (resposta ao *onset* de estímulos estáticos, ao *onset* do movimento e ao *offset* do movimento de estímulos dinâmicos) e para cada uma das modalidades do estímulo (A e V). Descritivamente, podem retirar-se três indicações: (i) enquanto, no caso de estímulos estáticos, os  $TR_A < TR_V$ , esta relação inverte-se no caso de estímulos dinâmicos, onde os  $TR_A > TR_V$  tanto na resposta ao *onset* como ao *offset* do movimento; (ii) no caso dos estímulos A, os  $TR_{\text{estáticos}} < TR_{\text{dinâmicos}}$ , enquanto no caso dos estímulos V, a direção dos efeitos é oposta:  $TR_{\text{estáticos}} > TR_{\text{dinâmicos}}$ ; (iii) tanto no caso dos estímulos A como V, os  $TR_{\text{onset movimento}} < TR_{\text{offset movimento}}$ .

As três indicações convergem com resultados correntes na literatura, sugerindo não se tratar de um resultado peculiar às propriedades específicas (e.g., velocidade, intensidade, gama de frequências, etc.) dos estímulos utilizados. Latências inferiores na resposta a estímulos estáticos auditivos comparativamente a visuais encontram-se abundantemente documentadas (Arrighi et al., 2005a; Goldstone, 1968; Jaskowski et al., 1990, Rutschmann & Link, 1964; Shelton e Kumar, 2010). No caso de estímulos visuais, tempos de resposta inferiores aos de estímulos estáticos têm sido reportados quer ao *onset* da apresentação de estímulos em movimento (Aschersleben &

Musseler, 1999), quer ao *onset* do movimento de estímulos inicialmente imóveis, como nas nossas tarefas (Arrighi et al., 2005a; Ball & Sekuler, 1980, Tynan & Sekuler, 1982). Por sua vez, tempos mais lentos ao *onset* do movimento de estímulos auditivos do que ao *onset* de sons estáticos foram, tal como aqui, observados por Arrighi et al. (2005a). Getzmann (2008) reportou menores TR ao *onset* do movimento de estímulos auditivos, após um período variável de apresentação estática, do que ao *onset* de sons já (imediatamente) em movimento, indicando assim que os resultados observados se estendem em princípio (de forma até mais acentuada) a este último caso. Finalmente, os TR inferiores da resposta ao *onset* comparativamente ao *offset* do movimento, observada tanto com estímulos A como V, correspondem à assimetria designada na literatura como “vantagem do *onset*” (Di Lollo et al., 2000: ver Goldstone, 1968; Kreegipuu & Allik, 2007) ou “desvantagem do *offset*” (Sokolova et al., 2013). Apesar de contrária a evidências neurofisiológicas, que suportam latências mais curtas no *offset* (Bair, 2004; Kreegipuu, & Allik, 2007), e de resultados de sentido contrário em tarefas TOJ (Pastore, 1983; Yund & Efron, 1974; Tadin et al. 2010), menores TR na resposta ao *onset* (vs. *offset*) encontram-se robustamente documentados tanto com estímulos estáticos (Goldstone, 1968) como dinâmicos (resposta ao *onset* do movimento; Kreegipuu & Allik, 2007), e tanto na modalidade visual (Parker, 1980; Kreegipuu, & Allik, 2007; Sokolava et al, 2013) como auditiva (Goldstone, 1968; King et al. 2007)

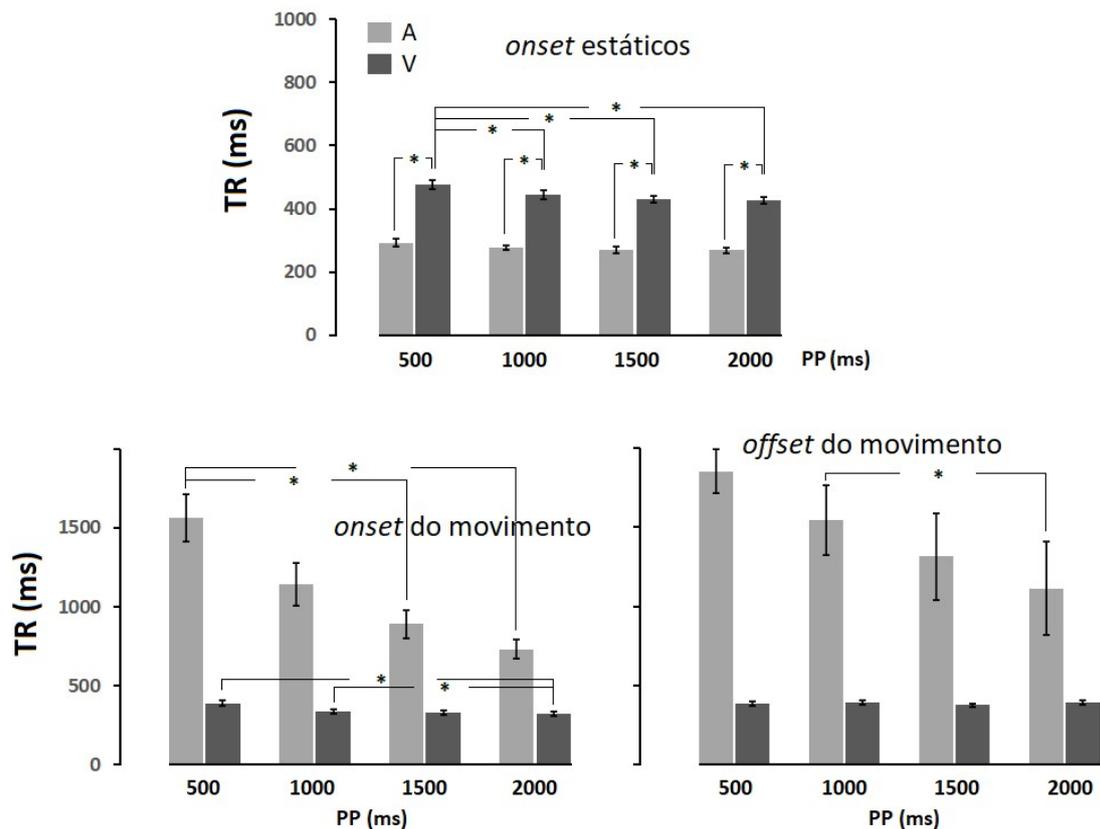


**Figura 30.** Tempos de reação (TR) ao *onset* da apresentação de estímulos estáticos A e V e ao *onset* e *offset* do movimento de estímulos dinâmicos A e V. Os TR são fornecidos em ms na ordenada. As colunas cinzentas representam os valores médios de TR a estímulos A (agregados através das diferentes posições de apresentação e períodos preparatório), em cada uma das tarefas (resposta ao *onset* de estímulos estáticos, ao *onset* do movimento e ao *offset* do movimento). As colunas a preto representam os valores equivalentes dos TR registados a estímulos V. Os asteriscos assinalam diferenças significativas entre condições e as barras de erro representam o EPM:

Duas ANOVAs de medidas repetidas conduzidas separadamente para os estímulos A e V, com tarefa (*onset* estático, *onset* do movimento, *offset* do movimento) como único fator, revelaram um efeito significativo em qualquer das modalidades: A -  $F(2,16) = 19.218$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .706$ ; V -  $F(2,16) = 41.503$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .838$ . Comparações aos pares subsequentes (com correção de Bonferroni) assinalaram, no caso dos estímulos auditivos, diferenças significativas entre o TR<sub>estático</sub> ( $274 \pm 10$  ms) e ao *onset* do movimento ( $1134 \pm 134$  ms) ( $p = .001$ ), e entre o TR<sub>estático</sub> e ao *offset* do movimento ( $1458 \pm 225$  ms) ( $p = .003$ ). No caso dos estímulos visuais, todas as comparações aos pares produziram resultados significativos, com os TR<sub>estáticos</sub> ( $442 \pm 12$  ms) > TR<sub>offset movimento</sub> ( $386 \pm 13$  ms) ( $p < .001$ ) e os TR<sub>offset movimento</sub> > TR<sub>onset movimento</sub> ( $342 \pm 13$  ms) ( $p = .032$ ). A diferença entre os TR<sub>A</sub> e TR<sub>V</sub>, por sua vez, foi estatisticamente significativa em todas as tarefas, com TR<sub>A</sub> < TR<sub>V</sub> na resposta a estímulos estáticos,  $t(9) = 28.413$ ,  $p < .001$ , e TR<sub>A</sub> > TR<sub>V</sub> na resposta ao *onset*,  $t(8) = 6.145$ ,  $p < .001$ , e ao *offset* do movimento,  $t(8) = 4.683$ ,  $p = .002$ . A análise estatística suportou assim as três indicações descritivas retiradas da análise gráfica.

O fator posição (local de ocorrência dos eventos de *onset* e *offset* dos estímulos) não apresentou efeitos significativos, principais ou de interação, nas ANOVAs conduzidas nas tarefas de resposta ao *onset*,  $F(1,5) = 0.287$ ,  $p = .615$ ,  $\eta_p^2 = .054$  e *offset*,  $F(2,10) = 0.850$ ,  $p = .456$ ,  $\eta_p^2 = .145$  do movimento. Na ANOVA conduzida sobre os TR<sub>estáticos</sub>, produziu um efeito principal significativo,  $F(2,16) = 6.145$ ,  $p = .010$ ,  $\eta_p^2 = .434$  (com uma pequena superioridade do TR associado à posição mais à esquerda sobre qualquer das outras duas), mas nenhuma interação significativa, designadamente com o fator modalidade (A, V),  $F(2,16) = 2.287$ ,  $p = .134$ ,  $\eta_p^2 = .222$ .

Já o fator PP (500, 1000, 1500, 2000 ms) revelou em todos os casos um efeito principal significativo, TR<sub>est</sub>:  $F(3,27) = 19.186$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .881$ ; TR<sub>onset movimento</sub>:  $F(3,18) = 15.862$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .726$ ; TR<sub>offset movimento</sub>:  $F(3,24) = 9.967$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .555$ , e uma interação significativa com o fator modalidade (A, V) – TR<sub>est</sub>:  $F(3,27) = 4.862$ ,  $p = .008$ ,  $\eta_p^2 = .351$ ; TR<sub>onset movimento</sub>:  $F(3,18) = 11.729$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .662$ ; TR<sub>offset movimento</sub>:  $F(3,24) = 10.356$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .564$ . Esta interação está representada graficamente, para as três tarefas, na **Figura 31**, sendo sobretudo aparente no caso dos estímulos dinâmicos, onde o decréscimo dos TR (em ordenada) com o aumento do PP (em abcissa) é perceptivelmente mais acentuado nos estímulos A (quer na resposta ao *onset* quer ao *offset* do movimento) do que nos estímulos V.



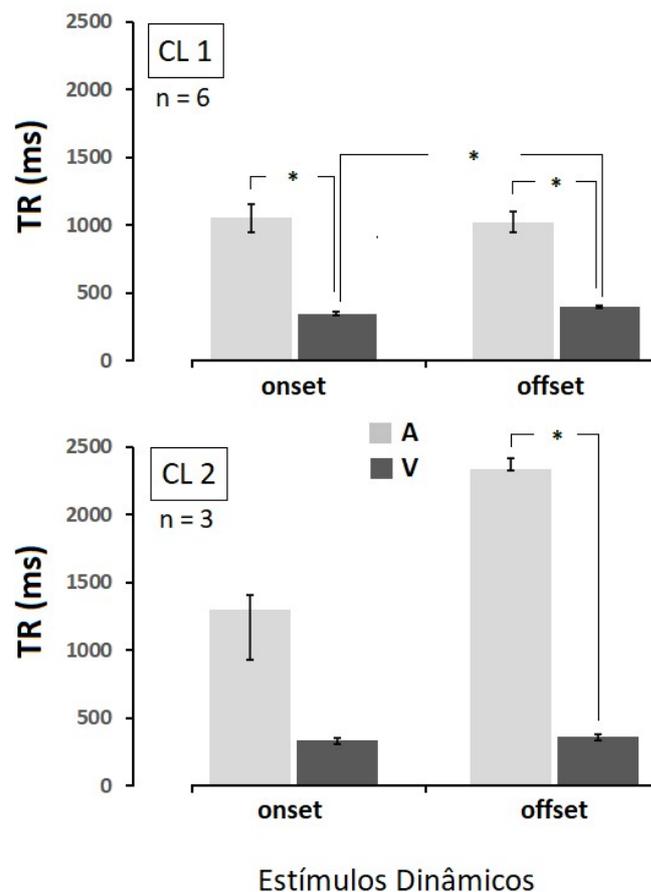
**Figura 31.** Tempos de reação (TR) ao *onset* da apresentação de estímulos estáticos A (barras a cinzento claro) e V (barras a preto) e ao *onset* e *offset* do movimento de estímulos dinâmicos A e V em função dos valores do período preparatório (500, 1000, 1500, 2000 ms). Os TR são fornecidos em ms na ordenada, correspondendo a médias agregadas através das posições de apresentação. Os PP encontram-se em abcissa (em ms). Os asteriscos assinalam diferenças significativas entre modalidades para um mesmo nível de PP ou entre níveis de PP na mesma modalidade. As barras de erro representam o EPM.

A tendência para a redução dos TR em função do aumento do PP é, contudo, geral, afetando igualmente os estímulos V. Apenas na resposta ao *offset* do movimento não foi registado um efeito significativo do PP para os estímulos visuais,  $F(3,24) = 1.406$ ,  $p = .265$ ,  $\eta_p^2 = .149$ . Do mesmo modo, também na resposta aos estímulos A estáticos se verificou um efeito significativo de PP,  $F(3,27) = 6.893$ ,  $p = .001$ ,  $\eta_p^2 = .434$  (embora nenhuma das comparações aos pares subsequente revelasse diferenças entre os níveis de PP, a tendência de redução dos TR foi assinalada por um contraste linear significativo,  $F(1,9) = 13.273$ ,  $p = .005$ ,  $\eta_p^2 = .596$ ). Esta tendência geral é consistente com o efeito característico de um “período preparatório variável” em TR simples (abaixamento progressivo dos TR do PP mais curto para o mais longo) (Los et al, 2001; Niemi & Näätänen, 1981; Steinborn et al., 2008) e com o resultado de Getzmann (2008), no caso da resposta ao *onset* de movimentos auditivos, de uma diminuição dos TR com o aumento da duração da apresentação prévia do estímulo. Contudo, assinala uma diferença importante, no caso dos estímulos A (ausente nos estímulos V), entre o grau de impacto do PP na resposta a sons estáticos (impacto reduzido) e a sons dinâmicos (impacto pronunciado). Através dos diferentes

valores de PP é possível, por fim, observar a replicação consistente de latências inferiores na resposta aos sons na tarefa com estímulos estáticos, e latências inferiores na resposta a estímulos visuais nas tarefas com estímulos dinâmicos.

### 5.2.2.2. Diferenças interindividuais (clusters)

A inspeção dos resultados individuais revelou, entretanto, no que se refere aos TR ao *onset* e ao *offset* do movimento auditivo, dois subgrupos de participantes. Esta divisão emergiu também consistentemente nos dendogramas obtidos em análises de *clusters* (modelo aglomerativo hierárquico) conduzidas com diferentes métodos (vizinho mais distante, Ward, centroide) e duas medidas de distância (euclidiana e euclidiana ao quadrado). A **Figura 32** representa graficamente os TR médios de cada um dos subgrupos, designados como Cluster 1 (n = 6) e Cluster 2 (n = 3), nas respostas ao *onset* e *offset* de estímulos dinâmicos.



**Figura 32.** Tempos de reação (TR) ao *onset* e *offset* do movimento de estímulos dinâmicos A (barras cinzentas) e V (barras pretas) em dois subgrupos de participantes – Cluster 1, em cima (n = 6) e Cluster 2, em baixo (n = 3). Os TR são fornecidos em ms na ordenada, correspondendo a médias agregadas através das posições de apresentação e períodos preparatórios. Os asteriscos assinalam diferenças significativas entre condições. As barras de erro representam o EPM.

Os gráficos ilustram, no caso dos estímulos A, a desapareição no Cluster 1, maioritário, da superioridade dos  $TR_{offset\ movimento}$  (agora  $1018 \pm 75$  ms) relativamente aos  $TR_{onset\ movimento}$  (agora  $1051 \pm 105$  ms), que se mantém, entretanto, no Cluster 2, minoritário ( $TR_{offset\ movimento} = 2338 \pm 112$  ms;  $TR_{onset\ movimento} = 1301 \pm 375$  ms). Quanto aos estímulos V, embora apenas atinja expressão estatística no Cluster 1,  $t(5) = 2.921$ ,  $p = 032$ , a vantagem temporal do *onset* persiste nos dois clusters ( $TR_{offset\ movimento} > TR_{onset\ movimento}$ ). Este resultado constitui uma nova ilustração da importância das diferenças individuais e dos limites dos valores médios de latência (que, na **Figura 30**, não são representativos, no caso dos estímulos A, do perfil maioritário da amostra). Do ponto de vista metodológico, sublinha a necessidade de comparar medidas de latência e magnitudes de EFL em desenhos de medidas repetidas, assinalando assim um dos limites, já notados, do presente estudo: a utilização de indicadores médios de latência obtidos numa mostra de participantes para a derivação de  $EFL_D$  previstos (mediante a hipótese clássica das latências diferenciais) numa outra amostra, distinta, de participantes.

#### 5.2.2.3. Implicações para os $EFL_D$ assumindo a hipótese da latência diferencial

Os mesmos procedimentos e suposições adotados no ponto 5.1.2.3. são aqui utilizados para a comparação entre  $EFL_D$  inferidos a partir das diferenças de latência revelados pelos TR e os  $EFL_D$  registados nas experiências do Capítulo 4.

Um primeiro resultado, envolvendo os estímulos estáticos, diz respeito à menor latência de resposta aos estímulos A (-165 ms) relativamente aos V. De acordo com a hipótese clássica da latência, na medida em que a aceleração de processamento resultante da substituição de um marcador V por um marcador A reduz a vantagem temporal (assumida) do estímulo em movimento, isso deve traduzir-se numa redução do EFL (no contexto da dissertação, do  $EFL_D$ ). Esta inferência é válida em primeiro lugar para o CC (onde o estímulo dinâmico se encontra já em movimento) mas, aceitando que a maior rapidez de processamento de estímulos dinâmicos opera desde o início da sua apresentação, pode igualmente estender-se ao CIM. De modo a derivar os efeitos previstos da utilização de um marcador A (tarefa  $A_{MC-V_{MOV}}$ ) no lugar de um marcador V, o  $EFL_D$  observado na tarefa  $V_{MC-V_{MOV}}$  foi tomado como referência e adicionado de um valor negativo em pixels (i.e., uma redução do EFL), correspondente à distância espacial percorrida pelo móvel em 165 ms a uma velocidade de  $10\text{ cm s}^{-1}$  ( $\approx 63\text{ px}$ ). Esta operação foi na realidade realizada para cada participante, utilizando os  $\Delta TR_{A-V}$  ( $TR_A - TR_V$ ) individuais (cuja média foi -165 ms) e permitindo assim obter também indicadores de dispersão previstos (e.g., EPM). A comparação com os valores de  $EFL_D$  efetivamente observados na tarefa  $A_{MC-V_{MOV}}$  é apresentada nas duas primeiras linhas da tabela 4 para o CC e para o CIM. A direção prevista do efeito

é oposta à direção observada em ambos os ciclos. A diferença entre os valores previstos e observados foi significativa tanto no CC,  $t(15.252) = 2.711$ ,  $p = 016$  (t de Welch para variâncias desiguais), como no CIM,  $t(14.072) = 3.510$ ,  $p = 009$  (t de Welch).

**Tabela 4.** Inferências a partir das diferenças de latência reveladas pelos TR ( $\Delta TR$ ) para a direção e magnitude dos EFL<sub>D</sub> no CC e no CIM num quadro em que estes exprimiriam fundamentalmente latências diferenciais de processamento.

Tarefa e $\Delta TR$	Ciclo	EFL <sub>D</sub> Previsto	EFL <sub>D</sub> Observado
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>A_{MC} - V_{MOV}</math></li> <li>• <math>\Delta TR_{A-V} \approx -165</math> ms</li> </ul>	CC	-36 	+23 
	CIM	-15 	+137 
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>V_{MC} - V_{MOV}</math></li> <li>• <math>\Delta TR_{V_{mov}(on)-Vest} \approx -100</math> ms</li> </ul>	CC	+38 	+27 
	CIM	+38 	+47 
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>V_{MC} - A_{MOV}</math></li> <li>• <math>\Delta TR_{A_{mov}(on)-V_{mov}(on)} \approx +793</math> ms</li> </ul>	CC	-2 	
	CIM	-2 	-70 

Um segundo resultado diz respeito à menor latência da resposta ao *onset* do movimento V do que ao *onset* do estímulo V estático (-100 ms). Esta diferença prevê, de acordo com a hipótese clássica da latência, um EFL (EFL<sub>D</sub>) positivo na tarefa V<sub>MC</sub>-V<sub>MOV</sub>. A comparação com os EFL<sub>D</sub> observados em V<sub>MC</sub>-V<sub>MOV</sub> no CC e no CIM, ilustrada nas linhas centrais (terceira e quarta) da tabela 4 revela um acordo com esta previsão qualitativa. Adicionalmente, do ponto de vista quantitativo, não se verificaram diferenças significativas entre as magnitudes de EFL<sub>D</sub> previstas e observadas, nem no CC,  $t(23) = 0.402, p = .692$ , nem no CIM,  $t(23) = 0.240, p = .813$ .

Um terceiro resultado refere-se à maior latência na resposta ao *onset* do movimento de sons do que de estímulos visuais (+793 ms). Correspondendo a uma lentificação do processamento do movimento com a passagem de visual a auditivo (tarefa V<sub>MOV</sub>-A<sub>MOV</sub>), este diferencial opera, nos termos da hipótese clássica da latência, no sentido duma redução do EFL. O EFL<sub>D</sub> previsto foi assim obtido subtraindo ao EFL<sub>D</sub> observado na tarefa V<sub>MC</sub>-V<sub>MOV</sub>, tomado como referência, o valor em pixels correspondente à distância percorrida pelo móvel durante 793 ms a uma velocidade de 10 cm s<sup>-1</sup>. A comparação entre as direções e magnitudes previstas e as efetivamente observadas na tarefa V<sub>MOV</sub>-A<sub>MOV</sub>, no CC e no CIM, encontra-se ilustrada nas duas últimas linhas da tabela 4. No CC, as direções dos efeitos previsto e observado são contrárias, enquanto no CIM são convergentes (ambas negativas, correspondendo a um *flash-lead*). Estatisticamente, os valores previstos e observados distinguiram-se significativamente em ambos os ciclos, CC:  $t(22) = 5.492, p < .001$ ; CIM:  $t(22) = 3.368, p = .003$ .

A obtenção de previsões relativamente ao EFL<sub>D</sub> no CTM é consideravelmente mais difícil, dada a ausência de um racional claro da hipótese clássica da latência quando o movimento é interrompido (em contraste com iniciado, ou prosseguido). O facto de a ausência de EFL no CTM não ser entendido como um problema para a hipótese da latência envolve a sugestão de que o *offset* (objetivo) do movimento cancela de imediato as latências diferenciais entre o objeto (anteriormente) móvel e o marcador, pondo fim ao EFL. Uma previsão admissível neste quadro seria assim a de um EFL nulo em qualquer circunstância. Por outro lado, diferentes cenários são possíveis se se tenta traduzir os  $\Delta TR$  extraídos das respostas ao *offset* do movimento em consequências para o EFL (EFL<sub>D</sub>). Por exemplo, o registo de TRs substancialmente mais longos ao *offset* do movimento auditivo do que do movimento visual (aqui tomado como referência) significaria em princípio que o *offset* do movimento auditivo é tendencialmente percebido mais tarde do que o *onset* simultâneo do marcador. Todavia, num cenário em que interrupção do movimento cancela qualquer dinâmica perceptiva de deslocamento posicional, o resultado deste atraso da deteção do *offset* permaneceria unicamente temporal (uma diferença de tempo), sem implicações no EFL espacial. Diferentemente, se admitirmos como subjacente à vantagem

temporal dos estímulos dinâmicos mecanismos de facilitação espaço-temporal (Cravo & Baldo, 2008; Maiche et al., 2007) ou aceleração perceptiva (Bachmann, et al, 2003), este atraso adicional poderia, mediante a persistência desta dinâmica, acarretar consequências espaciais, produzindo um EFL. Embora divergindo, em vários aspetos, da hipótese clássica da latência (que respeita a diferenças entre estímulos, dinâmico versus estático, e não entre mecanismos: ver Cravo & Baldo, 2008), este último quadro permite a derivação de previsões no CTM em conexão com os  $\Delta TR$  observados, sendo por isso aqui utilizado. Trata-se, contudo, de um exercício acentuadamente mais exploratório do que no caso do CIM e do CC, e condicional a assunções mais específicas do que a mera hipótese clássica da latência.

Na **Tabela 5** encontram-se representadas as comparações entre  $EFL_D$  previstos e observados para o CTM, condicionalmente ao quadro identificado acima. As maiores latências na resposta ao *offset* do movimento A (+1072 ms do que ao *offset* do movimento V) operariam assim (contrariamente ao que sucede no CIM e no CC) no sentido de um maior  $EFL_D$  no CTM da tarefa  $V_{MC}-A_{MOV}$  do que na tarefa  $V_{MC}-V_{MOV}$  (tomada como referência). Um valor (positivo) em pixels correspondente à distância percorrida pelo móvel durante 1072 ms foi somado ao  $EFL_D$  observado na tarefa  $V_{MC}-V_{MOV}$ , de modo a derivar uma previsão quantitativa (a previsão quantitativa sendo aqui menos relevante ainda do que nos casos anteriores, porque pressupõe que a persistência da dinâmica de facilitação espaço-temporal não decaí durante os 1072 ms). A primeira linha da **Tabela 5** ilustra a comparação com os valores efetivamente observados no CTM da tarefa  $V_{MC}-A_{MOV}$ , mostrando uma concordância direcional. Embora se trate de uma indicação pouco relevante no contexto, a diferença entre as magnitudes previstas e observadas foi significativa,  $t(11.905) = 2.984, p = .011$  (*t* de Welch).

Uma segunda previsão derivada envolve a combinação entre, por um lado, os menores TR ao *offset* do movimento visual do que ao *onset* de estímulos visuais estáticos (-56 ms) e as latências inferiores da resposta a sons estáticos comparativamente a estímulos estáticos visuais (-165 ms). A troca de um marcador V por um A no CTM (tarefa  $A_{MC}-V_{MOV}$ ) teria assim como efeito converter a deteção mais rápida do *offset* do movimento relativamente ao *onset* do marcador (-56 ms) numa diferença de sinal contrário, com uma deteção mais tardia do *offset* do movimento V relativamente ao *onset* do marcador A (-56 ms + 165 ms = + 109 ms). Um valor positivo em pixels correspondendo à distância percorrida pelo móvel durante 109 ms foi assim somado ao  $EFL_D$  observado na tarefa  $V_{MC}-V_{MOV}$  (-11 px) e comparado com o  $EFL_D$  observado na tarefa  $A_{MC}-V_{MOV}$ . Esta comparação encontra-se ilustrada na segunda linha da **Tabela 5**. As direções do efeito previsto e observado foram opostas. Quantitativamente, a diferença entre os valores de  $EFL_D$  previsto e observado não teve expressão estatística,  $t(14.603) = 1.492, p = .157$  (*t* de Welch).

**Tabela 5.** Inferências a partir das diferenças de latência reveladas pelos TR ( $\Delta TR$ ) para a direção e magnitude dos EFL<sub>D</sub> no CTM (ver texto para o racional das previsões).

Tarefa e $\Delta TR$	EFL <sub>D</sub> Previsto	EFL <sub>D</sub> Observado
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>V<sub>MC</sub>-A<sub>MOV</sub></b></li> <li>• <math>\Delta TR_{A_{mov(off)}-V_{mov(off)}}</math> <math>\approx</math> CTM</li> <li>• <b>+1072 ms</b></li> </ul>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>A<sub>MC</sub>-V<sub>MOV</sub></b></li> <li>• <math>\Delta TR_{V_{mov(off)}-Vest}</math> <math>\approx</math> - 56 ms</li> <li>• <b>&amp;</b></li> <li>• <math>\Delta TR_{A_{est}-Vest}</math> <math>\approx</math> - 165 ms</li> </ul>		

No conjunto, o confronto entre previsões derivadas a partir dos  $\Delta TR$  e os EFL<sub>D</sub> observados produziu resultados mistos: quatro concordâncias quanto à direção do efeito previsto e observado e quatro discordâncias (as direções, envolvendo acordo qualitativo, são mais fundamentais do que o acordo quantitativo, dependente de vários outros fatores, entre os quais o poder estatístico). Tal como no caso das previsões baseadas nos TOJ, os resultados apontam sobretudo no sentido da inconsistência entre inferências assentes na hipótese clássica das latências diferenciais (e mesmo em variantes não clássicas da hipótese) e a direção e magnitude observadas dos EFL<sub>D</sub>. Adicionalmente, dissociações entre as indicações fornecidas pelos TR e pelos TOJ foram igualmente verificadas. Enquanto nos TR a resposta ao *onset* do movimento de estímulos V foi substancialmente mais rápida do que ao *onset* do movimento V, nos TOJ a vantagem temporal dos estímulos A relativamente aos V observada nos pares estáticos manteve-se nos pares dinâmicos (ver **Figura 28**). Por sua vez, enquanto nos TR a resposta ao *onset* e ao *offset* do movimento de estímulos V foi mais rápida do que ao *onset* de estímulos estáticos visuais, os resultados dos TOJ apontaram num sentido contrário, com a necessidade de apresentar o estímulo visual dinâmico antes do visual estático para dar lugar a uma impressão de sincronia (ver **Figura 29**). Esta dissociações são reconhecidas na literatura (Diederich & Colonius, 2015; Jaśkowski, P., 1999; Matthews et al., 2016) e constituem certamente um obstáculo às tentativas de confrontar

medidas de latência e erros de magnitude espacial. Um outro limite a ter em conta, já assinalado a propósito dos TOJ, é o da importância das diferenças individuais, que no caso dos TR se traduziram em dois *clusters* de participantes com perfis de resposta sistematicamente distintos ao *onset* e *offset* de estímulos dinâmicos (ver **Figura 32**). Um requisito indispensável na comparação entre diferenças temporais e diferenças espaciais parece ser assim a utilização de medidas repetidas – o que na realidade sucedeu, no capítulo 4, no confronto entre medidas de TR<sub>esp</sub> e de deslocamento perceptivo, quer absoluto ( $D_x$  do móvel e do marcador) quer relativo (EFL<sub>D</sub>) que apontaram no fundamental para a independência dos dois conjuntos de dados (ver subsecções 4.4.13. e 4.4.2.3).

Um último ponto, metodológico, a merecer discussão nas tarefas de TR, é o da utilização de latências ao *onset* do movimento (com o estímulo inicialmente imóvel) como base para a derivação de previsões, em particular no CIM. No ciclo do EFL iniciado pelo marcador o estímulo dinâmico é apresentado imediatamente em movimento, correspondendo assim a uma situação distinta da utilizada nas nossas tarefas de TR. Na literatura comparativa entre os TR a estímulos estáticos e dinâmicos os dois tipos de situação (medida do *onset* de um estímulo dinâmico e do *onset* do movimento de um estímulo inicialmente estático) são frequentemente utilizados (Aschersleben & Müsseler, 1999; Ball & Sekuler, 1980; Tynan & Sekuler, 1982; Kreegipuu & Allik, 2007). Uma razão relevante para utilizar como estímulo imperativo o *onset* do movimento é assegurar que a resposta é dada à deteção de movimento e não meramente ao *onset* abruito do estímulo (comparável ao de um estímulo estático). Fairbank (1969) reportou neste sentido valores de TR idênticos em resposta à apresentação de estímulos estáticos breves, em movimento real e com movimento estroboscópico. Outros resultados apontando para a ausência de diferenças de TR entre estímulos visuais estáticos e em movimento (e.g., Nijhawan et al., 2004) poderão dever-se justamente à circunstância de as respostas serem determinadas pelas propriedades de transientes presentes no *onset* súbito de qualquer estímulo. Aschersleben & Müsseler, 1999, em conexão com uma discussão do efeito *Frölich*, documentaram, com estímulos visuais, comparativamente aos TR obtidos em resposta a estímulos estáticos, menores latências da resposta tanto ao *onset* de um estímulo dinâmico como ao *onset* do movimento de um estímulo inicialmente imóvel. Geztmann (2008) reportou menores valores de TR na resposta ao *onset* do movimento de sons inicialmente imóveis do que de sons apresentados desde o início em movimento. Estes resultados sugerem que a utilização do *onset* do movimento de estímulos V e A como estímulo imperativo fornece TR inferiores, mas não muito distintos, dos obtidos com apresentações imediatas do movimento, com a vantagem de promover uma resposta específica ao sinal de movimento. O mesmo argumento se pode estender à utilização do *offset* do movimento (sem desaparecimento do estímulo anteriormente móvel) como estímulo imperativo para a resposta. Na realidade, embora não tenha sido esse o caso nas experiências do capítulo 4, onde o estímulo em movimento desaparecia no *offset*, boa parte dos resultados indicando a ausência de EFL no

CTM foram obtidos com a imobilização (e não a desapareção) do estímulo dinâmico no termo do trajeto de movimento. As inferências baseadas nos  $\Delta TR$  podem neste sentido entender-se como a comparar, em primeiro lugar, com o resultado correntemente reportado de ausência de EFL no ciclo terminado pelo marcador (incluindo no caso do EFL auditivo e audiovisual: (ver Alais & Burr, 2003), i.e., um valor de  $EFL \approx 0$ , e só secundariamente com os  $EFL_D$  observados nas tarefas do capítulo 4.

## Discussão geral e conclusão

### 6.1. Principais resultados e implicações

A hipótese mais geral da dissertação, a de que o perfil qualitativo caracteristicamente exibido pelo EFL através dos ciclos iniciado pelo marcador, contínuo, e terminado pelo marcador, poderia ser recuperado a partir da combinação dos erros de localização absoluta do marcador e do móvel ( $EFL_D$ ), foi em geral suportada pelos resultados obtidos na parte empírica (a discussão intercalar oferecida no ponto 4.5 resume e articula as diversas fontes de evidência favorável recolhida nas tarefas com um paradigma EFL adaptado, podendo ser consultada para maiores detalhes).

A previsão central de  $EFL_D > 0$  no CIM e no CC, e ausência ( $\approx 0$ ) ou inversão ( $< 0$ ) do  $EFL_D$  no CTM verificou-se não apenas na tarefa unimodal visual,  $V_{MC}-V_{MOV}$  (previsão orientadora  $P_{B1}$ , na **Tabela 1**), como em três das quatro tarefas intermodais (previsão orientadora  $P_{B4}$ , na **Tabela 1**), excetuando-se apenas a tarefa com movimento auditivo ( $V_{MC}-A_{MOV}$ ). Este padrão geral foi ainda acompanhado por maiores valores do  $EFL_D$  no CIM do que no CC, refletindo uma tendência presente na literatura sobre o EFL (Ögmen et al., 2004, Risk et al., 2009; Roulston et al., 2006) e antecipada pela previsão  $P_{B2}$  (ver **Tabela 1**). A consistência e generalidade destes resultados através das tarefas converge com as indicações de Shi e de'Sperati (2008) sobre a possibilidade de abordar o EFL (erro relativo) como uma combinação linear de erros espaciais perceptivos absolutos, e com as sugestões de Hubbard (2013, 2014a, 2018a) de que vários exemplos de EFL, em particular no CIM e no CTM, poderiam na realidade corresponder a exemplos de Efeito *Frölich* (EF) e de momento representacional (MR) em que a localização perceptiva do móvel é medida relativamente à posição percebida de um objeto externo (o marcador) e não à origem ou termo do movimento.

Argumentos favoráveis a esta última possibilidade foram obtidos na análise dos deslocamentos perceptivos absolutos ( $D_x$ ) do marcador e do móvel. Em quatro das cinco tarefas o erro de localização absoluto do móvel no CIM (medido, como no EF, relativamente à origem do movimento) foi positivo e estatisticamente significativo. Em quatro das cinco tarefas o erro absoluto do móvel no CTM (medido, como no MR, relativamente ao termo do movimento), foi positivo, atingindo a significância estatística em duas delas. É assim possível falar da presença de um EF no CIM e de uma tendência para a ocorrência de MR no CTM (contrariando de resto a previsão orientadora  $P_{A1}$ , que antecipava erros de localização absoluta para trás com base nos

resultados de Müsseler et al., 2002). Os  $EFL_D$  nulos e negativos no CTM deveram-se, neste contexto, não à predominância de “erros nulos” ou “para trás” na localização do móvel e sim à ocorrência de erros de localização para diante do marcador (*flash-drag*), com magnitude idêntica (anulando-os) ou superior ao MR do móvel. Também no CIM e no CC predominaram os deslocamentos perceptivos para diante do marcador (*flash-drag*), mas com magnitudes inferiores aos dos erros para diante do móvel (i.e., no CIM, com magnitudes inferiores ao EF).

Esta presença e importância do *flash-drag* na determinação do  $EFL_D$  contraria a ideia, frequentemente assumida na literatura do EFL, de uma percepção “verídica” da posição do marcador, remetendo o erro de localização perceptiva para o móvel. Apesar de apoiada por alguns resultados obtidos com respostas sacádicas, revelando sacadas “precisas” para o *flash*, mas não para o móvel (Becker et al., 2009), esta assunção não parece compatível com a abundância de resultados que, tal como os nossos, apontam para efeitos de deslocação perceptiva de objetos estáticos induzidos por movimento adjacente (Cavanagh & Anstis, 2013; Whitney, 2002; Whitney & Cavanagh, 2000; Watanabe, 2005; Watanabe & Yokai, 2008). A dependência do  $EFL_D$  relativamente ao *flash-drag* converge ainda com as observações de Eagleman & Sejnowski (2007) sobre a dependência do EFL relativamente ao *flash-drag*, notando que este opera (pelo menos no CIM e no CC) no sentido da diluição do EFL – uma consequência pouco notada é assim que a prática de conversão da medida espacial do EFL em medida temporal (através da velocidade do móvel) possa na realidade subestimar as eventuais “diferenças de latência” no processamento dos dois estímulos (uma vez que, sem *flash-drag*, a distância espacial seria maior). Justifica ainda que o *flash-drag* seja utilizado como um recurso explicativo alternativo para a modulação do EFL por variáveis como a distância entre o marcador e o móvel (e.g., a redução do *flash-drag* com o aumento dessa distância pode acomodar o aumento bem estabelecido do EFL com a distância entre estímulos: Eagleman & Sejnowski, 2007).

A existência de uma relação significativa entre os  $D_x$  do móvel e do marcador, assinalada por correlações de Pearson significativas entre as magnitudes respetivas – complementada pela evidência (no CIM e no CC) de maiores  $D_x$  do móvel do que do marcador – é consistente com a ideia de que o movimento constitui uma causa comum aos dois deslocamentos, afetando mais acentuadamente (para diante) a localização perceptiva do móvel, mas também, em grau menor, a do marcador. O cancelamento da correlação entre a magnitude dos dois erros ( $D_x$  do móvel e do marcador) nas tarefas em que o movimento e o marcador pertencem a modalidades distintas ( $V_{MC}-A_{MOV}$ ;  $A_{MC}-V_{MOV}$ ) aponta por sua vez para a modulação do impacto do sinal do movimento no marcador por variáveis de contexto – com redução da capacidade do movimento numa modalidade para determinar deslocações posicionais de um marcador noutra modalidade. No quadro das explicações propostas para o *flash-drag* – e.g., distorção do espaço visual pelo movimento (Whitney & Cavanagh, 2000), agrupamento perceptivo do *flash* com o movimento (Cai

& Schlag, 2002), ou “enviesamento” da localização do marcador pelo sinal de movimento (Eagleman & Sejnowski, 2007) –, estes resultados favorecem modelos da última espécie, com o grau de enviesamento modulado por variáveis como a proximidade do marcador ao movimento ou, potencialmente, a coincidência/divergência na modalidade dos dois estímulos (no modelo de Eagleman & Sejnowski, 2007, o acoplamento variável entre o sinal de movimento e o julgamento da posição do marcador é representado por um parâmetro  $\lambda$  com valores entre 0, nenhum acoplamento, e 1, acoplamento total; na condição de permitir valores de  $\lambda < 0$ , o modelo poderia igualmente incorporar erros contrários ao movimento na localização do marcador).

Os resultados relativos à manipulação da probabilidade da modalidade do marcador (A ou V), mantendo-se o movimento sempre visual, são igualmente consistentes com uma leitura onde o grau de arrastamento posicional do marcador pelo sinal de movimento detém um papel primordial. De forma porventura surpreendente, os menores valores de EFL<sub>D</sub> registaram-se na tarefa onde a incerteza quanto à modalidade do marcador era máxima (50% A\_50% V) (ver **Figura 23**) – um efeito interpretável como uma captura mais pronunciada da localização percebida do marcador pela localização percebida do móvel (reduzindo assim a separação perceptiva entre os dois estímulos). Esta interpretação, apontando para uma maior ponderação da informação posicional do móvel quando a incerteza quanto à modalidade do marcador é máxima, é igualmente compatível com a observação de que apenas na tarefa 50% A\_50% V as respostas de localização do móvel foram mais rápidas do que as de localização do marcador (verificando-se o oposto nas restantes tarefas). A manipulação de probabilidade da modalidade do marcador parece assim ilustrar uma modulação atencional do EFL<sub>D</sub> (maior alocação à posição do móvel na tarefa 50% A\_50% V) cujo efeito se exerce primariamente através de mecanismos espaciais (captura da localização do marcador pela do móvel).

A ocorrência de interações posicionais (espaciais) entre os dois estímulos foi ainda suportada pelos resultados relativos à sua localização vertical, ortogonal à direção do movimento, que revelaram efeitos de atração recíproca – da localização do móvel “para cima”, na direção do marcador (em todos os casos), e do marcador “para baixo”, na direção do trajeto de movimento, quando o marcador foi A ou AV (ver **Figura 13** e **Figura 21**). Para além de qualitativamente compatíveis com um modelo de combinação da informação posicional dos dois estímulos ponderada pela sua precisão relativa (Ernst & Banks, 2002, Ernst & Di Luca, 2011), dependente da modalidade e natureza estática ou dinâmica, estes efeitos suportam a existência de uma representação posicional (espacial) do marcador mesmo quando nominalmente irrelevante para a tarefa, como no caso da localização do móvel. Este resultado converge com indicações como as de Park et al. (2003) de que, no caso da visão, uma representação da localização espacial percebida é produzida anteriormente à determinação da sua localização temporal, e ainda com a

possibilidade de que, em tarefas de localização espacial, uma representação da posição de um som possa rapidamente construir-se no córtex occipital visual (Campus et al., 2017). O facto de, na localização horizontal dos estímulos, o deslocamento percetivo para diante do móvel ser tipicamente superior ao do marcador – afastando-se assim dele percetivamente, ao invés de se aproximar – não é contraditório com o efeito de “atração” para o marcador observado nos  $D_y$ . Pode, na realidade, tomar-se como simplesmente indicativa de que o efeito diferencial do sinal de movimento no julgamento de localização do móvel e do marcador toma a dianteira sobre quaisquer outros efeitos posicionais, eliminando-os ou negligenciando-os.

O conjunto destes resultados sugere que facetas importantes da estrutura do EFL podem de facto reportar-se a mecanismos de natureza *prima facie* espacial, e que uma investigação conduzida a partir de respostas de localização absoluta pode produzir contributos relevantes para o esclarecimento de alguns desses mecanismos, inacessíveis de outro modo. Daqui não resulta, contudo, que mecanismos temporais não contribuam para o EFL. Pelo contrário, um traço essencial do paradigma EFL é a consideração necessária do momento em que o marcador é apresentado, que define a tarefa como inevitavelmente espaço-temporal. A questão central do debate em torno do EFL é por isso menos, como assinalam Cravo e Baldo (2008), a de opor mecanismos espaciais e temporais do que a de esclarecer o modo da sua ação conjunta. A hipótese clássica das latências diferenciais, postulando uma maior rapidez de processamento de estímulos em movimento comparativamente a estáticos, admite uma convertibilidade direta entre diferenças temporais e espaciais – tendo as primeiras um papel explicativo (causa do EFL) e as segundas o estatuto de consequências (o atraso espacial do marcador exprime o seu atraso temporal). Como indicado atrás, este pressuposto de convertibilidade encontra-se igualmente presente no procedimento corrente de traduzir medidas espaciais do EFL em medidas temporais, e vice-versa, utilizando para a conversão a velocidade (real, nem sequer percebida) do estímulo móvel. As dissociações entretanto documentadas entre julgamentos da posição relativa do marcador ou do móvel (o “onde”) e julgamentos da sua relação temporal (o “quando”) – revelando, e.g., a possibilidade de perceber desalinhamentos espaciais na ausência de desalinhamentos temporais (Arnold et al., 2009; Cai e Schlag, 2001; Eagleman & Sejnowski, 2000c; 2002; Kreepiguu e Allik, 2003; 2004; Nijhawan et al., 2004 –, para além de questionarem a hipótese clássica das latências, colocam a todas as tentativas de explicação genuinamente espaço-temporal (e não apenas temporal ou espacial) do EFL a exigência de acomodar a incoerência “fenomenológica” entre o *timing* e a localização espacial percebidos dos estímulos (ver adiante: “conclusão provisória”).

Os resultados reportados no Capítulo 5 da dissertação, dirigido à investigação das diferenças de latência reveladas por julgamentos de ordem temporal e tempos de reação entre estímulos estáticos e dinâmicos, tanto no interior das modalidades auditiva e visual como através delas,

apontaram, em geral, para a sua inconsistência com a direção das diferenças espaciais nos  $EFL_D$  (sendo a direção do efeito o aspeto qualitativo, fundamental, em consideração), com um número aproximadamente idêntico de concordâncias e discordâncias entre direções previstas e observadas. Adicionalmente, confirmando a evidência de dissociações entre as latências reveladas pelos TOJ e pelos RT (Diederich & Colonius, 2015; Jaśkowski, 1999; Miller & Schwarz, 2006), os dois tipos de tarefa produziram resultados divergentes, por exemplo, quanto às latências diferenciais entre estímulos visuais estáticos e dinâmicos (com os últimos a apresentar menores latências nos RT, mas maiores latências nos TOJ). Como notado acima, os resultados do Capítulo 5 encontram-se limitados pelo facto de as medidas de latência e de  $EFL_D$  terem sido obtidos com diferentes participantes (inviabilizando o exame da correspondência intra-sujeitos dos dois conjuntos de dados) e por um  $n$  (efetivo amostral) significativamente reduzido (em resultado da aplicação de critérios de exclusão de participantes) nalgumas das tarefas TOJ. No entanto, conclusões semelhantes foram apoiadas pela análise, no Capítulo 4 (com um desenho intra-sujeitos), dos tempos de resposta ( $TR_{esp}$ ) ao marcador e ao móvel e da diferença entre ambos ( $\Delta TR_{esp}$ ). O  $\Delta RT$  apresentou tipicamente valores de correlação ( $r$  de Pearson) estatisticamente nulos (e de sinal tanto negativo como positivo) com o  $EFL_D$ , o mesmo sucedendo com as correlações entre os  $TR_{esp}$  e a magnitude do erro de localização ( $D_x$ ) do móvel e do marcador. No conjunto, os resultados envolvendo medidas temporais, tanto no Capítulo 4 como no Capítulo 5, documentaram assim a irredutibilidade dos  $EFL_D$ , enquanto diferenças espaciais, a medidas de natureza temporal. Entretanto, a comparação entre os  $TR_{esp}$  ao marcador e ao móvel (com  $TR_{esp}$  em geral superiores no último caso) ofereceu suporte moderado – contrariado numa das tarefas e limitado pela ausência de expressão estatística nas restantes – à hipótese de um processamento sequencial (ou em cascata) do marcador e do móvel, de acordo com o previsto por alguns modelos do EFL (modelo da codificação sequencial: Priess et al., 2012; de latência generalizada: Baldo, Kihara, et al., 2002; da transição da localização egocêntrica-alocêntrica: Becker et al., 2009).

## ***6.2. Limites do estudo e direções futuras***

Ao longo de toda a parte empírica foram sendo notados limites que afetam diferentes aspetos do estudo. Esses limites são aqui retomados e comentados, no sentido de avaliar mais especificamente o seu impacto e indicar vias possíveis de os mitigar ou eliminar. Na medida em que apelam à realização de investigação adicional, optou-se por combinar no âmbito de uma mesma secção a discussão dos limites assinalados e a identificação de direções de desenvolvimento futuro do trabalho.

(i) Uma condicionante do estudo apontada desde cedo (ver ponto 4.4.1. ) é a ausência de replicação das tarefas reportadas no capítulo 4 com medidas psicofísicas diretas do erro relativo, utilizadas no estudo do EFL (e.g., o Ponto de Alinhamento Subjetivo ou distância física a que os dois estímulos são percebidos como espacialmente alinhados). Os valores de  $EFL_D$  não foram assim confrontados diretamente com valores de EFL obtidos nas mesmas tarefas, diferentemente do que sucedeu no estudo de Shi e de'Sperati (2008), e sim, indiretamente, com perfis característicos do EFL reportados pela literatura nos ciclos iniciado pelo marcador (CIM), contínuo (CC) e terminado pelo marcador (CTM). Pelas mesmas razões, o confronto pôde apenas ser qualitativo – envolvendo as direções do efeito ( $EFL_D > 0$ ,  $EFL_D < 0$ ) e a ordenação da sua magnitude entre ciclos ( $CIM \geq CC > CTM$ ) – e não quantitativo. Embora interpretável como um limite, tratou-se na realidade de uma opção pela exploração da hipótese da recuperação da estrutura do EFL a partir de medidas de localização absoluta num âmbito alargado aos três ciclos do EFL (Shi e de'Sperati consideraram unicamente o CC), a modalidades distintas da visual (a única considerada por Shi & de'Sperati) e aos efeitos de uma potencial modulação atencional (não considerada por Shi e de'Sperati). O número elevado de tarefas resultante (um preço pago pela busca de generalidade) inviabilizou na prática a sua replicação, num mesmo estudo, com medidas padrão do EFL.

A superação desta condicionante depende naturalmente da replicação futura das tarefas com os dois tipos de medida – de localização absoluta e de localização relativa. Esta replicação poderá ser seletivamente orientada pelos casos onde se verificou um acordo qualitativo consistente entre o perfil de  $EFL_D$  e o perfil característico do EFL (a ausência de acordo qualitativo sugere a impossibilidade de um ajuste quantitativo). Deverá ainda proceder sectorialmente (no limite, envolvendo de cada vez uma tarefa), de modo a assegurar na prática a viabilidade de desenhos intra-sujeitos (os mesmos participantes realizam a mesma tarefa com as duas medidas) suportados por efetivos amostrais adequados. Por fim, vários dos resultados obtidos em tarefas específicas abrem possibilidades adicionais de apreciar a correspondência entre  $EFL_D$  e EFL, dando lugar a hipóteses testáveis através da replicação com medidas-padrão do EFL. É o caso, notado acima, da dependência dos  $EFL_D$  relativamente ao local de apresentação dos estímulos auditivos nas tarefas audiovisuais ( $V_{MC}-A_{MOV}$  e  $A_{MC}-V_{MOV}$ ) (ver pontos 4.4.2.1.3. ). Na hipótese de o  $EFL_D$  capturar a estrutura essencial do EFL, idênticas dependências deverão assim manifestar-se aquando da replicação destas tarefas com medidas psicofísicas do EFL.

Algumas variações das condições de execução podem igualmente ser objeto de investigações futuras, designadamente a realização das tarefas com e sem imposição de fixação (i.e., permitindo ou não o seguimento ocular do móvel) e a localização do marcador em condições de atenção focalizada e dividida. Como assinalado antes, a combinação da fixação da cabeça com a permissão de movimentos oculares poderá ter interferido com a calibração recíproca da audição

e da visão nas tarefas intermodais (Razavi et al., 2007; Schechtman et al., 2012); adicionalmente, a maioria dos estudos de EFL impõem a fixação do olhar durante o movimento (embora habitualmente sem controlo oftalmográfico). A comparação entre resultados com e sem exigência de fixação poderá, neste quadro, contribuir para o esclarecimento de alguns dos nossos resultados, em especial nas tarefas intermodais. Quanto ao regime atencional, a localização do marcador ocorreu, nas nossas tarefas, num contexto de atenção focalizada (no marcador). No âmbito das medidas típicas de EFL, que não solicitam a localização do marcador, esta, a ocorrer (enquanto componente do EFL), terá lugar em princípio num contexto de atenção dividida com a localização do móvel. Comparar os valores de  $EFL_D$  obtidos a partir da localização do marcador em condições de atenção focalizada e dividida pode assim fornecer evidência relevante, em particular quanto ao impacto destes regimes atencionais no *flash-drag*, um tópico largamente em aberto (ver Fukiage et al., 2011, Maus et al., 2013; Shim & Cavanagh, 2005; Tse et al., 2011; Whitney & Cavanagh, 2000).

(ii) A combinação aleatória dos diferentes ciclos do EFL (CIM, CC, CTM) num mesmo bloco de ensaios suscita um problema de controlo metodológico já assinalado, envolvendo previsões idênticas com condicionalidades distintas. Com efeito, o decréscimo geralmente observado do  $EFL_D$  na ordem  $CIM > CC > CTM$  é não apenas compatível com tendências gerais reportadas na literatura (na origem da previsão orientadora  $P_{B2}$ ), como com um efeito de previsibilidade crescente da ocorrência temporal do marcador induzido pelo arranjo experimental (associado à previsão orientadora  $P_{D2}$ , com um conteúdo parente da  $P_{B2}$ : ver **Tabela 1**). Sob a designação de “efeito de intervalo”, Vreven e Verghese (2005) documentaram uma redução do EFL com o aumento da previsibilidade do momento de apresentação do marcador. O facto de, no contexto das nossas tarefas, a ausência de marcador no início aumentar a probabilidade da sua apresentação a meio (CC) ou no final do movimento (CTM) e, transcorrido metade do movimento, tornar certa a sua ocorrência no final (CTM), induz um acréscimo de previsibilidade suscetível de explicar, analogamente, a ordenação observada dos  $EFL_D$  ( $CIM > CC > CTM$ ).

Embora admissível, esta possibilidade encontra-se limitada pela circunstância de a revisão da literatura que suportou a derivação da previsão  $P_{B2}$  incluir vários estudos onde o CIM, o CC e o CTM, diferentemente das nossas tarefas, foram tratados em blocos separados – imunes, por conseguinte, a este potencial artefacto (e.g., Alais & Burr, 2003, Khurana & Nijahwan, 1995; Nijahwan et al., 2004, Ögmen et al., 2004; Watanabe, 2004). Adicionalmente, uma explicação da diminuição do  $EFL_D$  no CTM como um efeito de previsibilidade induzida não prevê, em si mesma, a ocorrência de  $EFL < 0$  (uma inversão do efeito) neste ciclo, documentada quer na literatura revista quer pelos  $EFL_D$  observados. Em todo o caso, uma experiência auxiliar foi ainda planeada e executada no âmbito da dissertação (envolvendo 13 participantes, 5 da amostra A e 8 novos participantes, todos do género feminino, com idades entre os 19 e os 22 anos) com o

objetivo de esclarecer empiricamente esta questão. Num de dois blocos experimentais, utilizando unicamente a tarefa com movimento e marcador visual ( $V_{MC}-V_{MOV}$ ), o marcador surgia no início do movimento (CIM) em 80% dos ensaios, enquanto no outro bloco era apresentado a meio do movimento (CC) em 80% dos ensaios. O CIM beneficiaria assim globalmente de maior previsibilidade do que o CC no primeiro bloco, e o contrário sucederia no segundo, permitindo aferir o impacto da previsibilidade induzida no EFL<sub>D</sub>. Um lapso no registo dos resultados levou contudo à perda das respostas de localização do móvel, inviabilizando o objetivo da experiência complementar (isoladamente, as respostas ao marcador não permitem calcular os EFL<sub>D</sub>). Replicar as tarefas, em investigações futuras, com os diferentes ciclos do EFL em blocos separados constituirá assim a forma direta e natural de avaliar o impacto de um eventual efeito de previsibilidade induzida nos EFL<sub>D</sub>, ou em alternativa descartá-lo.

(iii) Os reduzidos efetivos amostrais ( $n$ ) envolvidos em várias das comparações, com incidência particular nalgumas condições das tarefas TOJ (após aplicação dos critérios de exclusão com base no ajuste ao modelo logístico) constituíram um limite recorrentemente notado, quer do ponto de vista da perda de poder estatístico quer do ponto de vista da generalidade atribuível aos resultados observados. Apesar da prevalência de comparações intra-sujeitos (oferecendo um ganho substancial de poder estatístico) e do recurso à análise de contrastes (comparações focadas, com apenas 1 g.l.: ver Rosenthal & Rosnow, 2009) no quadro das ANOVAs de medidas repetidas, terem assegurado um conjunto consistente de resultados significativos, a sua consolidação, alargamento e nível de generalidade dependem certamente dos resultados de replicações futuras em amostras de dimensão superior.

Convirá notar, entretanto, que a extensão reduzida das amostras não resultou da ausência de planeamento quanto à sua dimensão desejável (análises de poder *a priori* foram para esse efeito conduzidas previamente com o programa G\*Power, v3.1.9.6; ver abaixo) e sim, incidentalmente, de dificuldades práticas no recrutamento de participantes – num contexto em que nenhuma contrapartida (financeira ou em créditos curriculares) pôde ser oferecida a troco da sua participação voluntária. Para um tamanho de efeito médio ( $f=.25$ , na especificação do G\*Power 3), com  $\alpha=.05$ ,  $1-\beta=.80$  e correlações entre medidas repetidas de  $\rho=0.5$  (ver Faul et al., 2007), as análises de poder *a priori* estimaram valores mínimos de  $n$  compreendidos entre 20 e 30 ( $20 \leq n \leq 30$ ) para as comparações intra-sujeitos (ANOVAs de medidas repetidas e testes  $t$  com amostras emparelhadas), interações dos fatores intra e entre-sujeitos (ANOVAs mistas) e testes  $t$  de uma só amostra (contra um valor de referência, e.g., 0). Quanto às comparações entre-sujeitos (em ANOVAs mistas com 2 grupos), os valores estimados foram de 43 participantes por grupo considerando um efeito médio ( $f=.25$ ), e de 18 participantes por grupo considerando um efeito grande ( $f=0.4$ ). Como em todas as análises de poder *a priori*, a incerteza inerente a vários dos parâmetros ( $f$ ,  $\rho$ ) apenas permite tomar estes valores como indicativos. Considerando a

predominância (e prioridade substantiva) das comparações intra-sujeitos no contexto da dissertação, por um lado, e a avaliação preliminar do universo de recrutamento, por outro, um valor de 30 participantes por amostra (60 nas comparações entre grupos: suficiente para efeitos grandes, e associado a um poder estimado próximo dos 0.7 para efeitos médios) foi adotado como objetivo mínimo alcançável. Este objetivo revelou-se, paulatinamente, inexequível nas condições e conjuntura real do recrutamento (adesões abaixo do esperado, pré-inscrições não concretizadas, mortalidade experimental acima do previsto), que determinaram os  $n$  finais de 15 (amostra A), 16 (amostra B), 15 (tarefas TOJ) e 10 (tarefas TR: neste último caso, o requisito de taxas de respostas corretas acima de 75% numa tarefa piloto ditaram adicionalmente a eliminação de 10 dos 20 participantes inicialmente disponíveis).

Uma implicação do conteúdo do parágrafo precedente é a de que replicar as tarefas em amostras de dimensão adequada não parece possível sem uma revisão significativa do escopo e implementação do estudo, incluindo: (a) a transição para uma abordagem setorial, e não geral, no limite tarefa a tarefa (de modo a reduzir o número de tarefas e sessões em cada amostra); (b) a antecipação, em particular no caso das medidas de latência, de taxas de exclusão de participantes importantes, na ordem dos 40 a 50%; (c) o alargamento da base e condições de recrutamento de participantes, designadamente a instituições onde a contrapartida de créditos curriculares se encontre disponível como incentivo à participação.

(iv) A realização das tarefas do capítulo 4, dando lugar ao cálculo dos  $EFL_D$ , por participantes distintos dos que realizaram as tarefas do capítulo 5, envolvendo medidas de latência, impediu a análise das relações entre os dois conjuntos de dados numa base individual. Esta circunstância limita o alcance das comparações. Em particular, não permite interpretar o resultado documentado de uma variância significativamente inferior dos  $EFL_D$  previstos (a partir das diferenças de latência) face à variância dos  $EFL_D$  observados (ver ponto **5.1.2.3.**). Não sendo possível excluir, no quadro de uma comparação entre-sujeitos, que a diferença de variâncias exprima meramente a heterogeneidade entre grupos, futuras replicações conduzidas no quadro de um desenho intra-sujeitos poderão, em contrapartida, vir a estabelecê-la (ou não) como um indicador adicional da incapacidade das variações de latência diferencial para explicar a variação dos  $EFL_D$  – acrescentando-se às indicações de inconsistência entre a direção prevista e observada dos efeitos médios de  $EFL_D$ .

(v) Das quatro tarefas de  $EFL_D$  intermodal, três apresentaram resultados convergentes com os observados na tarefa unimodal visual ( $V_{MC}-V_{MOV}$ ) no que se refere à ordenação geral das magnitudes dos  $EFL_D$  através dos ciclos, excetuando-se unicamente a tarefa com movimento auditivo ( $V_{MC}-A_{MOV}$ ). Isto pode tomar-se como concordante, em geral, com a convergência observada por Alais & Burr (2003) entre o perfil dos EFL audiovisuais e o perfil do EFL visual através dos ciclos (ver Figura 4 em Alais & Burr, 2003) – e, igualmente, como um suporte

consistente à existência de efeitos de EFL audiovisuais, questionada em pelo menos um estudo (Hine et al., 2003: os autores encontraram um efeito de liderança, e não de atraso, de um marcador auditivo no CC). No entanto, os nossos resultados apresentaram também, no detalhe, discordâncias com os de Alais e Burr (2003). Uma delas envolve o perfil específico dos  $EFL_D$  através dos ciclos, que, no estudo de Alais e Burr, consistiu em magnitudes equivalentes no CIM e no CC (e não à ordem  $CIM > CC$ ) e à nulificação do EFL no CTM (enquanto a inversão do  $EFL_D$  foi o resultado mais geral por nós observado). Esta discordância (que se verificou tanto na tarefa unimodal visual como nas audiovisuais) não é problemática, correspondendo a duas tendências observáveis na literatura. Em particular, a inversão do EFL no CTM é característica em estudos nos quais o estímulo móvel desaparece no final do movimento (Roulston et al., 2006), como nas nossas tarefas, não sendo claro a partir da descrição oferecida por Alais e Burr (2003) se o mesmo sucede no seu caso.

Já a segunda discordância merece ser considerada. Na realidade, apenas duas das nossas tarefas AV têm equivalentes nas tarefas AV de Alais e Burr (2003) – as tarefas com marcador visual e movimento auditivo ( $V_{MC-A_{MOV}}$ ) e com marcador auditivo e movimento visual ( $A_{MC-V_{MOV}}$ ). No estudo de Alais e Burr ambas as tarefas AV apresentaram no CC (único ciclo para o qual os autores fornecem dados discriminados) valores de EFL superiores aos da tarefa unimodal visual, tendo a tarefa com marcador auditivo apresentado a maior magnitude de EFL. No presente estudo, em contraste, foi essa a tarefa ( $A_{MC-V_{MOV}}$ ) que apresentou menores valores de  $EFL_D$  no CC (e ainda no CTM) – inferiores mesmo ao da tarefa unimodal visual –, enquanto a tarefa com movimento auditivo apresentou (de forma destacada) o maior valor de  $EFL_D$ . Esta discordância lança dúvidas sobre a capacidade dos  $EFL_D$  para refletirem a estrutura mais fina dos EFL nestas tarefas, num contexto em que, do nosso melhor conhecimento, nenhuma investigação adicional do EFL audiovisual se propôs até à data examinar a replicabilidade dos resultados de Alais e Burr (2003).

Num estudo em que procuraram examinar o acordo entre magnitudes previstas de EFL audiovisual (a partir de intervalos de integração temporal registados entre estímulos estáticos e dinâmicos intermodais) e a ordenação das magnitudes de EFL observadas em Alais & Burr (2003), Arrighi et al. (2005a) reportaram justamente um desacordo envolvendo a tarefa com movimento auditivo ( $V_{MC-A_{MOV}}$ ). Enquanto a janela de integração temporal entre um marcador visual e um estímulo auditivo em movimento era a maior entre todas as condições, prevendo (no racional utilizado pelos autores) um valor de EFL superior, a tarefa com movimento auditivo apresentou no estudo de Alais e Burr (2003), como referido, um valor de EFL substancialmente inferior ao da tarefa com marcador auditivo e movimento visual ( $A_{MC-V_{MOV}}$ ). A previsão de Arrighi et al. (2005a) está por sua vez de acordo com a nossa observação de um maior  $EFL_D$  na tarefa com movimento auditivo. Claramente, a replicação destas duas tarefas com medidas de  $EFL_D$  e medidas padrão de EFL constitui uma linha de desenvolvimento relevante não apenas

para o esclarecimento das discordâncias de detalhe com o trabalho pioneiro de Alais e Burr (2003), como ainda para o estabelecimento de tendências robustas de resultados num domínio caracterizado pela escassez da investigação produzida.

### ***6.3. Potenciais implicações aplicadas***

O EFL tem sido sobretudo utilizado como um paradigma para a investigação fundamental de processos como a representação do tempo, a relação entre informações de posição e movimento ou a discussão de mecanismos perceptivos de compensação dos atrasos neurais. A primeira e uma das raras utilizações do EFL num contexto aplicado, exterior ao laboratório, é ainda relativamente recente, envolvendo os erros de marcação de fora-de-jogo por árbitros assistentes de futebol (Baldo et al., 2002). Prosseguida em estudos subsequentes (Catteeuw et al., 2010, Gilis et al., 2008), esta linha de aplicação revelou a possibilidade de compensar e reduzir os efeitos do EFL através do treino com situações simuladas ou animações de computador, não sendo ainda claro se essa redução se limita ao domínio específico (aos estímulos específicos) ou se generaliza a outras tarefas envolvendo o EFL. O suporte consistente encontrado para perfis de  $EFL_D$  audiovisuais equivalentes aos unimodais visuais (com exceção da tarefa  $V_{MOV}-A_{MOV}$ ) permite considerar – em circunstâncias onde o incremento da exatidão da localização relativa do marcador e do móvel (como na marcação de “fora-de-jogo”) é um objetivo – a possibilidade da utilização de estímulos auditivos como forma de suportar e melhorar o treino de localização. A utilização de um marcador auditivo na tarefa  $A_{MC}-V_{MOV}$  esteve associada a uma tendência para um menor  $EFL_D$  no CC, e a utilização de um marcador AV (simultaneamente A e V) a valores de  $EFL_D$  não apenas mais exatos (próximos de zero) como também mais precisos (menor dispersão) em todos os ciclos. Este último resultado dispõe de equivalentes parciais (para o CC) na literatura do EFL (Vroomen e de Gelder, 2004), interpretados como um benefício audiovisual decorrente do aumento da precisão temporal do marcador graças à adunção de um som concomitante (Vroomen e de Gelder, 2004). O grau em que o eventual benefício da inclusão de estímulos auditivos na fase de treino é preservado no pós-treino em contextos exclusivamente visuais, ou em que o exercício com marcadores A ou AV é transferível para além do domínio específico do treino, são exemplos de questões com potencial interesse aplicado para o incremento da precisão da localização relativa de estímulos estáticos e dinâmicos.

Embora num número muito reduzido de estudos, tarefas de EFL têm sido utilizadas para a caracterização e compreensão de potenciais défices perceptivos em populações especiais. Num estudo de comparação entre participantes com ambliopia (afetando um dos olhos) e participantes

normovisuais, Wang et al. (2021) observaram um EFL mais reduzido nos participantes amblíopes, afetando igualmente o olho amblíope e o olho contralateral (medidas de EFL monoculares). Com base na evidência anterior de menor resolução temporal visual (Spang & Fahle, 2009) e limiares de sincronia superiores (Tao et al., 2019) no olho do subordinado que no dominante, os autores interpretaram este resultado como uma incapacidade do sistema visual dos amblíopes para compensar adequadamente os maiores atrasos neurais de que sofrem, refletindo um déficit da atividade de facilitação espaço-temporal do córtex visual primário. Esta interpretação dos autores assume, pelo menos no essencial, uma interpretação do EFL como devido a um mecanismo de extrapolação do movimento, apenas parcialmente suportada pelos nossos resultados (uma tendência predominante de localização do móvel para diante foi na realidade observada, mesmo no CTM; porém, o  $EFL_D$  emergente depende igualmente do erro de localização do marcador). Uma hipótese distinta, já não do ponto de vista do “diagnóstico” e sim da reabilitação, pode, no entanto, inspirar-se, de novo, na equivalência observada entre os perfis de  $EFL_D$  visuais e audiovisuais. A localização do movimento visual foi mais exata (próxima de zero) com marcadores auditivos do que com marcadores visuais em todos os ciclos (ver **Figura 14**), sugerindo um benefício decorrente da maior resolução temporal da audição. Poderá o treino em tarefas de EFL com marcador auditivo (ou AV) induzir melhorias na resolução temporal visual do olho amblíope? Melhorias deste tipo podem assentar em mecanismos estratégicos (alocação preferencial de recursos à informação temporal: (ver Nazaré & Oliveira, 2021), eventualmente suscetíveis de suportar modalidades de reabilitação compensatória (por oposição a restaurativa) de aspetos funcionais da ambliopia dependentes de propriedades temporais (para a distinção entre abordagens compensatórias e restaurativas ver Dundon et al., 2015; para evidência sobre efeitos perduráveis e transferíveis de abordagens compensatórias audiovisuais ver Bolognini et al., 2005).

Kaliuzhna et al. (2020) utilizaram o EFL como uma forma de avaliar um eventual déficit de processamento da velocidade do movimento em participantes com esquizofrenia. A razão para tal foi minimizar o envolvimento de funções executivas (e.g., memória de trabalho e atenção) mobilizadas pelas tarefas clássicas de discriminação de velocidades (requerendo a escolha forçada entre dois intervalos: 2IFC). O ponto de partida foi a evidência acumulada sobre défices na perceção do movimento na esquizofrenia, com ênfase na discriminação de velocidades (Clementz et al., 2007). A previsão de base a de que, para além de uma redução geral do EFL, diferenças importantes na dependência da magnitude do EFL relativamente à velocidade (EFL crescente com a velocidade) seriam observadas comparativamente aos participantes controlo. Os resultados foram, no essencial, contrários ao previsto e interpretados como sugerindo a ausência de um déficit geral de processamento da velocidade do movimento na esquizofrenia. Os resultados das nossas tarefas, mostrando a dependência conjunta do  $EFL_D$  relativamente ao erro de localização do móvel e do marcador, sugerem uma interpretação mais cautelosa e condicional ao exame

separado dos dois tipos de erro (um erro de localização do móvel compatível com diferenças de processamento importantes relativamente ao grupo controlo, poderia ainda sim, dependendo do erro de localização do marcador, produzir um EFL<sub>D</sub> equivalente). Kaliuzhna et al. (2020) apontam no final para a conveniência de avaliar o mesmo tipo de participantes num espectro mais amplo de tarefas. Os nossos resultados sugerem, a esse propósito, que tarefas de MR (igualmente dependentes da velocidade) e/ou de Efeito *Frölich* constituem formas de avaliação mais direta e menos ambígua de eventuais défices de processamento do movimento do que as tarefas de EFL.

Um (raro) exemplo de utilização do EFL como um utensílio de medida fora do domínio clássico da percepção do movimento envolveu a atenção espacial orientada por pistas. Com base na evidência disponível de uma redução do EFL quando o estímulo em movimento, o momento (*timing*) ou a localização do *flash* beneficiam de alocação atencional (Baldo et al., 2002, Chappell et al., 2006; Sarich et al., 2007), Shioiri et al., 2010 examinaram a possibilidade de utilização do EFL como um indicador quantitativo da distribuição de atenção visual espacial em torno do local assinalado por uma pista. A sua conclusão foi a de que as medidas obtidas correspondiam às estimadas por outros métodos de medida, com a vantagem comparativa de uma maior simplicidade das tarefas de EFL. Embora tenham mencionado a questão do mecanismo através do qual a atenção influencia o EFL, sugerindo uma facilitação seletiva do processamento do marcador (concordante com a ideia de que a deteção do marcador dá início ao processo de localização relativa do móvel), os autores não a abordaram diretamente. A manipulação da atenção no nosso estudo não foi espacial e sim relativa à probabilidade da modalidade do marcador, não permitindo por isso uma comparação direta com os resultados de Shioiri et al. (2010). Todavia, o resultado geral favorável à possibilidade de decompor o EFL em duas componentes de erro (do marcador e do móvel) aponta para a possibilidade prática de esclarecer o impacto da atenção guiada por pistas espaciais no EFL. Neste quadro, há várias formas possíveis de reduzir o EFL: por redução do erro de localização do móvel para diante; pelo aumento do erro de localização do marcador para diante (*flash-drag*); pela redução dos dois erros, mas mais acentuada para o móvel; pelo aumento dos dois erros, mas mais acentuadamente para o marcador. A utilização de medidas de localização absoluta (como nas nossas tarefas do Capítulo 4) oferece em primeiro lugar uma via analítica para examinar o impacto da atenção espacial em cada componente. Mas também, de forma condicional a essa análise, a possibilidade de suportar medidas de distribuição espacial da atenção mais simples e diretas do que o EFL (e.g., na hipótese de a redução observada do EFL assentar na redução do erro de localização do móvel, uma tarefa de localização do móvel bastaria; no caso de assentar num incremento do *flash-drag*, a mera localização do marcador bastaria).

As medidas de latência obtidas com as tarefas TOJ e TR no Capítulo 5 produziram alguns resultados que, do nosso melhor conhecimento, não foram até à data reportados. Entre estes encontram-se (i) as ordenações temporais do *onset* do movimento (e não da apresentação) de estímulos dinâmicos A e V, com e sem sobreposição espacial (i.e., variando a apresentação: mesmo local ou local diferente), nas tarefas TOJ, e (ii) o impacto diferencial do intervalo entre a apresentação e o início do movimento de um estímulo nos TR ao *onset* do movimento de estímulos A e V (ver **Figura 31**). Estes resultados alargam a base de evidência disponível sobre o processamento da ordem temporal através das duas modalidades e sobre a modulação das suas latências diferenciais. Dado o número reduzido de participantes no qual foram obtidos, a sua generalidade mantém-se condicional a replicações em futuros estudos. Entretanto, a verificar-se essa generalidade, examinar o seu eventual valor diagnóstico no despiste de problemas de processamento temporal (designadamente audiovisual) constitui uma direção de aplicação potencial.

#### **6.4. Conclusão provisória**

O EFL envolve a localização perceptiva de um objeto em movimento no momento indicado por um marcador (*flash*). Mobiliza assim duas noções fundamentais, as do “onde” e do “quando” (mais exatamente, do “agora”), e a questão da sua articulação. O presente trabalho privilegiou a questão do “onde”, propondo-se explorar, num quadro alargado aos três ciclos do EFL (e a variantes intermodais da tarefa-base) o alcance e limites da hipótese de redução do EFL à combinação linear de dois erros de localização envolvendo, respetivamente, o móvel e o marcador (Hubbard, 2013, 2014a, 2018a; Shi e de’Sperati, 2008). Duas indicações principais podem retirar-se dos resultados obtidos: (1) A estrutura qualitativa do EFL através dos CIM, CC e CTM mostrou ser no essencial recuperável a partir da subtração da magnitude do erro de localização espacial absoluta (i.e., relativo à posição verídica) do marcador ao erro de localização espacial absoluta do móvel (EFL<sub>D</sub>). Esta indicação é favorável ao envolvimento da participação de mecanismos especificamente espaciais no EFL; (2) A natureza destes mecanismos não se apresenta compatível com o ideal de uma “localização simples” num espaço de coordenadas pontuais. Pelo contrário, o papel desempenhado pelo *flash-drag* (questionando o pressuposto de localização perceptiva verídica do marcador) e a extensão documentada das diferenças individuais qualitativas (relativas à existência e direção do efeito: ver **Figura 10**, **Figura 11**, **Figura 18** e **Figura 19**) no EFL<sub>D</sub>, convergem com resultados anteriores – e.g., influências posicionais recíprocas entre o marcador e o móvel (Linares et al., 2007), anisotropias do espaço de localização (Watanabe & Yokoi, 2006; 2007), alteração da posição percebida de objetos estáticos distantes do movimento (Whitney &

Cavanagh, 2000), compressões do espaço visual induzidas por movimentos oculares (Ross et al., 1997), impacto do comportamento motor (Ichikawa & Masakura, 2010; López-Moliner and Linares) – na sugestão de um processo complexo de “espacialização” associado à atribuição de “posições percebidas” pelo sistema visual (Fisher et al., 2011; Whitney, 2002).

Estas indicações justificam, em nosso entender, o duplo interesse da investigação de interpretações *prima facie* espaciais do EFL como a que serviu de base à dissertação: a produção de evidência sobre mecanismos especificamente espaciais (ainda que associável a dinâmicas temporais – ver, e.g., Murai & Murakami, 2016; o *flash-drag*, por exemplo, não admite uma explicação estritamente temporal), por um lado, e a exploração da fenomenologia complexa da questão do “onde”, por outro. Esta fenomenologia é facilmente obliterada, por exemplo, pela assunção de que mapas neurais (retinotópicos ou espaciotópicos) codificam a posição dos objetos (ver, e.g., Spivey & Batzloff, 2018). A explicação espacial clássica do EFL por uma extrapolação do movimento que, compensando os atrasos neurais, realinha perceptivamente o móvel com a sua posição física-verídica (Nijhawan, 1994), minimiza a complexidade fenomenológica da localização perceptiva (ver Eagleman & Sejnowski, 2007; Linares et al., 2007; Rouslton et al., 2006.) Abordagens exclusivamente temporais do EFL, como a hipótese das latências diferenciais (Whitney & Murakami, 1998), tendem igualmente, pela sua própria natureza, a negligenciá-la. Na medida em que o atraso espacial do *flash* é entendido como o reflexo direto de um atraso temporal, a atribuição de posições espaciais relativas (envolvendo o marcador e o móvel) dispensa qualquer mecanismo de espacialização suplementar (legitimando assim a prática de conversão do *lag* espacial do marcador num *lag* temporal e vice-versa: Kreegipuu & Allik, 2003).

De forma talvez menos óbvia, contudo, as abordagens exclusivamente temporais do EFL subestimam também a complexidade fenomenológica da determinação do *timing* da localização (o “agora”). No quadro da hipótese das latências diferenciais, a coincidência num mesmo instante temporal (assumido como mensurável numa escala de tempo físico) da percepção consciente do *flash* e do estímulo móvel numa posição mais adiantada, determinaria a “simultaneidade” psicológica das duas posições. Esta solução mantém o ideal duma correspondência entre simultaneidade psicológica (participação de dois eventos no mesmo “agora”) e a sincronia “física” de dois perceptos (do marcador e do móvel em posição adiantada). O problema da simultaneidade manifesta-se com outra autonomia noutras variantes de explicação temporal, como o modelo de latências generalizado, que incorpora atrasos associados à deslocação da atenção entre o *flash* (que começa por capturá-la) e o móvel (Baldo, Kihara, et al., 2002; Baldo & Klein, 2010). Um ponto essencial da explicação proposta é o de que o tempo gasto na deslocação atencional entre o *flash* e o móvel deve ser ignorado para que as duas posições (do *flash* e do móvel adiantado) sejam percebidas como simultâneas. O “agora” depende assim duma

“decisão” de ignorar a passagem do tempo físico – contrastando com ocasiões onde, diversamente, a compensação de intervalos de tempo pelo sistema visual é mobilizada com fins explicativos (como na “ilusão do relógio parado”, ou cronostase, sobrevinda após uma sacada, frequentemente interpretada como uma compensação pelo tempo despendido na sacada: Eagleman, 2008).

As propostas de explicação do FLE baseadas na integração de posições espaciais ocupadas pelos estímulos em movimento durante um certo período (e.g., Krekelberg & Lappe, 2000b; Rizk et al., 2009; Eagleman & Sejnowski, 2000a, 2007) recusam a noção de simultaneidade como coincidência num instante, conferindo-lhe ao contrário uma extensão temporal, ou duração (representada pela janela temporal da integração). Aproximam-se nesse sentido, de alguma forma, da noção de “presente psicológico”, dotado de espessura temporal (Stern, 1998). Preservam, contudo, a ideia de representações posicionais instantâneas do movimento, agregadas através de diferentes formas de média ponderada (o *flash* é simultâneo, não com uma posição, mas com uma média posicional) e enfrentam, adicionalmente, a questão da duração variável da janela de integração, com um arco de valores propostos entre os ~ 80 ms (Eagleman & Sejnowski, 2000a) e os ~ 600 ms (Krekelberg & Lappe, 2000b). Uma forma distinta de dotar a simultaneidade de extensão temporal foi recentemente proposta por Schneider (2018) como forma de explicar o EFL e outras ilusões associadas ao movimento (entre as quais o efeito *Frölich*). Citando W. James (1909), “Time itself comes in drops” (p. 232), Schneider concebe a percepção visual como uma sucessão de “momentos perceptivos” (quantas discretos de percepção) com uma duração de 100-150 ms, no interior dos quais não existe distinção posicional (no sentido em que qualquer posição é registada no final do momento perceptivo). E mostra em seguida como (mediante duas hipóteses adicionais: a de uma relação aleatória entre o estímulo e a amostragem perceptiva e a de uma interpolação das posições registadas), o conjunto dos resultados obtidos por Murakami (2001) na sua investigação sobre o EFL podem ser quantitativamente integrados no modelo. Embora ultrapasse a necessidade de manter uma estimativa continuada das posições do móvel (e a produção de médias ponderadas a partir delas), a sugestão de Schneider estabelece uma correspondência biunívoca entre “presente psicológico” e um intervalo de tempo físico em torno dos 100 ms. Esta hipótese de decomposição do tempo psicológico em momentos de ~100 ms pode encontrar-se já em trabalhos muito anteriores de Stroud (1955). A investigação que se seguiu (ver, para uma revisão, Vicario, 1998) revelou, entre outros problemas, a dificuldade em fixar o valor dos “quanta temporais”, com quedas progressivas do valor para 45 ms (Kristofferson, 1967) e, por fim, 4.5 ms (Geissler, 1992) (para a variedade dos horizontes de duração da experiência temporal ver a revisão de Wackerman, 2007).

Em graus diversos, diferentes propostas reconhecem como uma dificuldade inerente à tarefa do EFL a exigência de julgar perceptivamente “onde” se encontra um movimento em curso (ver Linares et al., 2009: os autores assinalam a reduzida precisão temporal das respostas de localização de um objeto móvel, acentuada com o aumento da velocidade). A linguagem assinala a relativa inadequação da pergunta. Enquanto tipicamente se interroga alguém sobre a localização (onde) de um objeto estático, a pergunta natural sobre um objeto em movimento (ou sobre movimento de um agente) é sobre o seu destino – aonde/para onde (distinção semelhante ocorre na língua inglesa entre “where” e “whither”). Brenner et al. (2006) notam, a este propósito, que apenas faz sentido falar da posição de um objeto quando se especifica o momento em que a sua localização se torna de interesse. Enquanto na interação com os objetos o propósito da interação especifica esse momento, quando se trata de julgar perceptivamente a localização de um móvel, esse momento (*timing*) tem que ser fornecido externamente por um segundo estímulo, o *flash* no EFL. Brenner et al. (2006) apresentam desse modo o problema do “agora” no EFL como o da articulação entre um estímulo com início abrupto (marcador temporal) e um estímulo contínuo (ver também Baldo & Cravo, 2004 e Cravo & Baldo, 2008). A solução proposta distingue-se das teorias da integração temporal (no sentido em que não pressupõe a agregação de posições sucessivas): em resposta ao sinal temporal, o sistema visual produziria uma leitura de posição (amostragem) que, em virtude do tempo despendido no processo, corresponderia a uma posição ocupada pelo móvel algum tempo após a apresentação do *flash*. A “simultaneidade psicológica” resultaria aqui dos mesmos mecanismos já indicados a propósito do modelo da latência generalizado: (i) a realização de uma operação (porventura atencional) que consome tempo: (ii) a decisão de ignorar a passagem desse tempo (não o compensando).

Os parágrafos precedentes ilustram a complexidade específica da questão do “agora”, e a impossibilidade de a ignorar na explicação do EFL. Na dissertação (dedicada ao “onde”), esta questão não foi nunca abordada expressamente, permanecendo latente. Isto não significa, de modo algum, a sua desvalorização – apenas a convicção de que qualquer tentativa genuína de articulação das duas questões (i.e., uma teoria genuinamente espaço-temporal do EFL) deverá acomodar a complexidade fenomenológica específica de cada uma (a estabelecer independentemente). Um momento especialmente relevante para esse objetivo foi a revelação de dissociações fenomenológicas entre diferenças temporais e diferenças espaciais percebidas entre os dois estímulos. Kreepiguu e Allik (2004) mostraram, neste sentido, que uma alteração abrupta de cor num objeto em movimento e um *flash* espaço-temporalmente alinhado com essa alteração eram percebidos como síncronos (participando no mesmo “agora”) mas como espacialmente desalinhados (com diferentes “onde”). Resultados do mesmo teor foram encontrados por Baldo e Cravo (2004), Chappell et al. (2006), Cravo e Baldo (2008), Eagleman e Sejnowski (2000c; 2002); Nijhawan et al. (2004), questionando a correspondência simples pressuposta pela hipótese

clássica das latências entre distâncias temporais e espaciais (no quadro da dissertação, a comparação entre os  $EFL_D$  e as implicações dos TOJ e TR na hipótese da latência diferencial, conduziu a idênticas conclusões) e colocando os modelos genuinamente espaço-temporais perante a exigência de acomodar a incoerência aparente das duas fenomenologias (temporal e espacial).

A inspiração mais constante das explicações espaço-temporais do EFL provém de modelos biológicos assentes na integração de processos excitatórios e inibitórios em padrões espaciais de ativação que se propagam a outras áreas além das diretamente afetadas pelo estímulo (Berry et al., 1999; Jancke e Erhagen, 2010). Estes modelos articulam, graças à dinâmica de facilitação espaço-temporal, processos aproximáveis da ideia de extrapolação do movimento, por um lado, com latências neurais intrínsecas associadas à ativação neuronal e à sua difusão através de diferentes vias e camadas, por outro. Um modelo particularmente promissor, baseado numa rede neural *feedforward* que implementa propriedades neurais básicas (e.g., conexões convergentes e divergentes entre camadas neurais, integração temporal da excitação e inibição, antagonismo centro-periferia dos campos recetores) é o de Baldo e Caticha (2005). O modelo mostrou-se não apenas capaz de reproduzir qualitativamente muitos dos resultados conhecidos sobre o EFL e a sua modulação por fatores como a luminância ou o grau de previsibilidade espacial dos estímulos, como ainda de prever novos resultados, vários dos quais já testados (Cravo e Baldo, 2008: ver ainda Gabbard, 2013). Entre os últimos encontra-se uma dissociação prevista entre julgamentos temporais (dando lugar à perceção de um alinhamento no tempo) e espaciais (perceção de um desalinhamento no espaço) relativos a dois estímulos simultâneos, um estático e um em movimento, ambos com início abrupto (CIM). Para além de refutar o argumento de que a ausência de uma assincronia percebida entre o *flash* e o móvel no CIM invalida a explicação do EFL pela hipótese das latências (ver Eagleman & Sejnowski, 2000c), a geração desta previsão sugere uma capacidade de princípio do modelo para acomodar as dissociações fenomenológicas do “agora” e do “onde”.

Entretanto, deve notar-se que esta capacidade assenta na recuperação, sob a dissociação fenomenológica e a título de explicação subjacente, de um espaço-tempo físico coerente (de processamento) implementado pela rede neural. A solução não dispensa assim uma assunção problemática de equivalência entre momentos neurais (e.g., o momento  $t$  em que um limiar de ativação é ultrapassado num ponto determinado da camada de saída) e as suas diferenças ( $\Delta t$ ), por um lado, e instantes percetivos e as suas diferenças, por outro (ver, para as dificuldades da ideia de que o *timing* atribuído a um evento depende do momento em que o cérebro gera uma representação desse evento, Johnston & Nishida, 2001 e Nishida & Johnston, 2002; ver também Baldo et al., 2007). Diferenciando-se de modelos de inspiração semelhante que incorporam

(através de formalismos mais globais, como filtros ou modelos de campo médio) propriedades fenomenológicas não derivadas das unidades de base (e.g., Jancke e Erlhagen, 2010), os autores mantêm o ideal de fazer emergir o conjunto da fenomenologia do EFL a partir do resultado coletivo da interação dos elementos de base (Baldo & Caticha, 2005). Se as extensões “biologicamente realistas” do modelo necessárias para que este acomode dados experimentais adicionais (os autores dão como exemplo resultados relativos ao EFL intermodal, aos efeitos do controlo motor, ou à entropia de padrões visuais; poderiam juntar-se, entre outros ainda, resultados relativos aos efeitos da identidade do objeto, do conhecimento conceptual ou da organização perceptiva: ver, e.g., Moore & Enns, 2004; Nagai et al., 2010, Watanabe et al., 2001) poderão ou não manter este objetivo é incerto e, em princípio, uma questão empiricamente decidível. Uma possibilidade alternativa é a de que devam inevitavelmente ser informadas por “factos fenomenológicos brutos” integrados (de alguma forma *ad hoc*) na sua implementação (e.g., a inclusão de uma dinâmica geradora de *flash-drag* como parte integrante da dinâmica geradora do EFL) (ver Koenderink et al., 2011, para uma perspetiva semelhante relativa à “fenomenologia” da perceção da profundidade)

Em qualquer dos casos, evidência relevante para as explicações espaço-temporais do EFL (i.e., capazes de articular mecanismo espaciais e temporais) pode em princípio obter-se tanto pela exploração conjunta das fenomenologias do “onde” e do “agora” como pela sua exploração independente. O objetivo mais geral da presente dissertação, centrada na exploração do “onde”, deve neste sentido entender-se não como o de argumentar em favor de explicações espaciais (negligenciando o papel fundamental do “agora” no EFL) e sim o de contribuir para uma compreensão espaço-temporal do EFL suscetível de acomodar aspetos específicos (e potencialmente complexos) da fenomenologia da localização espacial.



---

## Referências Bibliográficas

---

- Actis-Grosso, R., & Stucchi, N. (2003). Shifting the start: Backward mislocation of the initial position of a motion. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *29*(3), 675-691. doi: 10.1037/0096-1523.29.3.675.
- Actis-Grosso, R., Bastianelli, A., & Stucchi, N. (2008). Direction of perceptual displacement of a moving target's starting and vanishing points: The key role of velocity. *Japanese Psychological Research*, *50*(4), 253-263. <https://doi.org/10.1111/j.1468-5884.2008.00381.x>
- Akeroyd, M. A. (2014). An overview of the major phenomena of the localization of sound sources by normal-hearing, hearing-impaired, and aided listeners. *Trends in Hearing*, *18*. <https://doi.org/10.1177/2331216514560442>
- Alais, D., & Burr, D. (2003). The "flash-lag" effect occurs in audition and cross-modally. *Current Biology*, *13*(1), 59-63. [https://doi.org/10.1016/S0960-9822\(02\)01402-1](https://doi.org/10.1016/S0960-9822(02)01402-1)
- Alais, D., & Cass, J. (2010). Multisensory perceptual learning of temporal order: audiovisual learning transfers to vision but not audition. *PloS one*, *5*(6), e11283. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011283>
- Alais, D., Burr, D. (2002). An audio-visual flash-lag effect [Abstract]. *Journal of Vision*, *2*(7): 403, 403a, <http://journalofvision.org/2/7/403/>, doi:10.1167/2.7.403.
- Alexander, D. L., Tropsha, A., & Winkler, D. A. (2015). Beware of R(2): Simple, Unambiguous Assessment of the Prediction Accuracy of QSAR and QSPR Models. *Journal of chemical information and modeling*, *55*(7), 1316-1322. <https://doi.org/10.1021/acs.jcim.5b00206>
- Allan, L. G. (1975). The relationship between judgments of successiveness and judgments of order. *Perception & Psychophysics*, *18*(1), 29-36. <https://doi.org/10.3758/BF03199363>
- Ambio4you (2010). miniAMBIO 2.0 USER MANUAL (versão V1.0) (2010). Acessível em <https://www.minidsp.com/images/documents/miniAMBIO%20User%20manual.pdf>
- Andreassi, J. L., & Greco, J. R. (1975). Effects of bisensory stimulation on reaction time and the evoked cortical potential. *Physiological Psychology*, *3*(2), 189-194. <https://doi.org/10.3758/BF03337503>

- Arnold, D. H., Johnston, A., & Nishida, S. (2005). Timing sight and sound. *Vision research*, 45(10), 1275–1284. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2004.11.014>
- Arnold, D. H., Ong, Y., & Roseboom, W. (2009). Simple differential latencies modulate, but do not cause the flash-lag effect. *Journal of Vision*, 9(5), Article 4. <https://doi.org/10.1167/9.5.4>
- Arrighi, R., Alais, D., & Burr, D. (2005a). Neural latencies do not explain the auditory and audio-visual flash-lag effect. *Vision Research* 45(23). <https://doi.org/10.1016/j.visres.2004.09.020>
- Arrighi, R., Alais, D., & Burr, D. (2005b). Perceived timing of first- and second-order changes in vision and hearing. *Experimental Brain Research* 166(3–4). <https://doi.org/10.1007/s00221-005-2384-9>
- Arrighi, R., Alais, D., & Burr, D. (2006). Perceptual synchrony of audiovisual streams for natural and artificial motion sequences. *Journal of vision*, 6(3), 260–268. <https://doi.org/10.1167/6.3.6>
- Arstila, V., Georgescu, A. L., Pesonen, H., Lunn, D., Noreika, V., & Falter-Wagner, C. M. (2020). Event timing in human vision: Modulating factors and independent functions. *PloS one*, 15(8), e0226122. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226122>
- Aschersleben, G., & Müsseler, J. (1999). Dissociations in the timing of stationary and moving stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25(6), 1709–1720. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.25.6.1709>
- Ashida, H. (2004). Action-specific extrapolation of target motion in human visual system. *Neuropsychologia*, 42(11), 1515–1524. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2004.03.003>
- Au, R. K. C., & Watanabe, K. (2013). Object motion continuity and the flash-lag effect [Elsevier Ltd]. *Vision Research*, 92. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2013.08.009>
- Audacity Team. (2012). Audacity (version 2.0.2) [Computer software]. Retrieved from <https://www.audacityteam.org/>
- Bachmann, T., Luiga, I., Pöder, E., & Kalev, K. (2003). Perceptual acceleration of objects in stream: Evidence from flash-lag displays. *Consciousness and Cognition: An International Journal*, 12(2), 279–297. [https://doi.org/10.1016/S1053-8100\(02\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S1053-8100(02)00067-3)
- Bair W. (2004). No doubt about offset latency. *Visual neuroscience*, 21(5), 671–674. <https://doi.org/10.1017/S0952523804215012>

- Baldo, M V C, & Caticha, N. (2005). Computational neurobiology of the flash-lag effect. *Vision Research* 45(20). <https://doi.org/10.1016/j.visres.2005.04.014>
- Baldo, M. V. C., & Klein, S. A. (1995). Extrapolation or attention shift? *Nature*, 378, 565–566.
- Baldo, M. V. C., & Namba, J. (2002). The attentional modulation of the flash-lag effect. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 35(8) 969–972. doi:10.1590/S0100-879X2002000800014
- Baldo, M. V., & Cravo, A. M. (2004). A misconception about the relationship between the flash-lag effect and temporal order judgments. *Journal of Vision*, 4(8), 579.
- Baldo, M. V., Cravo, A. M., & Haddad, H. (2007). The time of perception and the other way around. *The Spanish journal of psychology*, 10(2), 258–265. <https://doi.org/10.1017/s1138741600006521>
- Baldo, M. V., Ranvaud, R. D., & Morya, E. (2002). Flag errors in soccer games: the flash-lag effect brought to real life. *Perception*, 31(10), 1205–1210. <https://doi.org/10.1068/p3422>
- Baldo, M. V.C., Kihara, A. H., Namba, J., & Klein, S. A. (2002). Evidence for an attentional component of the perceptual misalignment between moving and flashing stimuli. *Perception*, 31(1), 17–30. <https://doi.org/10.1068/p3302>
- Baldo, M., & Klein, S. (2008). Paying attention to the flash-lag effect. *The Behavioral and Brain Sciences*, 31, 198–199. <https://doi.org/10.1017/S0140525X08003816>
- Baldo, Marcus V C, & Klein, S. A. (2010). Paying attention to the flash-lag effect. In B. Khurana & R. Nijhawan (Eds.), *Space and Time in Perception and Action* (pp. 396–407). Cambridge University Press. <https://doi.org/DOI:10.1017/CBO9780511750540.023>
- Balkany, T. J., & Zeitler, D. M. (2013). Duplex theory of sound localization. In *Encyclopedia of Otolaryngology, Head and Neck Surgery* (pp. 718–718). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-23499-6\\_200036](https://doi.org/10.1007/978-3-642-23499-6_200036)
- Ball, K., & Sekuler, R. (1980). Models of stimulus uncertainty in motion perception. *Psychological Review*, 87(5), 435–469. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.87.5.435>
- Barfield, W., Cohen, M., & Rosenberg, C. (1997). Visual and auditory localization as a function of azimuth and elevation. *The International Journal of Aviation Psychology*, 7(2), 123–138. [https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0702\\_2](https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0702_2)

- Barnes, T., & Mingolla, E. (2012). Representation of motion onset and offset in an augmented Barlow-Levick model of motion detection. *Journal of Computational Neuroscience*, *33*(3), 421–434. <https://doi.org/10.1007/s10827-012-0393-9>
- Baumgartner, R., Reed, D. K., Tóth, B., Best, V., Majdak, P., Colburn, H. S., & Shinn-Cunningham, B. (2017). Asymmetries in behavioral and neural responses to spectral cues demonstrate the generality of auditory looming bias. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *114*(36), 9743–9748. <https://doi.org/10.1073/pnas.1703247114>
- Bazilinsky, P., & Winter, J. (2018). Crowdsourced measurement of reaction times to audiovisual stimuli with various degrees of asynchrony. *Human factors*, *60*(8), 1192–1206. <https://doi.org/10.1177/0018720818787126>
- Berlyne, D. E. (1974). Attention. In E. C. Carterette and M. P. Friedman (Eds.). *Handbook of perception*, Volume 1: Historical and philosophical roots of perception (pp. 123-147) New York: Academic Press.
- Berry, M. J., 2nd, Brivanlou, I. H., Jordan, T. A., & Meister, M. (1999). Anticipation of moving stimuli by the retina. *Nature*, *398*(6725), 334–338. <https://doi.org/10.1038/18678>
- Best, V., Baumgartner, R., Lavandier, M., Majdak, P., & Kopčo, N. (2020). Sound externalization: A review of recent research. *Trends in Hearing*, *24*, 233121652094839. <https://doi.org/10.1177/2331216520948390>
- Blom, T., Feuerriegel, D., Johnson, P., Bode, S., & Hogendoorn, H. (2020). Predictions drive neural representations of visual events ahead of incoming sensory information. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *117*(13), 7510–7515. <https://doi.org/10.1073/pnas.1917777117>
- Bolognini, N., Rasi, F., Coccia, M., & Làdavas, E. (2005). Visual search improvement in hemianopic patients after audio-visual stimulation. *Brain: a journal of neurology*, *128*(Pt 12), 2830–2842. <https://doi.org/10.1093/brain/awh656>
- Brenner, E., & Smeets, J. B. J. (2000). Motion extrapolation is not responsible for the flash-lag effect. *Vision Research*, *40*(13), 1645–1648. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(00\)00067-5](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(00)00067-5)
- Brenner, E., & Smeets, J. B. J. (2000). Motion extrapolation is not responsible for the flash-lag effect. *Vision Research*, *40*(13), 1645–1648. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(00\)00067-5](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(00)00067-5)

- Brenner, E., Smeets, J. B. J., & van den Berg, A. V. (2001). Smooth eye movements and spatial localisation. *Vision Research*, 41(17), 2253–2259. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(01\)00018-9](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(01)00018-9)
- Bridgeman, B., Kirch, M., & Sperling, A. (1981). Segregation of cognitive and motor aspects of visual function using induced motion. *Perception & Psychophysics*, 29(4), 336–342. <https://doi.org/10.3758/BF03207342>
- Bridgeman, B., Peery, S., & Anand, S. (1997). Interaction of cognitive and sensorimotor maps of visual space. *Perception and Psychophysics*, 59(3), 456–469. <https://doi.org/10.3758/BF03211912>
- Brown, M. B., & Forsythe, A. B. (1974) Robust Tests for the Equality of Variances. *Journal of the American Statistical Association*, 69(346), 364–367. doi:10.1080/01621459.1974.10482955
- Burr, D. C. (1980). Motion smear. *Nature*, 284(5752), 164–165. <https://doi.org/10.1038/284164a0>
- Burr, D. C., Fiorentini, A., & Morrone, C. (1998). Reaction time to motion onset of luminance and chromatic gratings is determined by perceived speed. *Vision research*, 38(23), 3681–3690. [https://doi.org/10.1016/s0042-6989\(98\)00056-x](https://doi.org/10.1016/s0042-6989(98)00056-x)
- Burrow, N. T. (1909). The determination of the position of a momentary impression in the temporal course of a moving visual impression. *The Psychological Review: Monograph Supplements*, 11(4), i–63. <https://doi.org/10.1037/h0093030>
- Caglar, M. U., Teufel, A. I., & Wilke, C. O. (2018). Sicegar: R package for sigmoidal and double-sigmoidal curve fitting. *PeerJ*, 6, e4251. <https://doi.org/10.7717/peerj.4251>
- Cai, R. H., Jacobson, K., Baloh, R., Schlag-Rey, M., & Schlag, J. (2000). Vestibular signals can distort the perceived spatial relationship of retinal stimuli. *Experimental Brain Research*, 135, 275–278. doi:10.1007/s002210000549
- Cai, R., & Schlag, J. (2002). Temporal misalignment between continuous and abrupt changes. 2002 Meeting on Visual Localization in Space-Time, Sussex, UK.
- Campus, C., Sandini, G., Concetta Morrone, M., & Gori, M. (2017). Spatial localization of sound elicits early responses from occipital visual cortex in humans. *Scientific reports*, 7(1), 10415. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09142-z>

- Cantor, C. R. L., & Schor, C. M. (2007). Stimulus dependence of the flash-lag effect. *Vision Research*, *47*, 2841–2854. doi:10.1016/j.visres.2007.06.023
- Cardoso-Leite, P., Gorea, A., & Mamassian, P. (2007). Temporal order judgment and simple reaction times: Evidence for a common processing system. *Journal of Vision*, *7*(6), 1–14. <https://doi.org/10.1167/7.6.11>
- Carlile, S., & Leung, J. (2016). The perception of auditory motion. *Trends in Hearing*, *20*, 233121651664425. <https://doi.org/10.1177/2331216516644254>
- Carlile, S., Leong, P., & Hyams, S. (1997). The nature and distribution of errors in sound localization by human listeners. *Hearing research*, *114*(1-2), 179–196. [https://doi.org/10.1016/s0378-5955\(97\)00161-5](https://doi.org/10.1016/s0378-5955(97)00161-5)
- Catteeuw, P., Gilis, B., Wagemans, J., & Helsen, W. (2010). Perceptual-cognitive skills in offside decision making: Expertise and training effects. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, *32*(6), 828–844.
- Cavanagh, P., & Anstis, S. (2013). The flash grab effect. *Vision Research*, *91*, 8–20. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2013.07.007>
- Cedrus Corporation. (2008). SuperLab (version 4.0.7b) [Computer software]. San Pedro, California: Cedrus Corporation. <https://cedrus.com/superlab/>
- Cellini, C., Scocchia, L., & Drewing, K. (2016). *Experimental Brain Research*, *234*(10), 2849–2857. <https://doi.org/10.1007/s00221-016-4687-4>
- Chandler, D. W., & Grantham, D. W. (1992). Minimum audible movement angle in the horizontal plane as a function of stimulus frequency and bandwidth, source azimuth, and velocity. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *91*(3), 1624–1636. <https://doi.org/10.1121/1.402443>
- Changizi, M. A., Hsieh, A., Nijhawan, R., Kanai, R., & Shimojo, S. (2008). Perceiving the present and a systematization of illusions. *Cognitive science*, *32*(3), 459–503. <https://doi.org/10.1080/03640210802035191>
- Chaplin, T. A., Rosa, M. G. P., & Lui, L. L. (2018). Auditory and Visual Motion Processing and Integration in the Primate Cerebral Cortex. *Frontiers in neural circuits*, *12*, 93. <https://doi.org/10.3389/fncir.2018.00093>
- Chappell, M., & Hine, T. J. (2004). Events before the flash Do influence the flash-lag magnitude. *Vision Research*, *44*(3), 235–239. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2003.09.021>

- Chappell, M., & Mullen, K. (2010). The Magnocellular visual pathway and the flash-lag illusion. *Journal of Vision*, 10, 24. <https://doi.org/10.1167/10.11.24>
- Chappell, M., Hine, T. J., Acworth, C., & Hardwick, D. R. (2006). Attention “capture” by the flash-lag flash. *Vision Research*, 46(19), 3205–3213. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2006.04.017>
- Chappell, M., Potter, Z., Hine, T. J., Mullen, K. T., & Shand, J. (2013). Reducing magnocellular processing of various motion trajectories tests single process theories of visual position perception. *Journal of Vision*, 13(10), 1–12. <https://doi.org/10.1167/13.10.16>
- Clementz, B. A., McDowell, J. E., & Dobkins, K. R. (2007). Compromised speed discrimination among schizophrenia patients when viewing smooth pursuit targets. *Schizophrenia research*, 95(1-3), 61–64. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2007.05.043>
- Colonus, H., & Diederich, A. (2010). The optimal time window of visual-auditory integration: A reaction time analysis. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 4. <https://doi.org/10.3389/fnint.2010.00011>
- Courtney, J. R., Motesô, M. A., & Hubbard, T. L. (2007). Multi-and unisensory visual flash ilusions. *Perception*, 36, 516–524.
- Cravo, M., & Baldo, M. V. C. (2008). A Psychophysical and Computational Analysis of the Spatio-Temporal Mechanisms Underlying the Flash-Lag Effect A psychophysical and computational analysis of the spatio-temporal mechanisms underlying the flash-lag effect *À. Perception*, 37, 1850–1866. <https://doi.org/10.1068/p6053>
- De Valois, R. L., & De Valois, K. K. (1991). Vernier acuity with stationary moving Gabors. *Vision Research*, 31(9), 1619–1626. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0042-6989\(91\)90138-U](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0042-6989(91)90138-U)
- Degerman, A., Rinne, T., Pekkola, J., Autti, T., Jääskeläinen, I. P., Sams, M., & Alho, K. (2007). Human brain activity associated with audiovisual perception and attention. *NeuroImage*, 34(4), 1683–1691. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.11.019>
- DeLucia, P., & Maldia, M. (2006). Visual memory for moving scenes. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* (2006), 59, 340–360. <https://doi.org/10.1080/174702105500151444>

- Di Lollo, V., Enns, J. T., & Rensink, R. A. (2000). Competition for consciousness among visual events: the psychophysics of reentrant visual processes. *Journal of Experimental Psychology. General*, 129(4), 481–507. <https://doi.org/10.1037//0096-3445.129.4.481>
- Di Lollo, V., Enns, J. T., Yantis, S., & Dechief, L. G. (2000). Response latencies to the onset and offset of visual stimuli. *Perception & Psychophysics*, 62(1), 218–225. <https://doi.org/10.3758/BF03212073>
- Diederich, A., & Colonius, H. (2004). Bimodal and trimodal multisensory enhancement: Effects of stimulus onset and intensity on reaction time. *Perception & Psychophysics*, 66(8), 1388–1404. <https://doi.org/10.3758/BF03195006>
- Diederich, A., & Colonius, H. (2015). The time window of multisensory integration: Relating reaction times and judgments of temporal order. *Psychological Review*, 122(2), 232–241. <https://doi.org/10.1037/a0038696>
- Drewing, K., Hitzel, E., & Scocchia, L. (2018). The haptic and the visual flash-lag effect and the role of flash characteristics. *PLoS ONE*, 13(1), Article e0189291. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189291>
- Ducommun, C. Y., Murray, M. M., Thut, G., Bellmann, A., Viaud-Delmon, I., Clarke, S., & Michel, C. M. (2002). Segregated processing of auditory motion and auditory location: an ERP mapping study. *NeuroImage*, 16(1), 76–88. <https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1062>
- Dundon, N. M., Bertini, C., Ládavas, E., Sabel, B. A., & Gall, C. (2015). Visual rehabilitation: visual scanning, multisensory stimulation and vision restoration trainings. *Frontiers in behavioral neuroscience*, 9, 192. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2015.00192>
- Dunlap, K. (1910). The complication experiment and related phenomena. *Psychological Review*, 17(3), 157–191. <https://doi.org/10.1037/h0073064>
- Durant, S., & Johnston, A. (2004). Temporal dependence of local motion induced shifts in perceived position. *Vision Research*, 44, 357–366. doi:10.1016/j.visres.2003.09.022
- Eagleman D. M. (2008). Human time perception and its illusions. *Current opinion in neurobiology*, 18(2), 131–136. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2008.06.002>
- Eagleman D. M., & Sejnowski, T. J. (2000a). Motion integration and postdiction in visual awareness. *Science*, 287 (5460), 2036–2038. <https://doi.org/10.1126/science.287.5460.2036>

- Eagleman, D. M., & Sejnowski, T. (2000b). The position of moving objects (reply to Krekelberg, Lappe, Whitney, & Cavanagh). *Science*, *289*, 1107a. doi: 10.1126/science.289.5482.1107a.
- Eagleman, D. M., & Sejnowski, T. (2000c). Flash-lag effect: Differential latency, not postdiction (reply to Patel, Ögmen, Bedell, & Sampath). *Science*, *290*, 1051a. <https://doi.org/10.1126/science.290.5494.1051a>
- Eagleman, D. M., & Sejnowski, T. J. (2002). Untangling spatial from temporal illusions. *Trends in Neurosciences*, *25*(6), 293. [https://doi.org/10.1016/S0166-2236\(02\)02179-3](https://doi.org/10.1016/S0166-2236(02)02179-3)
- Eagleman, D. M., & Sejnowski, T. J. (2007). Motion signals bias localization judgments: A unified explanation for the flash-lag, flash-drag, flash-jump, and Fröhlich illusions. *Journal of Vision*, *7*(4), 3. doi:10.1167/7.4.3
- Eg, R., & Behne, D. M. (2015). Perceived synchrony for realistic and dynamic audiovisual events. *Frontiers in Psychology*, *6*, Article 736. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00736>
- Erlhagen, W., & Jancke, D. (2004). The role of action plans and other cognitive factors in motion extrapolation: A modelling study. *Visual Cognition*, *11*(2-3), 315–340.
- Ernst, M. O., & Banks, M. S. (2002). Humans integrate visual and haptic information in a statistically optimal fashion. *Nature*, *415*(6870), 429–433. <https://doi.org/10.1038/415429a>
- Ernst, M. O., & Di Luca, M. (2012). Multisensory Perception: From Integration to Remapping. *Sensory Cue Integration*, 224–250. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195387247.003.0012>
- Fairbank B. A., Jr (1969). Moving and nonmoving visual stimuli: a reaction time study. *Perceptual and motor skills*, *29*(1), 79–82.
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G\*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior research methods*, *39*(2), 175–191. <https://doi.org/10.3758/bf03193146>
- Faust, M. (1990). Representational momentum: A dual process perspective. Unpublished doctoral dissertation. University of Oregon, Eugene.
- Feinkohl, A., Locke, S. M., Leung, J., & Carlile, S. (2014). The effect of velocity on auditory representational momentum. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *136*(1), EL20–EL25. <https://doi.org/10.1121/1.4881318>

- Fink, M., Ulbrich, P., Churan, J., & Wittmann, M. (2006). Stimulus-dependent processing of temporal order. *Behavioural processes*, *71*(2-3), 344–352.
- Finke, R. A., Freyd, J. J., & Shyi, G. C. (1986). Implied velocity and acceleration induce transformations of visual memory. *Journal of Experimental Psychology. General*, *115*(2), 175–188. <https://doi.org/10.1037//0096-3445.115.2.175>
- Fischer, J., Spotswood, N., & Whitney, D. (2011). The emergence of perceived position in the visual system. *Journal of cognitive neuroscience*, *23*(1), 119–136. <https://doi.org/10.1162/jocn.2010.21417>
- Fouriezos, G., Capstick, G., Monette, F., Bellemare, C., Parkinson, M., & Dumoulin, A. (2007). Judgments of synchrony between auditory and moving or still visual stimuli. *Canadian Journal of Experimental Psychology / Revue canadienne de psychologie expérimentale*, *61*(4), 277–292. <https://doi.org/10.1037/cjep2007028>
- Freyd, J J, & Finke, R. A. (1984). Representational momentum. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *10*(1), 126–132. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.10.1.126>
- Freyd, J J, & Finke, R. A. (1985). A velocity effect for representational momentum. *Bulletin of the Psychonomic Society*, *23*(6), 443–446. <https://doi.org/10.3758/BF03329847>
- Freyd, J J, & Johnson, J. Q. (1987). Probing the time course of representational momentum. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, *13*(2), 259–268. <https://doi.org/10.1037//0278-7393.13.2.259>
- Freyd, J J, Kelly, M. H., & DeKay, M. L. (1990). Representational Momentum in Memory for Pitch. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *16*(6), 1107–1117. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.16.6.1107>
- Freyd, J. J. (1993). Five hunches about perceptual processes and dynamic representations. In D. Meyer & S. Kornblum (eds.), *Attention and Performance XIV: Synergies in Experimental Psychology, Artificial Intelligence, and Cognitive Neuroscience* (99–119). Cambridge, MA: MIT Press
- Freyd, Jennifer J. (1983a). Representing the dynamics of a static form. *Memory & Cognition*, *11*, (4), (pp. 342–346). <https://doi.org/10.3758/BF03202447>

- Freyd, Jennifer J. (1983b). The mental representation of movement when static stimuli are viewed. *Perception & Psychophysics*, 33(6), 575–581. <https://doi.org/10.3758/BF03202940>
- Fröhlich, F. W. (1923). Über die messung der empfindungszeit [On the measurement of sensation time]. *Zeitschrift für Sinnesphysiologie*, 54, 58–78.
- Fu, Y.-X., Shen, Y., & Dan, Y. (2001). Motion-induced perceptual extrapolation of blurred visual targets. *The Journal of Neuroscience*, 21(20), RC172:1–5.
- Fukiage, T., Whitney, D., & Murakami, I. (2011). A flash-drag effect in random motion reveals involvement of preattentive motion processing. *Journal of vision*, 11(13), 10.1167/11.13.12 12. <https://doi.org/10.1167/11.13.12>
- Futterweit, L. R., & Beilin, H. (1994). Recognition memory for movement in photographs: A developmental study. *Journal of Experimental Child Psychology*, 57(2), 163–179. <https://doi.org/10.1006/jecp.1994.1008>
- Gabbard, S. (2013). Flash lag effect model discrimination [Doctoral thesis, Wright State University]. CORE Scholar. [https://corescholar.libraries.wright.edu/etd\\_all/750/](https://corescholar.libraries.wright.edu/etd_all/750/)
- Gauch, A., & Kerzel, D. (2008). Comparison of flashed and moving probes in the flash-lag effect: Evidence for misbinding of abrupt and continuous changes. *Vision Research*, 48(15), 1584–1591. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2008.04.025>
- Geissler, H.-G (1992). New magical numbers in mental activity. In Geissler, H.-G., Link, S. W., & Townsend, J.T. (Eds.). *Cognition, Information Processing, and Psychophysics: Basic Issues* (1st ed.) (pp. 293-323). New York, NY: Psychology Press.
- Getzmann S. (2008). Effects of velocity and motion-onset delay on detection and discrimination of sound motion. *Hearing research*, 246(1-2), 44–51. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2008.09.007>
- Getzmann S. (2009). Effect of auditory motion velocity on reaction time and cortical processes. *Neuropsychologia*, 47(12), 2625–2633. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.05.012>
- Getzmann S. (2011). Auditory motion perception: onset position and motion direction are encoded in discrete processing stages. *The European journal of neuroscience*, 33(7), 1339–1350. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2011.07617.x>

- Getzmann, S. (2005a). Representational momentum in spatial hearing does not depend on eye movements. *Experimental Brain Research*, *165*(2), 229–238. <https://doi.org/10.1007/s00221-005-2291-0>
- Getzmann, S. (2005b). Shifting the onset of a moving sound source: A Fröhlich effect in spatial hearing. *Hearing Research*, *210*(1–2), 104–111. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2005.08.003>
- Getzmann, S. (2007). The effect of brief auditory stimuli on visual apparent motion. *Perception*, *36*(7), 1089–1103. <https://doi.org/10.1068/p5741>
- Getzmann, S., & Lewald, J. (2007). Localization of moving sound. *Perception & Psychophysics*, *69*(6), 1022–1034. <https://doi.org/10.3758/BF03193940>
- Getzmann, S., & Lewald, J. (2009). Constancy of target velocity as a critical factor in the emergence of auditory and visual representational momentum. *Experimental Brain Research*, *193*(3), 437–443. <https://doi.org/10.1007/s00221-008-1641-0>
- Getzmann, S., Lewald, J., & Guski, R. (2004). Representational momentum in spatial hearing. *Perception*, *33*(5), 591–599. <https://doi.org/10.1068/p5093>
- Gilis, B., Helsen, W., Catteeuw, P., & Wagemans, J. (2008). Offside decisions by expert assistant referees in association football: Perception and recall of spatial positions in complex dynamic events. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *14*(1), 21–35. <https://doi.org/10.1037/1076-898X.14.1.21>
- Glasgal, R. (2007). 360 Localization via 4.x RACE Processing [Paper presentation]. AES 123rd International Convention, New York, USA.
- Glasgal, R., & Miller, R. (2011). True-To-Life Sound Reproduction Using Recursive Ambiphonic Crosstalk Elimination. Ambiphonics Institute [ambiphonics.org]. Acessível em <https://www.ambiphonics.org/true-to-life-sound-reproduction-using-recurs>
- Goldstone, S. (1968). Reaction time to onset and termination of lights and sounds. *Perceptual and Motor Skills*, *27*(3, Pt. 2), 1023–1029. <https://doi.org/10.2466/pms.1968.27.3f.1023>
- Grantham D. W. (1986). Detection and discrimination of simulated motion of auditory targets in the horizontal plane. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *79*(6), 1939–1949. <https://doi.org/10.1121/1.393201>

- Hansteen, R. W. (1971). Visual latency as a function of stimulus onset, offset, and background luminance. *Journal of the Optical Society of America* (Vol. 61, pp. 1190–1195). Optical Society of America. <https://doi.org/10.1364/JOSA.61.001190>
- Hao, Q., Ora, H., Ogawa, K., Ogata, T., & Miyake, Y. (2016). Voluntary movement affects simultaneous perception of auditory and tactile stimuli presented to a non-moving body part. *Scientific reports*, 6, 33336. <https://doi.org/10.1038/srep33336>
- Harrison, N. R., Wuerger, S. M., & Meyer, G. F. (2010). Reaction time facilitation for horizontally moving auditory-visual stimuli. *Journal of vision*, 10(14), 16. <https://doi.org/10.1167/10.14.16>
- Hartmann, W. M., Rakerd, B., Crawford, Z. D., & Zhang, P. X. (2016). Transaural experiments and a revised duplex theory for the localization of low-frequency tones. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 139(2), 968–985. <https://doi.org/10.1121/1.4941915>
- Hayashi, R., & Murakami, I. (2019). Distinct mechanisms of temporal binding in generalized and cross-modal flash-lag effects. *Scientific reports*, 9(1), 3829. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40370-7>
- Hazelhoff, F., & Wiersma, H. (1924). Die Wahrnehmungszeit. *Zeitschrift für Psychologie*, 96, 171–188.
- Hine, T. J., White, A. M., & Chappell, M. (2003). Is there an auditory-visual flash-lag effect? *Clinical & experimental ophthalmology*, 31(3), 254–257. <https://doi.org/10.1046/j.1442-9071.2003.00640.x>
- Hirsh, I. J., & Sherrick, C. E., (1961). Perceived order in different sense modalities. *Journal of experimental psychology*, 62, 423–432. <https://doi.org/10.1037/h0045283>
- Hogendoorn H. (2020). Motion Extrapolation in Visual Processing: Lessons from 25 Years of Flash-Lag Debate. *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience*, 40(30), 5698–5705. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0275-20.2020>
- Hogendoorn, H., & Burkitt, A. N. (2019). Predictive Coding with Neural Transmission Delays: A Real-Time Temporal Alignment Hypothesis. *eNeuro*, 6(2), ENEURO.0412-18.2019. <https://doi.org/10.1523/ENEURO.0412-18.2019>
- Hogendoorn, H., Verstraten, F. A., & Cavanagh, P. (2015). Strikingly rapid neural basis of motion-induced position shifts revealed by high temporal-resolution EEG pattern

classification. *Vision research*, 113 (Pt A), 1–10. <http://doi.org/10.1016/j.visres.2015.05.005>

- Holcombe, A. O. (2021). When Average is Over: Small N but Many Trials. *Journal of Cognition*, 4(1), 47, 1–4. <https://doi.org/10.5334/joc.168>
- Hommuk, K., Bachmann, T., & Oja, A. (2008). Precuing an isolated stimulus temporarily outweighs in-stream stimulus facilitation. *Journal of General Psychology*, 135(2), 167–181. <https://doi.org/10.3200/GENP.135.2.167-182>
- Hoosein, R. (2017). The timing of neural and behavioral events. Charlotte, NC: *Information Age Publishing, Inc.*
- Hu, M. L., Ayton, L. N., & Jolly, J. K. (2021). The Clinical Use of Vernier Acuity: Resolution of the Visual Cortex Is More Than Meets the Eye. *Frontiers in neuroscience*, 15, 714843. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.714843>
- Hubbard, T. (2018a). The Flash-Lag Effect. In T. Hubbard (Ed.), *Spatial Biases in Perception and Cognition* (pp. 139-155). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781316651247.010
- Hubbard, T. (2018b). Influences on Representational Momentum. In T. Hubbard (Ed.), *Spatial Biases in Perception and Cognition* (pp. 121-138). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781316651247.009
- Hubbard, T. L. (1990). Cognitive representation of linear motion: Possible direction and gravity effects in judged displacement. *Memory & Cognition* 18(3). <https://doi.org/10.3758/BF03213883>
- Hubbard, T. L. (1993a). Auditory representational momentum: Musical schemata and modularity. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 31(3), 201–204. <https://doi.org/10.3758/BF03337324>
- Hubbard, T. L. (1993b). The effect of context on visual representational momentum. *Memory & Cognition*, 21(1), 103–114. <https://doi.org/10.3758/BF03211169>
- Hubbard, T. L. (1995a). Auditory representational momentum: Surface form, direction, and velocity effects. *American Journal of Psychology*, 108(2). <https://doi.org/10.2307/1423131>
- Hubbard, T. L. (1995b). Environmental invariants in the representation of motion: Implied dynamics and representational momentum, gravity, friction, and centripetal force. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2(3). <https://doi.org/10.3758/BF03210971>

- Hubbard, T. L. (2005). Representational momentum and related displacements in spatial memory: A review of the findings. *Psychonomic Bulletin & Review*, *12*(5), 822–851. <https://doi.org/10.3758/BF03196775>
- Hubbard, T. L. (2006). Bridging the gap: Possible roles and contributions of representational momentum. *Psicologica*, *27*(1), 1–34.
- Hubbard, T. L. (2008). Representational momentum contributes to motion induced mislocalization of stationary objects. *Visual Cognition*, *16*(1), 44–67. <https://doi.org/10.1080/13506280601155468>
- Hubbard, T. L. (2010). Approaches to representational momentum: theories and models. In R. Nijhawan & B. Khurana (Eds.), *Space and Time in Perception and Action* (pp. 338–365). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511750540.020>
- Hubbard, T. L. (2013). Do the flash-lag effect and representational momentum involve similar extrapolations? *Frontiers in Psychology*, *4*(MAY), 1–6. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00290>
- Hubbard, T. L. (2014a). The Flash-Lag Effect and Related Mislocalizations: Findings, Properties, and Theories. *140*(1), 308–338. <https://doi.org/10.1037/a0032899>
- Hubbard, T. L. (2014b). Forms of momentum across space: Representational, operational, and attentional. *Psychonomic Bulletin & Review*, *21*(6), 1371–1403. <https://doi.org/10.3758/s13423-014-0624-3>
- Hubbard, T. L. (2019). Spatiotemporal illusions involving perceived motion. In V. Arstila, A. Bardon, S. Power, & A. Vatakis (Eds.), *The illusions of time: Philosophical and psychological essays on timing and time perception* (pp. 289–313). London: Palgrave Macmillan. DOI: 10.1007/978-3-030-22048-8\_16
- Hubbard, T. L., & Bharucha, J. J. (1988). Judged displacement in apparent vertical and horizontal motion. *Perception & Psychophysics*, *44*(3), 211–221. <https://doi.org/10.3758/BF03206290>
- Hubbard, T. L., & Courtney, J. R. (2008). The onset-repulsion effect and motion-induced mislocalization of a stationary object. *Perception*, *37*(9), 1386–1398. <https://doi.org/10.1068/p5924>

- Hubbard, T. L., & Courtney, J. R. (2010). Cross-modal influences on representational momentum and representational gravity. *Perception, 39*(6). <https://doi.org/10.1068/p6538>
- Hubbard, T. L., & Motes, M. A. (2002). Does representational momentum reflect a distortion of the length or the endpoint of a trajectory? *Cognition, 82*(3), B89-B99. doi: 10.1016/S0010-0277(01)00156-1.
- Hubbard, T. L., & Motes, M. A. (2005). An effect of context on whether memory for initial position exhibits a Fröhlich effect or an onset repulsion effect. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology, 58A* (6), 961–979. <https://doi.org/10.1080/02724980443000368>
- Hubbard, T. L., & Ruppel, S. E. (1999). Representational momentum and the landmark attraction effect. *Canadian Journal of Experimental Psychology, 53*(3), 242–256. <https://doi.org/10.1037/h0087313>
- Hubbard, T. L., & Ruppel, S. E. (2000). Spatial memory averaging, the landmark attraction effect, and representational gravity. *Psychological research, 64*(1), 41–55. <https://doi.org/10.1007/s004260000029>
- Hubbard, T. L., & Ruppel, S. E. (2013). Displacement of location in illusory line motion. *Psychological Research, 77*(3). <https://doi.org/10.1007/s00426-012-0428-x>
- Hubbard, T. L., & Ruppel, S. E. (2018). Representational momentum and anisotropies in nearby visual space. *Attention, perception & psychophysics, 80*(1), 94–105. <https://doi.org/10.3758/s13414-017-1430-6>
- Hubbard, T. L., Kumar, A. M., & Carp, C. L. (2009). Effects of spatial cueing on representational momentum. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 35*(3), 666–677. <https://doi.org/10.1037/a0014870>
- Hunt, A. R., & Kingstone, A. (2004). Multisensory executive functioning. *Brain and Cognition, 55*(2), 325–327. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2004.02.072>
- Ichikawa, M., & Masakura, Y. (2010). Reduction of the flash-lag effect in terms of active observation. *Attention, Perception, & Psychophysics, 72*(4), 1032–1044. <http://dx.doi.org/10.3758/APP.72.4.1032>.
- James, W. (1909). *A Pluralistic Universe*. New York, NY: Longmans, Green, and Co.
- Jancke, D., & Erlhagen, W. (2010). Bridging the gap: A model of common neural mechanisms underlying the Fröhlich effect, the flash-lag effect, and the representational momentum

- effect. In R. Nijhawan & B. Khurana (Eds.), *Space and time in perception and action* (pp. 422–440). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511750540.025>
- Jancke, D., Erlhagen, W., Schöner, G., & Dinse, H. R. (2004). Shorter latencies for motion trajectories than for flashes in population responses of cat primary visual cortex. *The Journal of Physiology*, 556(Pt 3), 971–982. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2003.058941>
- Jaśkowski, P. (1999). Reaction time and temporal-order judgment as measures of perceptual latency: The problem of dissociations. In G. Aschersleben, T. Bachmann, & J. Müsseler (Eds.), *Cognitive contributions to the perception of spatial and temporal events* (pp. 265–282). North-Holland/Elsevier Science Publishers. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(99\)80026-0](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(99)80026-0)
- Jaśkowski, P., Jaroszyk, F., & Hojan-Jezińska, D. (1990). Temporal-order judgments and reaction time for stimuli of different modalities. *Psychological research*, 52(1), 35–38. <https://doi.org/10.1007/BF00867209>
- Jenny, C., & Reuter, C. (2020). Usability of individualized head-related transfer functions in virtual reality: Empirical study with perceptual attributes in sagittal plane sound localization. *JMIR Serious Games*, 8(3), e17576. <https://doi.org/10.2196/17576>
- Johnson, J. A., & Zatorre, R. J. (2005). Attention to Simultaneous Unrelated Auditory and Visual Events: *Behavioral and Neural Correlates*. *Cerebral Cortex*, 15(10), 1609–1620. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhi039>
- Johnston, A., & Nishida, S. (2001). Time perception: brain time or event time? *Current biology: CB*, 11(11), R427–R430. [https://doi.org/10.1016/s0960-9822\(01\)00252-4](https://doi.org/10.1016/s0960-9822(01)00252-4)
- Johnston, H. M., & Jones, M. R. (2006). Higher order pattern structure influences auditory representational momentum. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 32(1), 2–17. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.32.1.2>
- Jordan, J. S., Stork, S., Knuf, L., Kerzel, D., & Musseler, J. (2002). Action planning affects spatial localization. *Common Mechanisms in Perception and Action* (Attention and Performance XIX), (1), 158–176.
- Kafaligönül, H., Patel, S., Ögmen, H., Bedell, H. E., & Purushothaman, G. (2010). Perceptual asynchronies and the dual-channel differential latency hypothesis. In R. Nijhawan & B. Khurana (Eds.), *Space and time in perception and action* (pp. 379–395). New York, NY: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511750540.022

- Kanabus, M., Szlag, E., Rojek, E., & Pöppel, E. (2002). Temporal order judgement for auditory and visual stimuli. *Acta neurobiologiae experimentalis*, 62(4), 263–270.
- Kanai, R., Sheth, B. R., & Shimojo, S. (2004). Stopping the motion and sleuthing the flash-lag effect: Spatial uncertainty is the key to perceptual mislocalization. *Vision Research*, 44(22), 2605–2619. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2003.10.028>
- Keetels, M., & Vroomen, J. (2012). Perception of Synchrony between the Senses. In M. M. Murray (Eds.) et. al., *The Neural Bases of Multisensory Processes*. CRC Press/Taylor & Francis. Chapter 9. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK92837/>
- Kelly, M. H., & Freyd, J. J. (1987). Explorations of representational momentum. *Cognitive Psychology*, 19(3), 369–401. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(87\)90009-0](https://doi.org/10.1016/0010-0285(87)90009-0)
- Kemp, B. J. (1973). Reaction time of young and elderly subjects in relation to perceptual deprivation and signal-on versus signal-off conditions. In *Developmental Psychology* (Vol. 8, pp. 268–272). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/h0034147>
- Kerzel D. (2004). Attentional load modulates mislocalization of moving stimuli, but does not eliminate the error. *Psychonomic bulletin & review*, 11(5), 848–853. <https://doi.org/10.3758/bf03196711>
- Kerzel, D. (2000). Eye movements and visible persistence explain the mislocalization of the final position of a moving target. *Vision Research*, 40(27), 3703–3715. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(00\)00226-1](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(00)00226-1)
- Kerzel, D. (2002a). Different localization of motion onset with pointing and relative judgements. *Experimental Brain Research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation Cérébrale*, 145, 340–350. <https://doi.org/10.1007/s00221-002-1126-5>
- Kerzel, D. (2002b). A matter of design: No representational momentum without predictability. *Visual Cognition*, 9(1–2), 66–80. <https://doi.org/10.1080/13506280143000322>
- Kerzel, D. (2002c). The locus of “memory displacement” is at least partially perceptual: Effects of velocity, expectation, friction, memory averaging, and weight. *Perception & Psychophysics*, 64(4), 680–692. <https://doi.org/10.3758/BF03194735>
- Kerzel, D. (2003a). Attention maintains mental extrapolation of target position: irrelevant distractors eliminate forward displacement after implied motion. *Cognition*, 88(1), 109–131. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(03\)00018-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0010-0277(03)00018-0)

- Kerzel, D. (2003b). Mental extrapolation of target position is strongest with weak motion signals and motor responses. *Vision Research*, *43*(25), 2623–2635. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(03\)00466-8](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(03)00466-8)
- Kerzel, D. (2004). Attentional load modulates mislocalization of moving stimuli but does not eliminate the error. *Psychonomic Bulletin & Review*, *11*(5), 848-853. doi: 10.3758/Bf03196711
- Kerzel, D. (2005). Representational momentum beyond internalized physics. *Current Directions in Psychological Science*, *14*(4), 180–184. <https://doi.org/10.1111/j.0963-7214.2005.00360.x>
- Kerzel, D. (2006). Comment and Reply Why eye movements and perceptual factors have to be controlled in studies on “representational momentum.” *Psychonomic Bulletin & Review*, *13*(1), 166–173. <https://doi.org/10.3758/BF03193829>
- Kerzel, D. (2010). The Fröhlich effect: Past and present. *In Space and time in perception and action.* (pp. 321–337). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511750540.019>
- Kerzel, D., & Gegenfurtner, K. R. (2003). Neuronal processing delays are compensated in the sensorimotor branch of the visual system. *Current Biology*, *13*(22), 1975–1978. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2003.10.054>
- Kerzel, D., & Gegenfurtner, K. R. (2004). Spatial distortions and processing latencies in the onset repulsion and Fröhlich effects. *Vision Research*, *44*(6), 577–590. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2003.10.011>
- Kerzel, D., Jordan, J. S., & Müsseler, J. (2001). The role of perception in the mislocalization of the final position of a moving target. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, *27*(4), 829–840. <https://doi.org/10.1037//0096-1523.27.4.829>
- Khurana, B., & Nijhawan, R. (1995). Extrapolation or attention shift? *Nature*, *378*(6557), 566. <https://doi.org/10.1038/378566a0>
- Khurana, B., Watanabe, K., & Nijhawan, R. (2000). The role of attention in motion extrapolation: Are moving objects "corrected" or flashed objects attentionally delayed? *Perception*, *29*(6), 675–692. <https://doi.org/10.1068/p3066>

- Kim, S.-M., & Choi, W. (2005). On the externalization of virtual sound images in headphone reproduction: A Wiener filter approach. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 117(6), 3657–3665. <https://doi.org/10.1121/1.1921548>
- King, A. J., & Calvert, G. A. (2001). Multisensory integration: Perceptual grouping by eye and ear. *Current Biology*, 11(8). [https://doi.org/10.1016/S0960-9822\(01\)00175-0](https://doi.org/10.1016/S0960-9822(01)00175-0)
- King, B., Wood, C., & Faulkner, D. (2007). Sensitivity to auditory and visual stimuli during early reading development. *Journal of Research in Reading*, 30, 443–453. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9817.2007.00346.x>
- Kirschfeld, K., & Kammer, T. (1999). The Frohlich effect: A consequence of the interaction of visual focal attention and metacontrast. *Vision Research*, 39(22), 3702–3709. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(99\)00089-9](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(99)00089-9)
- Klein, R. M. (1977). Attention and visual dominance: A chronometric analysis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 3(3), 365–378. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.3.3.365>
- Kostaki, M., & Vatakis, A. (2018). Temporal Order and Synchrony Judgments: A Primer for Students. In A. Vatakis, F. Balci, M. Di Luca, & Á. Correa (Eds.), *Timing and Time Perception: Procedures, Measures, & Applications* (pp. 233–262). Brill. <http://www.jstor.org/stable/10.1163/j.ctvbqs54b.15>
- Kreegipuu, K., & Allik, J. (2003). Perceived onset time and position of a moving stimulus. *Vision Research*, 43(15), 1625–1635. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(03\)00165-2](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(03)00165-2)
- Kreegipuu, K., & Allik, J. (2007). Detection of motion onset and offset: reaction time and visual evoked potential analysis. *Psychological research*, 71(6), 703–708. <https://doi.org/10.1007/s00426-006-0059-1>
- Krekelberg, B., & Albright, T. D. (2005). Motion Mechanisms in Macaque MT. *J Neurophysiol*, 93, 2908–2921. <https://doi.org/10.1152/jn.00473.2004>
- Krekelberg, B., & Lappe, M. (1999). Temporal recruitment along the trajectory of moving objects and the perception of position. *Vision Research*, 39(16), 2669–2679. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(98\)00287-9](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(98)00287-9)
- Krekelberg, B., & Lappe, M. (2000a). A model of the perceived relative positions of moving objects based upon a slow averaging process. *Vision Research*, 40(2), 201–215. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(99\)00168-6](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(99)00168-6)

- Krekelberg, B., & Lappe, M. (2000b). The position of moving objects. *Science*, 289(5482), 1107. <https://doi.org/10.1126/science.289.5482.1107a>
- Krekelberg, B., & Lappe, M. (2001). Neuronal latencies and the position of moving objects. *Trends in Neurosciences*, 24(6), 335–339. [https://doi.org/10.1016/S0166-2236\(00\)01795-1](https://doi.org/10.1016/S0166-2236(00)01795-1)
- Krekelberg, Bart, & Albright, T. D. (2005). Motion Mechanisms in Macaque MT. *J Neurophysiol* 93, 2908–2921. <https://doi.org/10.1152/jn.00473.2004>
- Kristofferson A. B. (1967). Successiveness discrimination as a two-state, quantal process. *Science*, 158(3806), 1337–1339. <https://doi.org/10.1126/science.158.3806.1337>
- Kvalseth, T. O. (1985) Cautionary Note about R2. *American Statistician*, 39, 279-285. <https://doi.org/10.1080/00031305.1985.10479448>
- Kwon, J., Ogawa, K., & Miyake, Y. (2014). The effect of visual apparent motion on audiovisual simultaneity. *PloS one*, 9(10), e110224. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0110224>.
- Lappe, M., & Krekelberg, B. (1998). The position of moving objects. *Perception*, 27(12), 1437–1449. <https://doi.org/10.1068/p271437>
- Leatherman, C. D. (1940). The limits of toleration for simultaneity in the complication experiment. *The American Journal of Psychology*, 53, 21–45. <https://doi.org/10.2307/1415959>
- Leclère, T., Lavandier, M., & Perrin, F. (2019). On the externalization of sound sources with headphones without reference to a real source. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 146(4), 2309–2320. <https://doi.org/10.1121/1.5128325>
- Levene, H. (1960). Robust Tests for Equality of Variances. In: Olkin, I., Ed., *Contributions to Probability and Statistics*, Stanford University Press, Palo Alto, 278-292.
- Leventhal, L., & Glasgal, R. (s.d.). Understanding and installing an Ambiophonic System. Part 1. Problems with stereo reproduction and how to fix them; Part 2. Installing 2-speaker, 4-speaker, and 6-speaker Ambiophonic Systems. Ambiophonics Institute [ambiophonics.org]. Acessível em <https://www.ambiophonics.org/part-1-problems-with-stereo-reproduction-and1> (Part 1) e <https://www.ambiophonics.org/newpage> (Part 2)
- Lewald, J., Riederer, K. A., Lentz, T., & Meister, I. G. (2008). Processing of sound location in human cortex. *The European journal of neuroscience*, 27(5), 1261–1270. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2008.06094.x>

- Linares, D., & Holcombe, A. O. (2008). Position perception: Influence of motion with displacement dissociated from the influence of motion alone. *Journal of Neurophysiology*, *100*(5), 2472–2476. <https://doi.org/10.1152/jn.90682.2008>
- Linares, D., Holcombe, A. O., & White, A. L. (2009). Where is the moving object now? Judgments of instantaneous position show poor temporal precision (SD = 70 ms). *Journal of Vision*, *9*(13), Article 9. <https://doi.org/10.1167/9.13.9>
- Linares, D., López-Moliner, J., & Johnston, A. (2007). Motion signal and the perceived positions of moving objects. *Journal of Vision*, *7*(7), 1–7. <https://doi.org/10.1167/7.7.1>
- López-Moliner, J., & Linares, D. (2006). The flash-lag is reduced when the flash is perceived as a sensory consequence of our action. *Vision Research*, *46*, 2122–2129. doi:10.1016/j.visres.2005.11.016
- Los, S. A., Knol, D. L., & Boers, R. M. (2001). The foreperiod effect revisited: Conditioning as a basis for nonspecific preparation. *Acta Psychologica*, *106*(1-2), 121–145. [https://doi.org/10.1016/S0001-6918\(00\)00029-9](https://doi.org/10.1016/S0001-6918(00)00029-9)
- Love, S., Petrini, K., Cheng, A., & Pollick, F. (2013). A psychophysical investigation of differences between synchrony and temporal order judgments. *PLoS One*, *8*, e54798.
- Lukas, S., Philipp, A. M., & Koch, I. (2014). Crossmodal attention switching: Auditory dominance in temporal discrimination tasks. *Acta Psychologica*, *153*, 139–146.
- Mackay, D. M. (1958). Perceptual Stability of a Stroboscopically Lit Visual Field containing Self-Luminous Objects. *Nature*, *181*(4607), 507–508. <https://doi.org/10.1038/181507a0>
- Maiche, A., Budelli, R., & Gómez-Sena, L. (2007). Spatial facilitation is involved in flash-lag effect. *Vision Research*, *47*(12), 1655–1661. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2007.02.008>
- Marks, W. N., Parker, M. E., & Howland, J. G. (2018). Chapter 7 - Variants of the Spontaneous Recognition Procedure Assessing Multisensory Integration Reveal Behavioral Alterations in Rodent Models of Psychiatric and Neurological Disorders. In A. Ennaceur & M. A. de Souza Silva (Eds.), *Handbook of Object Novelty Recognition* (Vol. 27, pp. 125–137). Elsevier. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812012-5.00007-0](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812012-5.00007-0)
- Marshall, W. H., Talbot, S. A., & Ades, H. W. (1943). Cortical response of the anesthetized cat to gross photic and electrical afferent stimulation. *Journal of Neurophysiology*, *6*, 1–15.
- Massaro, D. W. (1998). *Perceiving Talking Faces: From Speech Perception to a Behavioral Principle*. MIT Press: Cambridge, MA

- Mateeff, S., & Hohnsbein, J. (1988a). Dynamic auditory localization: Perceived position of a moving sound source. *Acta Physiologica et Pharmacologica Bulgarica*, *14*(3), 32–38.
- Mateeff, S., & Hohnsbein, J. (1988b). Perceptual latencies are shorter for motion towards the fovea than for motion away. *Vision Research*, *28*, 711–719. doi:10.1016/0042-6989(88)90050-8
- Matthews, N., Welch, L., Achtman, R., Fenton, R., & FitzGerald, B. (2016). Simultaneity and Temporal Order Judgments Exhibit Distinct Reaction Times and Training Effects. *PloS one*, *11*(1), e0145926. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145926>
- Maus, G. W., & Nijhawan, R. (2006). Forward displacements of fading objects in motion: The role of transient signals in perceiving position. *Vision Research*, *46*(26), 4375–4381. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2006.08.028>
- Maus, G. W., & Nijhawan, R. (2009). Going, going, gone: Localizing abrupt offsets of moving objects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *35*(3), 611–626. <https://doi.org/10.1037/a0012317>
- Maus, G. W., Fischer, J., & Whitney, D. (2013). Motion-dependent representation of space in area MT+. *Neuron*, *78*(3), 554–562. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2013.03.010>
- Maus, G. W., Khurana, B., & Nijhawan, R. (2010). History and theory of flash-lag: Past, present, and future. In R. Nijhawan & B. Khurana (Eds.), *Space and time in perception and action* (pp. 477–499). New York, NY: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511750540.027
- McClelland, J. L. (1979). On the time relations of mental processes: An examination of systems of processes in cascade. *Psychological Review*, *86*(4), 287–330. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.86.4.287>
- Mendonça, C., Campos, G., Dias, P., Vieira, J., Ferreira, J. P., & Santos, J. A. (2012). On the improvement of localization accuracy with non-individualized HRTF-based sounds. *Journal of the Audio Engineering Society*, *60*(10), 821–830.
- Merz, S., Deller, J., Meyerhoff, H. S., Spence, C., & Frings, C. (2019). The contradictory influence of velocity: representational momentum in the tactile modality. *Journal of neurophysiology*, *121*(6), 2358–2363. <https://doi.org/10.1152/jn.00128.2019>
- Merz, S., Meyerhoff, H. S., Frings, C., & Spence, C. (2020). Representational momentum in vision and touch: Visual motion information biases tactile spatial localization. *Attention*,

*perception & psychophysics*, 82(5), 2618–2629. <https://doi.org/10.3758/s13414-020-01989-1>

- Metzger, W. (1932). Versuch einer gemeinamen Theorie der Phänomene Fröhlichs und Hazeloffs und Kritikihrer Verfahren zur Messung der Empfindungszeit [An attempt toward a common theory of the phenomena of Fröhlich and Hazelhoff and a criticism of their methods tomeasure sensation time]. *Psychologische Forschung*, 16, 176–200. doi:10.1007/BF00409732
- Middlebrooks, J. C., & Green, D. M. (1991). Sound localization by human listeners. *Annual Review of Psychology*, 42(1), 135–159. <http://doi.org/10.1146/annurev.ps42.0200191.001031>
- Miller, J. D., & Wenzel, E. M. (2002). Recent developments in SLAB: A software-based system for interactive spatial sound synthesis. In *Proceedings of the 2002 International Conference on Auditory Display* (pp. 403–408). Kyoto, Japan.
- Miller, J., & Schwarz, W. (2006). Dissociations between reaction times and temporal order judgments: a diffusion model approach. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 32(2), 394–412. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.32.2.394>
- Milner, A., & Goodale, M. (1997). The Visual Brain in Action. *Optometry and Vision Science - OPTOMETRY VISION SCI*, 74. <http://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198524724.001.0001>
- Mironovs, M., & Lee, H. (2018). On the Accuracy and Consistency of Sound Localization at Various Azimuth and Elevation Angles. In *Proceedings of 144th AES International Convention* [Convention Paper 9952] <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=19469>
- Molholm, S., Ritter, W., Murray, M. M., Javitt, D. C., Schroeder, C. E., & Foxe, J. J. (2002). Multisensory auditory-visual interactions during early sensory processing in humans: A high-density electrical mapping study. *Cognitive Brain Research*, 14(1), 115–128. [https://doi.org/10.1016/S0926-6410\(02\)00066-6](https://doi.org/10.1016/S0926-6410(02)00066-6)
- Mollon, J. D., & Perkins, A. J. (1996). Errors of judgement at Greenwich in 1796. *Nature*, 380(6570), 101–102. <https://doi.org/10.1038/380101a0>
- Moore, C. M., & Enns, J. T. (2004). Object Updating and the Flash-Lag Effect. *Psychological Science*, 15(12), 866–871. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2004.00768.x>

- Moore, D. R., Fuchs, P. A., Plack, C. J., Rees, A., & Palmer, A. R. (2010). *The Oxford Handbook of Auditory Science: Hearing* (C. J. P. David R. Moore (ed.); Vol. 3). Oxford University Press. <http://books.google.pt/books?id=fMHYWaOj1acC>
- Morgan, M. L., Deangelis, G. C., & Angelaki, D. E. (2008). Multisensory integration in macaque visual cortex depends on cue reliability. *Neuron*, *59*(4), 662–673. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2008.06.024>
- Morgan, W. A. (1939). A test for the significance of the difference between the two variances in a sample from a normal bivariate population. *Biometrika*, *31*(1/2), 13. <https://doi.org/10.2307/2334972>
- Morrill, R. J., Bigelow, J., DeKloe, J., & Hasenstaub, A. R. (2022). Audiovisual task switching rapidly modulates sound encoding in mouse auditory cortex. *eLife*, *11*, e75839. <https://doi.org/10.7554/eLife.75839>
- MSC.Software Corporation. (2000). Interactive Physics 2000 (version 5.2.1.1) [Computer software]. San Mateo, CA: MSC.Software. Retrieved from <https://www.design-simulation.com/IP/index.php>
- Munger, M. P., & Owens, T. R. (2004). Representational momentum and the flash-lag effect. *Visual Cognition*, *11*, 81–103. doi:10.1080/13506280344000257
- Murai, Y., & Murakami, I. (2016). The flash-lag effect and the flash-drag effect in the same display. *Journal of Vision*, *16*(11), 1–14. <https://doi.org/10.1167/16.11.31>
- Murakami, I. (2001a). A flash-lag effect in random motion. *Vision Research*, *41*(24), 3101–3119. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(01\)00193-6](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(01)00193-6)
- Murakami, I. (2001b). The flash-lag effect as a spatiotemporal correlation structure. *Journal of Vision*, *1*(2), 126–136. <https://doi.org/10.1167/1.2.6>
- Murray, M. M., De Santis, L., Thut, G., & Wylie, G. R. (2009). The costs of crossing paths and switching tasks between audition and vision. *Brain and cognition*, *69*(1), 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2008.05.004>
- Müsseler, J., & Aschersleben, G. (1998). Localizing the first position of a moving stimulus: The Fröhlich effect and an attention-shifting explanation. *Perception and Psychophysics*, *60*(4), 683–695. <https://doi.org/10.3758/BF03206055>

- Müsseler, J., & Kerzel, D. (2004). The trial context determines adjusted localization of stimuli: Reconciling the Fröhlich and Onset Repulsion Effects. *Vision Research*, *44*(19), 2201-2206. doi: 10.1016/j.visres.2004.04.007.
- Müsseler, J., & Kerzel, D. (2018). Mislocalizations at the Onset Position of Moving Stimuli. In T. Hubbard (Ed.), *Spatial Biases in Perception and Cognition* (pp. 109-120). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781316651247.008
- Müsseler, J., Stork, S., & Kerzel, D. (2002). Comparing mislocalizations with moving stimuli: The Fröhlich effect, the flash-lag, and representational momentum. *Visual Cognition*, *9*(1-2), 120-138. <https://doi.org/10.1080/13506280143000359>
- Nagai, M., Suganuma, M., Nijhawan, R., Freyd, J. J., Miller, G., & Watanabe, K. (2010). Conceptual influence on the flash-lag effect and representational momentum. In R. Nijhawan & B. Khurana (Eds.), *Space and time in perception and action* (pp. 366-378). New York, NY: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511750540.021
- Namba, J., & Baldo, M. V. C. (2004). The modulation of the flash-lag effect by voluntary attention. *Perception*, *33*, 621-632. <https://doi.org/10.1068/p5212>
- NASA, & Miller, J. D. (2012). slab3d (version 6.6.1) [Computer software]. Spatial Auditory Displays Lab at NASA Ames Research Center.
- Nazaré, C. J., & Oliveira, A. M. (2021). Effects of Audiovisual Presentations on Visual Localization Errors: One or Several Multisensory Mechanisms? *Multisensory Research*, *34*(6), 587-621. doi: <https://doi.org/10.1163/22134808-bja10048>
- Niemi, P., & Näätänen, R. (1981). Foreperiod and simple reaction time. *Psychological Bulletin*, *89*(1), 133-162. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.89.1.133>
- Nijhawan, R. (1994). Motion extrapolation in catching. *Nature*, *370*, 256-257. doi:10.1038/370256b0
- Nijhawan, R. (1997). Visual decomposition of colour through motion extrapolation. *Nature*, *386*(6620), 66-69. <https://doi.org/10.1038/386066a0>
- Nijhawan, R. (2002). Neural delays, visual motion and the flash-lag effect. *Trends in Cognitive Sciences* *6*(9). [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(02\)01963-0](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(02)01963-0)
- Nijhawan, R. (2008). Visual prediction: Psychophysics and neurophysiology of compensation for time delays. *Behavioral and Brain Sciences*, *31*, 179-198. doi:10.1017/S0140525X08003804

- Nijhawan, R., & Khurana, B. (2000). Conscious registration of continuous and discrete visual events. In *Neural correlates of consciousness: Empirical and conceptual questions*. (pp. 203–219). The MIT Press.
- Nijhawan, R., & Wu, S. (2009). Compensating time delays with neural predictions: Are predictions sensory or motor? *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 367(1891), 1063–1078. <https://doi.org/10.1098/rsta.2008.0270>
- Nijhawan, R., Watanabe, K., Khurana, B., & Shimojo, S. (2004). Compensation of neural delays in visual-motor behavior: No evidence for shorter afferent delays for visual motion. *Visual Cognition*, 11, 275–298. doi:10.1080/13506280344000347
- Nijhawan, Romi, & Khurana, B. (2010). Space and time in perception and action. In *Space and Time in Perception and Action*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511750540>
- Nishida, S., & Johnston, A. (2002). Marker correspondence, not processing latency, determines temporal binding of visual attributes. *Current biology: CB*, 12(5), 359–368. [https://doi.org/10.1016/s0960-9822\(02\)00698-x](https://doi.org/10.1016/s0960-9822(02)00698-x)
- Ögmen, H., Patel, S. S., Bedell, H. E., & Camuz, K. (2004). Differential latencies and the dynamics of the position computation process for moving targets, assessed with the flash-lag effect. *Vision Research*, 44(18), 2109–2128. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2004.04.003>
- Ohshiro, T., Angelaki, D. E., & DeAngelis, G. C. (2011). A normalization model of multisensory integration. *Nature Neuroscience*, 14(6), 775–782. <https://doi.org/10.1038/nn.2815>
- Orban, G. A., Hoffmann, K. P., & Duysens, J. (1985). Velocity selectivity in the cat visual system. I. Responses of LGN cells to moving bar stimuli: a comparison with cortical areas 17 and 18. *Journal of neurophysiology*, 54(4), 1026–1049. <https://doi.org/10.1152/jn.1985.54.4.1026>
- Park, J., Schlag-Rey, M., & Schlag, J. (2003). Spatial localization precedes temporal determination in visual perception. *Vision research*, 43(15), 1667–1674. [https://doi.org/10.1016/s0042-6989\(03\)00217-7](https://doi.org/10.1016/s0042-6989(03)00217-7)
- Parker D. M. (1980). Simple reaction times to the onset, offset, and contrast reversal of sinusoidal grating stimuli. *Perception & psychophysics*, 28(4), 365–368. <https://doi.org/10.3758/bf03204396>

- Parseihian, G., Jouffrais, C., & Katz, B. F. (2014). Reaching nearby sources: comparison between real and virtual sound and visual targets. *Frontiers in neuroscience*, 8, 269. <https://doi.org/10.3389/fnins.2014.00269>
- Pastore, R. E. (1983). Temporal order judgment of auditory stimulus offset. *Perception & Psychophysics*, 33(1), 54–62. <https://doi.org/10.3758/BF03205865>
- Patel, S., Ögmen, H., Bedell, H., & Sampath, V. (2000). Flash-lag effect: Differential latency, not postdiction. *Science* (New York), 290, 1051. <https://doi.org/10.1126/science.290.5494.1049o>
- Peng, A., Kirkham, N. Z., & Mareschal, D. (2018). Information processes of task-switching and modality-shifting across development. *PloS one*, 13(6), e0198870. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198870>
- Perrott, D. R., & Musicant, A. D. (1977). Minimum auditory movement angle: Binaural localization of moving sound sources. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 62(6), 1463. <https://doi.org/10.1121/1.381675>
- Perrott, D. R., & Saberi, K. (1990). Minimum audible angle thresholds for sources varying in both elevation and azimuth. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 87(4), 1728–1731. <https://doi.org/10.1121/1.399421>
- Phillips, D. P., Hall, S. E., & Boehnke, S. E. (2002). Central auditory onset responses, and temporal asymmetries in auditory perception. *Hearing Research*, 167(1–2), 192–205. [https://doi.org/10.1016/s0378-5955\(02\)00393-3](https://doi.org/10.1016/s0378-5955(02)00393-3)
- Pitman, E. J. G. (1939). A note on normal correlation. *Biometrika*, 31(1–2), 9–12. <https://doi.org/10.1093/biomet/31.1-2.9>
- Poljanšek, A. (2002). The effect of motion acceleration on displacement of continuous and staircase motion in the frontoparallel plane. *Psihološka Obzorja/Horizons of Psychology*, 11(2), 7–21.
- Posner, M. I., Nissen, M. J., & Klein, R. M. (1976). Visual dominance: An information-processing account of its origins and significance. *Psychological Review*, 83(2), 157–171. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.83.2.157>
- Posner, M. I., Raichle, M. E., & Digitrad. (2001). *Imagens da mente*. Porto Editora.
- Purushothaman, G., Patel, S. S., Bedell, H. E., & Ogmen, H. (1998). Moving ahead through differential visual latency [7]. *Nature* 396(6710, (p. 424). <https://doi.org/10.1038/24766>

- Raiguel, S. E., Lagae, L., Gulyàs, B., & Orban, G. A. (1989). Response latencies of visual cells in macaque areas V1, V2 and V5. *Brain Research*, 493(1), 155–159. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(89\)91010-X](https://doi.org/10.1016/0006-8993(89)91010-X)
- Rao, R. P. N., Eagleman, D. M., & Sejnowski, T. J. (2001). Optimal smoothing in visual motion perception. *Neural Computation*, 13(6), 1243–1253. <https://doi.org/10.1162/08997660152002843>
- Razavi, B., O'Neill, W. E., & Paige, G. D. (2007). Auditory spatial perception dynamically realigns with changing eye position. *The Journal of Neuroscience*, 27(38), 10249–10258. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0938-07.2007>
- Reale, R. A., Calvert, G. A., Thesen, T., Jenison, R. L., Kawasaki, H., Oya, H., Howard, M. A., & Brugge, J. F. (2007). Auditory-visual processing represented in the human superior temporal gyrus. *Neuroscience*, 145(1), 162–184. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2006.11.036>
- Risoud, M., Hanson, J.-N., Gauvrit, F., Renard, C., Lemesre, P.-E., Bonne, N.-X., & Vincent, C. (2018). Sound source localization. *European Annals of Otorhinolaryngology, Head and Neck Diseases*, 135(4), 259–264. <https://doi.org/10.1016/j.anorl.2018.04.009>
- Rizk, J. K., Chappell, M., & Hine, T. J. (2009). Effect of motion smoothness on the flash-lag illusion. *Vision Research*, 49(17), 2201–2208. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2009.06.010>
- Roebuck, H., Guo, K., & Bourke, P. (2021). Processing time not modality dominates shift costs in the modality-shifting effect. *Psychological Research*, 85(2), 887–898. <https://doi.org/10.1007/s00426-019-01276-1>
- Roggerone, V., Vacher, J., Tarlao, C., & Guastavino, C. (2019). Auditory motion perception emerges from successive sound localizations integrated over time. *Scientific reports*, 9(1), 16437. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52742-0>
- Rosenthal, R., & Rosnow, R. L. (2009). *Contrast Analysis: Focused Comparisons in the Analysis of Variance* (2nd edition). Cambridge: Cambridge University Press.
- Ross, J., Morrone, M. C., & Burr, D. C. (1997). Compression of visual space before saccades. *Nature*, 386(6625), 598–601. <https://doi.org/10.1038/386598a0>
- Rotman, G., Brenner, E., & Smeets, J. B. J. (2002). Spatial but not temporal cueing influences the mislocalization of a target flashed during smooth pursuit. *Perception*, 31, 1195–1203. [doi:10.1068/p3411](https://doi.org/10.1068/p3411)

- Roulston, B. W., Self, M. W., & Zeki, S. (2006). Perceptual compression of space through position integration. *Proceedings of the Royal Society: Series B. Biological Sciences*, 273, 2507–2512. doi:10.1098/rspb.2006.3616
- Rowland, B. A., Stein, B. E., & Stanford, T. R. (2015). *Multisensory Integration, Principles of* (J. D. B. T.-I. E. of the S. & B. S. (Second E. Wright (ed.); pp. 94–102). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.57002-0>
- Rowland, B., & Stein, B. (2008). Temporal profiles of response enhancement in multisensory integration. *In Frontiers in Neuroscience* (Vol. 2, p. 33). <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/neuro.01.033.2008>
- Rutschmann, J., & Link, R. (1964). Perception of temporal order of stimuli differing in sense mode and simple reaction time. *Perceptual and Motor Skills*, 18(2), 345–352. <https://doi.org/10.2466/pms.1964.18.2.345>
- Salminen, N. H., Tiitinen, H., Miettinen, I., Alku, P., & May, P. J. C. (2010). Asymmetrical representation of auditory space in human cortex. *Brain Research* 1306(0). <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2009.09.095>
- Sandhu, R., & Dyson, B. J. (2013). Modality and task switching interactions using bi-modal and bivalent stimuli. *Brain and Cognition*, 82(1), 90–99. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2013.02.011>
- Sarich, D., Chappell, M., & Burgess, C. (2007). Dividing attention in the flash-lag illusion. *Vision Research*, 47(4), 544–547. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2006.09.029>
- Schechtman, E., Shrem, T., & Deouell, L. Y. (2012). Spatial localization of auditory stimuli in human auditory cortex is based on both head-independent and head-centered coordinate systems. *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience*, 32(39), 13501–13509. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1315-12.2012>
- Schlag, J., Cai, R. H., Dorfman, A., Mohempour, A., & Schlag-Rey, M. (2000). Extrapolating movement without retinal motion. *Nature*, 403, 38–39. doi:10.1038/47402
- Schlittenlacher, J., Ellermeier, W., & Avci, G. (2017). Simple reaction time for broadband sounds compared to pure tones. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 79(2), 628–636. <https://doi.org/10.3758/s13414-016-1237-x>

- Schmidgen, H. (2003). Time and noise: the stable surroundings of reaction experiments, 1860-1890. *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 34, pp. 237-275.
- Schmiedchen, K., Freigang, C., RübSamen, R., & Richter, N. (2013). A comparison of visual and auditory representational momentum in spatial tasks. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 75(7), 1507–1519. <https://doi.org/10.3758/s13414-013-0495-0>
- Schneider, M., Marquardt, I., Sengupta, S., Martino, F., De Goebel, R. (2019) Motion displaces population receptive fields in the direction opposite to motion. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/759183>.
- Schroeder, C. E., & Foxe, J. (2005). Multisensory contributions to low-level, ‘unisensory’ processing. *Current Opinion in Neurobiology*, 15(4), 454–458. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2005.06.008>
- Schroeder, C. E., Lindsley, R. W., Specht, C., Marcovici, A., Smiley, J. F., & Javitt, D. C. (2001). Somatosensory Input to Auditory Association Cortex in the Macaque Monkey. *Journal of Neurophysiology*, 85(3), 1322–1327. <https://doi.org/10.1152/jn.2001.85.3.1322>
- Schwartz, G., Taylor, S., Fisher, C., Harris, R., & Berry, M. J., 2nd (2007). Synchronized firing among retinal ganglion cells signals motion reversal. *Neuron*, 55(6), 958–969. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2007.07.042>
- Scocchia, L., Grosso, R. A., de'Sperati, C., Stucchi, N., & Baud-Bovy, G. (2009). Observer's control of the moving stimulus increases the flash-lag effect. *Vision research*, 49(19), 2363–2370. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2009.06.023>
- Shams, L., Kamitani, Y., & Shimojo, S. (2004). Modulations of Visual Perception by Sound. In G. Calvert, C. Spence, & B. E. Stein (Eds.), *The Handbook of Multisensory Processes*. MIT Press.
- Shelton, J., & Kumar, G. P. (2010). Comparison between Auditory and Visual Simple Reaction Times. *Neuroscience and Medicine*, 01(01), 30–32. <https://doi.org/10.4236/nm.2010.11004>
- Shi, Z. (2018). Course C Tutorial 3: Psychometric function. [https://rpubs.com/Strongway/psy\\_fun](https://rpubs.com/Strongway/psy_fun)

- Shi, Z., & de'Sperati, C. (2008). Motion-induced positional biases in the flash-lag configuration. *Cognitive Neuropsychology*, *25*(7–8), 1027–1038. <https://doi.org/10.1080/02643290701866051>
- Shi, Z., & Nijhawan, R. (2008). Behavioral significance of motion direction causes anisotropic flash-lag, flash-drag, flash-repulsion, and movement-mislocalization effects. *Journal of Vision*, *8*(7), 1-14. <https://doi.org/10.1167/8.7.24>
- Shim, W. M., & Cavanagh, P. (2004). The motion-induced position shift depends on the perceived direction of bistable quartet motion. *Vision Research*, *44*(20), 2393–2401. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2004.05.003>
- Shim, W. M., & Cavanagh, P. (2005). Attentive tracking shifts the perceived location of a nearby flash. *Vision research*, *45*(25-26), 3253–3261. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2005.05.029>
- Shim, W. M., & Cavanagh, P. (2006). Bi-directional illusory position shifts toward the end point of apparent motion. *Vision Research*, *46*, 3214-3222.
- Shioiri, S., Yamamoto, K., Oshida, H., Matsubara, K., & Yaguchi, H. (2010). Measuring attention using flash-lag effect. *Journal of Vision*, *10*(10), 10. doi:10.1167/10.10.10
- Shore, D. I., Spence, C., & Klein, and R. M. (2001). Visual prior entry. *Psychological Science*, *12*, 205–212.
- Sinico, M., Parovel, G., Casco, C., & Anstis, S. (2009). Perceived shrinkage of motion paths. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, *35*(4), 948–957. <https://doi.org/10.1037/a0014257>
- Snedecor, G. W., & Cochran, W. G. (1989). *Statistical Methods* (8th ed.). Ames, IA: Iowa State University Press.
- Sokolova, R., Rukšėnas, O., & Burle, B. (2013). Differences between reaction time to stimulus onset and offset: Evidence for post-perceptual effects. *Psichologija*, *48*, 70-78. <https://doi.org/10.15388/Psichol.2013.1.2623>
- SourceForge. (2010). *VirtualDub* (version 1.9.11) [Computer software].
- Spang, K., & Fahle, M. (2009). Impaired temporal, not just spatial, resolution in amblyopia. *Investigative ophthalmology & visual science*, *50*(11), 5207–5212. <https://doi.org/10.1167/iovs.07-1604>

- Spence, C., & Driver, J. (1997). On measuring selective attention to an expected sensory modality. *Perception & Psychophysics*, 59(3), 389–403. <https://doi.org/10.3758/BF03211906>
- Spence, C., & Parise, C. (2010). Prior-entry: A review. *Consciousness and Cognition: An International Journal*, 19(1), 364–379. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2009.12.001>
- Spence, C., Baddeley, R., Zampini, M., James, R., & Shore, D. I. (2003). Multisensory temporal order judgments: When two locations are better than one. *Perception & Psychophysics*, 65(2), 318–328. <https://doi.org/10.3758/BF03194803>
- Spence, C., Nicholls, M. R., & Driver, J. (2001). The cost of expecting events in the wrong sensory modality. *Perception & Psychophysics*, 63(2), 330–336. <https://doi.org/10.3758/BF03194473>
- Spence, C., Shore, D. I., & Klein, R. M. (2001). Multisensory prior entry. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(4), 799–832. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.130.4.799>
- Spivey, M. J., & Batzloff, B. J. (2018). Bridgemanian space constancy as a precursor to extended cognition. *Consciousness and cognition*, 64, 164–175. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2018.04.003>
- Stein, B.E., Wallace, M. T., & Stanford, T. R. (2001). Cross-modal (Multi-sensory) Integration. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, 3008–3015. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043076-7/03538-5>
- Stein, B. E., Meredith, M. A., & Wallace, M. T. (1993). Chapter 8 The visually responsive neuron and beyond: multisensory integration in cat and monkey. In T. P. Hicks, S. Molotchnikoff, & T. B. T.-P. in B. R. Ono (Eds.), *Progress in Brain Research* (Vol. 95, pp. 79–90). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(08\)60359-3](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(08)60359-3)
- Stein, Barry E. (1998). Neural mechanisms for synthesizing sensory information and producing adaptive behaviors. *Experimental Brain Research*, 123(1–2), 124–135. <https://doi.org/10.1007/s002210050553>
- Stein, Barry E., & Stanford, T. R. (2008). Multisensory integration: Current issues from the perspective of the single neuron. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(4), 255–266. <https://doi.org/10.1038/nrn2331>

- Steinborn, M. B., Rolke, B., Bratzke, D., & Ulrich, R. (2008). Sequential effects within a short foreperiod context: Evidence for the conditioning account of temporal preparation. *Acta Psychologica*, *129*(2), 297–307. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2008.08.005>
- Stern, L. W. (1998). Il tempo di presenza psichico. (L. Taranta, Trans.), in G. Vicario e E. Zambianchi, *La percezione degli eventi* (pp. 31-50). Milano: Angelo Guerini e Associati SpA [artigo original publicado em 1897, *Über psychische Präsenzzeit. Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane*, *13*, 325-349]
- Stevenson, R. A., Fister, J. K., Barnett, Z. P., Nidiffer, A. R., & Wallace, M. T. (2012). Interactions between the spatial and temporal stimulus factors that influence multisensory integration in human performance. *Experimental Brain Research*. <https://doi.org/10.1007/s00221-012-3072-1>
- Stroud, J. M. (1956). The fine structure of psychological time. In H. Quastler (Ed.), *Information theory in psychology: problems and methods* (pp. 174–207). Free Press.
- Subramaniyan, M., Ecker, A. S., Patel, S. S., Cotton, R. J., Bethge, M., Pitkow, X., Berens, P., & Tolias, A. S. (2018). Faster processing of moving compared with flashed bars in awake macaque V1 provides a neural correlate of the flash lag illusion. *Journal of Neurophysiology*, *120*(5), 2430–2452. <https://doi.org/10.1152/jn.00792.2017>
- Tadin, D., Lappin, J. S., Blake, R., & Glasser, D. M. (2010). High temporal precision for perceiving event offsets. *Vision research*, *50*(19), 1966–1971. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2010.07.005>
- Tao, C., Wu, Y., Gong, L., Chen, S., Mao, Y., Chen, Y., Zhou, J., & Huang, P. C. (2019). Abnormal Monocular and Dichoptic Temporal Synchrony in Adults with Amblyopia. *Investigative ophthalmology & visual science*, *60*(14), 4858–4864. <https://doi.org/10.1167/iovs.19-27893>
- Thornton, I M, & Hubbard, T. L. (2002). Representational momentum: New findings, new directions. *Visual Cognition*, *9*(1–2). <https://doi.org/10.1080/13506280143000430>
- Thornton, I. M. (2002). The onset repulsion effect. *Spatial Vision*, *15*(2), 219–243. <https://doi.org/10.1163/15685680252875183>
- Tiippana, K., & Salmela, V. R. (2018). Stimulus duration has little effect on auditory, visual and audiovisual temporal order judgement. *Experimental brain research*, *236*(5), 1273–1282. <https://doi.org/10.1007/s00221-018-5218-2>

- Titchener, E. B. (1908). *Lectures on the elementary psychology of feeling and attention*. New York: MacMillan Co. <https://doi.org/10.1037/10867-000>
- Tse, P. U., Whitney, D., Anstis, S., & Cavanagh, P. (2011). Voluntary attention modulates motion-induced mislocalization. *Journal of Vision*, *11*(3), Article 12. <https://doi.org/10.1167/11.3.12>
- Turatto, M., Benso, F., Galfano, G., & Umiltà, C. (2002). Nonspatial attentional shifts between audition and vision. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *28*(3), 628–639. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.28.3.628>
- Turatto, M., Benso, F., Galfano, G., & Umiltà, C. (2002). Nonspatial attentional shifts between audition and vision. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *28*(3), 628–639. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.28.3.628>
- Tye-Murray, N., Sommers, M., Spehar, B., Myerson, J., & Hale, S. (2010). Aging, Audiovisual Integration, and the Principle of Inverse Effectiveness. *Ear and Hearing*, *31*(5), 636–644. <https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e3181ddf7ff>
- Tynan, P. D., & Sekuler, R. (1982). Motion processing in peripheral vision: reaction time and perceived velocity. *Vision research*, *22*(1), 61–68. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(82\)90167-5](https://doi.org/10.1016/0042-6989(82)90167-5)
- Ungerleider, L. G., & Mishkin, M. (1982). Two cortical visual systems. In D. J. Ingle, M. A. Goodale, & R. J. W. Mansfield (Eds.), *Analysis of visual behavior* (pp. 549-586). Cambridge: MIT Press.
- Van Atteveldt, N., Murray, M. M., Thut, G., & Schroeder, C. E. (2014). Multisensory integration: Flexible use of general operations. *Neuron*, *81*(6), 1240–1253. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2014.02.044>
- Van Beers, R. J., Wolpert, D. M., & Haggard, P. (2001). Sensorimotor integration compensates for visual localization errors during smooth pursuit eye movements. *Journal of Neurophysiology*, *85*(5), 1914–1922. <https://doi.org/10.1152/jn.2001.85.5.1914>
- Van der Stoep, N., & Alais, D. (2020). Motion Perception: Auditory Motion Encoded in a Visual Motion Area. *Current biology: CB*, *30*(13), R775–R778.
- van Ee, R., van Boxtel, J. J., Parker, A. L., & Alais, D. (2009). Multisensory congruency as a mechanism for attentional control over perceptual selection. *The Journal of neuroscience*:

- the official journal of the Society for Neuroscience*, 29(37), 11641–11649.  
<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0873-09.2009>
- Van Eijk, R. L., Kohlrausch, A., Juola, J. F., & van de Par, S. (2008). Audiovisual synchrony and temporal order judgments: effects of experimental method and stimulus type. *Perception & psychophysics*, 70(6), 955–968. <https://doi.org/10.3758/pp.70.6.955>
- van Wassenhove, V., Grant, K. W., & Poeppel, D. (2007). Temporal window of integration in auditory-visual speech perception. *Neuropsychologia*, 45(3), 598–607. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.01.001>
- Vatakis, A., J. Navarra, S. Soto-Faraco, & C. Spence (2008). Audiovisual temporal adaptation of speech: Temporal order versus simultaneity judgments. *Experimental Brain Research*, 185, 521–529.
- Vaziri-Pashkam, M., & Cavanagh, P. (2011). Effect of speed overestimation on flash-lag effect at low luminance. *i-Perception*, 2(9), 1063–1075. <https://doi.org/10.1068/i0435>
- Verfaillie, K., & Daems, A. (2002). Representing and anticipating human actions in vision. *Visual Cognition*, 9(1–2), 217–232. <https://doi.org/10.1080/13506280143000403>
- Verfaillie, K., & d'Ydewalle, G. (1991). Representational momentum and event course anticipation in the perception of implied periodical motions. *Journal of experimental psychology. Learning, memory, and cognition*, 17(2), 302–313. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.17.2.302>
- Vibell, J., Klinge, C., Zampini, M., Nobre, A. C., & Spence, C. (2017). Differences between endogenous attention to spatial locations and sensory modalities. *Experimental brain research*, 235(10), 2983–2996. <https://doi.org/10.1007/s00221-017-5030-4>
- Vicario, G., & Zambianchi, E. (1998). *La percezione degli eventi*. Milano: Angelo Guerini e Associati SpA
- Von Tschisch, W. (1885). Ueber die Zeitverhältnisse der Apperception einfacher und zusammengesetzter Vorstellungen, untersucht mit Hilfe der Complications-Methode [On the temporal relationships of the perception of simple and complex ideas, examined with the help of the complications method], *Philosophische Studien*, 2 603- 634.
- Vreven, D., & Verghese, P. (2005). Predictability and the dynamics of position processing in the flash-lag effect. *Perception*, 34, 31–44. doi: 10.1068/p5371

- Vroomen, J., & de Gelder, B. (2004). Temporal Ventriloquism: Sound Modulates the Flash-Lag Effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 30(3), 513–518. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.30.3.513>
- Wackermann J. (2007). Inner and outer horizons of time experience. *The Spanish journal of psychology*, 10(1), 20–32. <https://doi.org/10.1017/s1138741600006284>
- Wallace, M. T., Wilkinson, L. K., & Stein, B. E. (1996). Representation and integration of multiple sensory inputs in primate superior colliculus. *Journal of Neurophysiology*, 76(2), 1246–1266. <https://doi.org/10.1152/jn.1996.76.2.1246>
- Wang, X., Reynaud, A., & Hess, R. F. (2021). The Flash-lag Effect in Amblyopia. *Investigative ophthalmology & visual science*, 62(2), 23. <https://doi.org/10.1167/iovs.62.2.23>
- Watanabe, E., Matsunaga, W., & Kitaoka, A. (2010). Motion signals deflect relative positions of moving objects. *Vision Research*, 50(23), 2381–2390. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2010.09.021>
- Watanabe, K. (2005). Asymmetric Mislocalization of a Visual Flash Ahead of and behind a Moving Object. *Perception*, 34(6), 687–698. <https://doi.org/10.1068/p5415>
- Watanabe, K., & Yokoi, K. (2006). Object-based anisotropies in the flash-lag effect. *Psychological Science*, 17, 728–735. doi:10.1111/j.1467-9280.2006.01773.x
- Watanabe, K., & Yokoi, K. (2007). Object-based anisotropic mislocalization by retinotopic motion signals. *Vision Research*, 47(12), 1662–1667. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2007.03.006>
- Watanabe, K., & Yokoi, K. (2008). Dynamic distortion of visual position representation around moving objects. *Journal of Vision*, 8(3), 1–11. <https://doi.org/10.1167/8.3.13>
- Watanabe, K., Nijhawan, R., & Shimojo, S. (2002). Shifts in perceived position of flashed stimuli by illusory object motion. *Vision Research*, 42(24), 2645–2650. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(02\)00296-1](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(02)00296-1)
- Watanabe, K., Nijhawan, R., Khurana, B., & Shimojo, S. (2001). Perceptual organization of moving stimuli modulates the flash-lag effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 879–894. doi:10.1037/0096-1523.27.4.879
- Watanabe, K., Sato, T. R., & Shimojo, S. (2003). Perceived shifts of flashed stimuli by visible and invisible object motion. *Perception*, 32(5), 545–559. <https://doi.org/10.1068/p5047>

- Welch, R. B. (1999). Meaning, attention, and the “unity assumption” in the intersensory bias of spatial and temporal perceptions. In G. Aschersleben, T. Bachmann, & J. Müsseler (Eds.), *Cognitive Contributions to the Perception of Spatial and Temporal Events (Vol. 129)*, pp. 371–387. North-Holland. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(99\)80036-3](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(99)80036-3)
- Welch, R. B., & Warren, D. H. (1980). Immediate perceptual response to intersensory discrepancy. *Psychological Bulletin*, 88(3), 638–667. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.88.3.638>
- Welch, R. B., & Warren, D. H. (1986). Intersensory interactions. In K. R. Boff, L. Kaufman, & J. P. Thomas (Eds.), *Handbook of Perception and Human Performance (Vol. 1)*, pp. 25 – 36. New York: Wiley.
- Welch, R. B., DuttonHurt, L. D., & Warren, D. H. (1986). Contributions of audition and vision to temporal rate perception. *Perception & psychophysics*, 39(4), 294–300. <https://doi.org/10.3758/bf03204939>
- Westheimer, G., & McKee, S. P. (1977). Spatial configurations for visual hyperacuity. *Vision Research*, 17(8), 941–947. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(77\)90069-4](https://doi.org/10.1016/0042-6989(77)90069-4)
- Whitney, D. (2002). The influence of visual motion on perceived position. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(5), 211–216. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(02\)01887-9](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(02)01887-9)
- Whitney, D., & Cavanagh, P. (2000). Motion distorts visual space: Shifting the perceived position of remote stationary objects. *Nature Neuroscience*, 3(9), 954–959. <https://doi.org/10.1038/78878>
- Whitney, D., & Cavanagh, P. (2002). Surrounding motion affects the perceived locations of moving stimuli. *Visual Cognition*, 9(1–2). <https://doi.org/10.1080/13506280143000368>
- Whitney, D., & Murakami, I. (1998). Latency difference, not spatial extrapolation. *Nature Neuroscience*, 1(8), 656–657. <https://doi.org/10.1038/3659>
- Whitney, D., Murakami, I., & Cavanagh, P. (2000). Illusory spatial offset of a flash relative to a moving stimulus is caused by differential latencies for moving and flashed stimuli. *Vision Research*, 40(2), 137–149. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(99\)00166-2](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(99)00166-2)
- Wightman, F. L., & Kistler, D. J. (1989). Headphone simulation of free-field listening. I: Stimulus synthesis. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 85(2), 858–867. <https://doi.org/10.1121/1.397557>

- Wojtach, W. T., Sung, K., Truong, S., & Purves, D. (2008). An empirical explanation of the flash-lag effect. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *105*, 16338–16343. doi: 10.1073/pnas.0808916105
- Woodworth, R. S., & Schlosberg, H. (1954). Experimental psychology, Rev. ed. In *Experimental psychology*, Rev. ed. Holt.
- Wundt, W. M. (1902/1910). *Principles of physiological psychology*. New York, NY: Macmillan.
- Yost, W. A., & Zhong, X. (2014). Sound source localization identification accuracy: Bandwidth dependencies. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *136*(5), 2737–2746. <https://doi.org/10.1121/1.4898045>
- Yost, W. A., Loisel, L., Dorman, M., Burns, J., & Brown, C. A. (2013). Sound source localization of filtered noises by listeners with normal hearing: A statistical analysis. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *133*(5), 2876–2882. <https://doi.org/10.1121/1.4799803>
- Yund, E. W., & Efron, R. (1974). Dichoptic and dichotic micropattern discrimination. *Perception & Psychophysics*, *15*(2), 383–390. <https://doi.org/10.3758/BF03213963>
- Zampini, M., Guest, S., Shore, D. I., & Spence, C. (2005a). Audio-visual simultaneity judgments. *Perception & Psychophysics*, *67*(3), 531–544. <https://doi.org/10.3758/BF03193329>
- Zampini, M., Shore, D. I., & Spence, C. (2003). Audiovisual temporal order judgments. *Experimental Brain Research*, *152*(2), 198–210. <https://doi.org/10.1007/s00221-003-1536-z>
- Zampini, M., Shore, D. I., & Spence, C. (2005b). Audiovisual prior entry. *Neuroscience letters*, *381*(3), 217–222. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2005.01.085>