



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Exploração de Câmara NoIR de Raspberry Pi 2 B para a Metrologia da Combustão

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente

Raspberry Pi 2 B NoIR Camera Exploration for Combustion Metrology

Autor

João Miguel Duarte Ferreira

Orientador

Professor Doutor José Leandro Simões de Andrade Campos

Júri

Presidente

Professor Doutor José Carlos Miranda Góis
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra
Professor Doutor José Leandro Simões de Andrade
Campos

Vogais

Professor Associado da Universidade de Coimbra
Professor Doutor Ricardo António Lopes Mendes
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Coimbra, julho de 2016

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao Professor Doutor Andrade Campos por todo o apoio e disponibilidade que apresentou ao longo deste trabalho bem como todos os conhecimentos que me transmitiu. Fica também uma palavra de apreço para todos os docentes com os quais me cruzei na vida académica que contribuíram para que hoje alcance este patamar.

Um agradecimento especial para os meus pais, irmã e toda a família, incluindo alguns membros já falecidos que constituíram um pilar na minha formação, por todo o apoio e incentivo nesta etapa da minha vida e não deixarem de acreditar mesmo quando passei por ocasiões mais complicadas.

Não poderia deixar de expressar o meu agradecimento aos meus amigos e namorada por todos os momentos que vivemos ao longo destes anos, sendo uma ajuda importante para a minha motivação em superar e alcançar alguns objetivos de vida. Foram sem dúvida elementos essenciais numa das etapas mais importantes da minha vida.

Resumo

O objetivo deste trabalho é a exploração das capacidades de aquisição de imagem na zona do IV próximo com recurso a um computador (SBC) e uma câmara digital de baixo custo, o Raspberry Pi e módulo de Câmara NoIR.

Foram efetuados vários ensaios de modo a testar a sensibilidade ao IV próximo, tanto por radiação emitida devido à temperatura como por foco de luz IV.

Um dos pontos de trabalho foi inferir a interferência de a captura de imagens através de um meio aquático que se revelou nula no espectro visível e baixa no IV.

Como uma das possibilidades de utilização do equipamento seria em aplicações de videovigilância foi testado um programa que permite a utilização do equipamento como tal e ainda, realizar gravações se forem detetados movimentos ou alterações relevantes na imagem tais como uma ignição.

Palavras-chave: Raspberry Pi, CMOS, IV Próximo, Combustão, Videovigilância.

Abstract

The main objective of the work presented is the exploration of image acquisition capacity in the near-IR zone using a low-cost computer (SBC) and digital camera, the Raspberry Pi and its NoIR Camera module.

There were made several experiments in order to attest the sensitivity to near-IR zone, both by emitted radiation due to temperature and to an IV spotlight.

One of the work's objective was to deduce the influence of capturing images through an aquatic medium that has revealed null to the visible spectrum and low in IR region.

As one equipment usage possibility was video surveillance applications it was tested a program that allow to be used as such. It's also possible to make video footages if motion is detected or relevant image changing such as occurring an ignition.

Keywords Raspberry Pi, CMOS, Near-IR, Combustion, Video Surveillance.

Índice

Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas	xiii
Siglas	xv
1. Introdução	1
2. Enquadramento Teórico	3
2.1. Espectro Visível	3
2.2. Radiação Térmica	4
2.2.1. Emissão de Corpo Negro – Revisão de Conceitos	6
2.2.2. Ângulo Sólido	8
2.2.3. Intensidade Espectral e Independência Direcional	8
2.2.4. Poder Emissivo	10
2.2.5. Lei de Planck	11
2.2.6. Lei de Wien	13
2.2.7. Lei de Stefan-Boltzmann	14
2.2.8. Fatores de Forma para Superfícies de Radiação Uniforme	16
3. Descrição e Metodologia do Equipamento	21
3.1. Microcontroladores vs Microprocessadores	21
3.2. Características do Equipamento	22
3.2.1. Módulo Câmara NoIR	22
3.2.2. Raspberry Pi 2 Model B	26
3.2.3. Acessórios	27
3.3. Operação do Equipamento	28
3.3.1. Sistema Operativo	28
3.3.2. Acesso a Dados	29
3.3.3. SSH	30
3.3.4. Controlo da Câmara	30
4. Ensaios e Resultados	43
4.1. Testes de IV	43
4.1.1. Iluminação Natural vs Iluminação Externa IV	43
4.1.2. Visualização de corpo negro	44
4.1.3. Obtenção Ficheiro <i>RAW</i>	45
4.2. Teste de Espectro da Água	47
4.3. Teste <i>RPi Cam Web Interface</i>	49
5. Conclusão	51

Referências Bibliográficas	53
Apêndice A – Valores de Eficiência Quântica dos Canais do Sensor	55
Anexo A – Instruções de Controlo da Câmara Via Linha de Comandos.....	59
A.1 – raspistill	59
A.2 – raspivid	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Espectro de radiação visível. Retirado de https://wine4soul.files.wordpress.com/2012/12/spectrum1.jpg	3
Figura 2.2. Intensidade espectral da radiação solar. (Chaplin 2016).....	3
Figura 2.3. Espectro absorção de radiação da água. (Chaplin 2016).....	4
Figura 2.4. Espectro da radiação eletromagnética. (Anastácio 2014).....	6
Figura 2.5. Representação do ângulo sólido onde a radiação é emitida por dA . (Anastácio 2014).....	8
Figura 2.6. Hemisfério com raio unitário representando o poder emissivo espectral e a área infinitesimal sobre a superfície hemisférica utilizado para calcular o ângulo sólido por elemento dA . (Anastácio 2014).....	9
Figura 2.7. Intensidade espectral de um corpo negro para várias temperaturas absolutas. Retirado de http://www.physics.utah.edu/~jgerton/3740/class_problems/gp14solns.pdf	12
Figura 2.8. Distribuição de energia emitida por um corpo negro no espectro. (Anastácio 2014).....	13
Figura 2.9. a) Energia emitida, por corpo negro, em bandas de comprimento de onda; b) Fração de energia emitida por produto de comprimento de onda com temperatura. (Anastácio 2014).....	15
Figura 2.10. Notação do fator de forma geométrico para duas superfícies negras. (Anastácio 2014).....	16
Figura 2.11. Relação entre o ângulo sólido das duas superfícies consideradas. (Anastácio 2014).....	17
Figura 2.12. Superfície fechada com N faces. (Anastácio 2014).....	19
Figura 3.1. Esquema do filtro de Bayer do sensor. (Jones 2015).....	22
Figura 3.2. Diferença entre Campo de Visão parcial e total do sensor. (Jones 2015).....	24
Figura 3.3. Campo de visão horizontal e vertical em função da distância do plano ao sensor.....	24
Figura 3.4. Eficiência quântica com a variação do comprimento de onda dos sensores BSI Omnivision com pixels de 1,4 μm . (Rhodes et al. 2009).....	25
Figura 3.5. Extrapolação da eficiência quântica com a variação do comprimento de onda dos sensores BSI Omnivision com pixels de 1,4 μm para comprimentos de onda superiores a 700 nm.....	26
Figura 3.6. Vista de topo do Raspberry Pi 2 B.....	26

Figura 3.7. Introdução de comando raspistill com 1 milissegundo de espera, 100000 microssegundos de abertura e gravação na pasta test_joao.	31
Figura 3.8. Captura obtida pelo comando raspistill, instrução da Figura 3.7.....	31
Figura 3.9. Introdução de comando raspivid com <i>framerate</i> de 25 fps, 5000 milissegundos de gravação e gravação na pasta test_joao.....	32
Figura 3.10. Captura de ecrã obtida do vídeo resultante da instrução da Figura 3.9.	32
Figura 3.11. Capturas obtidas para diferentes valores de <i>shutter speed</i> , a) 10 μ s, b) 100 μ s, c) 1000 μ s, d) 10000 μ s e e) 100000 μ s.....	34
Figura 3.12. Capturas obtidas com tempos de exposição de a) automático, b) 1 segundo e c) 6 segundos.....	36
Figura 3.13. Capturas de ecrã de vídeos com resolução de a) 320x240 e b) 1296x972.	38
Figura 4.1. Tampas de caneta de cor preta, vermelha e azul com iluminação a) natural e b) IV.	43
Figura 4.2. Capturas a uma impressão do espectro de cor visível com iluminação a) natural e b) IV.	43
Figura 4.3. Capturas a uma impressão de uma paleta de cores com iluminação a) natural e b) IV.	44
Figura 4.4. Capturas a disco quente obtidas com este a uma temperatura de a) 380 °C, b) 400 °C, c) 450 °C, d) 490 °C, e) 500 °C e f) 520 °C.	45
Figura 4.5. Capturas obtidas imediatamente antes das capturas <i>RAW</i> , sujeita a a) luz visível e b) na sua ausência.....	45
Figura 4.6. Zona de maiores valores das matrizes do ficheiro RAW obtidas a) com e b) sem luz visível.	46
Figura 4.7. Captura de tampas de caneta através de um meio aquático.	47
Figura 4.8. Espectro de cor capturado a) diretamente e b) através de um meio aquático... ..	47
Figura 4.9. Disco quente capturado através de um meio aquático a temperaturas de a) 450 °C, b) 490 °C, c) 500 °C e d) 520 °C.	48
Figura 4.10. Fotogramas provenientes do vídeo de deteção da combustão de hidrocarbonetos.	50
Figura 0.1. Eficiência quântica do canal Azul.	56
Figura 0.2. Eficiência quântica do canal Verde.	57
Figura 0.3. Eficiência quântica do canal Vermelho.	58

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1. Propriedades de imagem adquiridas consoante a resolução utilizada.	23
Tabela 3.2. Principais especificações técnicas do Raspberry Pi 2 B.	27
Tabela 3.3. Hotkeys do programa Omxplayer.	39
Tabela 0.1. Eficiência quântica do canal Azul.	55
Tabela 0.2. Eficiência quântica do canal Verde.	57
Tabela 0.3. Eficiência quântica do canal Vermelho.	58

SIGLAS

BSI – *Back-Illuminated Sensor*

CMOS – *Complementary Metal-Oxide-Semiconductor*

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

FoV – *Field of View*

IV – Infravermelho

NoIR – *No Infrared*

SBC – *Single Board Computer*

UV – Ultravioleta

1. INTRODUÇÃO

A motivação para este trabalho passa pela utilização de uma solução de baixo custo, o *Raspberry Pi 2 B* e módulo da Câmara *NoIR*, que pela sua modularidade, boa resolução e sua capacidade de deteção de infravermelhos se revela um equipamento possuidor de uma margem de exploração interessante.

Este equipamento poderá ter variadas utilizações possíveis de explorar, tais como a sua utilização como equipamento de videovigilância, efetuando a deteção de intrusão e a possibilidade de deteção de ignição, e a utilização como um equipamento de termografia de baixo custo. Com isto pretende-se verificar as capacidades termográficas da câmara ainda que, conforme verificado por (Baila 2015), sejam algo limitadas.

A termografia hoje em dia tem cada vez mais importância em engenharia graças à sua aplicabilidade na manutenção, no entanto, os equipamentos necessários são de elevado custo devido ao tipo de materiais utilizados na sua construção. Alguns exemplos da sua utilização são, a militar, que é a sua origem, a utilização por bombeiros de modo a detetar focos de incêndio ou até pessoas (Bullard Company n.d.) e também pode ser uma ferramenta de análise de gestão de energia em edifícios segundo (Fox et al. 2014).

Um outro ponto que será explorado é a influência da visualização de imagem através de um meio aquático devido à sua absorção espectral.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

2.1. Espectro Visível

O espectro visível é o intervalo do espectro eletromagnético que é visível para o olho humano, compreendido entre os comprimentos de onda 0,4 a 0,7 μm sensivelmente. Na Figura 2.1 estão representadas as cores espectrais, denominadas assim porque cada uma corresponde a apenas um comprimento de onda do espectro, sendo por isso também denominadas de cores puras, que compõem o espectro visível.

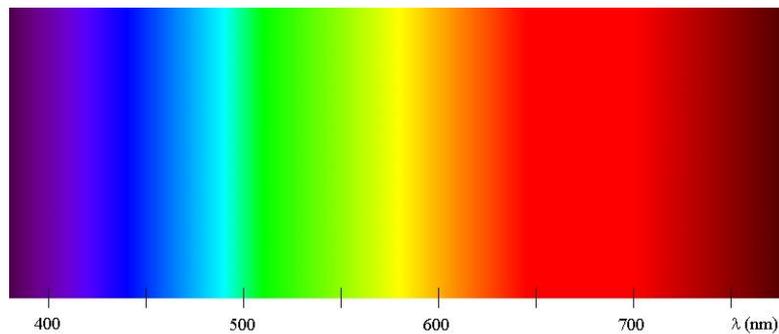


Figura 2.1. Espectro de radiação visível. Retirado de <https://wine4soul.files.wordpress.com/2012/12/spectrum1.jpg>.

Apresenta-se também na Figura 2.2 a intensidade espectral da radiação solar, em que se observa que uma grande fração da energia emitida se situa na zona do espectro visível.

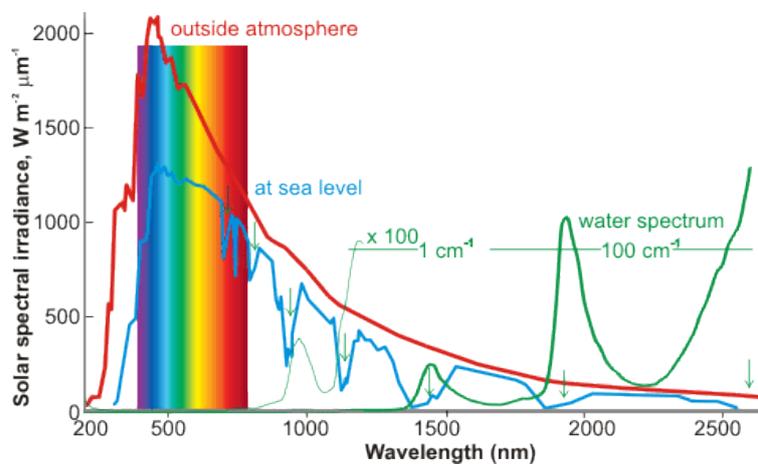


Figura 2.2. Intensidade espectral da radiação solar. (Chaplin 2016)

Outro ponto de grande importância é que grande parte dos seres vivos possuem os seus órgãos de visão, olhos, imersos em água. Observando o espectro de absorção de radiação da água na Figura 2.3, verifica-se a concordância entre o intervalo de menor absorção de radiação pela água e esse pico da energia, concluindo-se que essa é a razão pela qual são sensíveis a esse intervalo do espectro.

Como tal, o olho humano está preparado para ser sensível a essa zona do espectro visto que é a maior fonte de radiação a que está sujeito. No entanto, há animais que são sensíveis a espectros ligeiramente desviados a este, por exemplo as tartarugas têm os olhos sensíveis à região do IV e não vêm a zona do azul, enquanto as abelhas têm olhos sensíveis ao UV mas não à região do vermelho (Siegel et al. 2011).

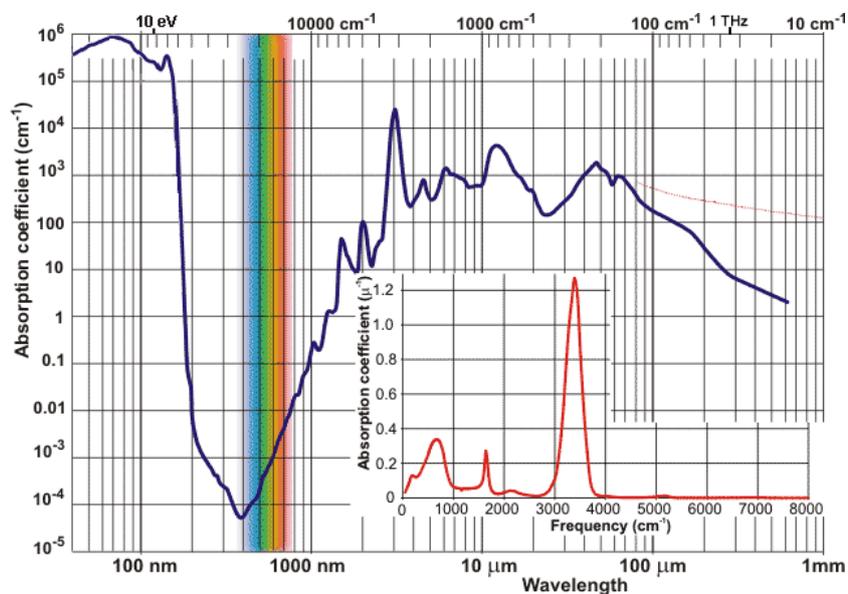


Figura 2.3. Espectro absorção de radiação da água. (Chaplin 2016)

Por fim, a cor que o olho humano observa nos variados objetos trata-se de uma reflexão da luz solar incidente. No caso de um corpo vermelho o que acontece é que de toda a radiação solar incidente nesse corpo, este absorve toda excetuando a radiação correspondente aos comprimentos de onda da zona do vermelho, sendo por isso refletida e visualizada pelo olho humano.

2.2. Radiação Térmica

É de conhecimento geral que todas as substâncias emitem continuamente radiação eletromagnética devido à sua agitação molecular ou atômica, essa radiação depende

da energia interna emitida pelo material em causa. A natureza depende da energia radiante proveniente do sol, esta é necessária para a realização da fotossíntese das plantas, para aquecer a terra e uma parte do seu comprimento de onda é fulcral para que os nossos olhos possam ver. No corpo humano, os olhos podem considerar-se como detetores de radiação visível, pois conseguem conceber imagens no intervalo compreendido entre 0,4 a 0,7 μm de comprimento de onda pelo que, não detetam radiação infravermelha direta. A pele por sua vez é capaz de detetar essa radiação sob a forma de calor desde que seja bastante intensa, é por isso, considerada um mau detetor de radiação infravermelha.

Como se sabe a transferência de energia radiativa é dependente da diferença de temperatura entre duas superfícies ou meios elevada à quarta potência. Este fenómeno tem a particularidade de não necessitar de nenhum meio para se propagar entre dois locais. De modo que será necessário considerar a radiação relevante para superfícies onde as temperaturas sejam elevadas, isto é, onde os fenómenos de condução e convecção sejam desprezáveis como acontece no vácuo.

Nos problemas em que sejam consideradas a condução e convecção conjuntamente com a radiação, estes terão complexidades matemáticas acrescidas porque originam equações diferenciais integrais complicadas devido às equações de diferentes potências.

A teoria da propagação de energia radiante pode ser considerada por duas formas diferentes, a primeira considera a teoria das ondas eletromagnéticas clássica e a segunda considera a teoria da mecânica quântica. Como se sabe a teoria das ondas eletromagnéticas é normalmente a mais utilizada, pois na maioria dos casos obtêm-se as mesmas equações conseguidas a partir da aplicação da teoria quântica.

O comprimento de onda da radiação eletromagnética classifica o tipo de radiação, desde os raios X e γ de curtos comprimentos de onda, até grandes comprimentos de onda como as ondas rádio, representado na Figura 2.4, onde expõe o espectro da radiação eletromagnética. Nesta é possível observar que a radiação térmica relevante para o estudo do corpo negro está compreendida entre os comprimentos de onda da radiação ultravioleta, $\lambda=0,1 \mu\text{m}$, e os comprimentos de onda da radiação infravermelha, $\lambda=1000 \mu\text{m}$, estando presente entre estes dois limites a zona de radiação visível.

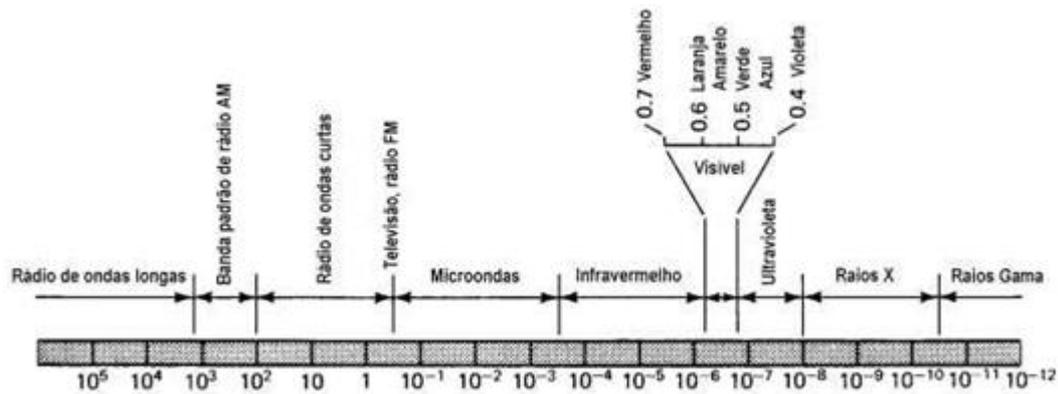


Figura 2.4. Espectro da radiação eletromagnética. (Anastácio 2014)

As propriedades e equações do corpo negro que serão apresentadas seguidamente foram deduzidas e comprovadas por argumentos termodinâmicos. Contudo houve a necessidade de encontrar uma fórmula para obter a magnitude da intensidade emitida em cada um dos comprimentos de onda. Assim a lei de Planck pode ser enunciada como:

$$W_{\lambda b}(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{C_2/\lambda T} - 1)} \quad (2.1)$$

Em que:

$W_{\lambda b}$ – Poder emissivo monocromático de um corpo negro, para uma temperatura

T;

λ – Comprimento de onda, em μm ;

T – Temperatura absoluta do corpo, em K;

C_1 – Constante $3,22 \times 10^8 \text{ kcal} \cdot \mu\text{m}^4 / (\text{h} \cdot \text{m}^2)$

C_2 – Constante $1,4388 \times 10^4 \mu\text{m} \cdot \text{K}$

Esta equação é fundamental para a compreensão dos fenômenos de radiação, visto que, todas as outras leis poderão ser deduzidas a partir desta equação, tais como a lei de Stefan-Boltzman e a lei de Wien.

Este capítulo foi escrito com base em (Siegel et al. 2011) e (Anastácio 2014).

2.2.1. Emissão de Corpo Negro – Revisão de Conceitos

O corpo negro é definido como aquele que absorve toda a radiação incidente, ou emite toda a radiação transmitida internamente. É por isso, considerado um corpo ideal ou perfeito, devido à absorção total da radiação incidente, não há energia refletida, para todo o

espectro de radiação eletromagnética e para todos os ângulos de incidência. É também melhor emissor de energia que qualquer outro corpo.

Este tipo de corpos é extremamente difícil de ser encontrado visto que é necessário que as suas superfícies absorvam toda a região do espectro eletromagnético e não apenas uma parte deste. No entanto, é possível a utilização de corpos negros aparentes para determinadas regiões do espectro que não a sua totalidade.

Um corpo negro perfeito possui as seguintes propriedades:

- É um emissor perfeito;
- A sua radiação é isentrópica quando colocado no interior de um invólucro preto;
- É um emissor perfeito em todas as direções;
- É um emissor perfeito em todos os comprimentos de onda;
- A radiação total emitida é função apenas da sua temperatura.

Estas propriedades podem ser demonstradas pelas leis da termodinâmica, sobretudo pela segunda, que enuncia que dois sistemas fechados em contacto térmico tendem a atingir o equilíbrio térmico e que um sistema com temperatura mais baixa não transmite energia a outro com uma maior temperatura.

Para a melhor compreensão das fórmulas que descrevem a transmissão da radiação eletromagnética é necessário ter assente noções de alguns conceitos apresentados de seguida.

Uma grandeza espectral é diferente de uma grandeza total, enquanto a espectral diz respeito a um intervalo de onda estreito ($\partial\lambda$), uma grandeza total diz respeito a todos os comprimentos de onda (integração de todos os comprimentos de onda). A grandeza direcional resulta da direção de propagação no espaço hemisférico (β, θ), de forma análoga fazendo uma integração desta grandeza para todo o espaço hemisférico, obtém-se uma grandeza hemisférica.

2.2.2. Ângulo Sólido

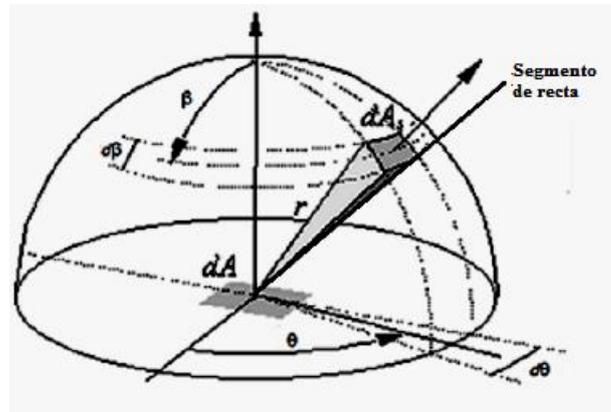


Figura 2.5. Representação do ângulo sólido onde a radiação é emitida por dA . (Anastácio 2014)

A superfície plana está rodeada por um hemisfério de raio r , conforme representado na Figura 2.5, o ângulo sólido do ponto central na base pode ser considerado como a área sobre esta semiesfera, formada por rotação de um segmento de reta que é fixo no ponto central. O segmento, móvel na extremidade oposta, forma uma linha na sua intersecção com a superfície da semiesfera, ao rodar segundo os ângulos θ e β . Ao rodar segundo cada um dos ângulos alternadamente gera uma superfície fechada como a presente na Figura 2.5 de área dA_s . Ao se efetuar o quociente entre essa área e o raio da semiesfera elevado ao quadrado é obtido o ângulo sólido desse ponto.

Portanto, o ângulo sólido elementar é dado pela seguinte expressão:

$$dA_s = r^2 \sin \beta \, d\beta \, d\theta \quad (2.2)$$

$$d\omega = \frac{dA_s}{r^2} = \sin \beta \, d\beta \, d\theta \quad (2.3)$$

Em que $d\beta$ é o ângulo zenital de dA e $d\theta$ o seu azimute, sendo a orientação arbitrária.

2.2.3. Intensidade Espectral e Independência Direcional

A intensidade espectral emitida ($I_{\lambda,b}$) é a taxa de energia emitida por unidade de tempo, por unidade de área de superfície emissora normal à direção de (β, θ) , por ângulo sólido $d\omega$, centrado em ω , e por unidade de comprimento de onda λ .

Integrando a intensidade espectral anteriormente referida em ordem ao comprimento de onda, de $\lambda = 0$ a $\lambda = \infty$, obtém-se a intensidade espectral total (I_b), a

equação (2.4) mostra a relação entre a intensidade total e a intensidade monocromática, compostas por um único comprimento de onda, para um corpo negro.

$$I_b = \int_{\lambda=0}^{\infty} I_{\lambda b}(\lambda, T) \partial\lambda \quad (2.4)$$

Considerando que a radiação trocada por dois elementos negros que estão à mesma temperatura é isotrópica, ou da mesma forma, um corpo negro é um perfeito absorvedor e emissor, a intensidade espectral normal ($I_{\lambda b, n}$) é a energia emitida por unidade de ângulo sólido e tempo num determinado comprimento de onda $\partial\lambda$ centrado em λ que é emitida por ∂A_S para ∂A , elemento da superfície no centro da semiesfera (Figura 2.5).

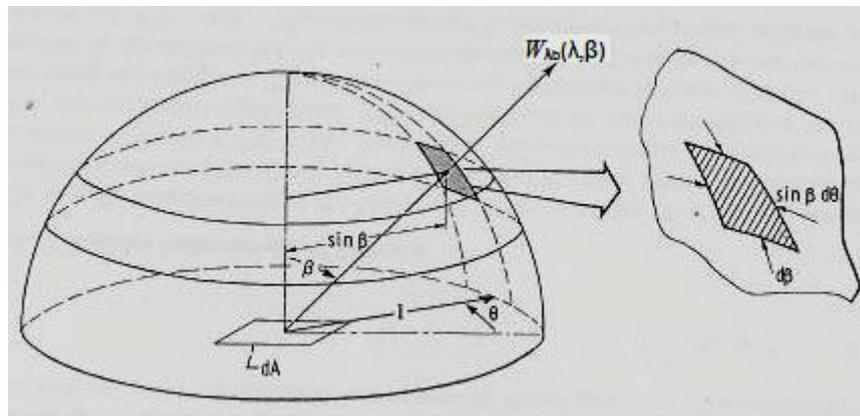


Figura 2.6. Hemisfério com raio unitário representando o poder emissivo espectral e a área infinitesimal sobre a superfície hemisférica utilizado para calcular o ângulo sólido por elemento ∂A . (Anastácio 2014)

A intensidade de radiação que parte de um corpo negro, considerando a área projetada $\partial A_p = \partial A \cos \beta$, definida como a área vista de ∂A_S para ∂A , é independente da direção de emissão. Como tal, a energia emitida por ∂A na direção (β, θ) é igual à absorvida por ∂A_S , condição fundamental para que o equilíbrio térmico se verifique. Ao igualar a energia emitida e absorvida pelas duas superfícies é possível concluir que a intensidade de radiação de um corpo negro é independente da orientação através da igualdade em baixo.

$$I_{\lambda, b}(\lambda, \beta, \theta) = I_{\lambda b, n} = I_{\lambda b} \quad (2.5)$$

Portanto considera-se que a intensidade de radiação de um corpo negro é independente da direção da emissão, visto que, é um perfeito emissor e absorvedor, propriedades independentes das suas fronteiras.

2.2.4. Poder Emissivo

A energia emitida elementar direcional num intervalo de comprimento de onda $\partial\lambda$ centrado em λ por unidade de tempo numa única direção $d^3Q_{\lambda b}(\lambda, \beta, \theta, T)$ pode ser expressa de duas formas:

$$d^3Q_{\lambda b}(\lambda, \beta, \theta, T) = W_{\lambda b}(\lambda, \beta, \theta, T) \partial A \partial \omega \partial \lambda = i_{\lambda b}(\lambda, T) \partial A \cos \beta \partial \omega \partial \lambda \quad (2.6)$$

Considera-se uma superfície difusa, que pressupõe que a intensidade de radiação é igual para todas as direções angulares, comportamento típico de um corpo negro. Posto isto, enuncia-se a lei do cosseno de Lambert que afirma que uma superfície difusa ideal é diretamente proporcional a uma outra com ângulo β , relativamente à normal da primeira superfície, através da relação $\cos \beta$. A energia emitida por uma superfície negra, com a relação anterior relativamente à superfície esférica, por unidade de tempo, dentro de um intervalo de comprimento de onda curto $\partial\lambda$ centrado em λ , por unidade elementar ∂W , ângulo sólido centrado em torno de (β, θ) e por unidade de superfície é definida como $W_{\lambda b}(\lambda, \beta, \theta, T)$. De seguida mostra-se a relação desta com a intensidade espectral.

$$W_{\lambda b}(\lambda, \beta, \theta, T) = I_{\lambda b}(\lambda, T) \cos \beta = W_{\lambda b}(\lambda, \beta, T) \quad (2.7)$$

Ao integrar $W_{\lambda b}(\lambda, \beta, T)$ para todos os ângulos sólidos de toda a superfície hemisférica do elemento de superfície negra ∂A , obtém-se o poder emissivo espectral hemisférico para uma superfície negra $W_{\lambda b}(\lambda, T)$ que é considerada como a energia emitida por uma superfície negra por unidade de tempo, por unidade de área e por unidade de comprimento de onda em torno de λ . Assim pela equação (2.7) e pela definição de ângulo sólido é possível obter, para a Figura 2.6, o poder emissivo hemisférico. Ao considerar o hemisfério com raio unitário, é facilitado o cálculo do ângulo sólido $\partial\omega = \sin \beta \partial\beta \partial\theta$. Efetuando a integração relativamente a todos os ângulos sólidos é possível obter o poder emissivo hemisférico:

$$W_{\lambda b}(\lambda, T) = I_{\lambda b}(\lambda, T) \int_{\theta=0}^{2\pi} \int_{\beta=0}^{\frac{\pi}{2}} \sin \beta \times \cos \beta \times \partial\beta \times \partial\theta \quad (2.8)$$

$$W_{\lambda b}(\lambda, T) = \pi \times I_{\lambda b}(\lambda, T) \quad (2.9)$$

Os cálculos anteriores foram feitos em relação à Figura 2.6, como tal, o poder emissivo hemisférico é π vezes a intensidade espectral, através da relação com a normal à superfície, $\beta = 0$, como mostra a seguinte equação:

$$W_{\lambda b}(\lambda, T) = \pi \times I_{\lambda b, n}(\lambda, T) = \pi \times I_{\lambda b}(\lambda, T) \quad (2.10)$$

Para o cálculo do poder emissivo espectral apenas para determinados intervalos dos ângulos β e θ , pode realizar-se a mudança dos limites de integração de (2.8) para os intervalos de β_1 a β_2 e de θ_1 a θ_2 originando a equação (2.11).

$$\begin{aligned} W_{\lambda b}(\lambda, T, \beta_1 - \beta_2, \theta_1 - \theta_2) &= I_{\lambda b}(\lambda, T) \int_{\theta_1}^{\theta_2} \int_{\beta_1}^{\beta_2} \sin \beta \times \cos \beta \times \partial \beta \times \partial \theta \\ &= I_{\lambda b}(\lambda, T) \times \frac{\sin^2 \beta_2 - \sin^2 \beta_1}{2} \times (\theta_1 - \theta_2) \end{aligned} \quad (2.11)$$

2.2.5. Lei de Planck

A lei de Planck é de extrema importância em radiação no corpo negro, no entanto, como não pode ser demonstrada por argumentos termodinâmicos, é uma expressão teórica que deu origem à teoria quântica. Esta descreve a magnitude da intensidade emitida por um corpo negro em equilíbrio térmico para todos os comprimentos de onda, isto é, para a globalidade do espectro de radiação. Então, a distribuição espectral do poder emissivo hemisférico e intensidade radiativa no vácuo para um corpo negro, são dados pela seguinte expressão:

$$W_{\lambda b}(\lambda, T) = \pi \times I_{\lambda b}(\lambda, T) = \frac{2 \times \pi \times C_1}{\lambda^5 (e^{C_2/(\lambda T)} - 1)} \quad (2.12)$$

Há outras variantes da expressão da lei de Planck, tal como a utilização do número de onda em detrimento do comprimento de onda. A utilidade desta substituição é quando a radiação atravessa dois meios em que a velocidade de propagação da luz se altera. A expressão modificada é a seguinte:

$$W_{\lambda b}(\lambda) \partial \lambda = \pi \times I_{\lambda b}(\lambda, T) = \frac{2 \times \pi \times C_1 \times \partial \eta}{e^{C_2 \eta/T} - 1} = -W_{\lambda b}(\eta) \partial \eta \quad (2.13)$$

Em que $\eta = \frac{1}{\lambda}$ é o número de onda por unidade de comprimento e $W_{\lambda b}(\eta)$ é o poder emissivo por unidade de número de onda η .

A representação da equação de Planck em forma de gráfico, demonstrada na Figura 2.7, mostra o poder emissivo espectral hemisférico em função do comprimento de onda e para cada temperatura absoluta, a que cada uma corresponde uma curva.

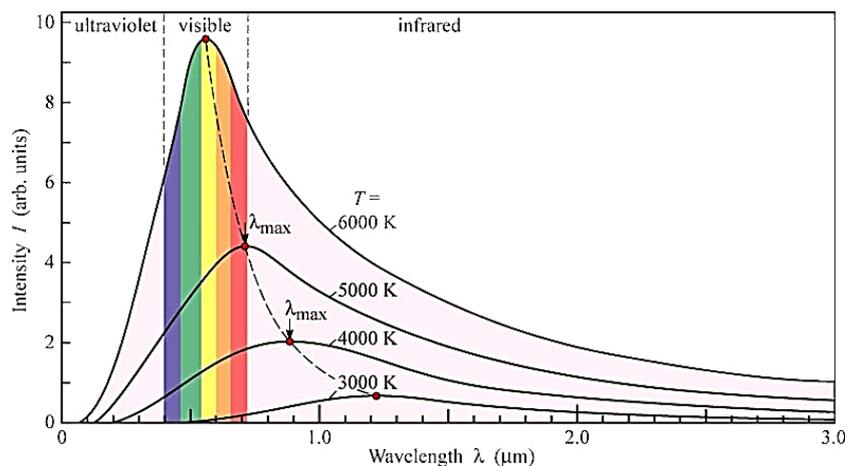


Figura 2.7. Intensidade espectral de um corpo negro para várias temperaturas absolutas. Retirado de http://www.physics.utah.edu/~jgerton/3740/class_problems/gp14solns.pdf.

É possível retirar algumas conclusões da observação do gráfico presente na Figura 2.7, tais como:

- A energia emitida aumenta com o aumento da temperatura do corpo;
- O aumento da energia, quando do aumento da temperatura, é maior para comprimentos de onda curtos que para longos;
- O pico de energia emitida, para cada temperatura, é obtido para comprimentos de onda mais curtos;
- Com o aumento da temperatura do corpo o pico da energia emitida tende a aproximar-se de comprimentos de onda da radiação visível (curtos).

Por exemplo, sabendo-se que a máxima emissão solar ocorre em $\sim 0,475 \mu\text{m}$, deduz-se que a temperatura equivalente de corpo negro do Sol, seria de $\sim 6100 \text{ K}$. Consequentemente, recorrendo à Figura 2.7, facilmente se verifica que o ponto de máxima energia emitida por um corpo negro a essa temperatura se situa dentro do intervalo da radiação visível.

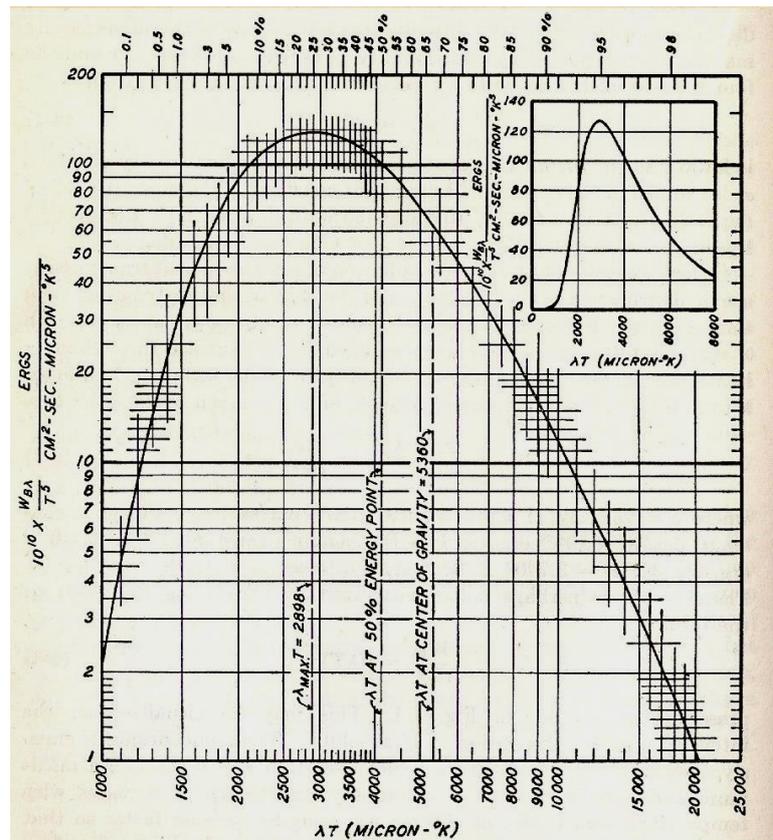


Figura 2.8. Distribuição de energia emitida por um corpo negro no espectro. (Anastácio 2014)

Como surgiu a necessidade de eliminar a dependência da temperatura das curvas do poder emissivo espectral, encontrou-se uma expressão que elimina esta variável. Isto foi possível através do quociente entre o poder emissivo monocromático e a temperatura elevada à 5.^a potência, podendo então definir-se $\frac{W_{\lambda b}(\lambda, T)}{T^5}$ em função de λT originando a curva representada na Figura 2.8. Na equação seguinte são apresentadas relações de algum interesse, obtidas a partir desta divisão, para a intensidade espectral e lei de Planck.

$$f(\lambda T) = \frac{W_{\lambda b}(\lambda, T)}{T^5} = \frac{\pi \times I_{\lambda b}(\lambda, T)}{T^5} = \frac{2 \times \pi \times C_1}{(T\lambda)^5 (e^{C_2/(\lambda T)} - 1)} \quad (2.14)$$

Como é possível observar na Figura 2.8 o poder emissivo monocromático para cada temperatura varia desde 0 para $\lambda T = 0$, tendo um máximo para $\lambda T = 2898 \mu m.K$ e tomar de novo o valor de 0 para $\lambda T = \infty$.

2.2.6. Lei de Wien

Existem fórmulas que são uma aproximação da lei de Planck, como a fórmula de Wien e a fórmula de Rayleigh-Jeans, contudo esta última apenas é empregue para

radiação de elevado comprimento de onda. Ao simplificar a lei de Planck desprezando a subtração da unidade no numerador, é obtida a fórmula de Wien que, tendo em conta a simplificação efetuada, apenas se deve aplicar para valores elevados de $e^{C_2/(\lambda T)}$.

$$\frac{I_{\lambda b}(\lambda, T)}{T^5} = \frac{2 \times C_1}{(T\lambda)^5 e^{C_2/(\lambda T)}} \quad (2.15)$$

A lei de Wien relaciona o comprimento de onda máximo e o poder emissivo máximo para uma dada temperatura de um corpo negro. A mudança do comprimento de onda para o qual o poder emissivo é máximo ocorre com o aumento de temperatura, conforme demonstrado na Figura 2.7 pela curva a tracejado. A equação que descreve esta alteração é a seguinte:

$$\lambda_{max} T = C_3 \quad (2.16)$$

Em que $C_3 = 2897,7685 \mu m.K$, é a constante de dispersão de Wien.

2.2.7. Lei de Stefan-Boltzmann

A lei de Stefan-Boltzmann que pode ser definida como sendo o poder emissivo hemisférico total de uma superfície no vácuo, por unidade de área de um corpo negro e por unidade de tempo, é diretamente proporcional à quarta potência da temperatura. Apresenta-se de seguida a integração que dá origem à equação de Stefan-Boltzmann:

$$W_b = \int_0^{\infty} W_{\lambda b}(\lambda, T) \partial\lambda = \int_0^{\infty} \pi I_{\lambda b}(\lambda, T) \partial\lambda = \sigma T^4 \quad (2.17)$$

Em que σ é a constante de Stefan-Boltzmann, obtida pela seguinte equação:

$$\sigma = \frac{2 C_1 \pi^5}{15 C_2^4} = 5,670400040 \times 10^{-8} W/(m^2 K^4) \quad (2.18)$$

A expressão (2.18) foi obtida a partir da equação (2.14) que foi integrada para um comprimento de onda fixo $\partial\lambda$ entre $\lambda = 0$ e $\lambda = \infty$, como está demonstrado de seguida:

$$\frac{W_{\lambda b}(\lambda, T)}{T^5} = \frac{\pi \times I_{\lambda b}(\lambda, T)}{T^5} = \frac{2 \times \pi \times C_1}{(T\lambda)^5 (e^{C_2/(\lambda T)} - 1)} \quad (2.19)$$

$$I_b(\lambda) = \int_0^{\infty} I_{\lambda b} \partial\lambda \quad (2.20)$$

$$I_b(\lambda) = \int_0^{\infty} \frac{2 \times C_1}{\lambda^5 (e^{C_2/(\lambda T)} - 1)} \partial\lambda \quad (2.21)$$

Após a obtenção da Lei de Stefan-Boltzmann, (2.17), é frequente a necessidade, para cálculos de balanços de trocas radiativas, de determinar a fração do poder emissivo total

numa dada banda do espectro definida entre dois comprimentos de onda. Considerando uma banda do espectro entre λ_1 e λ_2 , esta pode ser determinada pela razão entre a área, abaixo da curva do poder emissivo, delimitada nas abcissas pelos comprimentos de onda máximo e mínimo e a área total abaixo da curva do poder emissivo. Esta razão está representada na Figura 2.9 e pela função infra:

$$F_{\lambda_1 \rightarrow \lambda_2} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} W_{\lambda b}(\lambda) \partial \lambda}{\int_0^{\infty} W_{\lambda b}(\lambda) \partial \lambda} = \frac{1}{\sigma T^4} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} W_{\lambda b}(\lambda) \partial \lambda \quad (2.22)$$

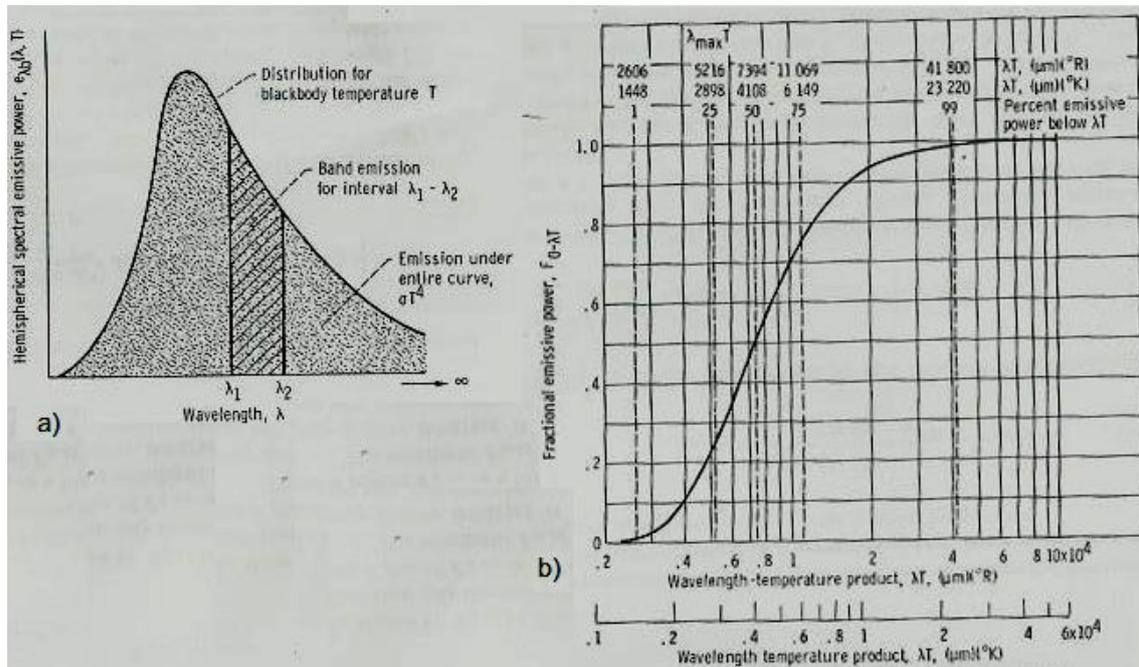


Figura 2.9. a) Energia emitida, por corpo negro, em bandas de comprimento de onda; b) Fração de energia emitida por produto de comprimento de onda com temperatura. (Anastácio 2014)

Para um corpo negro, como $W_{\lambda b}(\lambda) = \pi I_{\lambda b}(\lambda)$, pode relacionar-se o poder emissivo hemisférico com a intensidade espectral, obtendo-se a fração desta num intervalo λ_1 a λ_2 pela função $F_{0 \rightarrow \lambda_1}$. No entanto, os valores de $F_{0 \rightarrow \lambda_1}$ são de difícil definição, pois teriam de ser definidos para cada temperatura. Contudo, a obtenção destes é possível em função de λT porque $W_{\lambda b}(\lambda)$ é dependente da variável λT . A relação dos valores de $F_{0 \rightarrow \lambda_1}$ entre o comprimento de onda e temperatura é feito através da seguinte expressão:

$$F_{\lambda_1 \rightarrow \lambda_2} = F_{\lambda_1 T \rightarrow \lambda_2 T} = \frac{1}{\sigma} \left[\int_0^{\lambda_2 T} \frac{W_{\lambda b}(\lambda)}{T^5} \partial(\lambda T) - \int_0^{\lambda_1 T} \frac{W_{\lambda b}(\lambda)}{T^5} \partial(\lambda T) \right] \quad (2.23)$$

$$= F_{0 \rightarrow \lambda_2 T} - F_{0 \rightarrow \lambda_1 T}$$

Os valores de $F_{0 \rightarrow \lambda T}$ encontram-se tabelados, pelo que são de fácil obtenção e de calcular com pequeno erro.

2.2.8. Fatores de Forma para Superfícies de Radiação Uniforme

Como a radiação não necessita de um meio para se propagar, os fatores preponderantes para a troca de radiação são as propriedades da superfície e a sua orientação. Portanto a orientação de uma superfície relativamente a outra afeta a fração de energia radiante que lhe incide. Portanto para relacionar os efeitos da orientação das superfícies na troca de energia radiante, adota-se a noção de fator de forma. A radiação trocada por duas superfícies é analisada do ponto de vista da orientação das duas superfícies consideradas e da emissão e absorção característica. Esta é fundamental para o estudo da troca de radiação entre duas superfícies, ela depende das geometrias, das orientações das superfícies, das propriedades radiantes e da temperatura. O fator de forma F_{ij} é definido com a fração da radiação que deixa a superfície A_i em todas as direções que é interceptada pela superfície A_j .

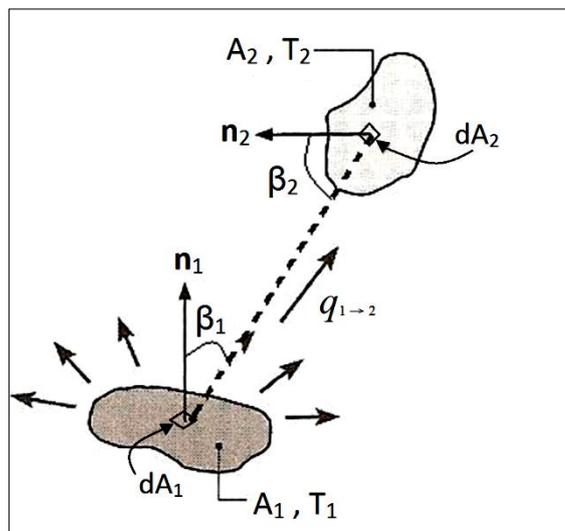


Figura 2.10. Notação do fator de forma geométrico para duas superfícies negras. (Anastácio 2014)

Relembrando a lei dos cossenos de Lambert, enunciada anteriormente, a intensidade da radiação de uma superfície é independente da sua direção. Tendo por base essa premissa, a energia radiante por unidade de área de superfície que passa entre um ângulo sólido diferencial $\partial\omega$, com um ângulo θ em relação à normal da superfície emissora, por unidade de tempo, $(q/A)_r$, pode ser expressa por:

$$(q/A)_r = W_b = \pi I_b(\lambda, T) \quad (2.24)$$

A intensidade de radiação na forma mais elementar, pode ser definida como a energia emitida por unidade de área, por unidade de tempo, por unidade de ângulo sólido, inclinada com um ângulo β em relação à normal da superfície emissora, isto é:

$$I_b(\lambda, T) = \frac{d(q/A)_r}{d\omega \cos \beta} \quad (2.25)$$

Partindo da definição de intensidade de radiação em (2.25) e dada a distância r entre as duas superfícies, A_1 e A_2 da Figura 2.10, pode definir-se o ângulo sólido $d\omega_{1-2}$ e determinar a fração de energia emitida por A_1 , por unidade de tempo, que é absorvida por A_2 através da expressão:

$$dq_{1 \rightarrow 2} = I_1 \cos \beta_1 dA_1 d\omega_{1-2} \quad (2.26)$$

Em que I_1 é a radiação que parte de A_1 , $d\omega_{1-2}$ é o ângulo sólido com a normal da área elementar dA_1 quando visto de dA_2 e $\cos \beta_1 dA_1$ é a projeção do elemento de área dA_1 quando vista de dA_2 . O ângulo sólido $d\omega_{1-2}$ também é definido com base na área projetada da superfície recetora $dA_p = dA_2 \cos \beta_2$, dividindo esta área pela distância entre dA_1 e dA_2 elevado ao quadrado, sendo representado por:

$$d\omega_{1-2} = \frac{dA_2 \cos \beta_2}{r^2} \quad (2.27)$$

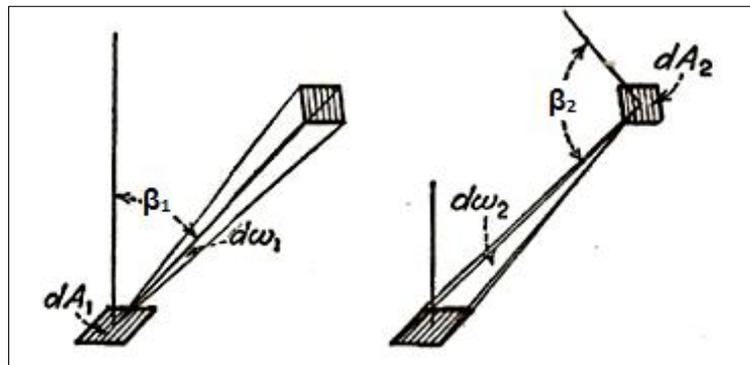


Figura 2.11. Relação entre o ângulo sólido das duas superfícies consideradas. (Anastácio 2014)

Admitindo que as superfícies emitem difusamente radiação podemos relacionar as expressões (2.24) a (2.27) da seguinte forma:

$$dq_{1 \rightarrow 2} = W_{b1} dA_1 \left(\frac{dA_2 \cos \beta_1 \cos \beta_2}{\pi r^2} \right) \quad (2.28)$$

Recorrendo à Figura 2.11 pode ser feita a analogia para a energia emitida por dA_2 que iria incidir em dA_1 , sendo o ângulo sólido neste caso $d\omega_{1-2} = \frac{dA_1}{r^2} \cos \beta_1$, que resultaria na seguinte expressão:

$$dq_{2 \rightarrow 1} = W_{b_2} dA_2 \left(\frac{dA_1 \cos \beta_1 \cos \beta_2}{\pi r^2} \right) \quad (2.29)$$

Pode também ser efetuada uma analogia com a lei de Stefan-Boltzmann através da Figura 2.10, assim define-se que a quantidade de energia emitida pela superfície A_1 que chega a A_2 pode ser dada por $q_{1 \rightarrow 2} = W_{b_1} A_1 F_{12}$ em que F_{12} é o fator de forma da radiação que sai de A_1 e que atinge A_2 .

Com base nesta analogia, pode concluir-se que o termo dentro de parêntesis na equação (2.29) corresponde ao fator de forma F_{12} para as respetivas áreas elementares dA_1 e dA_2 . Portanto, integrando essa mesma equação é obtida a radiação que sai de A_1 e que atinge A_2 .

$$q_{1 \rightarrow 2} = W_{b_1} \int_{A_1} \int_{A_2} \left(\frac{dA_2 \cos \beta_1 \cos \beta_2}{\pi r^2} \right) dA_1 \quad (2.30)$$

Assim, o integral duplo da equação (2.30) pode ser escrito com $A_1 F_{12}$, e desta maneira definir o fator de forma geométrico F_{12} .

$$F_{1 \rightarrow 2} = \frac{1}{A_1} \int_{A_1} \int_{A_2} \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2}{\pi r^2} dA_2 dA_1 \quad (2.31)$$

Generalizando pode-se afirmar que:

$$F_{ij} = \frac{1}{A_i} \int_{A_i} \int_{A_j} \frac{\cos \beta_i \cos \beta_j}{\pi r^2} dA_j dA_i \quad (2.32)$$

O cálculo dos fatores de forma são geralmente complexos devido à necessidade de resolução do integral duplo, por isso, são normalmente utilizados tabelas e gráficos com configurações tipo já calculadas.

A relação de reciprocidade é uma das conhecidas relações, que se pode obter com base na quantidade líquida de calor trocado por duas superfícies, conforme (2.5). Ao ser admitido que as superfícies são negras obtém-se a seguinte equação:

$$q_{2 \rightarrow 1} = F_{12} A_1 \sigma T_1^4 - F_{21} A_2 \sigma T_2^4 \quad (2.33)$$

Ao ser admitido que a temperatura dos dois corpos é igual, $T_1 = T_2$, a troca de calor radiativo por unidade de tempo, ou fluxo líquido radiativo entre as duas superfícies será nulo, exprimindo-se a lei da reciprocidade por:

$$F_{12} A_1 = F_{21} A_2 \quad (2.34)$$

Uma outra relação possível é a regra do somatório para uma superfície de cavidade fechada, conforme representado na Figura 2.12, considera-se que esta tem

inúmeras superfícies e, portanto, inúmeros fatores de forma. Admitindo que as superfícies são isotérmicas e que o emissor e refletor são difusos, facilmente se verifica que a radiação que deixa uma qualquer superfície irá incidir em todas as outras. Posto isto, como cada uma emite para todas e recebe radiação de todas as outras o fator de forma global será unitário e dado pela seguinte expressão:

$$\sum_{j=1}^N F_{ij} = 1 \quad (2.35)$$

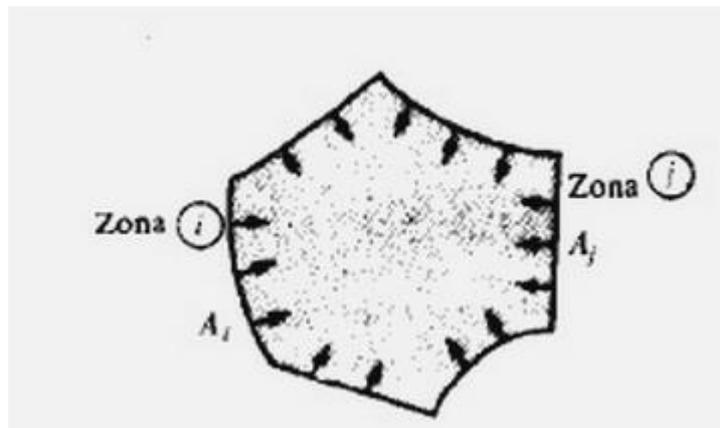


Figura 2.12. Superfície fechada com N faces. (Anastácio 2014)

Tomando como base a Figura 2.12, é importante referir que é possível haver situações em que a própria superfície pode emitir e absorver a sua própria energia, no caso de superfícies côncavas. Esse fator de forma da energia radiante trocada com a própria superfície é definido como:

$$F_{A_i \rightarrow A_i} = 0, \text{ para superfícies planas ou convexas;}$$

$$F_{A_i \rightarrow A_i} \neq 0, \text{ para superfícies côncavas.}$$

Posto isto, para o caso de uma superfície plana ou convexa A_1 , a radiação que chega a A_2 e A_3 é a soma da fração da radiação emitida por A_1 que chega a A_2 e da fração de radiação de A_1 que chega a A_3 , conforme:

$$F_{1 \rightarrow 23} = F_{1 \rightarrow 2} + F_{1 \rightarrow 3} \quad (2.36)$$

Como é possível verificar existem vários métodos para determinar os fatores de forma das superfícies, com a complexidade da integração dupla normalmente recorre-se a fatores pré-calculados através de gráficos, expressões ou tabelas.

3. DESCRIÇÃO E METODOLOGIA DO EQUIPAMENTO

Hoje em dia, há acesso a computadores cada vez de menores dimensões, de menor custo e melhor capacidade de processamento. Um desses exemplos é o computador de placa única (SBC) utilizado neste trabalho, Raspberry Pi 2 Model B, que pela sua dimensão e características técnicas permite que seja largamente utilizado numa vasta área de aplicações.

3.1. Microcontroladores vs Microprocessadores

A grande diferença entre estes dois, microcontroladores e microprocessadores, é que os primeiros têm todos os componentes, tais como memórias e processador, integrados num só chip enquanto os microprocessadores terão que ser ligados através de uma placa (placa mãe) que faz a ligação entre memórias ROM, RAM e outros chips.

A vantagem mais importante dos microcontroladores é serem compactos e, apesar da sua aplicação ser limitada a operações repetitivas que têm que ser pré-programadas, são geralmente utilizados para se acoplarem a um dispositivo ou sistema automatizado. Por exemplo, teclados, ratos e *pendrive's* são alguns dos dispositivos que usam chips deste tipo.

Por outro lado, os microprocessadores, que como já se declarou acima não funcionam sem integração numa placa com todos os chips essenciais, efetuam o processamento de dados tendo em conta a sua entrada e ordens externas. Possuem uma elevada capacidade de cálculo pelo que o processamento de dados é poderoso e de elevada rapidez. São por isso associados a instalações que possuem um sistema operativo e permitem variadas utilizações tais como tratamento de imagens, de texto ou de execução de *softwares*. Finalizando, um microprocessador é um elemento base num computador, que possibilita a execução de vários processos em simultâneo sendo a unidade de processamento central (CPU).

3.2. Características do Equipamento

3.2.1. Módulo Câmara NoIR

A Câmara NoIR tem como particularidade não possuir um filtro de luz infravermelha, como, geralmente, as câmaras possuem de modo a que a imagem contenha apenas a luz visível, daí a sua designação NoIR que, do inglês, é *No Infrared*.

Uma das suas principais características é a resolução de 5 Megapixéis. Mais concretamente a resolução do sensor de imagem utilizado, um *OmniVision OV5647*, é de 2592 colunas por 1944 linhas de pixéis o que lhe confere um total de 5038848 pixéis principais, a área de cada um é de $1,4 \mu\text{m}$ por $1,4 \mu\text{m}$ (Omnivision Technologies Inc. 2010). A distribuição dos pixéis na matriz de aquisição está demonstrada na Figura 3.1, nas linhas ímpares possui fotodíodos sensíveis à cor verde e azul intercalados, enquanto nas linhas pares possui fotodíodos sensíveis à cor vermelha e verde também intercalados. A razão pela qual metade dos fotodíodos existentes são sensíveis à cor verde, prende-se com o facto de este canal ser mais sensível ao total da região do visível como será demonstrado mais à frente na Figura 3.4 (Jones 2015).

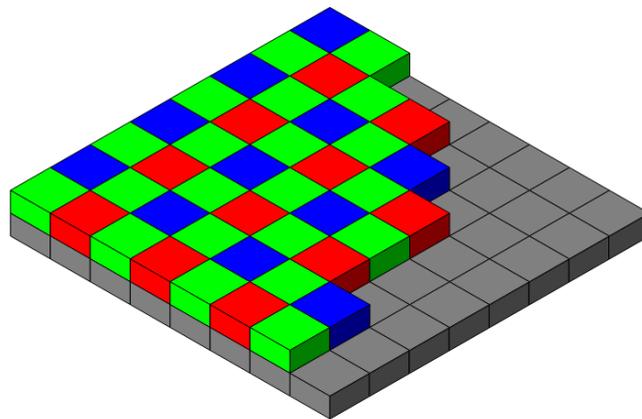


Figura 3.1. Esquema do filtro de Bayer do sensor. (Jones 2015)

O tamanho da lente é de $1/4''$ (6,35 mm), a razão S/R (ou SNR – signal to noise ratio), razão entre o sinal recebido e o ruído existente na saída, é de 36 dB e a amplitude dinâmica, razão entre o sinal máximo e mínimo possível de obtenção que no caso de fotografia é a aquisição de luz, é de 68 dB. A sensibilidade do sensor é de $680 \text{ mV}/(\text{lux}\cdot\text{sec})$.

As velocidades de captura de imagem possíveis pelo módulo estão presentes na Tabela 3.1.

Resolução	Proporção da tela	Velocidade de aquisição máxima	Campo de Visão (FoV)	<i>Binning</i>
2592x1944	4:3	15 fps	Total	Nenhum
1920x1080	16:9	30 fps	Parcial	Nenhum
1296x972	4:3	42 fps	Total	2x2
1296x730	16:9	49 fps	Parcial	2x2
1280x720	16:9	60 fps	Parcial	2x2
640x480	4:3	90 fps	Total	4x4
320x240	4:3	120 fps	Total	8x8

Tabela 3.1. Propriedades de imagem adquiridas consoante a resolução utilizada.

Na Tabela 3.1 encontram-se propriedades como o Campo de Visão (FoV), isto quer dizer que apenas é possível capturar toda a área do sensor em determinadas resoluções. No caso da resolução 1920x1080 o que vai ocorrer é que apenas serão capturados os pixéis interiores centrados correspondentes a esta resolução, conforme exemplo da Figura 3.2 (Jones 2015).

Outra propriedade presente é o *Binning*, este procedimento faz com que para resoluções inferiores à máxima seja possível agrupar pixéis de modo a que a leitura e escrita de dados sejam mais rápidas e com menor perda de informações. Por exemplo para a resolução 1296x972, metade da resolução máxima, é possível fazer um agrupamento de 2x2, o que significa num arranjo de 4 pixéis que funcionam como um só. A grande desvantagem é a obrigatória adoção de resoluções inferiores para que seja possível o agrupamento de pixéis (Jones 2015).



Figura 3.2. Diferença entre Campo de Visão parcial e total do sensor. (Jones 2015)

Quanto ao campo de visão possível de obter é dependente da distância do plano de captura, sendo o campo de visão horizontal de $53,50^\circ \pm 0,13^\circ$, e o vertical de $41,41^\circ \pm 0,11^\circ$. Na Figura 3.3 encontra-se a relação entre a distância do plano e a amplitude possível de capturar.

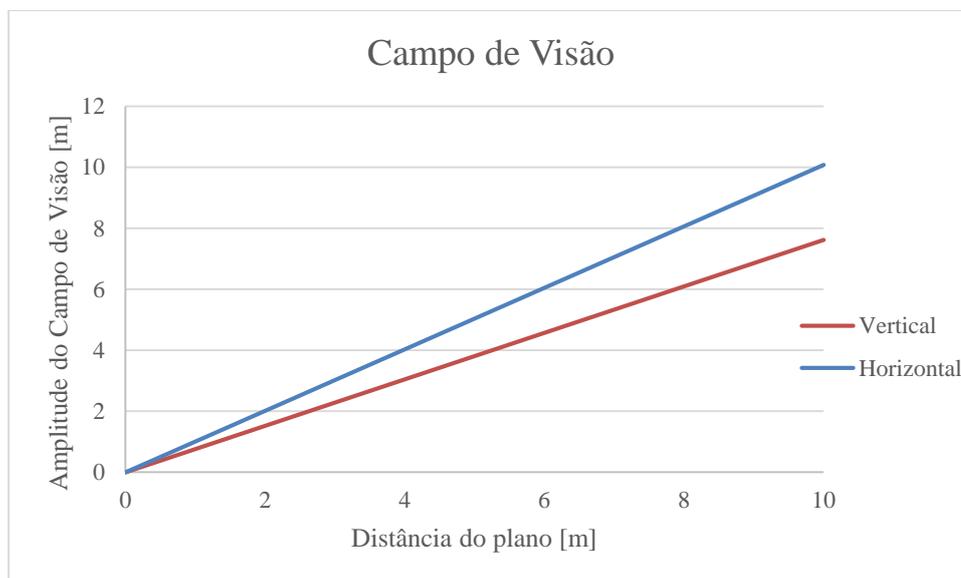


Figura 3.3. Campo de visão horizontal e vertical em função da distância do plano ao sensor.

O modo de aquisição das capturas é pelo método *rolling shutter*, que inicia a captura de imagem no topo do sensor e varre todos os pixéis até ao fim de modo a completar a imagem. Este método poderá causar arrasto na imagem caso os objetos a capturar não se encontrem estáticos.

A eficiência quântica do sensor relaciona o número de fótons total incidente com o número de fótons lidos e gerados no output.

No documento disponível do fabricante (Rhodes et al. 2009), *Omnivision*, é divulgada a eficiência dos canais RGB para os diferentes comprimentos de onda nos sensores BSI com pixels de 1,4 μm idênticos ao sensor desta câmara.

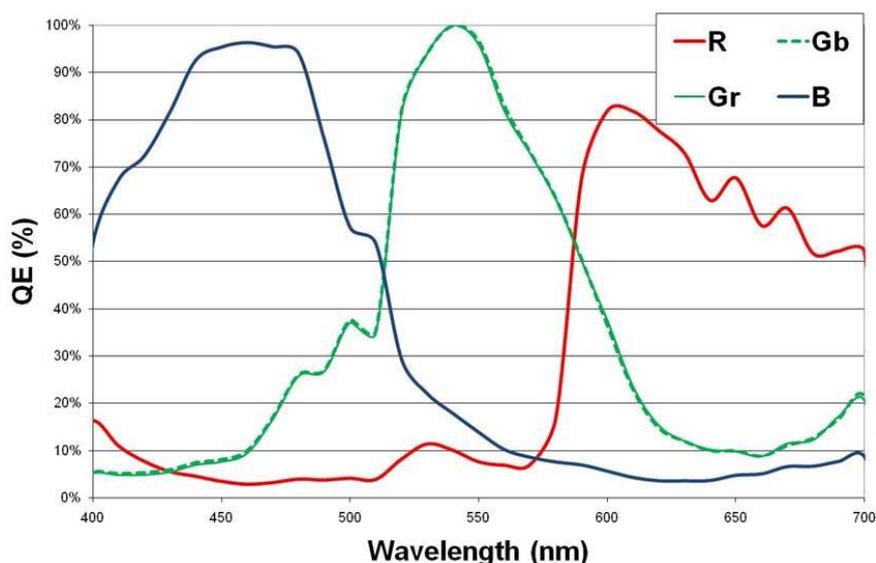


Figura 3.4. Eficiência quântica com a variação do comprimento de onda dos sensores BSI Omnivision com pixels de 1,4 μm . (Rhodes et al. 2009)

As eficiências máximas apresentadas na Figura 3.4 para os canais R (vermelho), G (verde) e B (azul) são de 44%, 54% e 52% respectivamente. Como a parte relevante para a realização deste trabalho se situa na região para além dos 700 nm de comprimento de onda, foram retirados os dados da Figura 3.4 para que fosse possível proceder à extrapolação da eficiência nessa região. Esses dados foram retirados com recurso à ferramenta disponível em <http://arohatgi.info/WebPlotDigitizer/> sendo posteriormente tratados numa folha de cálculo do Excel e encontram-se no Apêndice A para consulta.

Efetuada uma extrapolação linear, representada na Figura 3.5, para a eficiência do canal vermelho verifica-se que é possível capturar imagens até aos 850 nm, sensivelmente. Dada a evolução dos outros dois canais poderá ser possível, ainda que em menor fração, que estes apresentem também alguma sensibilidade nessa região.

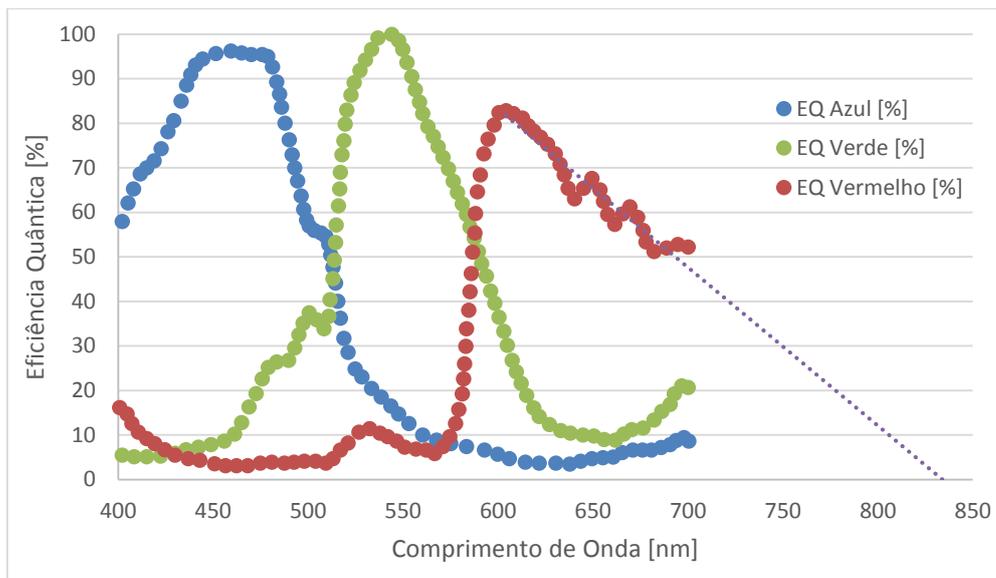


Figura 3.5. Extrapolação da eficiência quântica com a variação do comprimento de onda dos sensores BSI Omnivision com pixels de 1,4 μm para comprimentos de onda superiores a 700 nm.

3.2.2. Raspberry Pi 2 Model B

Na Figura 3.6 apresenta-se o equipamento a utilizar, fora da caixa de proteção, esta constitui uma segurança dos componentes para o manuseamento facilitado do dispositivo.

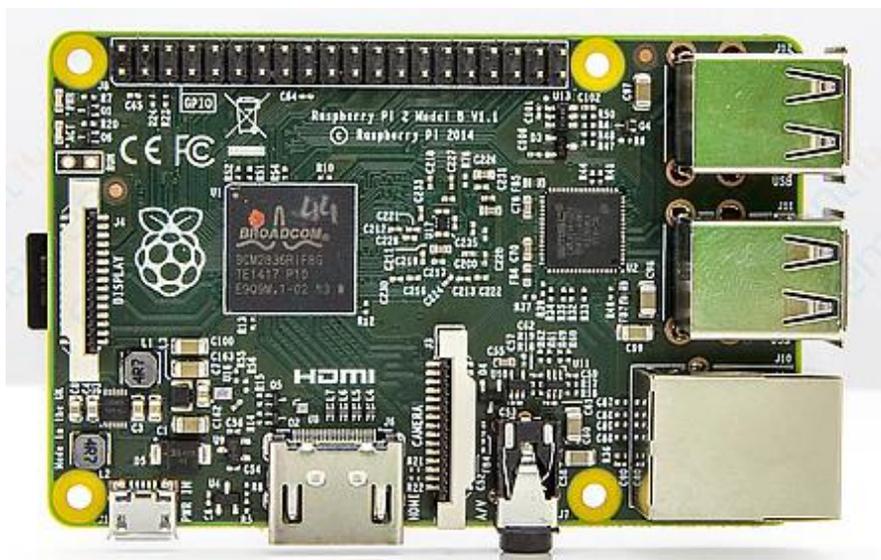


Figura 3.6. Vista de topo do Raspberry Pi 2 B

As especificações técnicas do equipamento são apresentadas na Tabela 3.2. Está já disponível para aquisição a versão mais recente, o Raspberry Pi 3 Model B lançado a 29 de fevereiro, mas optou-se por não se adquirir um equipamento novo para este trabalho.

SoC	Broadcom BCM2836
CPU	900MHz QuadCore ARM Cortex-A7
GPU	VideoCore IV 3D a 250 MHz
SDRAM	1GB RAM
Portos USB 2.0	4
Entrada de Vídeo	15-pin MIPI interface da câmara (CSI)
Saídas de Vídeo	HDMI e tomada audio 3.5mm combinada com vídeo
Armazenamento	Cartão MicroSD
Porto de Rede	Ethernet a 10/100 Mbit/s

Tabela 3.2. Principais especificações técnicas do Raspberry Pi 2 B.

3.2.3. Acessórios

3.2.3.1. Armazenamento

Dado que o equipamento não possui nenhum recurso de armazenamento interno terá que ser usado um externo. O meio utilizado é através de um cartão Mini SD, o modelo utilizado foi o recomendado pelo fabricante que é disponibilizado já com o sistema operativo instalado, possui uma capacidade de 8 GB e é de classe 6, que possibilita uma velocidade de escrita de dados de 6 MB/s.

3.2.3.2. Alimentação

A alimentação deste dispositivo é feita através de uma conexão micro USB, pelo que pode ser alimentado ligando apenas a um porto USB de um computador normal. Seguindo as recomendações dos fabricantes tem-se que é necessário uma tensão mínima de 5 V e uma intensidade de corrente mínima de 1200 mA. Como é possível a compra do transformador oficial para o Raspberry será esse o utilizado. Este transformador faz a alimentação de 2 A que é a intensidade recomendada para uma boa performance.

3.2.3.3. Interfaces Entrada/Saída

Para a configuração inicial é necessário a ligação do Raspberry a uma saída de vídeo, monitor via HDMI, e entradas de teclado e rato, via USB. No caso ser necessária a ligação à internet será usado também o porto de rede recorrendo a um cabo Ethernet. Caso a utilização pretendida para o equipamento seja de controlo remoto, após a configuração, a saída de vídeo e entrada de teclado e rato não serão necessárias e mantém-se apenas a Ethernet.

3.3. Operação do Equipamento

3.3.1. Sistema Operativo

O sistema operativo utilizado é o Raspbian, baseado no sistema Debian que por sua vez é uma distribuição de Linux, e é distribuído e suportado oficialmente pela Raspberry Pi Foundation. Este sistema é, tal como todas as distribuições de Linux, livre e com isto possibilita um conjunto de programas que fazem o computador funcionar.

Uma das operações fundamentais a fazer de modo a manter o sistema atualizado é, frequentemente, correr as instruções *sudo apt-get update* e *sudo apt-get upgrade* seguidas na linha de comandos do Raspbian.

Há comandos extremamente importantes para interação com o Raspberry, a interface gráfica permite uma utilização mais intuitiva para quem está habituado a Windows por exemplo, de seguida serão apresentados alguns desses comandos,

ls – devolve uma lista do conteúdo da diretoria presente, poderá ser usado em conjunto com *-l* que mostra informações adicionais, tais como as permissões, dono, grupo, tamanho e data de última modificação de cada ficheiro ou diretoria, em conjunto com *-a* permite devolver também os ficheiros ocultos, cujo nome começa por “.”;

sudo – coloca-se antes de qualquer instrução de modo a que seja executada com privilégio de super administrador;

cd – muda a diretoria atual para a especificada. Exemplo: *cd test_joao*;

pwd – mostra o nome da diretoria atual;

mkdir – cria uma nova diretoria dentro da atual;

rmdir – remove diretorias vazias;

rm – remove o ficheiro especificado;

cp – faz uma cópia do ficheiro especificado para uma localização especificada;

mv – move um ficheiro especificado para uma localização especificada;

cat – mostra o conteúdo do ficheiro especificado na linha de comandos, usado em ficheiros *.txt*;

head – mostra o conteúdo inicial do ficheiro especificado, pode ser usado com *-n* para especificar o número de linhas a mostrar e *-c* para especificar o número de bytes;

chmod – normalmente usado para mudar as permissões de um ficheiro;

tree – mostra a diretoria e todas as suas subdiretorias;

man – mostra as instruções do manual, para tal introduz-se o comando pretendido a seguir a *man*;

find – procura na diretoria e subdiretorias pela introdução de texto;

whereis – procura pelas localizações de um determinado programa;

ifconfig – mostra os detalhes da configuração de rede do sistema;

nano – editor de texto que recorre apenas à linha de comandos;

sudo apt-get install <programa> – instala o programa pretendido através da ligação à internet;

sudo raspi-config – abre a janela de configuração do Raspbian;

sudo shutdown -h – desliga o Raspberry;

sudo shutdown -r now – reinicia o Raspberry.

3.3.2. Acesso a Dados

É necessário, devido à dimensão limitada da memória do cartão Mini-SD utilizado no Raspberry, transferir tanto as imagens como os vídeos obtidos para outro dispositivo de armazenamento.

As duas formas mais simples de o fazer são, aceder a uma conta de uma *cloud* online, por exemplo *Dropbox*, carregando os ficheiros e posteriormente aceder num computador pessoal ou recorrendo a uma *Pen USB* com a formatação FAT32 (*File Allocation Table*), que com a última atualização do Raspbian já não é necessária a utilização de alguns comandos de montar e desmontar o dispositivo para o seu acesso.

Graças ao protocolo SFTP (*Secure File Transfer Protocol*) é possível aceder aos arquivos contidos no Raspberry Pi remotamente bastando estar ligado à mesma rede. Para que este acesso seja possível é necessário saber o endereço IP de rede do equipamento, bastando para isso digitar *hostname -I* na linha de comandos, e recorrer ao programa *Nautilus*, disponível para Raspbian, de modo a criar o servidor SFTP para acesso de dados, é necessário também colocar o nome de utilizador e password. Posteriormente usando, neste caso, o programa *FileZilla* para Windows, basta digitar o IP a aceder, utilizador, palavra-passe e porto aberto para o protocolo e obtém-se o acesso à pasta partilhada no Raspberry.

3.3.3. SSH

O SSH (*Secure Shell*) é um protocolo de rede que permite o acesso à linha de comandos de uma unidade remota, usado geralmente em servidores do tipo Unix. É largamente usado devido à sua criptografia na ligação entre cliente e servidor.

Este tipo de ligação é suportada por defeito tanto para sistemas operativos Macintosh e Linux, no entanto para Windows é necessário utilizar *software* de terceiros.

Um dos *softwares* que pode ser utilizado para este fim é o *Putty*, que é um cliente SSH e Telnet e de código aberto. O método de ligação é simples, basta conhecer o endereço IP, porto aberto do dispositivo a aceder e ao iniciar a linha de comandos é questionado o nome de utilizador e palavra passe de modo a finalizar a conexão.

Este tipo de ligação é utilizado com o Raspberry Pi de modo a que este utilize apenas duas conexões, a uma fonte de alimentação e à rede, não sendo então necessário interagir diretamente com sua interface.

3.3.4. Controlo da Câmara

São disponibilizados, através da biblioteca do sistema operativo oficial, três programas acessíveis pela linha de comandos (*raspistill*, *raspiyuv* e *raspivid*) e uma biblioteca em Python (*picamera*) que possibilitam o controlo da câmara.

3.3.4.1. Via Linha de Comandos

raspistill

Ferramenta para captura de uma imagem através da linha de comandos.

Sintaxe: `$raspistill [opções]`

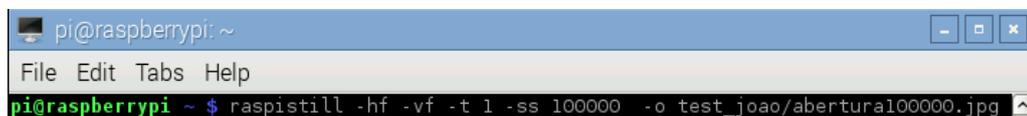
Exemplo de instrução: `$raspistill -hf -vf -t #milissegundosdeespera -ss #microsegundosdetempodeabertura -o nomedoficheiro.extensão`

As instruções `-hf` e `-vf` efetuam a inversão de imagem relativamente à horizontal e à vertical, respetivamente. Estas instruções são utilizadas porque a câmara se encontra virada para baixo.

O mínimo de espera, tempo de visualização antes da captura, que pode ser utilizado é de 1 milissegundo, não havendo máximo para esta definição, caso se defina um tempo muito grande, na ordem de minutos por exemplo, o que acontece é que a captura só é feita após o término desse tempo.

O mínimo que pode ser definido para a abertura é de 1 microssegundo, no entanto, após o teste com aberturas múltiplas de 10, verifica-se que apenas a partir de 10000 microssegundos é possível obter exposição necessária para uma visualização do conteúdo da fotografia, isto é, a luminosidade capturada permite que a imagem não fique completamente preta.

Para que a captura seja efetuada é necessário atribuir um nome de ficheiro e extensão como descrito em cima, é possível atribuir a localização do ficheiro a guardar no interior de uma pasta escrevendo a sua diretoria. Na Figura 3.7 encontra-se o exemplo na linha de comandos do Raspbian.



```
pi@raspberrypi: ~
File Edit Tabs Help
pi@raspberrypi ~ $ raspistill -hf -vf -t 1 -ss 100000 -o test_joao/abertura100000.jpg
```

Figura 3.7. Introdução de comando raspistill com 1 milissegundo de espera, 100000 microssegundos de abertura e gravação na pasta test_joao.

Para aceder ao ficheiro apenas é necessário entrar na pasta onde está localizado, recorrendo ao gestor de ficheiros, e abri-lo. Na Figura 3.8 encontra-se a imagem obtida pela instrução.

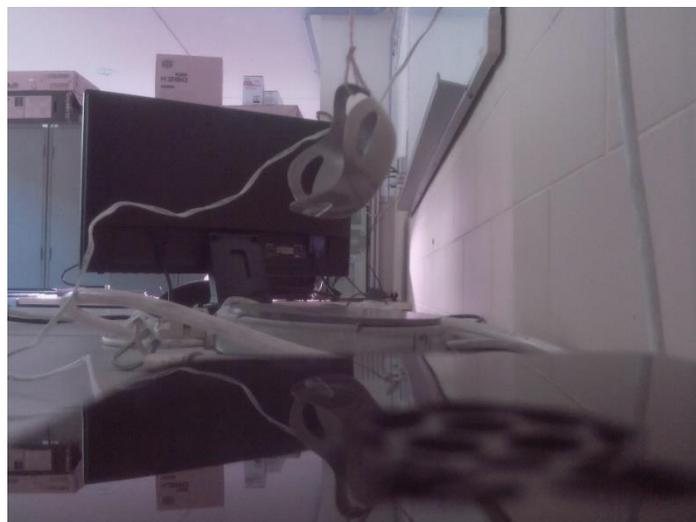


Figura 3.8. Captura obtida pelo comando raspistill, instrução da Figura 3.7.

A totalidade das opções disponíveis apresentam-se no anexo A.1 – raspistill.

raspiyuv

Ferramenta para captura de uma imagem com ficheiro de saída não comprimido tipo RAW através da linha de comandos.

Sintaxe: \$raspiyuv [opções]

Exemplo: `$raspiyuv -t #milissegundosdeespera -o nomedoficheiro`

Este comando não será utilizado neste trabalho.

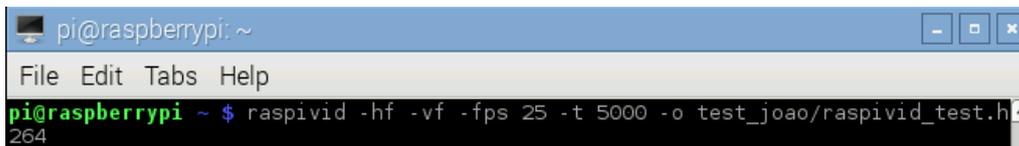
raspivid

Ferramenta para captura de vídeo, em formato H264, através da linha de comandos.

Sintaxe: `$raspivid [opções]`

Exemplo de instrução: `$raspivid -hf -vf -fps #taxadeframesporsegundo -t #milissegundosdecaptura -o nomedoficheiro.extensão`

O funcionamento deste comando é em tudo semelhante ao `raspistill`. Na Figura 3.9 encontra-se a instrução na linha de comandos utilizada para obtenção de um vídeo.



```
pi@raspberrypi: ~  
File Edit Tabs Help  
pi@raspberrypi ~ $ raspivid -hf -vf -fps 25 -t 5000 -o test_joao/raspivid_test.h264
```

Figura 3.9. Introdução de comando `raspivid` com *framerate* de 25 fps, 5000 milissegundos de gravação e gravação na pasta `test_joao`.

Na Figura 3.10 apresenta-se uma captura de ecrã do vídeo obtido, esta obteve-se com recurso à versão do VLC para o sistema operativo Windows.

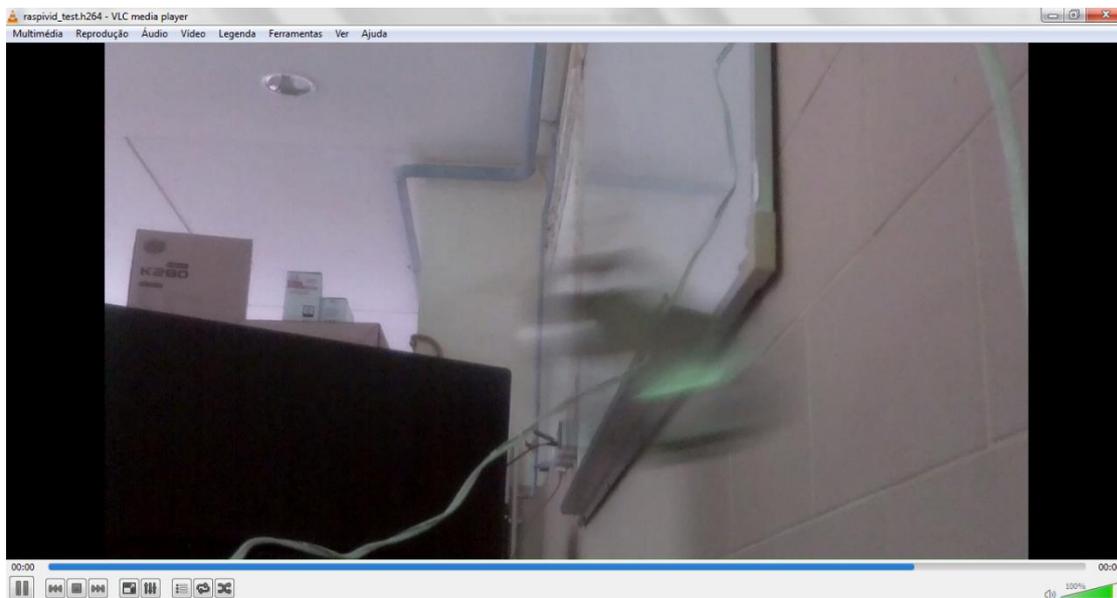


Figura 3.10. Captura de ecrã obtida do vídeo resultante da instrução da Figura 3.9.

A totalidade das opções disponíveis apresentam-se no anexo A.2 – `raspivid`.

3.3.4.2. Via Python - picamera

Esta biblioteca é desenvolvida totalmente em *Python* especificamente para o módulo da câmara do Raspberry Pi. Com recurso a esta ferramenta é possível escrever um conjunto de instruções num ficheiro *Python* em vez de ter que escrever sempre todas as instruções como é o caso da linha de comandos. Com este recurso é fácil de editar e/ou acrescentar quaisquer comandos de controlo como a resolução ou tempo de espera da câmara.

A câmara no entanto possui algumas limitações, é possível regular o seu tempo de abertura (*shutter speed*) mas, no entanto, não é possível fazer a definição do tempo de exposição (*exposure speed*) que é realizada automaticamente.

Em alguns testes verificou-se que caso fosse definido o tempo de abertura mais baixo que o necessário para a câmara realizar o tempo de exposição ideal, a imagem ficaria mais escura e o tempo de exposição utilizado era aproximadamente igual, mas inferior, ao definido para a abertura. A definição do tempo de abertura é feito em microssegundos (μs) e através da instrução *picamera.PiCamera().shutter_speed=#tempoemmicrossegundos*.

Foi criado um ficheiro de código *Python*, demonstrado em baixo, cujo objetivo era compreender a influência do *shutter speed* na imagem obtida.

```
“import time
import picamera
with picamera.PiCamera() as camera:
    camera.resolution=(2592,1944)
    camera.start_preview()
    time.sleep(1)
    camera.shutter_speed=100000
    camera.capture('/home/pi/test_joao/shutter_speed100000.jpg')
    print(camera.exposure_speed)
    camera.stop_preview()”
```

Na Figura 3.11 é possível ver as capturas obtidas para os diferentes tempos de abertura usados. De notar que o tempo máximo de tempo de exposição obtido (ideal) foi de 33120 μs , portanto, para o tempo de abertura de 100000 μs é feita a correção automática pela câmara desse tempo.

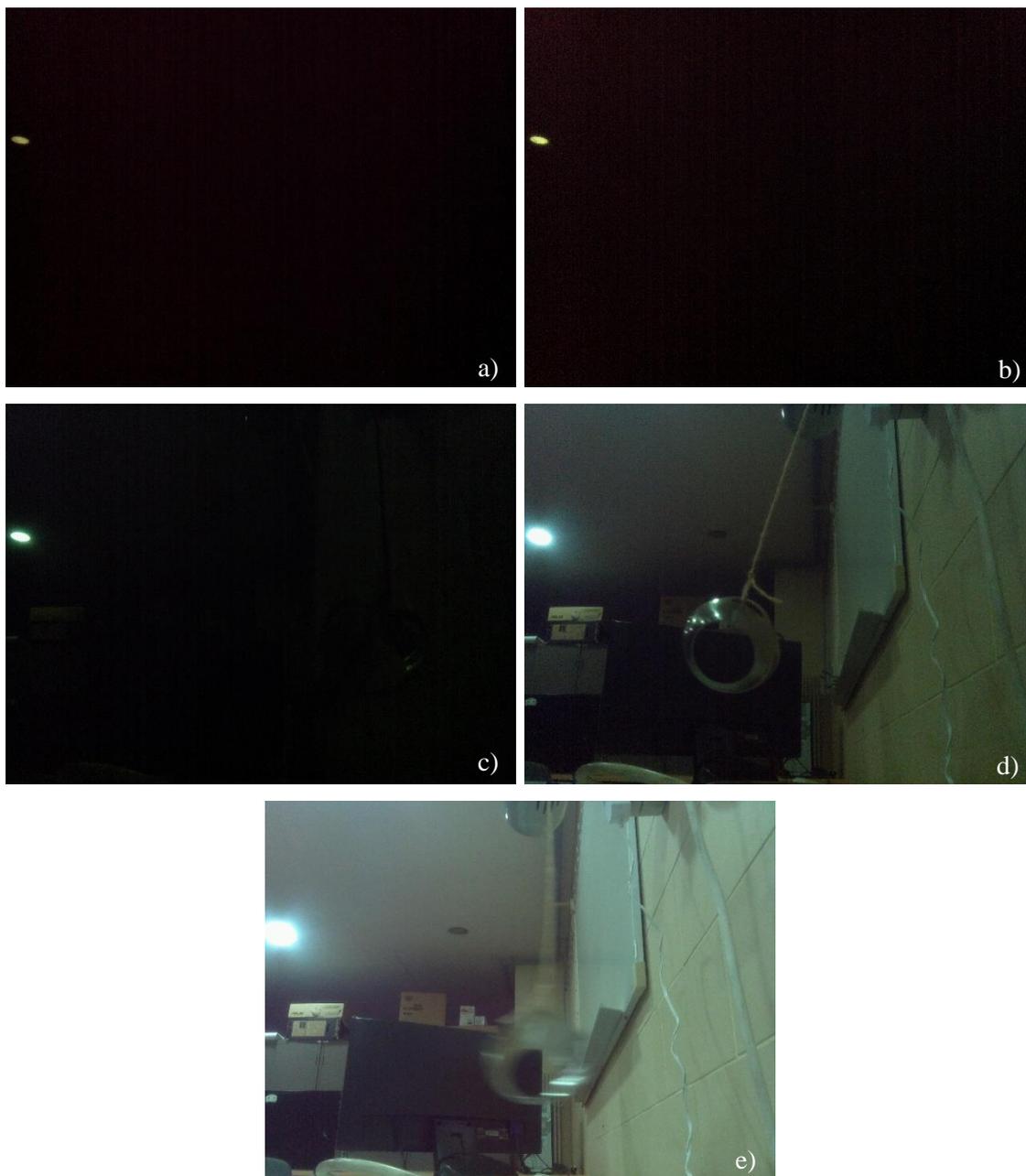


Figura 3.11. Capturas obtidas para diferentes valores de *shutter speed*, **a)** 10 μs , **b)** 100 μs , **c)** 1000 μs , **d)** 10000 μs e **e)** 100000 μs .

É de elevado interesse usar-se tempos de exposição maiores, pelo que foi também testado a possibilidade de obtenção tempos na ordem de segundos. Para tal, desenvolveu-se a seguinte lista de instruções.

```
“import time
import picamera
from fractions import Fraction
from datetime import datetime
```

```
with picamera.PiCamera() as camera:
    camera.resolution=(2592,1944)
    camera.start_preview()
    camera.framerate=Fraction(1,6)
    camera.exposure_mode= 'sports'
    camera.iso=100
    camera.shutter_speed=6000000
    camera.capture('/home/pi/test_joao/exposure_modes/'+
        camera.exposure_mode+'_6000000_'+
        str(datetime.now().strftime("%Y_%m_%d-%H_%M_%S"))+
        '.jpg')
    print(camera.exposure_speed)
    camera.stop_preview()
```

A definição de um tempo de exposição, que não o automático, é efetuado através da definição de uma taxa de aquisição de imagem (*framerate*) baixa, no código em exemplo a taxa corresponde a 1/6 fps e posterior definição de 6 segundos (6000000 μ s) de tempo de exposição, sendo o tempo máximo que é possível definir de 6 segundos. Na Figura 3.12 encontram-se imagens obtidas com estas longas exposições.





Figura 3.12. Capturas obtidas com tempos de exposição de **a)** automático, **b)** 1 segundo e **c)** 6 segundos.

É importante frisar que as imagens foram todas obtidas de seguida de modo a que a luminosidade a que estão sujeitas fosse semelhante. Na captura obtida em modo automático, a sensibilidade fotográfica (ISO) não foi definida de modo a que a câmara fizesse a seleção automática para que a imagem não ficasse escura, a sensibilidade escolhida foi ISO-250 enquanto as outras capturas utilizaram ISO-100. Quanto maior for este valor maior será a obtenção de luz e, conseqüentemente, mais clara a imagem.

Foi também testada a possibilidade de realização de uma *timelapse*, isto é, uma sequência de fotografias com um dado intervalo de tempo entre elas. Para tal foi criado, também em *Python*, o código em baixo que cria 11 imagens (devido ao “i” do ciclo começar com o valor 0) com intervalo de 1 segundo entre cada uma numerando-as sequencialmente.

```
“import time
import picamera
with picamera.PiCamera() as camera:
    camera.resolution = (2592, 1944)
    camera.start_preview()
    time.sleep(2)
    for i, filename in enumerate(camera.capture_continuous(
        '/home/pi/test_joao/image{counter:03d}.jpg')):
        print('Captured image %s' % filename)
        if i == 10:
            break
        time.sleep(1)
    camera.stop_preview()”
```

Quanto à gravação de vídeo, apenas possível em formato H264, é feita de forma semelhante sendo necessária a definição do intervalo de tempo que se pretende gravar. Em baixo encontra-se o código necessário para a gravação de um vídeo de 5 segundos.

```
“import time
import picamera
with picamera.PiCamera() as camera:
    camera.resolution = (1296, 972)
    camera.start_preview()
    camera.start_recording('/home/pi/test_joao/teste_video.h264')
    camera.wait_recording(5)
    camera.stop_recording()
    camera.stop_preview()”
```

O conteúdo de vídeo obtido apenas será diferente do presente na Figura 3.10 quanto à resolução.

De modo a fazer um teste da *framerate* do vídeo foi efetuada uma gravação com duração de 5 segundos e uma resolução de 1280x720 cuja taxa de gravação máxima é de 30 fps, e separados os seus fotogramas. Obtiveram-se 139 *frames* (fotogramas) o que indica que a sua taxa de gravação foi de 27,8 fps.

Para comparação das resoluções possíveis de gravação, presentes na Tabela 3.1, efetuou-se a gravação recorrendo a duas diferentes resoluções de modo a comparar a sua qualidade, como demonstrado na Figura 3.13. É possível reparar na diferença no tamanho do grão na zona do monitor bem como na zona de claridade acima deste, em geral, como seria de esperar, a definição da imagem é bastante superior e a taxa de aquisição de imagem da resolução 1296x972 é bastante boa (até 42 fps).



Figura 3.13. Capturas de ecrã de vídeos com resolução de **a)** 320x240 e **b)** 1296x972.

Com a realização deste teste deparou-se que não é possível realizar gravação de vídeo recorrendo à resolução máxima (2592x1944), pelo que apenas se compara a resolução de 1296x972 que é a maior que tem o campo de visão total.

As limitações da versão VLC para Raspbian não permitem a visualização de vídeos sem que seja utilizada a aceleração por hardware. Foi efetuada a tentativa dessa ativação e é possível agora visualizar os vídeos apesar de não serem possíveis interações tais

como pausar ou realizar *fast forward* mas, ocorrem ainda algumas situações em que não é possível a sua visualização.

Outra possibilidade de visualização de vídeo é a utilização do *Omxplayer*, que é possível clicando no ficheiro com o botão direito do rato, fazer *Open With* e no separador *Custom Command Line* digitar *omxplayer*. Este programa corre o vídeo a uma velocidade superior à real e tem disponíveis as Hotkeys presentes na Tabela 3.3 (skgsergio 2016).

Key	Action
1	Increase Speed
2	Decrease Speed
j	Previous Audio stream
k	Next Audio stream
i	Previous Chapter
o	Next Chapter
n	Previous Subtitle stream
m	Next Subtitle stream
s	Toggle subtitles
q	Exit OMXPlayer
Space or p	Pause/Resume
-	Decrease Volume
+	Increase Volume
Left	Seek -30
Right	Seek +30
Down	Seek -600
Up	Seek +600

Tabela 3.3. Hotkeys do programa Omxplayer.

Um dos pontos de interesse neste trabalho e que é possível de realizar com esta câmara é a exploração do ficheiro *RAW* com informação pré-processada resultante de uma captura. É sabido que a informação de cada fotodíodo pode ter até 10 bits, pelo que pode tomar valores entre 1 e $2^{10} = 1024$ (Omnivision 2010). Como tal, era necessário elaborar um código de maneira a proceder a essa captura, com recurso a (Jones 2015), mais concretamente ao capítulo 5.11, é usado esse código mas modificado de modo a não haver processamento de dados. Portanto deu origem ao seguinte código.

```
“from __future__ import (
    unicode_literals,
```

```
        absolute_import,
        print_function,
        division
    )

import io
import time
import picamera
import numpy as np
from numpy.lib.stride_tricks import as_strided
from datetime import datetime

stream = io.BytesIO()
with picamera.PiCamera() as camera:
    time.sleep(2)
    camera.capture(stream, format='jpeg', bayer=True)

data = stream.getvalue()[-6404096:]
assert data[:4] == 'BRCM'
data = data[32768:]
data = np.fromstring(data, dtype=np.uint8)

data = data.reshape((1952, 3264))[:1944, :3240]

data = data.astype(np.uint16) << 2
for byte in range(4):
    data[:, byte::5] |= ((data[:, 4::5] >> ((4 - byte) * 2)) & 0b11)
data = np.delete(data, np.s_[4::5], 1)

rgb = np.zeros(data.shape + (3,), dtype=data.dtype)
rgb[1::2, 0::2, 0] = data[1::2, 0::2] # Red
rgb[0::2, 0::2, 1] = data[0::2, 0::2] # Green
```

```

rgb[1::2, 1::2, 1] = data[1::2, 1::2] # Green
rgb[0::2, 1::2, 2] = data[0::2, 1::2] # Blue

np.savetxt("pratoquente_" +
           str(datetime.now().strftime("%Y_%m_%d-%H_%M_%S")) +
           ".out", data, fmt=str("%04d"))

```

3.3.4.3. RPi Cam Web Interface

O *RPi Cam Web Interface* (Melchior 2016) é, tal como o nome indica, uma interface de código-fonte livre pelo que pode ser utilizada sem quaisquer custos. Esta permite o acesso remoto à câmara sendo a característica mais importante a visualização da imagem a ser capturada em tempo real com baixa latência. Possui outras características, entre as quais o controlo de todas as propriedades da câmara (brilho, contraste, etc.), captura de fotografias e vídeo, realização de *timelapse*, utilização de uma função *motion* que ao detetar movimento efetua as instruções definidas pelo utilizador, tais como a captura de vídeo e/ou fotografias, as capturas possuem sempre a hora e dia embutidos e segundo é descrito, possibilita o controlo de *Pan-Tilt* e *Pan-light*. Este primeiro dispositivo referido trata-se de dois servomotores que podem ser acoplados à câmara permitindo rodar a câmara em 180° na horizontal e 110° na vertical, o segundo dispositivo trata-se de um foco luminoso que pode ser de luz visível ou de luz IV.

O acesso à interface pode ser feito através de um computador ligado à mesma rede que o Raspberry, digitando na barra de endereço de um qualquer explorador de internet o endereço IP deste dispositivo, que pode ou não ter o acesso protegido por um nome de utilizador e palavra-passe.

As fotografias e vídeos capturados estão acessíveis através da interface e pode ser efetuado o descarregamento desses ficheiros para o computador em controlo, o que constitui uma grande vantagem.

Esta interface é uma ferramenta extremamente útil para ser empregue em sistemas de vigilância, pois permite automatização de capturas consoante é detetado movimento, de ligar um foco de luz consoante a hora e o controlo da orientação da câmara. Não tendo sido testadas neste trabalho estas duas últimas possibilidades.

4. ENSAIOS E RESULTADOS

4.1. Testes de IV

4.1.1. Iluminação Natural vs Iluminação Externa IV

De modo a ser possível a comparação entre corpos sujeitos a iluminação natural ou iluminação IV foram obtidas as imagens demonstradas na Figura 4.1.

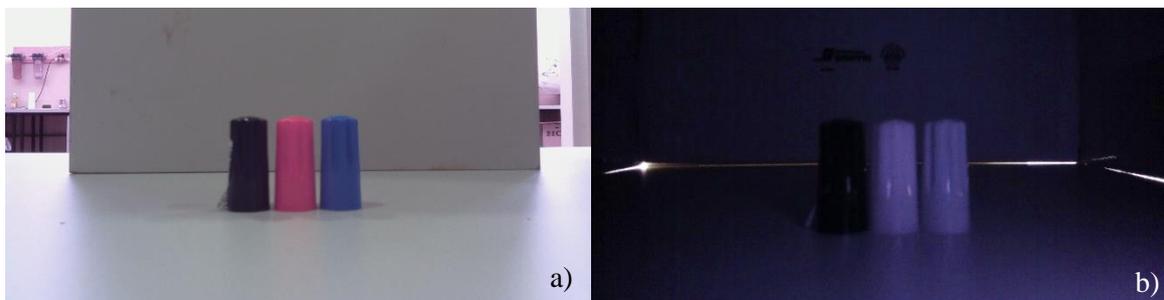


Figura 4.1. Tampas de caneta de cor preta, vermelha e azul com iluminação **a)** natural e **b)** IV.

Como é possível observar, a iluminação natural permite a visualização do espectro visível e assim representar as cores “normais”, no caso da iluminação IV a única diferença que se nota é o contraste entre as várias tampas.



Figura 4.2. Capturas a uma impressão do espectro de cor visível com iluminação **a)** natural e **b)** IV.

Utilizando agora uma impressão do espectro de cor visível, Figura 4.2, de modo a que fosse comparado um grande número de cores, é possível observar que apenas as cores mais escuras, próximas da radiação UV (zona à esquerda) e IV (zona à direita), são perceptíveis com a sua mudança de contraste. Mais um exemplo disto é a Figura 4.3 que possuiu uma paleta de cores e apenas é possível visualizar as zonas de contraste.

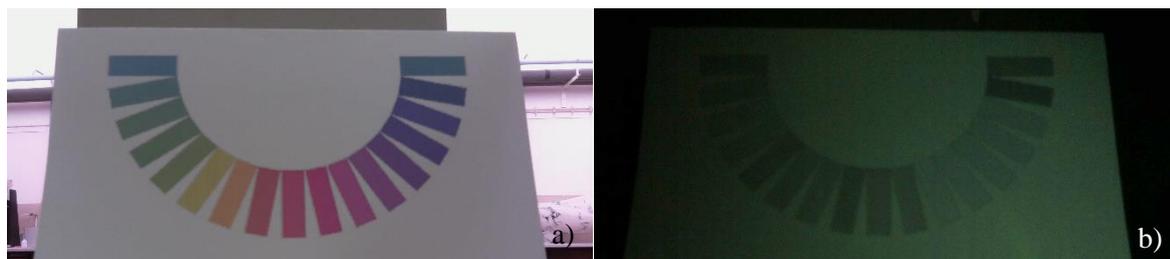
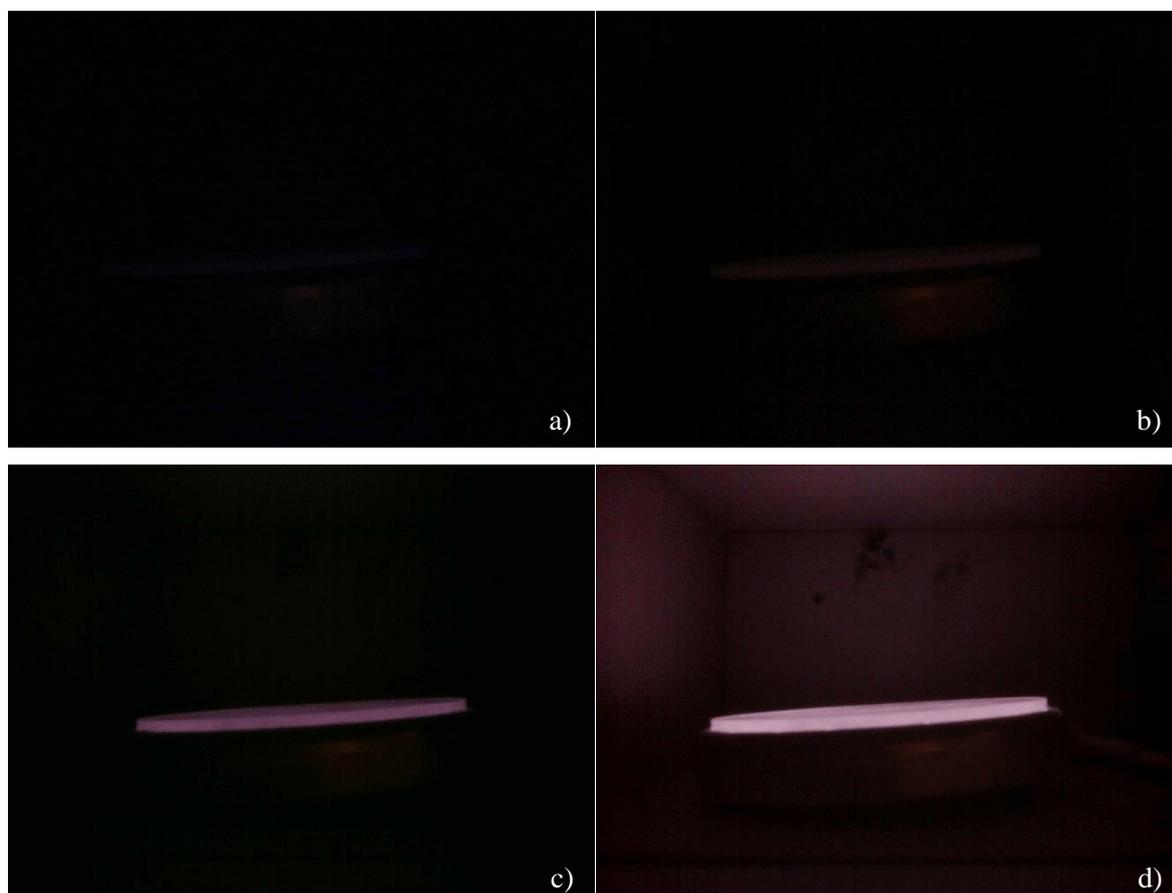


Figura 4.3. Capturas a uma impressão de uma paleta de cores com iluminação a) natural e b) IV.

4.1.2. Visualização de corpo negro

Para a realização do teste de visualização de corpo negro foi usado um disco que foi aquecido até à temperatura de 520 °C, monitorizado através de um termopar, e foram capturadas imagens da sua visualização sem iluminação natural.



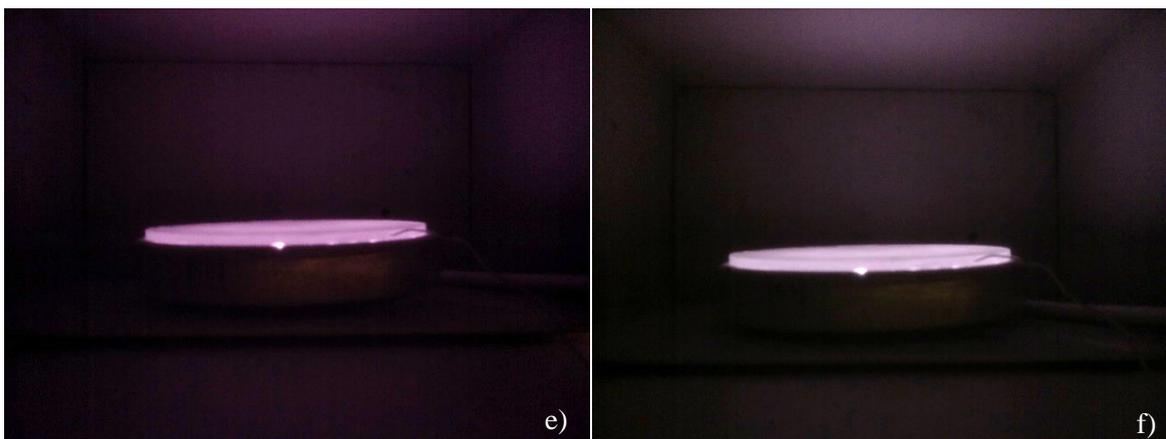


Figura 4.4. Capturas a disco quente obtidas com este a uma temperatura de **a)** 380 °C, **b)** 400 °C, **c)** 450 °C, **d)** 490 °C, **e)** 500 °C e **f)** 520 °C.

Conforme mostrado na Figura 4.4 nas temperaturas de 380 e 400 °C já é possível observar os contornos do disco, ainda que com pouco detalhe, enquanto a partir de 450 °C observa-se claramente a emissão de radiação do disco. Para as três temperaturas mais elevadas é possível observar que a radiação IV emitida permite a iluminação da caixa em que o disco se encontra.

4.1.3. Obtenção Ficheiro *RAW*

Foram efetuadas capturas do prato quente a 520 °C com e sem luz visível de modo a ser possível a comparação e numa tentativa do sensor apenas estar sujeito a radiação IV.

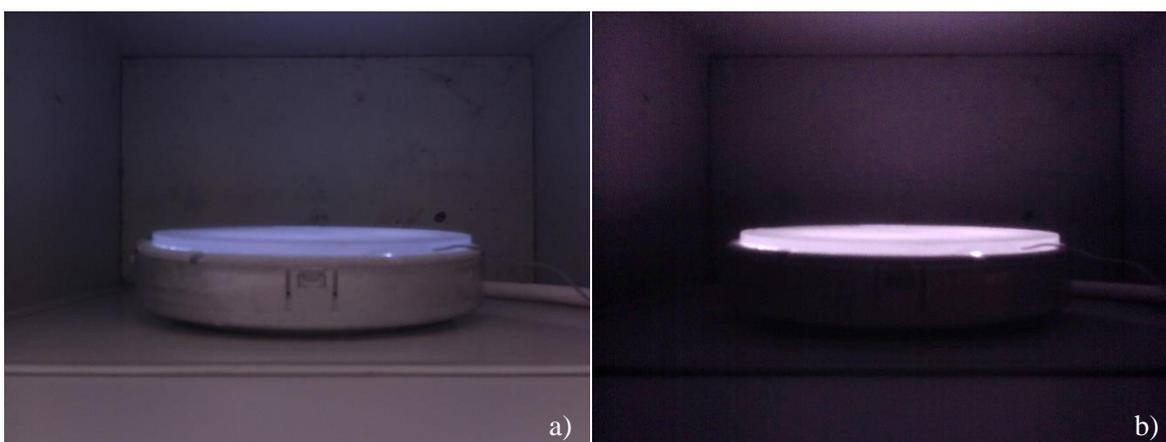


Figura 4.5. Capturas obtidas imediatamente antes das capturas *RAW*, sujeita a **a)** luz visível e **b)** na sua ausência.

As imagens presentes na Figura 4.5 foram obtidas de modo a exemplificar a imagem do que será obtido pelo ficheiro *RAW*. De seguida é apresentada a zona que possui os maiores valores obtidos pela matriz.

695	618	640	686	693	666	696	641	629
655	676	660	704	718	740	696	662	651
704	721	766	741	783	746	804	728	676
751	726	761	765	833	768	719	723	701
779	763	793	779	880	842	814	758	718
738	808	774	797	820	842	733	737	705
752	759	845	774	846	821	792	686	674
694	696	767	752	782	760	749	704	719
733	751	772	757	792	787	761	693	687

a)

592	651	677	688	694	688	702	679	686
673	642	674	743	731	751	721	704	649
699	699	743	729	786	739	723	710	680
682	736	724	755	758	776	698	726	674
673	702	693	773	791	721	758	663	650
620	680	712	763	736	737	713	647	646
596	618	696	677	667	652	636	618	609
606	619	627	661	659	651	667	694	598
507	535	545	619	597	625	589	577	582

b)

Figura 4.6. Zona de maiores valores das matrizes do ficheiro *RAW* obtidas **a)** com e **b)** sem luz visível.

Os pixéis de maior intensidade das duas matrizes estão realçados a amarelo na Figura 4.6. Após comparação com as imagens apresentadas na Figura 4.5 observou-se que este pico de radiação não corresponde ao disco propriamente, mas a uma brecha que existe no seu apoio. Essa zona inferior ao disco possui as resistências de aquecimento e por isso, origina um pico de radiação daí proveniente.

Tendo em conta que as linhas ímpares possuem os fotodíodos sensíveis ao verde e azul e as linhas pares ao vermelho e verde, em ambas as linhas intercalados por essa ordem, é possível constatar-se que na Figura 4.6 a) e b) os fotodíodos de maiores valores são verde e azul, respetivamente.

Isto pode ser explicado no caso da Figura 4.6 a) pela absorção de emissão visível, pois o fotodíodo verde apresenta a sua eficiência quântica numa ampla gama de comprimentos de onda do visível, fazendo com que o valor se acentue. Para o caso da b), tendo em conta que o tom capturado é azul e a eficiência quântica acima dos 700 nm é desconhecida, a sensibilidade acima desse comprimento de onda pode ainda ser relevante para a captura de imagem.

4.2. Teste de Espectro da Água

De modo a ser compreendido de que forma a visualização de objetos através de um meio contendo água influencia as cores ou a radiação visível, foi efetuado um teste em que se faz a captura de imagem através de um béquer com água.



Figura 4.7. Captura de tampas de caneta através de um meio aquático.



Figura 4.8. Espectro de cor capturado **a)** diretamente e **b)** através de um meio aquático.

Observando a Figura 4.7 pode concluir-se que a variação de cores entre a parte superior observada diretamente e a inferior que é observada através da água é nula, a razão da ligeira diferença que se pode notar terá que ser atribuída à reflexão da luz ambiente no vidro e na água. A Figura 4.8 confirma que esta variação é nula, a diferença entre cores é praticamente inexistente verificando-se nesta o fenómeno da refração que inverte as cores do espectro e aumenta a parte central.

Em face do exposto, pode concluir-se o que já foi referido no capítulo do Espectro Visível, que a absorção de radiação pela água para a região do espectro do visível é praticamente inexistente.

Para que fosse também testada a sua absorção na zona dos IV, foi colocado o béquer de modo a efetuar capturas do disco quente através do meio aquático e testado para várias temperaturas de modo a comparar a variação de radiação capturada.

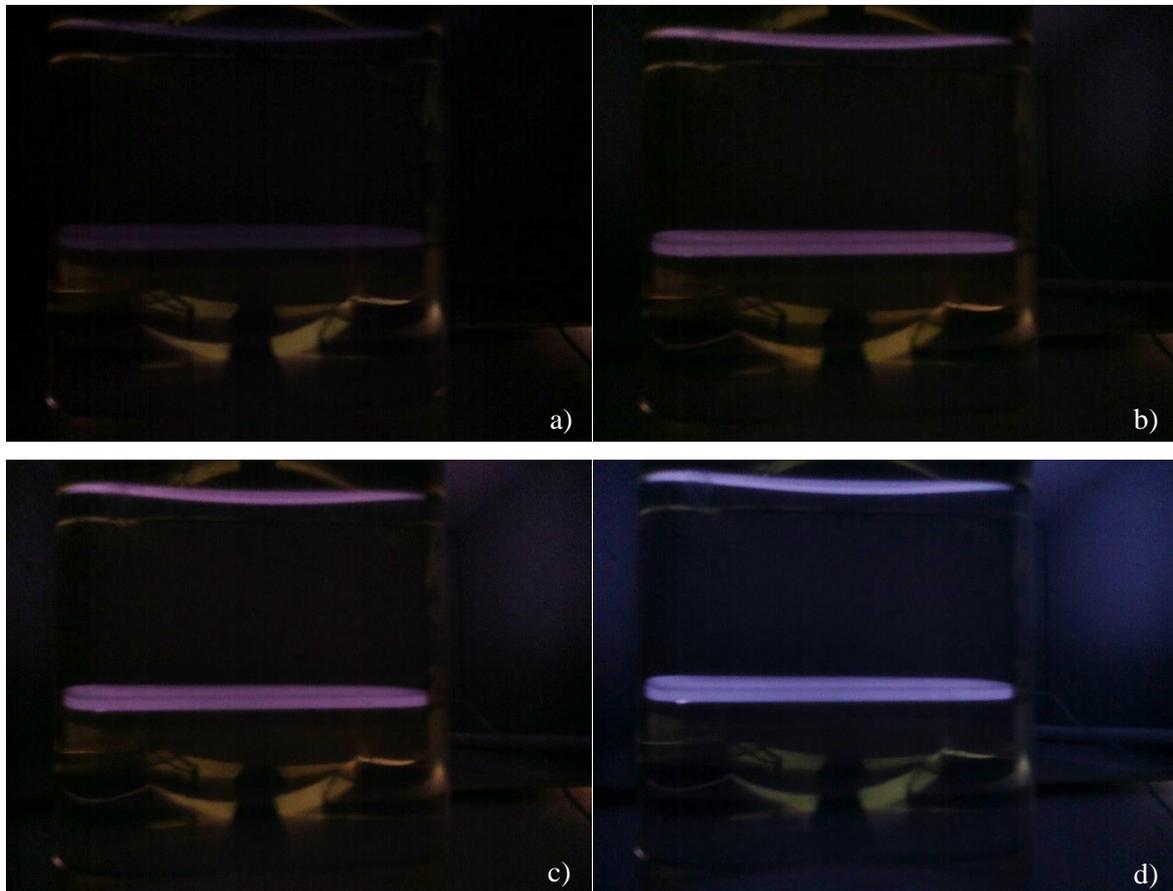


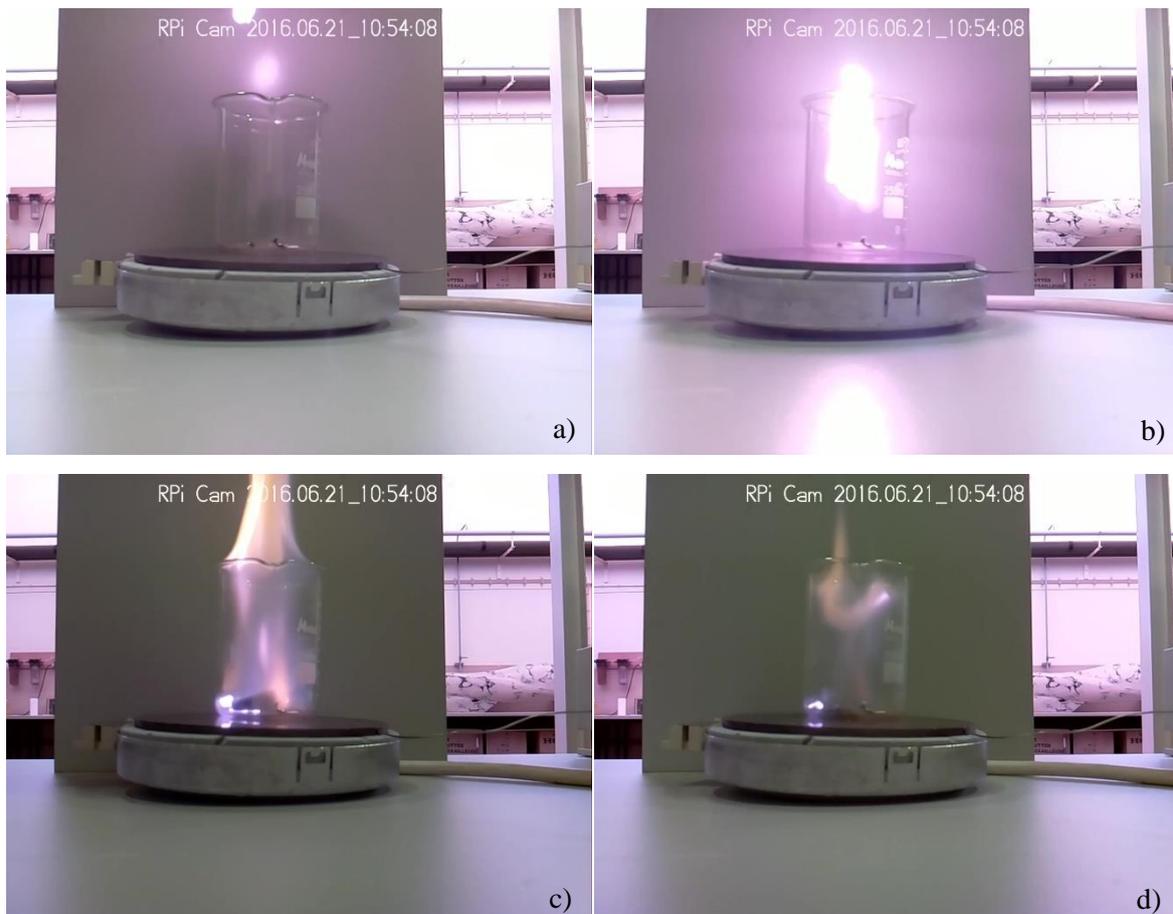
Figura 4.9. Disco quente capturado através de um meio aquático a temperaturas de **a)** 450 °C, **b)** 490 °C, **c)** 500 °C e **d)** 520 °C.

Na comparação das imagens apresentadas na Figura 4.9 com as da Figura 4.4 c) a f) é possível notar que a redução de radiação capturada através da água, o efeito de brilho que ilumina o interior da caixa, observável na Figura 4.4, também já não é tão intenso através da água. A causa desta redução deve-se à absorção de radiação pela água crescente para a zona do IV, conforme se pode verificar na Figura 2.3.

De referir que na parte inferior do béquer se observa um reflexo devido ao ineficiente método de eliminação da iluminação natural que, contudo, não prejudica o objetivo pretendido.

4.3. Teste *RPi Cam Web Interface*

Para testar a função *motion* da interface web quanto à possibilidade de ser ativa na detecção do início de uma combustão, foi colocado gás de hidrocarbonetos proveniente de um isqueiro no béquer e inflamado com a queda de um pedaço de papel incendiado. Como foi efetuado junto da câmara, a área do sensor que esta imagem da combustão ocupa é grande e seria de esperar que fosse detetada, na Figura 4.10 apresenta-se alguns fotogramas do vídeo capturado.



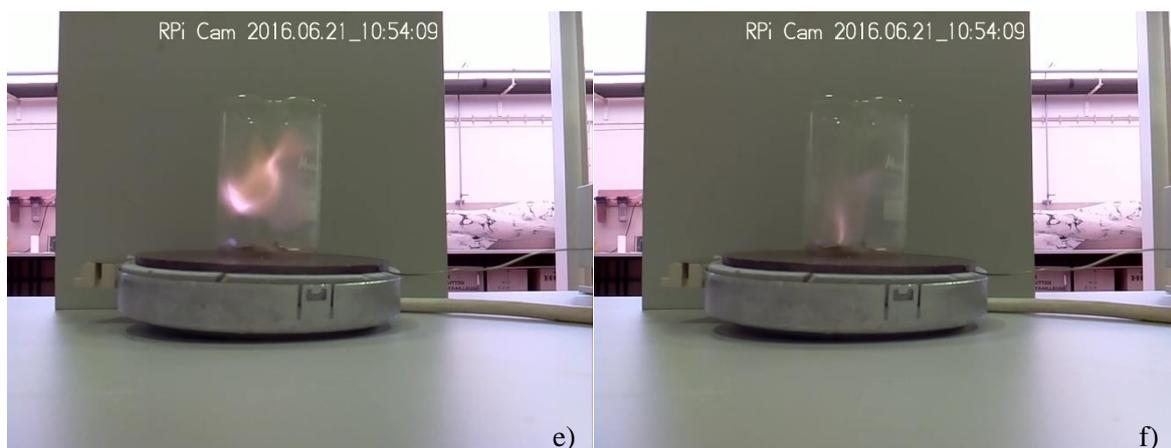


Figura 4.10. Fotogramas provenientes do vídeo de detecção da combustão de hidrocarbonetos.

Analisando a Figura 4.10, no fotograma a) é possível observar-se no topo da imagem uma parte do papel em queda e um pouco mais a baixo, na caixa de metal, o reflexo da radiação emitida. No seguinte vê-se a combustão do papel com algum arrasto da sua chama. O fotograma c) é imediatamente a seguir ao ponto de ignição do gás sendo que neste e nos seguintes se captura a sua combustão, nesse fotograma e seguinte é ainda possível visualizar a radiação emitida pelo papel em combustão no fundo do béquer.

5. CONCLUSÃO

Este equipamento tem a grande vantagem da sua modularidade e reduzida dimensão, graças a isso têm também um baixo consumo de energia o que possibilita que seja usado acoplado a pilhas ou uma bateria. A versão do Raspberry Pi deste trabalho não possui Wi-Fi ao contrário da versão mais recente, no entanto como forma de ser usado sem qualquer tipo de conexão física, há a possibilidade de utilização de um módulo Wi-Fi por USB e com a alimentação feita através de uma bateria. Deste modo pode tornar-se um dispositivo *stand-alone* e ser utilizado em locais de difícil acesso.

Um dos principais temas estudados de modo a permitir a compreensão do objetivo do trabalho trata-se do fenómeno da radiação térmica. Conforme verificado no capítulo 2.2 é possível o cálculo de intensidades de radiação e poder emissivos de corpos negros (corpos perfeitos) e, através de algumas tabelas, transpor esses cálculos para corpos reais. Um dos entraves aos objetivos propostos trata-se das relações entre ângulos sólidos e fatores de forma, pois a câmara dificilmente se encontrará sempre na mesma posição relativamente aos corpos emissores, assim como o seu formato não será sempre o mesmo.

Conforme as capturas apresentas no capítulo 4.1.2, a radiação emitida por um disco quente acima dos 380 – 400 °C é possível ser visualizada, apesar de não poder ser feita a sua quantificação. No entanto, esta radiação possível de capturar sobressai mesmo com a presença de luz ambiente, pelo que é passível de ser utilizada em algumas inspeções de manutenção.

Ainda que o Raspberry Pi 2 B seja um SBC com uma excelente relação preço/performance, uma simples captura de um ficheiro *RAW* como demonstrado no capítulo 4.1.3 apresenta alguma demora no processamento, pelo que, ainda que houvesse um algoritmo para relacionar os valores do sensor com uma temperatura, este seria um processo demorado. Tal como no trabalho realizado por (Baila 2015) neste também não foi elaborado nenhum código nesse sentido. Caso posteriormente seja possível o acesso a um algoritmo desse tipo, para que o tempo de processamento fosse baixo teria possivelmente que se reduzir a resolução para qual este cálculo seria efetuado.

Quanto à obtenção de imagens através de um meio aquático, foi possível verificar-se que a cor não é alterada devido ao espectro da água praticamente não absorver radiação na zona da radiação visível. As únicas mudanças que ocorrem são devido a alguma refração e reflexão existente tanto devido à superfície da água como ao recipiente que a contém.

Este conjunto de dois equipamentos, Raspberry Pi 2 B e Câmara NoIR, são descritos por fóruns da internet como uma boa possibilidade de equipamento de videovigilância de baixo custo, graças à capacidade de visualização de luz IV conforme demonstrado no capítulo 4.1.1. Como tal no capítulo 4.3 efetuou-se o teste de uma interface web para o Raspberry Pi e câmara extremamente útil pelas características já referidas no trabalho, pois a câmara, devido à captação de radiação na zona do IV, pode ser explorada como um detetor de ignição. Uma das ideias que não foi explorada neste trabalho seria da aplicação de um filtro de radiação até cerca de 700 nm, o que quereria dizer que toda a radiação com comprimento de onda abaixo dessa não seria captada eliminando toda a luz visível. Hipoteticamente, seria possível ter uma câmara de vigilância que detetava focos de radiação sendo estes possíveis pontos onde esteja a ocorrer ignição ou combustão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anastácio, A. N. (2014). *Metrologia da detonação com o recurso a fibras ópticas*. Universidade de Coimbra.
- Baila, R. M. de A. (2015). *Imagem Termográfica Digital com Equipamento de Baixo Custo - Conjunto Raspberry Pi 2 B + Câmara NoIR*. Universidade de Coimbra.
- Bullard Company. (n.d.). Bullard - Thermal Imaging Cameras. http://www.bullard.com/europe/en/products/thermal_imaging/. Acedido a 1 de Julho de 2016
- Chaplin, M. (2016). Water Structure and Science. http://www1.lsbu.ac.uk/water/water_vibrational_spectrum.html. Acedido a 14 de Junho de 2016
- Fox, M., Coley, D., Goodhew, S., & de Wilde, P. (2014). Thermography methodologies for detecting energy related building defects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 296–310. doi:10.1016/j.rser.2014.07.188
- Jones, D. (2015). Picamera 1.10 documentation. <http://picamera.readthedocs.io/en/release-1.10/>. Acedido a 19 de Abril de 2016
- Melchior, S. (2016). RPi Cam Web Interface. <http://elinux.org/RPi-Cam-Web-Interface>. Acedido a 20 de Junho de 2016
- Omnivision. (2010). SPECIFICATION 1/4" color CMOS QSXGA (5 megapixel) image sensor with OmniBSI™ technology.
- Omnivision Technologies Inc. (2010). OV5647 5-megapixel product brief. <http://www.ovt.com/uploads/parts/OV5647.pdf>
- Rhodes, H., Tai, D., Qian, Y., Mao, D., Venezia, V., Zheng, W., et al. (2009). The Mass Production of BSI CMOS Image Sensors.
- Siegel, R., Howell, J. R., & Mengüç, M. P. (2011). Thermal radiation heat transfer. *NASA STI/Recon Technical Report A, Ill*. doi:10.1088/0022-3727/30/20/018
- skgsergio. (2016). OMXPlayer Builds. <http://omxplayer.sconde.net/>. Acedido a 20 Junho de 2016

APÊNDICE A – VALORES DE EFICIÊNCIA QUÂNTICA DOS CANAIS DO SENSOR

λ [nm]	EQ [%]	λ [nm]	EQ [%]	λ [nm]	EQ [%]
399,939	54,832	489,994	76,321	553,069	12,606
402,127	57,988	491,452	72,968	560,361	10,042
405,044	62,130	492,911	70,010	567,652	8,857
407,960	65,285	494,369	67,051	574,944	8,068
411,606	68,638	496,192	63,698	583,330	7,475
414,888	70,018	497,650	60,739	592,809	6,685
418,898	71,596	499,109	58,372	599,737	5,698
422,544	74,356	500,567	56,991	605,935	4,711
426,190	78,104	503,119	56,004	614,320	3,921
429,107	80,667	506,765	55,412	621,612	3,723
433,117	85,006	509,317	54,623	630,363	3,722
436,034	88,556	510,776	52,848	637,654	3,524
438,222	90,923	511,870	50,481	643,488	4,115
440,774	93,092	512,963	47,719	649,321	4,706
444,420	94,472	514,422	44,169	655,155	4,903
451,347	95,655	515,515	40,027	660,624	5,100
459,368	96,246	516,974	36,279	665,364	6,085
464,837	95,851	518,797	31,742	670,832	6,676
469,941	95,456	520,984	28,586	675,937	6,676
475,775	95,455	524,630	24,838	680,677	6,675
478,692	95,060	528,276	23,063	685,781	7,267
481,244	92,693	533,381	20,498	690,521	7,858
483,431	89,340	538,485	18,525	693,802	8,844
484,890	86,578	543,589	16,552	697,812	9,435
485,983	83,620	547,600	14,777	700,365	8,646
487,806	80,069				

Tabela 0.1. Eficiência quântica do canal Azul.

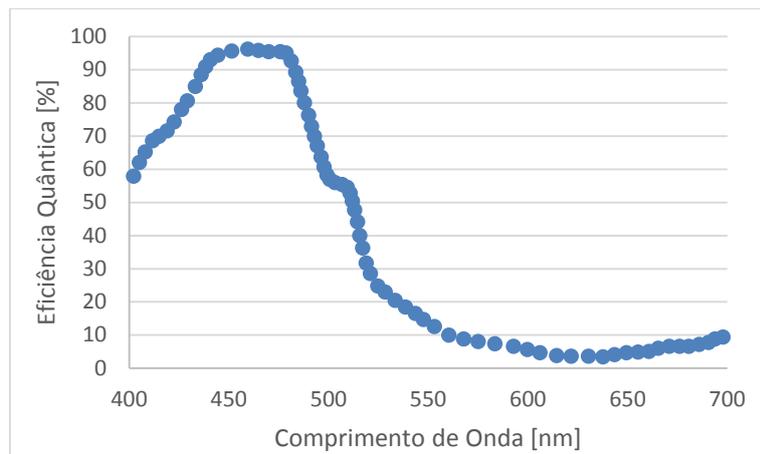


Figura 0.1. Eficiência quântica do canal Azul.

λ [nm]	EQ [%]	λ [nm]	EQ [%]	λ [nm]	EQ [%]
402,127	5,522	516,974	69,021	589,528	51,261
408,325	5,127	517,703	72,965	591,351	48,500
414,888	5,127	518,797	76,121	593,903	45,738
422,179	5,323	519,526	79,869	596,091	42,385
429,836	5,914	520,255	83,024	598,278	39,623
435,669	6,702	522,443	86,377	600,466	36,467
442,232	7,293	524,266	89,138	603,018	33,311
448,795	7,884	527,182	91,899	604,841	30,155
455,722	8,672	530,099	94,266	607,393	26,802
461,191	10,250	533,381	96,632	609,581	24,237
464,837	12,813	536,662	99,196	612,133	21,673
468,847	16,363	540,308	100,379	615,050	18,911
472,493	19,321	543,954	99,984	618,696	16,150
475,775	22,674	547,600	98,603	621,612	14,177
479,056	25,238	549,787	96,631	627,081	12,401
483,431	26,421	551,975	93,672	632,915	11,020
489,629	26,815	554,527	90,516	638,019	10,428
492,911	29,576	556,350	87,557	644,582	10,032
495,098	32,534	558,538	84,795	650,415	9,834
497,286	35,098	560,361	82,231	655,884	9,045
500,567	37,464	562,913	79,272	661,718	8,847
504,578	35,886	565,829	77,102	666,093	10,227
508,224	33,913	568,382	74,735	670,468	11,213
510,776	36,674	570,934	72,368	676,301	11,607
511,505	40,422	573,851	69,803	682,135	13,381

512,963	45,155	576,403	67,042	686,145	15,353
513,693	49,297	578,590	64,477	690,521	16,931
514,422	53,242	581,142	61,913	692,708	19,297
514,786	57,187	583,330	59,546	696,719	21,072
515,880	61,526	585,153	56,784	700,000	20,677
516,609	65,273	587,340	54,220		

Tabela 0.2. Eficiência quântica do canal Verde.

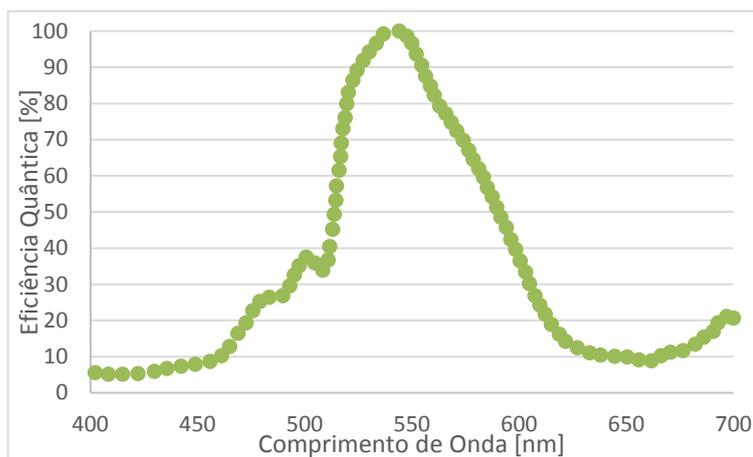


Figura 0.2. Eficiência quântica do canal Verde.

λ [nm]	EQ [%]	λ [nm]	EQ [%]	λ [nm]	EQ [%]
400,668	16,173	541,766	9,649	604,112	82,818
404,679	14,792	546,506	8,662	608,122	82,226
407,231	12,622	550,881	7,281	612,862	81,239
410,512	10,650	556,715	6,886	615,779	79,464
414,888	9,269	562,184	6,688	618,696	78,280
419,263	8,085	566,559	5,899	622,342	76,899
424,367	6,703	570,934	7,476	625,987	75,320
429,836	5,519	574,580	9,646	629,998	73,150
436,763	4,730	577,496	12,604	632,550	70,783
442,961	4,335	579,319	15,759	634,738	68,416
450,618	3,545	581,142	19,310	636,925	65,457
456,451	3,150	581,872	22,663	640,207	63,090
462,285	3,149	582,236	26,016	644,946	65,456
468,118	3,148	582,965	29,960	649,321	67,626
474,681	3,739	583,330	33,905	653,697	65,061
480,879	3,936	584,424	38,047	655,520	62,497
487,442	3,738	585,153	42,189	657,707	59,538
492,546	3,935	585,882	46,331	661,353	57,368

498,015	4,131	586,611	51,064	665,728	59,734
503,848	4,131	587,705	55,403	669,374	61,312
509,317	3,736	588,070	59,743	673,385	58,944
512,963	4,721	589,163	64,674	676,301	55,985
516,974	6,693	590,622	68,421	677,760	53,421
520,984	8,271	592,445	73,154	682,135	51,251
526,818	10,637	594,632	76,507	688,698	52,039
532,287	11,425	597,914	79,663	694,531	52,828
537,756	10,439	600,466	82,424	700,000	52,235

Tabela 0.3. Eficiência quântica do canal Vermelho.

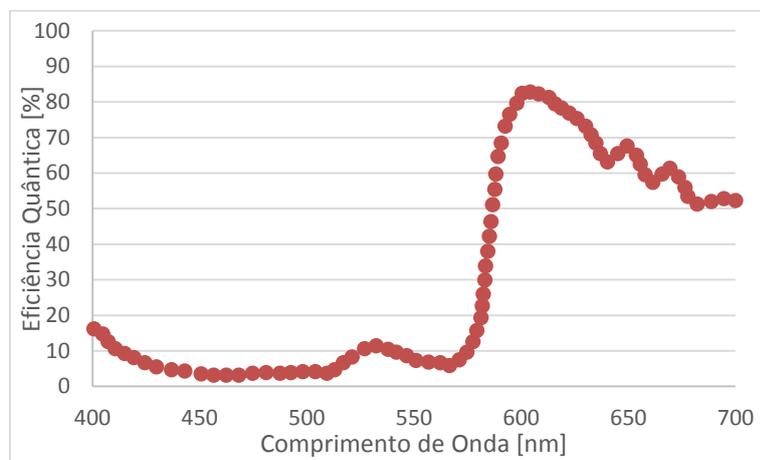


Figura 0.3. Eficiência quântica do canal Vermelho.

ANEXO A – INSTRUÇÕES DE CONTROLO DA CÂMARA VIA LINHA DE COMANDOS

A.1 – raspistill

Runs camera for specific time, and take JPG capture at end if requested

usage: raspistill [options]

Image parameter commands

- ?, --help : This help information
- w, --width : Set image width <size>
- h, --height : Set image height <size>
- q, --quality : Set jpeg quality <0 to 100>
- r, --raw : Add raw bayer data to jpeg metadata
- o, --output : Output filename <filename> (to write to stdout, use '-o -'). If not specified, no file is saved
- l, --latest : Link latest complete image to filename <filename>
- v, --verbose : Output verbose information during run
- t, --timeout : Time (in ms) before takes picture and shuts down (if not specified, set to 5s)
- th, --thumb : Set thumbnail parameters (x:y:quality) or none
- d, --demo : Run a demo mode (cycle through range of camera options, no capture)
- e, --encoding : Encoding to use for output file (jpg, bmp, gif, png)
- x, --exif : EXIF tag to apply to captures (format as 'key=value') or none
- tl, --timelapse : Timelapse mode. Takes a picture every <t>ms
- fp, --fullpreview : Run the preview using the still capture resolution (may reduce preview fps)
- k, --keypress : Wait between captures for a ENTER, X then ENTER to exit
- s, --signal : Wait between captures for a SIGUSR1 from another process
- g, --gl : Draw preview to texture instead of using video render component
- gc, --glcapture : Capture the GL frame-buffer instead of the camera image
- set, --settings : Retrieve camera settings and write to stdout

-cs, --camselect : Select camera <number>. Default 0
-bm, --burst : Enable 'burst capture mode'
-md, --mode : Force sensor mode. 0=auto. See docs for other modes available
-dt, --datetime : Replace frame number in file name with DateTime (YearMonthDayHourMinSec)
-ts, --timestamp : Replace frame number in file name with unix timestamp (seconds since 1900)

Preview parameter commands

-p, --preview : Preview window settings <'x,y,w,h'>
-f, --fullscreen : Fullscreen preview mode
-op, --opacity : Preview window opacity (0-255)
-n, --nopreview : Do not display a preview window

Image parameter commands

-sh, --sharpness : Set image sharpness (-100 to 100)
-co, --contrast : Set image contrast (-100 to 100)
-br, --brightness : Set image brightness (0 to 100)
-sa, --saturation : Set image saturation (-100 to 100)
-ISO, --ISO : Set capture ISO
-vs, --vstab : Turn on video stabilisation
-ev, --ev : Set EV compensation
-ex, --exposure : Set exposure mode (see Notes)
-awb, --awb : Set AWB mode (see Notes)
-ifx, --imxfx : Set image effect (see Notes)
-cfx, --colfx : Set colour effect (U:V)
-mm, --metering : Set metering mode (see Notes)
-rot, --rotation : Set image rotation (0-359)
-hf, --hflip : Set horizontal flip
-vf, --vflip : Set vertical flip
-roi, --roi : Set region of interest (x,y,w,d as normalised coordinates [0.0-1.0])
-ss, --shutter : Set shutter speed in microseconds
-awbg, --awbgains : Set AWB gains - AWB mode must be off
-drc, --drc : Set DRC Level
-st, --stats : Force recomputation of statistics on stills capture pass

-a, --annotate : Enable/Set annotate flags or text
-3d, --stereo : Select stereoscopic mode
-dec, --decimate: Half width/height of stereo image
-3dswap, --3dswap : Swap camera order for stereoscopic
-ae, --annotateex : Set extra annotation parameters (text size, text colour(hex YUV), bg colour(hex YUV))

Notes

Exposure mode options :

off,auto,night,nightpreview,backlight,spotlight,sports,snow,beach,verylong,fixdfps,antishake,fire works

AWB mode options :

off,auto,sun,cloud,shade,tungsten,fluorescent,incandescent,flash,horizon

Image Effect mode options :

none,negative,solarise,sketch,denoise,emboss,oilpaint,hatch,gpen,pastel,watercolour,film,blur,saturation,colourswap,washedout,posterise,colourpoint,colourbalance,cartoon

Metering Mode options :

average,spot,backlit,matrix

Dynamic Range Compression (DRC) options :

off,low,med,high

Preview parameter commands

-gs, --glscene : GL scene square,teapot,mirror,yuv,sobel

-gw, --glwin : GL window settings <'x,y,w,h'>

A.2 – raspivid

Display camera output to display, and optionally saves an H264 capture at requested bitrate

usage: raspivid [options]

Image parameter commands

- ?, --help : This help information
- w, --width : Set image width <size>. Default 1920
- h, --height : Set image height <size>. Default 1080
- b, --bitrate : Set bitrate. Use bits per second (e.g. 10Mbits/s would be -b 10000000)
- o, --output : Output filename <filename> (to write to stdout, use '-o -')
- v, --verbose : Output verbose information during run
- t, --timeout : Time (in ms) to capture for. If not specified, set to 5s. Zero to disable
- d, --demo : Run a demo mode (cycle through range of camera options, no capture)
- fps, --framerate : Specify the frames per second to record
- e, --penc : Display preview image *after* encoding (shows compression artifacts)
- g, --intra : Specify the intra refresh period (key frame rate/GoP size). Zero to produce an initial I-frame and then just P-frames.
- pf, --profile : Specify H264 profile to use for encoding
- td, --timed : Cycle between capture and pause. -cycle on,off where on is record time and off is pause time in ms
- s, --signal : Cycle between capture and pause on Signal
- k, --keypress : Cycle between capture and pause on ENTER
- i, --initial : Initial state. Use 'record' or 'pause'. Default 'record'
- qp, --qp : Quantisation parameter. Use approximately 10-40. Default 0 (off)
- ih, --inline : Insert inline headers (SPS, PPS) to stream
- sg, --segment : Segment output file in to multiple files at specified interval <ms>
- wr, --wrap : In segment mode, wrap any numbered filename back to 1 when reach number
- sn, --start : In segment mode, start with specified segment number
- sp, --split : In wait mode, create new output file for each start event
- c, --circular : Run encoded data through circular buffer until triggered then save
- x, --vectors : Output filename <filename> for inline motion vectors
- cs, --camselect : Select camera <number>. Default 0
- set, --settings : Retrieve camera settings and write to stdout
- md, --mode : Force sensor mode. 0=auto. See docs for other modes available
- if, --irefresh : Set intra refresh type

-fl, --flush : Flush buffers in order to decrease latency

H264 Profile options :

baseline,main,high

H264 Intra refresh options :

cyclic,adaptive,both,cyclicrows

Preview parameter commands

-p, --preview : Preview window settings <'x,y,w,h'>

-f, --fullscreen : Fullscreen preview mode

-op, --opacity : Preview window opacity (0-255)

-n, --nopreview : Do not display a preview window

Image parameter commands

-sh, --sharpness : Set image sharpness (-100 to 100)

-co, --contrast : Set image contrast (-100 to 100)

-br, --brightness : Set image brightness (0 to 100)

-sa, --saturation : Set image saturation (-100 to 100)

-ISO, --ISO : Set capture ISO

-vs, --vstab : Turn on video stabilisation

-ev, --ev : Set EV compensation

-ex, --exposure : Set exposure mode (see Notes)

-awb, --awb : Set AWB mode (see Notes)

-ifx, --imxfx : Set image effect (see Notes)

-cfx, --colfx : Set colour effect (U:V)

-mm, --metering : Set metering mode (see Notes)

-rot, --rotation : Set image rotation (0-359)

-hf, --hflip : Set horizontal flip

-vf, --vflip : Set vertical flip

-roi, --roi : Set region of interest (x,y,w,d as normalised coordinates [0.0-1.0])

-ss, --shutter : Set shutter speed in microseconds
-awbg, --awbgains : Set AWB gains - AWB mode must be off
-drc, --drc : Set DRC Level
-st, --stats : Force recomputation of statistics on stills capture pass
-a, --annotate : Enable/Set annotate flags or text
-3d, --stereo : Select stereoscopic mode
-dec, --decimate: Half width/height of stereo image
-3dswap, --3dswap : Swap camera order for stereoscopic
-ae, --annotateex : Set extra annotation parameters (text size, text colour(hex YUV), bg colour(hex YUV))

Notes

Exposure mode options :

off,auto,night,nightpreview,backlight,spotlight,sports,snow,beach,verylong,fixdfps,antishake,fire works

AWB mode options :

off,auto,sun,cloud,shade,tungsten,fluorescent,incandescent,flash,horizon

Image Effect mode options :

none,negative,solarise,sketch,denoise,emboss,oilpaint,hatch,gpen,pastel,watercolour,film,blur,saturation,colourswap,washedout,posterise,colourpoint,colourbalance,cartoon

Metering Mode options :

average,spot,backlit,matrix

Dynamic Range Compression (DRC) options :

off,low,med,high