

**ESTUDO DAS FORÇAS DE ATRITO
NO 9º ANO E NO 12º ANO**

Por

Arlindo Lopes Ribeiro

Dissertação de Mestrado em Ensino da Física

Orientada por:

Professora Doutora Maria José Barata Marques de Almeida



Departamento de Física

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Universidade de Coimbra

2001

ÍNDICE

Capítulo I – Introdução.	1
1. Introdução.	2
2. Objectivos gerais do trabalho.	5
3. Estrutura da dissertação.	7
Capítulo II – Fundamentação teórica.	8
1. As leis do atrito de escorregamento.	9
2. Descobertas mais recentes.	11
3. Aprendizagem por alteração conceptual.	14
4. Experiências na sala de aula.	16
5. Textos refutativos.	21
Capítulo III – A Investigação.	24
1. Introdução.	25
2. A construção do inquérito do 12º ano.	26
3. A construção do inquérito do 9º ano.	28
4. As amostras.	29
5. As experiências.	30
5.1. Os protocolos das experiências.	31
5.2. O material das experiências.	31
6. O texto refutativo.	32
7. A ficha de exercícios do 12º ano.	32
8. A aplicação do pré-teste.	33
9. As aulas.	34
9.1. As aulas do 12º ano.	34
9.2. As aulas do 9º ano.	36
10. A aplicação do pós-teste.	38
Capítulo IV – Análise dos resultados do 12º ano.	39
1. Introdução.	40
2.1. Resultados / Área / Pré-teste.	44
2.2. Dificuldades encontradas / Área / Pré-teste.	45
2.3. Resultados / Área / Pós-teste.	46
2.4. Dificuldades encontradas / Área / Pós-teste.	47
2.5. Conclusões / Área.	48
3.1. Resultados / Normal / Pré-teste.	49
3.2. Dificuldades encontradas / Normal / Pré-teste.	50
3.3. Resultados / Normal / Pós-teste.	51
3.4. Dificuldades encontradas / Normal / Pós-teste.	52

3.5. Conclusões / Normal.	53
4.1. Resultados / Material / Pré-teste.	54
4.2. Dificuldades encontradas / Material / Pré-teste.	55
4.3. Resultados / Material / Pós-teste.	56
4.4. Dificuldades encontradas / Material / Pós-teste.	57
4.5. Conclusões / Material.	58
5.1. Resultados / Velocidade / Pré-teste.	59
5.2. Dificuldades encontradas / Velocidade / Pré-teste.	60
5.3. Resultados / Velocidade / Pós-teste.	61
5.4. Dificuldades encontradas / Velocidade / Pós-teste.	62
5.5. Conclusões / Velocidade.	63
6.1. Resultados / Sentido / Pré-teste.	64
6.2. Dificuldades encontradas / Sentido / Pré-teste.	65
6.3. Resultados / Sentido / Pós-teste.	67
6.4. Dificuldades encontradas / Sentido / Pós-teste.	68
6.5. Conclusões / Sentido.	70
7.1. Resultados / Repouso / Pré-teste.	70
7.2. Dificuldades encontradas / Repouso / Pré-teste.	71
7.3. Resultados / Repouso / Pós-teste.	73
7.4. Dificuldades encontradas / Repouso / Pós-teste.	74
7.5. Conclusões / Repouso.	77
8. Conclusões finais ao estudo realizado no 12º ano.	77
Capítulo V – Análise dos resultados do 9º ano.	88
1. Introdução.	89
2.1. Resultados / Área / Pré-teste.	91
2.2. Dificuldades encontradas / Área / Pré-teste.	92
2.3. Resultados / Área / Pós-teste.	93
2.4. Dificuldades encontradas / Área / Pós-teste.	94
2.5. Conclusões / Área.	95
3.1. Resultados / Normal / Pré-teste.	96
3.2. Dificuldades encontradas / Normal / Pré-teste.	97
3.3. Resultados / Normal / Pós-teste.	98
3.4. Dificuldades encontradas / Normal / Pós-teste.	98
3.5. Conclusões / Normal.	99
4.1. Resultados / Material / Pré-teste.	99
4.2. Dificuldades encontradas / Material / Pré-teste.	100
4.3. Resultados / Material / Pós-teste.	101
4.4. Dificuldades encontradas / Material / Pós-teste.	102
4.5. Conclusões / Material.	103

5.1. Resultados / Velocidade / Pré-teste.	104
5.2. Dificuldades encontradas / Velocidade / Pré-teste.	105
5.3. Resultados / Velocidade / Pós-teste.	105
5.4. Dificuldades encontradas / Velocidade / Pós-teste.	106
5.5. Conclusões / Velocidade.	107
6.1. Resultados / Repouso / Pré-teste.	107
6.2. Dificuldades encontradas / Repouso / Pré-teste.	108
6.3. Resultados / Repouso / Pós-teste.	110
6.4. Dificuldades encontradas / Repouso / Pós-teste.	111
6.5. Conclusões / Repouso.	112
7.1. Resultados / Pergunta aberta / Pré-teste.	113
7.2. Resultados / Pergunta aberta / Pós-teste.	115
8. Conclusões finais ao estudo realizado no 9º ano.	117
Capítulo V I – Conclusões finais e sugestões para futuras investigações.	126
1. Últimas conclusões do estudo realizado nos dois níveis de ensino.	127
2. Conclusões finais.	129
3. Possíveis complementos às aulas do 12º ano.	130
4. Sugestões para futuras investigações.	132
Bibliografia e referências bibliográficas.	134
Anexos 12º ano.	138
Anexo 1 - Pré-teste do 12º ano.	139
Anexo 2 - Pós-teste do 12º ano.	142
Anexo 3 - Protocolos das experiências do 12º ano.	145
Anexo 4 - Texto refutativo do 12º ano.	153
Anexo 5 – Ficha de exercícios do 12º ano.	156
Anexo 6 - Tabelas de resultados do 12º ano.	158
Anexo 7 - Resultados finais do 12º ano.	173
Anexo 8 - Estudo estatístico 12º ano.	174
Anexos 9º ano.	175
Anexo 9 - Pré-teste do 9º ano.	176
Anexo 10 - Pós-teste do 9º ano.	179
Anexo 11 - Protocolos das experiências do 9º ano.	182
Anexo 12 - Texto refutativo do 9º ano.	190
Anexo 13 - Tabelas de resultados do 9º ano.	192
Anexo 14 - Resultados finais do 9º ano.	201
Anexo 15 - Estudo estatístico 9º ano.	202

1. Introdução.

É do conhecimento geral que os alunos do ensino básico e secundário, e não só, apresentam muitas dificuldades na compreensão das três Leis de Newton, com enfoque especial nas duas primeiras.

Em muitos países foram realizados estudos com alunos do ensino básico, secundário e universitário, até mesmo com professores estagiários para determinar as suas pré-concepções neste campo, (Boeha, 1990), (Brown, 1989), (Clement, 1982), (Finedolg e Gorsky, 1991), (Gamble, 1989), (Leboutet-Barrell, 1976), (McDermott, 1984), (Terry *et al.*, 1985), (Trumper e Gorsky, 1996), e outros. Na grande maioria destes estudos, chegou-se à conclusão que os intervenientes apresentam uma visão aristotélica da descrição do movimento. Como propunha Aristóteles, os alunos tendem a considerar, por exemplo, que para um corpo manter o movimento rectilíneo uniforme deve agir sobre ele uma força e que a força e a velocidade do corpo têm a mesma direcção. Ou então, que um objecto em movimento tem uma força interna dentro de si que é a causa do movimento que se vai dissipando ao longo do tempo, o que provoca a paragem do corpo. Estas interpretações dos alunos são um entrave à compreensão da primeira lei de Newton.

Por consequência, a segunda lei de Newton torna-se também difícil de compreender, pois os alunos acreditam que se há variação da velocidade de um corpo, esta é acompanhada pela variação da força resultante sobre o corpo.

O problema torna-se ainda mais relevante porque estas pré-concepções estão presentes na maior parte dos alunos, como se comprova pelos resultados obtidos em alguns trabalhos de investigação: Watts e Zylbersztajn, 1981, verificaram que 85 % dos alunos de 14 anos associam força a movimento; Sadanand e Kess, 1990, concluíram que 82 % dos alunos do ensino secundário indicam que uma força é necessária para manter o movimento; Clement, 1982, determinou que 75 % dos alunos universitários representa uma força na direcção do movimento, depois de terem um semestre de instrução em mecânica.

Após o diagnóstico às dificuldades dos alunos nesta área, foram realizados outros estudos para encontrar a melhor forma de ultrapassar estas dificuldades, cada uma delas aplicando uma técnica de ensino diferente, demonstrações na sala de aula, realização de experiências, utilização de computadores, textos refutativos, discussão na sala de aula,

entre outras, (Dekkers e Thijs, 1998), (Halloun, 1998), (Hynd *et al.*, 1994), (Moraes e Moraes, 2000), (Palmer e Flanagan, 1997), (Thijs, 1992). Todas estas diferentes técnicas apresentaram melhorias na aprendizagem.

Uma hipótese por vezes apontada para a não compreensão da primeira lei de Newton é a de os alunos não dominarem bem o conceito de “Força”. No entanto, num trabalho de investigação realizado por Dekkers e Thijs, 1998, chegou-se à conclusão que os alunos não têm dificuldades em marcar forças e interpretar situações em que os objectos colidem, são empurrados, torcidos ou puxados. Uma má interpretação ocorre apenas quando o aluno imagina uma força para justificar o movimento de um corpo.

Mas porque é que o aluno tem necessidade de inventar esta força?

Vejamos melhor esta situação e tentemos descobrir por que razão os alunos têm dificuldades em compreendê-la. Consideremos então, um corpo que se move com velocidade constante sobre uma superfície horizontal, ou seja, uma situação muito comum no nosso quotidiano: quando arrastamos um caixote, puxamos uma cadeira ou empurramos uma mesa. Normalmente, em todas essas situações, para que o corpo se desloque com velocidade constante aplicamos uma força com uma certa intensidade de modo a que esta seja igual à força de atrito existente. Fazendo agora um pequeno esforço mental, e se esquecermos que existe a força de atrito, verificamos que no corpo e na direcção do movimento, só existe uma força aplicada, a força exercida que puxa o corpo no sentido do movimento. De onde se conclui que para manter um corpo em movimento é necessário exercer uma força no sentido do movimento.

Ao pedir o esforço mental para esquecer a força de atrito, só estávamos a pedir que se pensasse como os alunos. São várias as observações de autores que indiciam este tipo de pensamento: Hynd *et al.*, 1994, “*a força de atrito e a da gravidade não são directamente observáveis*”, e podemos acrescentar, logo esquecidas; Watts e Zylbersztajn, 1981, “*os alunos (14 anos) têm dificuldades em imaginar uma força no sentido oposto ao movimento*”, normalmente é este o sentido da força de atrito; ou ainda Gilbert *et al.*, 1982, quando sintetizam as pré-concepções das forças em cinco categorias, sendo uma delas a seguinte: “... *uma crença de que o não observado, não existe.*” e realmente, julgamos que a força de atrito não é observada pelos alunos. Na nossa opinião, é isso que se passa. Os alunos esquecem-se que existe a força de atrito porque desde a sua existência viveram sobre o seu efeito e foram encontrando explicações para os fenómenos que os rodeiam sem necessitarem dela. É quase como a

pressão atmosférica, o nosso corpo está tão habituado a ela que quase nos esquecemos da sua existência.

Por outro lado, muitos alunos não consideram o atrito como uma força, mas sim como uma dificuldade. Exemplo disso é a seguinte resposta de um aluno do 9º ano, antes do ensino deste assunto, quando se lhe pede para descrever uma situação do quotidiano em que a força de atrito tenha uma acção prejudicial: *“Quando subimos uma montanha a força de atrito não facilita a nossa subida.”*. Além da confusão que surge entre a força de atrito e a força gravítica, é notória a identificação da força de atrito como uma dificuldade. O mesmo se pode verificar num comentário de Osborne e Gilbert, 1980, acerca da resposta de um aluno sobre o movimento de uma bicicleta: *“Um aluno afirma que o atrito influencia a bicicleta mas “(palavras do aluno) não existe força, o atrito não é uma força no significado da palavra.”*”. Ou ainda, Kruger *et al.*, 1992, num estudo realizado com professores do primeiro ciclo concluem que *“muitos professores não estão certos de que o atrito é uma força (apenas 37 % da amostra reconhece consistentemente o atrito como uma força).”*.

No fundo, os alunos não reconhecem a força de atrito ou o atrito como uma força, uma visão semelhante à de Aristóteles, como refere Stinner, 1994 *“Aristóteles olhava um mundo no qual existia sempre resistência ao movimento ... o movimento no vazio era impossível.”*. Ou seja, para Aristóteles o atrito era uma resistência, não uma força.

Sintetizando, baseando-se em observações do dia-a-dia, os alunos vão criando modelos que explicam os fenómenos do quotidiano sem recorrerem à força de atrito. Estas ideias são tão poderosas que se tornam um grande obstáculo à aprendizagem dos conceitos cientificamente correctos. Esta ideia é também partilhada por alguns autores, entre eles, Clemente, 1982.

Esta é pois, a nossa visão da dificuldade dos alunos na compreensão das duas primeiras leis de Newton. Assim, no nosso entender, para uma melhor aprendizagem das referidas leis é necessário primeiro que tudo, alcançar um perfeito entendimento das forças de atrito, da sua existência e da sua influência no movimento.

2. Objectivos gerais do trabalho.

Antes de referirmos os objectivos deste trabalho de investigação convém referir quais as razões que levaram ao seu aparecimento. Ele deveu-se principalmente a dois motivos. Primeiro, consideramos que para um melhor entendimento das leis de Newton é necessária uma perfeita compreensão das forças de atrito, como tentámos argumentar no ponto anterior. Em segundo lugar verificámos, após uma análise das publicações de divulgação e de investigação em ensino, uma ausência quase total de abordagem deste tema. No início do nosso trabalho, apenas encontrámos em artigos publicados pequenas partes relacionadas com a investigação em ensino do tema forças de atrito, os quais passamos a citar:

- estudo efectuado por Trumper e Gorsky, 1996, a alunos universitários israelitas do curso de professores de física, no qual concluíram que alguns alunos não reconhecem a força de atrito numa situação de repouso;

- Hestenes, *et al.*, 1992, realizaram um estudo com alunos do ensino secundário e universitário onde apenas uma pergunta das vinte e nove que compunham o inquérito está relacionada com as forças de atrito. A conclusão deste estudo indicava que os alunos, em geral, consideram que a força de atrito é oposta ao movimento;

- por último, Moreno e Moreno, 1989, referenciam no seu livro sobre pré-concepções dos alunos que estes consideram a intensidade da força de atrito cinética dependente do valor da velocidade do corpo.

Resumindo, muito pouca investigação se realizou nesta área. No entanto, mais tarde, depois de concluída a parte de investigação tivemos conhecimento da publicação de um livro (Caldas, 1999) sobre um estudo realizado acerca das pré-concepções de alunos relacionadas com o tema forças de atrito. E para nos sentirmos mais conformados com o fracasso da nossa pesquisa bibliográfica, transcrevemos uma passagem desse livro: *“Que seja do nosso conhecimento, não existem pesquisas na área de Ensino de Física especificadamente centradas ou dedicadas ao estudo do atrito sólido seco.”*

Relativamente aos objectivos do trabalho, não pretendemos determinar qual a influência do entendimento das forças de atrito na aprendizagem das leis de Newton (essa investigação pode vir a ser realizada mais tarde), mas sim, testar um método de ensino diferente do tradicional e verificar se este é mais benéfico na aprendizagem do tema forças de atrito. Julgamos que como as aulas no método de ensino tradicional são

puramente expositivas, o professor transmite e os alunos prestam atenção, estas provocam nos alunos uma certa desmotivação e algum insucesso na aprendizagem.

Este insucesso na aprendizagem levou a que cada professor se interessasse pelo assunto e apresentasse a sua perspectiva do que julga ser o melhor método de ensino. A nossa passa pela utilização de experiências em laboratório do tipo “prevê, realiza a experiência e observa os resultados, explica” juntamente com a utilização de textos de alteração conceptual dos alunos (textos refutativos) desenvolvida a dois níveis de escolaridade. Ao nível do 9º ano do ensino básico, os textos e os trabalhos propostos irão incidir sobre o entendimento geral do conceito da força de atrito e dos factores que poderão influenciar esta força. No 12º ano do ensino secundário será desenvolvido um estudo mais específico e quantitativo das características destas forças.

Este é o nosso *primeiro objectivo*, determinar se a aprendizagem por este método de ensino, utilização de experiências na sala de aula e leitura de textos refutativos, dá melhores resultados na aprendizagem do que o método de ensino tradicional. Para tal, vai utilizar-se uma metodologia de investigação experimental que consistirá na comparação dos resultados obtidos com uma amostra experimental, sujeita ao tratamento anteriormente descrito, e com uma amostra de controlo, através da aplicação de pré-testes e pós-testes.

Tem sido sugerido na literatura educacional que os alunos devem aprender mecânica quando ainda muito jovens porque, quando eles possuem uma idade já mais avançada têm menos vontade ou são menos capazes de mudar as suas ideias (Palmer e Flanagan, 1997). Dada esta constatação, o *segundo objectivo* deste trabalho de investigação é verificar em que nível de escolaridade este método de ensino é eventualmente mais vantajoso, se no 9º ano ou no 12º ano.

Um *terceiro objectivo* é a determinação das pré-concepções (concepções alternativas) sobre o atrito que existam nos alunos antes do ensino formal, quais as mais resistentes ao ensino e verificar se este método as erradica melhor do que o método de ensino tradicional.

3. Estrutura da dissertação.

Esta dissertação está dividida em seis capítulos, sendo o primeiro este que agora termina. No próximo capítulo será feita a fundamentação teórica das técnicas de ensino utilizadas nesta investigação, assim como um breve resumo da história do conhecimento sobre o atrito, das leis hoje aceites e da investigação que actualmente se faz para confirmar, ou não, essas mesmas leis. No terceiro capítulo, será feita uma descrição detalhada de toda a investigação, desde os preparativos, material, amostras, até à aplicação do pós-teste. Os resultados da investigação, a análise destes e o realçar das principais pré-concepções dos alunos serão feitos no quarto capítulo, para o estudo efectuado no 12º ano, e para o 9º ano no quinto capítulo. No sexto e último capítulo serão apresentadas algumas considerações finais sobre o estudo realizado e sugestões para futuras investigações.

Bibliografia e referências bibliográficas

- ARION, D. N., CROSBY, K.M. e MURPHY, E. A., (2000). Case-study experiments in the introductory physics curriculum. *The Physics Teacher*, 38, 373-6.
- ARONS, A. B., (1989). Developing the energy concepts in introductory physics. *The Physics Teacher*, 27, 506-17.
- BARATA, C. B. e FERNANDES, G., (1995). *Físico-Químicas 9*. Alfragide: Constância Editores.
- BAUER, D., (1994). Dry friction: from impending motion to motion. *Physics Education*, 29, 239-41.
- BELLO, A., PORTELA, C. e CALDEIRA, H., (1996). *Ritmos e Mudanças – Física 12º Ano*. Porto: Porto Editora.
- BOEHA, B. B., (1990). Aristotle, alive and well in Papua New Guinea science classrooms. *Physics Education*, 25, 280-3.
- BROWN, D. E., (1989). Students' concept of force: the importance of understanding Newton's third law. *Physics Education*, 24, 353-8.
- BHUSHAN, B., ISRAELACHVILI, J. N. e LANDMAN, U., (1995). Nanotribology: friction, wear and lubrication at the atomic scale. *Nature*, 374, 607-16.
- CALDAS, H., (1999). *Atrito: o que diz a Física, o que os alunos pensam e o que os livros explicam*. Vitória (Brasil): Editora da Universidade Federal do Espírito Santo.
- CARNERO, C., CARPENA, P. e AGUIAR, J., (1997). The rolling body paradox: an oscillatory motion approach. *European Journal of Physics*, 18, 409-16.
- CAVALEIRO, M. N. G. C. e BELEZA, M. D., (1997). *No mundo da Física – 9º Ano*. Porto: Edições ASA.
- CHAMBERS, S. K. e ANDRE, T., (1997). Gender, prior knowledge, interest, and experience in electricity and conceptual change text manipulations in learning about direct current. *Journal of Research in Science Teaching*, 34, 107-23.
- CHAPLIN, R. L. e MILLER, M. G., (1984). Coefficient of friction for a sphere. *American Journal of Physics*, 52, 1108-11.
- CLEMENT, J., (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50, 66-71.
- DEKKERS, P. J. J. M. e THIJS, G. D., (1998). Making productive use of students' initial conceptions in developing the concept of force. *Science Education*, 82, 31-51.

- DRIVER, R., (1989). Students' conceptions and the learning of science. *International Journal of Science Education*, 11, 481-90.
- FARIA, A. M. M., DOMINGUES, L., RIBEIRO, L. e RIBEIRO, M. I., (1997). *Física 9º ano*. Lisboa: Lisboa Editora.
- FERNANDES, M. B. e GRAÇA, O. C., (1997). *Física 9º Ano*. Amadora: Raiz Editora.
- FINEGOLD, M. e GORSKY, P., (1991). Students' concepts of force as applied to related physical systems: A search for consistency. *International Journal of Science Education*, 13, 97-113.
- GAMBLE, R., (1989). Force. *Physics Education*, 24, 79-82.
- GILBERT, J. K., WATTS, D. M. e OSBORNE, R. J., (1982). Students' conceptions of ideas in mechanics. *Physics Education*, 17, 62-6.
- HALLOUN, I., (1998). Schematic Concepts for schematic models of real word: the Newtonian concept of force. *Science Education*, 72, 239-263.
- HART, C., MULHALL, P., BERRY, A., LOUGHRAN, J. e GUNSTONE, R., (2000). Gender, prior knowledge, interest, and experience in electricity and conceptual change text manipulations in learning about direct current. *Journal of Research in Science Teaching*, 37, 655-75.
- HESTENES, D., WELLS, M. e SWACKHAMER, G., (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30, 141-58.
- HYND, C. R., MCWHORTER J. Y., PHARES, V. L. e SUTTLES, C. W., (1994). The rule of instructional variables in conceptual change in high school physics topics. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 933-46.
- KRIM, J., (1996). Friction at the atomic scale: *Scientific American*, 48-56.
- KRUGER, C., PALACIO, D. e SUMMERS M., (1992). Surveys of English primary teachers' conceptions of force, energy, and materials. *Science Education*, 76, 339-351.
- LEBOUTET-BARRELL, L., (1976). Concepts of mechanics among young people. *Physics Education*, 11, 462-6.
- LIMA, M. P. e VIEIRA, C. M. C., (1997). *Metodologia da investigação científica*. Coimbra: Universidade de Coimbra, Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação.
- MACIEL, N. e MIRANDA, A., (1997). *Eu e a Física – 9º Ano*. Porto: Porto Editora.
- MARTINS, A., (1995). *Física em temas – 9º Ano*. Porto: Porto Editora.

- McCLELLAND, J. A. G., (1991). Friction and related phenomena. *Physics Education*, 26, 234-7.
- McDERMOTT, L. C., (1984). Research on conceptual understanding in mechanics. *Physics Today*, 22, 24-32.
- MENDONÇA, L. S. e RAMALHO, M. D., (1997). *Física: no mundo em transformação - 9º Ano*. Lisboa: Texto Editora.
- MINSTRELL, J., (1982). Explaining the “at rest” condition of an object. *The Physics Teacher*, 20, 10-4.
- MORAES, A. M. e MORAES, I. J., (2000). A avaliação conceitual de força e movimento. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 22, 232-46.
- MORAES, A. M., SILVA, I. e SOUSA, L., (1997). *O meu livro de ciências físico-químicas - 9º Ano*. Amadora: Raiz Editora.
- MORENO, J. H. e MORENO, A. M. (1989). *La ciencia de los alumnos, su utilización en la didáctica de la física y química*. Barcelona: MEC y Editorial Laia.
- OSBORNE, R. J. e GILBERT, J. K., (1980). A technique for exploring students' views of the word. *Physics Education*, 15, 376-9.
- PALMER, D. H. e FLANAGAN, R. B., (1997). Readiness to change the conception that “Motion-Implies-Force”: a comparison of 12-Year-Old and 16-Year-Old students. *Science Education*, 81, 317-331.
- PEREIRA, A., SOUTO, A. e GONÇALVES, C., (1997). *Eu gosto de Física - 9º Ano*. Lisboa: Texto Editora.
- PINTO, R. P., (1997). *Nova Física - 9º Ano*. Porto: Areal Editores.
- RODRIGUES, M. M. R. D. e DIAS, F. M. L., (1997). *Física na nossa vida - 9º Ano*. Porto: Porto Editora.
- ROXO, M. J. e MASSA, M. M., (1998). *Física - 12º Ano*. Porto: Porto Editora.
- SÁ, M. T. F. M., (1996). *Física - 12º Ano*. Lisboa: Texto Editora.
- SADANAND, N. e KESS, J., (1990). Concepts in force and motion. *The Physics Teacher*, 28, 530-3.
- SALAZAR, A., SÁNCHEZ-LAVEGA, A. e ARRIANDIAGA, M. A., (1990). Is the frictional force always opposed to the motion?. *Physics Education*, 25, 82-5.
- SHERWOOD, B. A. e BERNARD, W. H., (1984). Work and heat transfer in the presence of sliding friction. *American Journal of Physics*, 52 1001-7.
- SILVA, D. M., (1997). *Física 12º ano*. Lisboa: Lisboa editora.

- STINNER, A., (1994). The story of force: from Aristotle to Einstein. *Physics Education*, 29, 77-85.
- SÜTT, D., (1994). Elementary discussion of an optimisation problem concerning friction. *Physics Education*, 29, 249-52.
- TERRY, C., JONES, G. e HURFORD, W., (1985). Children's conceptual understanding of forces and equilibrium. *Physics Education*, 20, 162-5.
- THAIR, M. e TREAGUST, D. F., (1999). Teacher training reforms in Indonesian secondary science: the importance of practical work in physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 357-71.
- THIJS, G. D., (1992). Evaluation of an introductory course on "Force" considering students'preconceptions. *Science Education*, 76, 155-74.
- TOVAR, L., (1969) *Mecânica dos corpos rígidos*, AEIST - secção de folhas, 69/70, 191-241.
- TRUMPER, R. e GORSKY, P., (1996). A cross-college age study about physics students'conceptions of force in pre-service training for high school teachers. *Physics Education*, 31, 227-36.
- TSAL, C. C., (1999). "Laboratory exercises help me memorize the scientific truths": a study of eighth graders'scientific epistemological views and learning in laboratory activities. *Science Education*, 83, 654-74.
- VIEGAS, C., (1994). *Física 9*. Lisboa: Editorial O Livro.
- WATTTS, D. M. e ZYLBERSZTAJN, A., (1981). A survey of some children's ideas about force. *Physics Education*, 16, 360-5.
- WITTERS, J. e DUYMELINCK, D., (1986). Rolling and sliding resistive forces on balls moving on a flat surface. *American Journal of Physics*. 54, 80-3.