

**Departamento de Física  
Faculdade de Ciências e Tecnologia  
Universidade de Coimbra**



**“Electricidade no Ensino Secundário”**

**Dissertação apresentada para  
prova de Monografia**

**Frederico Nuno Tavares**

**Coimbra**

**Julho 1999**

*“A monografia será uma dissertação original sobre tema importante dentro do assunto da licenciatura, tendo por objectivo desenvolver no aluno o poder de análise crítica e a capacidade de síntese do conhecimento científico.”*

Recomendações do Conselho Científico da Faculdade  
de Ciências e Tecnologia da Univ. Coimbra / 1995

**AGRADECIMENTOS**

Quero expressar um agradecimento muito especial a todos os que participaram neste trabalho e que o tornaram possível.

Em primeiro lugar, à Doutora Maria José B. M. Almeida pela sua preciosa contribuição na orientação deste trabalho e nos esclarecimentos prestados e por contribuir para a minha formação como futuro professor.

Aos colegas de Monografia pela troca de ideias, comentários e dúvidas contribuíram para uma significativa clarificação de questões.

À Dra. Paula Varela pelo seu contributo na realização desta Monografia e ainda a todos os que contribuíram para que a mesma fosse possível e realizável.

**ÍNDICE**

Recomendações da F.C.T.U.C. sobre a Monografia .....	2
Agradecimentos .....	3
Índice .....	4
Introdução .....	5
A - Análise dos planos curriculares .....	7
I.    Ensino Básico (8º e 9º Ano) .....	7
II.   Ensino Secundário (10º Ano) .....	9
B – Análise do livro de texto “Ritmos e Mudanças” .....	10
C – Análise dos artigos de investigação da “ <i>American Journal of Physics</i> ”	
Parte I: Investigação da compreensão dos estudantes .....	16
Identificação das dificuldades .....	16
Parte II: Definição de estratégias de ensino .....	23
Aplicação dos resultados de investigação para desenvolver um	
curriculum de base laboratorial .....	23
Aplicação do curriculum de base laboratorial nas aulas normais	
da disciplina .....	31
Efectividade da aproximação instrucional .....	32
D – Contextualização dos artigos e das dificuldades dos alunos no sistema de ensino	
português .....	35
Conclusões .....	38
Nota histórica sobre a electricidade .....	40
Bibliografia .....	41

## **INTRODUÇÃO**

O presente trabalho insere-se na prova de dissertação da cadeira “Monografia” e tem como tema a “Electricidade no Ensino Secundário”, inserindo-se assim no campo da ciência exacta que é a Física, na sua vertente educacional.

Na primeira fase, o trabalho tem como objectivos:

- Análise e discussão dos planos curriculares e conteúdos programáticos apresentados pelo Ministério da Educação para o 8º e 10º ano de escolaridade para o tema em questão, quer sob o ponto de vista científico, quer sob o ponto de vista pedagógico;
- Análise e discussão de um livro de texto do ensino secundário que aborde o tema “Electricidade” e sua relação com o programa curricular atrás referido sob o ponto de vista científico, pedagógico e didáctico.

Na segunda parte, o trabalho tem objectivos tais como:

- Análise e discussão dos artigos “Research as a guide for curriculum development: An example form introductory electricity: Part I - Investigation of Student Understanding” e “Part II - Design of Instructional Strategies”, de McDermott, Lillian e Shaffer, Peter S., Nov. 1992, American Journal of Physics, Nº60, págs. 994-1013;
- Contextualizar os artigos analisados no panorama do ensino português, em concordância com os factos analisados e os resultados obtidos nestes artigos e na primeira parte do trabalho de monografia, fazendo a ligação entre o que foi retirado dos artigos e o panorama do ensino das Ciências Físico-Químicas em Portugal

Com este trabalho espera-se obter uma melhor noção do que é o ensino das ciências físico-químicas, os seus conteúdos e objectivos, o que é ser professor e também as dificuldades que se nos podem deparar. Além disto, espera-se obter um maior esclarecimento sobre o que é um livro de texto dirigido para o ensino da Física, quais os conteúdos a abordar, em que contexto é que os mesmos se inserem na sociedade actual, quais os recursos disponíveis para os alunos e como é abordado o tema “Electricidade” no ensino actual.

Pretende-se ainda que este trabalho possa dar um contributo esclarecedor sobre o que são os programas curriculares apresentados pelo Ministério da Educação e de que modo esses mesmos programas se relacionam com as preferências dos alunos e de que modo o aluno encara a ciência, perspectivando assim o que é ser professor, o que é o ensino, como abordar um dado tema, quais as noções a transmitir aos alunos e fazer a respectiva interligação entre programa curricular/livro de texto/aluno.

Além disso, com a análise dos artigos atrás referidos e na posse de um certo conhecimento sobre os programas e livros de texto para o ensino, pretende-se identificar quais as dificuldades mais veementes dos alunos e como as esclarecer.

Espera-se assim na 2ª parte deste trabalho, recolher informações sobre as dificuldades dos alunos e qual o(s) melhor(es) método(s) para as resolver, esperando ficar com a noção do que é necessário ser alterado ou refinado e como trabalhar em conjunto com os alunos no sentido de colmatar as suas falhas. Além disso, pretende-se perspectivar de que modo os alunos apreendem os conceitos físicos referentes à electricidade e de que modo os assimilam, como os aplicam na resolução de problemas e na resposta a questões qualitativas e quantitativas. Pretende-se também apresentar, com base nas dificuldades detectadas pelos autores dos artigos analisados, sugestões e medidas que ajudem a resolver as suas dificuldades e a interpretar e assimilar de forma correcta os conceitos físicos que estão na base da explicação dos fenómenos eléctricos.

Assim, esta área temática é deveras importante uma vez que há cada vez mais a dependência do uso de aparelhos eléctricos, sejam eles industriais ou domésticos. A electricidade está cada vez mais presente no quotidiano da sociedade e a escola deverá ser o elo de ligação das ciências ao mundo que nos rodeia, tendo como ponto de partida a explicação do mesmo.

A ciência, em particular a Física, constitui nos dias de hoje uma peça fundamental não só para a construção e progresso do mundo, mas também para a sua explicação.

## **A: ANÁLISE DOS PLANOS CURRICULARES**

Após leitura dos programas propostos quer ao nível do ensino básico, quer ao nível do ensino secundário, verificou-se que o tema proposto como base para realizar o presente trabalho é já introduzido ao nível do 8º ano. Além disso, o tema “Electricidade” não aparece “isolado”, uma vez que existem relações importantes deste tema com outros temas, tais como o som, as transferências de energia, entre outros.

Achou-se então conveniente proceder também à análise científico-pedagógica do mesmo e não focar apenas o ensino secundário, uma vez que aquando da sua chegada a este nível de ensino, o aluno já possui certos conhecimentos sobre este tema.

### **I. Ensino Básico (8º e 9º anos)**

Nesta etapa do ensino que se divide em 2 anos lectivos (8º e 9º anos), o tema “Electricidade” é abordado diversas vezes, embora de perspectivas diversas.

Da leitura dos programas fica a ideia de que é necessário que o aluno adquira uma vasta gama de conceitos ao nível da produção, distribuição e utilização da electricidade, uma vez que esses mesmos conceitos serão utilizados mais tarde e com diferentes abordagens.

O programa apresentado pelo Ministério da Educação (M.E.) que se encontra actualmente em vigor tem, ao nível do 8º ano, precisamente o tema “produção, distribuição e utilização da electricidade”.

O mesmo começa por recomendar o tratamento de uma série de questões relacionadas com as regras de segurança a adoptar e que, se bem compreendidas pelo aluno, se traduzirão numa mais valia futura para a sua segurança e para os demais.

Esta parte do ensino das regras básicas de segurança a ter com a electricidade é fundamental para evitar os inúmeros acidentes que ocorrem, muitas vezes devidos à falta de esclarecimento e informação das pessoas.

A representação esquemática e a montagem de circuitos simples deve ser precedida do ensino dos símbolos internacionais de componentes de circuitos eléctricos, uma vez que para planear e esquematizar circuitos é necessário saber o que corresponde a quê. O programa atende a este preceito e sugere algumas actividades interessantes.

O programa refere ainda que se deve ter como objectivo “relacionar a diferença de potencial (d.d.p.) total de uma associação em série de geradores com a d.d.p. nos terminais de cada elemento em termos energéticos”. É necessário esclarecer o aluno nesta altura, dizendo-lhe que a diferença de potencial eléctrico mede a energia transportada por unidade de carga mas é necessário ter algum cuidado ao falar na energia, uma vez que não deverá ser dado demasiado ênfase à definição ou formas de energia mas sobretudo às transferências de energia e suas implicações. Isto porque o aluno certamente já possui alguma experiência e até algum conhecimento empírico (correcto ou talvez não) sobre aquilo que para ele é a energia e já ouviu, por exemplo, dizer que “o petróleo é uma energia muito procurada” ou que “um corpo a 30º C aquece um corpo a 10º C porque tem mais energia que este” ou ainda que “a energia no Universo é constante”, relacionando por vezes o conceito de energia a algo que tem a ver com força, substância combustível, entre outros.

Assim, a discussão da d.d.p. em termos energéticos deve revestir-se de especial cuidado, de modo a que o aluno não adquira noções erradas por vezes até transmitidas pelo professor até porque em geral o aluno tem como presente o conceito de energia sob a forma de calor (“estou cheio de calor”) ou sob a forma de energia cinética ou potencial (“aquela pedra lá no alto tem muita energia potencial”).

Apesar de no 8º ano a análise e o tratamento dos conceitos que o aluno deva saber ser feita sobretudo ao nível qualitativo, a aplicabilidade da lei de Ohm deve Ter uma explicação particular e cuidada, uma vez que nela se engloba a noção de resistência de um condutor eléctrico. A “medição da resistência de um condutor filiforme a partir da diferença de potencial aos seus terminais e da intensidade de corrente que o percorre” não deveria ser objecto de estudo opcional, uma vez que a resistência é um factor importante para a aplicabilidade ou não da lei de Ohm..

Assim, como

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

logo

$$V = R \times I = \rho \frac{l}{S} \times I$$

Existindo então uma relação linear entre a resistividade ( $\rho$ ) de um material e a temperatura a que ele se encontra (a resistência aumenta com o aumento da temperatura e diminui se a temperatura diminui para um dado condutor, não se aplicando este raciocínio aos semicondutores), a resistência de um fio metálico condutor só é uma característica do material se o material se mantiver sempre à mesma temperatura.

Existe pois uma proporcionalidade directa entre  $V$  e  $I$  para um condutor óhmico, dada por  $R$ , mas a qual depende da temperatura verificando-se na prática que, até um dado valor de  $I$  a variação de  $V$  com  $I$  é linear mas, a partir de um dado valor de  $I$ , deixa de o ser. Esta discordância deriva do facto de  $R$  deixar de ser uma constante para o fio condutor considerado devido ao efeito térmico da passagem de corrente eléctrica, pelo que a aplicabilidade da lei de Ohm deverá ser referida dentro de considerações especiais.

Assim, a análise qualitativa de gráficos é uma opção provavelmente esclarecedora da lei de Ohm mas é necessário explicar que certos componentes de circuitos (como, por exemplo, uma vulgar lâmpada) já não obedecem à lei de Ohm.

A noção de “potência”, relacionada com a d.d.p. aos terminais de um aparelho eléctrico e a intensidade de corrente que o atravessa, com vista ao cálculo dos consumos de electricidade do mesmo poderá ser utilizada para fazer uma ligação entre a ciência e a sociedade, utilizando como base para estes cálculos uma vulgar factura de electricidade, de forma a que o aluno possa aplicar os conceitos que está a aprender, não encarando a física como algo que nada tem a ver com o mundo que o rodeia.

A electricidade aparece ainda referida no 8º ano na área temática C: “O som e a audição” (em especial na “sugestão de actividades”), com a finalidade de demonstrar aos alunos um dado efeito, conseguido com a ajuda de componentes eléctricos e electrónicos (motores, microfones, altifalantes, etc), embora não tenha um carácter relevante para o assunto aqui abordado.

Este tema é novamente abordado no 9º ano, na área temática E: “Produção e consumo de energia”, fazendo a revisão de conceitos tais como fonte e receptor de energia, transferência de energia, relação Joule/quilowatt-hora bem como o uso da expressão  $E=Pt$ .

A área temática H do 9º ano - “Controlar e regular” – não se encontra focada neste estudo uma vez que a mesma não se insere no âmbito sobretudo no tema “Electricidade”, mas mais no campo da electrónica e dos sistemas digitais.

O programa curricular referente ao 8º ano de escolaridade está, segundo o meu ponto de vista, bem enquadrado para o nível de capacidades que os alunos possuem e de acordo com o seu enquadramento intelectual ao nível das ciências físicas, químicas e matemáticas, permitindo aos mesmos construir o seu próprio conhecimento na área da electricidade de uma forma útil e motivadora.

Acho que é possível seguir as orientações do programa em tempo útil, sem prejuízo de outras matérias havendo, no entanto, ao nível do 10º ano uma perspectiva programática diferente da do 8º ano de escolaridade uma vez que, neste caso, o próprio programa indica aquele que, em princípio, quantas aulas se deverão dedicar ao ensino do tema da electricidade que são dezoito.

Contudo, verifica-se que na prática este número poderá ser insuficiente, quer devido à programação da própria escola, quer devido a outros factores tais como a má preparação anterior dos alunos, entre outros.

## **II. Ensino Secundário (10º ano)**

O programa curricular apresentado para o 10º ano para a parte de electricidade, propõe cerca de 18 aulas, debruçando-se sobretudo com a transferência e conversão de energia num circuito eléctrico percorrido por uma corrente em regime estacionário, como plataforma para a explicação do tema genérico “electricidade”.

Segundo a leitura feita do programa e recolha de opiniões junto de professores que actualmente leccionam a disciplina de Físico-Química em diversos estabelecimentos de ensino, concluiu-se que é possível leccionar esta unidade sem prejuízo de outras matérias, sendo até o tema da electricidade aquele que os alunos mais gostam e que mais os entusiasma ao nível da disciplina de Física do 10º ano e aquele que melhor compreendem.

A linha de orientação sugerida pelo programa está bem enquadrada com as capacidades cognitivas dos alunos para este nível e estabelece uma relação adequada entre os conhecimentos já adquiridos e os que posteriormente irão adquirir e do ponto de vista científico-pedagógico encontra-se bem estruturado.

Apenas a salientar que existem conteúdos facultativos (caso das leis de Kirchoff) que, segundo a minha opinião, não o deveriam ser pois são conteúdos importantes para a explicação e compreensão de certos fenómenos físicos, bem como para a análise e interpretação de outros.

Estes são alguns das ideias principais retiradas da análise do programa curricular. No entanto, por uma questão de facilidade de compreensão, achou-se mais apropriado fazer a análise do programa em conjugação com a análise do livro de texto. Assim, não será apresentada apenas a análise do livro de texto mas ir-se-á fazendo as respectivas referências ao mesmo ao programa curricular e de que modo estes se interrelacionam.

## **B: ANÁLISE DO LIVRO DE TEXTO “RITMOS E MUDANÇAS”**

O livro de texto escolhido para ser “analisado” e comentado neste trabalho foi o livro “Ritmos e Mudanças” (Adelaide Bello *et al*, 1994, 212-271, Porto Editora) dirigido ao 10º ano de escolaridade.

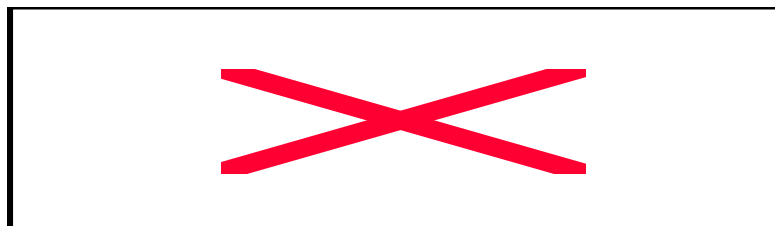
O livro não segue integralmente a ordem de assuntos proposta pelo programa. Um destes exemplos é o tratamento dado ao sub-tema “intensidade de corrente”. Aqui, talvez tivesse sido mais adequado ter seguido a sugestão do programa e abordar alguma questões tais como: “O que é a electricidade?”, “O que é a corrente eléctrica?” e até mesmo fazer a distinção entre corrente contínua e corrente alternada antes de começar por abordar o significado de intensidade de corrente.

Este método parece-me mais adequado, na medida em que contribuirá não só para uma melhor compreensão do tema a tratar mas também para, como refere o programa, “dar uma continuidade aos estudos anteriores” ( ver Programa Curricular, “*Introdução*”, 10º ano, pág.3) e fazer a revisão até de conceitos algo “esquecidos” e que já terão sido tratados no 8º ano, com vista a aprofundar os conhecimentos já adquiridos pelos alunos.

O sentido da corrente eléctrica é abordado de um modo bastante sintético e talvez fosse bom ter feito a distinção entre o que é o sentido real e o que é o sentido convencional da corrente, bem como deveria ter sido explicado o que é a corrente eléctrica (movimento orientado de cargas positivas e/ou negativas) e que, ainda que não haja uma corrente eléctrica a atravessar o condutor, os portadores de carga estão em movimento. O programa não pressupõe que se faça esta distinção mas dever-se-á ter em conta também que o aluno poderá precisar destes conceitos para o estudo a desenvolver na química. Figuras como as que a seguir se apresentam seriam, do meu ponto de vista, bastante interessantes para o aluno compreender este conceito, tornando até o livro mais pedagógico e didáctico.

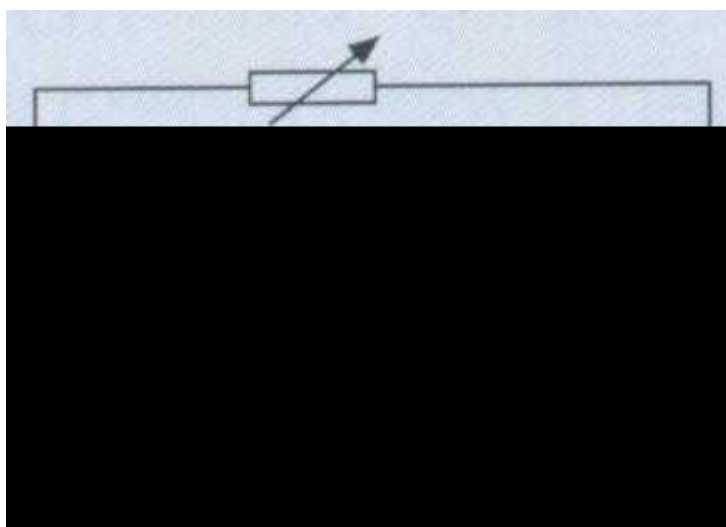


**Figura 1** – Esquema sobre o sentido convencional e real da corrente



**Figura 2** – Esquema sobre o movimento de electrões num fio condutor (a cinzento)

A sugestão metodológica do programa de realizar uma experiência para explicar a “migração de iões e investigar a ordem de grandeza da velocidade de arrastamento de iões” foi seguida e, por este facto, aparece sob a forma de actividade no livro de texto (ver pág. 218 do livro de texto) como esquematizada na figura:



**Figura 3**– Esquema da experiência para o estudo da migração de iões

. A actividade sugerida é interessante do ponto de vista pedagógico, pois permite “ver” o movimento dos iões permanganato e obriga ainda o aluno a pensar sobre o que acontecerá. Porém, a utilização de permanganato de potássio apenas permitirá ao aluno verificar que a cor violeta se intensifica numa direcção, o que o poderá levar a pensar : “Então, mas não haviam iões positivos e negativos? Então, por que se vê apenas uma cor?”

Era de toda a conveniência ter referido que um dos iões em solução é incolor. Sugere-se então que, em vez da utilização de cristais de nitrato de potássio, os mesmos sejam substituídos por cristais de dicromato de cobre ( $\text{CuCr}_2\text{O}_7$ ) e que a solução aquosa de nitrato de potássio seja substituída por água. Verifica-se na prática que os cristais de dicromato de cobre, embora de cor laranja, vão ser dissociados em iões  $\text{Cu}^{2+}$  e em  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  e os iões cobre migram no sentido do pólo negativo, intensificando a cor laranja e os iões dicromato deslocam-se no sentido do pólo positivo, intensificando a cor azul.

Com esta experiência, o aluno já interpretaria por si o que é que se passa nos condutores electrolíticos (soluções aquosas condutoras de corrente eléctrica) e a mesma serviria até para comprovar o que o aluno estudou teoricamente.

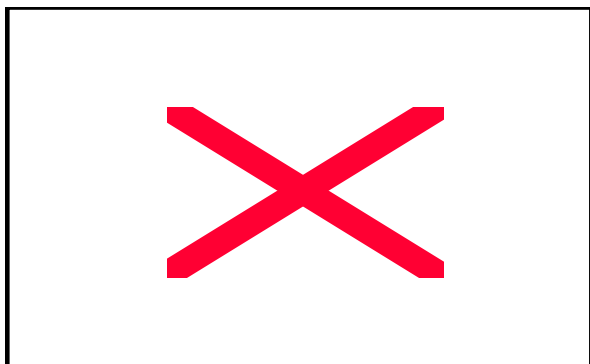
Esta experiência vem no seguimento de um outro assunto que é a velocidade de transferência de energia num circuito. Este assunto, porém, deveria ter sido tratado após ter sido ensinado aos alunos os mecanismos de condução eléctrica nos condutores metálicos, líquidos e gasosos. A meu ver, estes mecanismos são um bom ponto de partida para explicar posteriormente a migração de iões e a que velocidade esta se processa, uma vez que o aluno nesta altura já percebeu que existe algo que se move: os portadores de carga, que no caso de metais são os electrões e no caso de um electrólito são os iões (positivos e negativos). Aqui, mais uma vez, seria preferível fazer o encadeamento de assuntos recomendados no programa para um melhor esclarecimento dos alunos porque, aquando da realização da experiência atrás referida, o aluno já interpretaria por si o que é que se passa nos condutores electrolíticos (soluções aquosas condutoras de corrente eléctrica) e como medir a velocidade de migração dos iões permanganato (ou dicromato), por exemplo.

A actividade “Traçado de curvas características de condutores óhmicos e não óhmicos”, proposta na pág. 222 do livro de texto para explicar a relação entre a intensidade de corrente e o potencial é uma forma inteligente de introduzir a lei de Ohm e os seus limites de aplicabilidade. No entanto, a lei de Ohm deveria ser tratada também sob a forma de gráficos referentes a condutores não-óhmicos referindo, por exemplo, experiências como a descrita no livro de texto mas para o caso de um díodo (condutor não-óhmico)..até como seguimento da análise de gráficos efectuada no 8º ano neste mesmo tema. Contudo, a actividade revela-se pedagógica e cientificamente adequada, uma vez que pede ao aluno (entre outras coisas) que tire as suas próprias conclusões e é precisamente com este tipo de confronto que o aluno aprende, como refere o próprio programa, ou seja, ao realizar a actividade no laboratório, o aluno ver-se-á confrontado com situações onde terá de pensar na resposta ao problema, permitindo-lhe assim reformular opiniões e ideias (por vezes erradas!) sobre o assunto tratado, assimilando melhor estes novos conceitos que até talvez já soubesse (ou pensasse que soubesse), ministrados nas aulas teóricas. A actividade enquadra-se também dentro de outros objectivos propostos para este grau de ensino, como sejam: a verificação de uma dada relação, a realização de uma experiência, a observação e estudo de um dado fenómeno ou lei física, o desenvolvimento da atitude crítica, a habilidade manual e a capacidade de aprender por si ou participar da aprendizagem em grupo.

A aplicabilidade da lei de Ohm é, também de acordo com o programa, amplamente referida no livro de texto e de salientar ainda a referência a assuntos que aparecem no programa como “facultativos”, como sejam o fenómeno da supercondutividade e ainda o tratamento dos princípios de funcionamento de certos componentes eléctricos como sejam o potenciómetro e os instrumentos de medida em corrente contínua que constituem uma contribuição importante para a cultura científica do aluno.

A explicação sobre aparelhos de medida apresentada no livro é importante uma vez que, além de explicar ao aluno como funcionam esses aparelhos de medida (amperímetro, voltímetro e galvanómetro), aumentará inclusivé as condições de segurança do aluno quando realizar uma experiência e é uma oportunidade de abordar do ponto de vista teórico aparelhos que o aluno até já poderá ter utilizado na prática. No entanto, além da explicação dada na pág. 237 do livro sobre como ligar o voltímetro num circuito – “para medir a d.d.p. entre os terminais de uma resistência, o voltímetro é ligado em paralelo com a resistência” – seria também útil incluir uma explicação sobre como deve ser efectuada a ligação de um amperímetro num circuito eléctrico simples.

Sugere-se então que neste caso, se possível, se incluam figuras sobre estas mesmas ligações, como forma de ilustração e que poderiam ser do tipo daquelas que se apresentam:



**Figura 4** – Esquema de ligação de um voltímetro    **Figura 5** – Esquema de ligação de um amperímetro

Este tipo de ilustrações é sugestiva e bastante explicativa e torna o livro mais didático, ajudando o aluno a visualizar os diferentes tipos de ligação (em série ou em paralelo).

A explicação do fenómeno vulgarmente conhecido como “efeito Joule”, descrito na pág. 240 é abordado de uma forma sintética e concisa, estabelecendo relações energia dissipada e resistência para um dado condutor, provando-se que nestes casos há uma proporcionalidade directa entre ambos. Em relação à intensidade de corrente, esta é quadraticamente proporcional à energia dissipada.

Nas páginas 267 e 268 são fornecidos exercícios sobre este tema (“Efeito Joule”) que permitirão ao aluno encadear os conhecimentos adquiridos e melhor os assimilar, indo assim ao encontro da proposta obrigatória referida no programa sobre o efeito Joule: “resolver problemas que envolvam a lei de Joule” (ver pág.28, Programa Curricular, “*Sugestões Metodológicas*”).

As sugestões metodológicas obrigatórias como sejam “determinar o valor da resistência interna e o valor da f.e.m. de uma pilha eléctrica a partir da sua característica” bem como “traçar a característica de um receptor (voltímetro) e determinar o factor da sua f.e.m.” (ver pág. 28, Programa Curricular) são contempladas no livro de texto sob a forma de actividades experimentais, referidas nas páginas 246 e 250, respectivamente.

Os valores indicados para os diversos componentes necessários à realização destas experiências parecem-me aceitáveis para os efeitos que se pretendem obter.

A sugestão **obrigatória** de “Determinar a resistência de um condutor com um potenciómetro” é referida no livro de texto sob a forma do estudo da variação da resistência de um condutor com a temperatura (ver pág.224, “Determinação experimental da variação da resistividade eléctrica do cobre com a temperatura”), fazendo a relação da variação da resistência do condutor com a diferença de potencial aplicada.

As leis de Kirchoff, que embora sejam de carácter facultativo, são enunciadas e explicadas, como o são os conceitos de rede, ramo, nó e malha de um circuito eléctrico, o que constitui um factor positivo para que o aluno possa investigar e analisar circuitos eléctricos simples. Poderá ainda exercitar os seus conhecimentos teóricos desta matéria através da resolução dos exercícios referidos na pág. 271, “Leis de Kirchoff. Redes eléctricas”.

As experiências apresentadas ao longo do livro como actividades são bastante sugestivas e até muito didácticas e permitirão ao aluno compreender melhor as aplicações práticas dos assuntos estudados. Mas aqui é necessário atribuir culpas ao programa curricular apresentado pelo Ministério da Educação uma vez que, devido ao número de aulas que estão destinadas ao tratamento do assunto “Electricidade” (18), não será possível efectua-las na prática. Apesar de haver as chamadas “T.L.F. – Técnicas Laboratoriais de Física”, o que acontece na maioria dos casos é o total desfasamento entre o que o aluno aprendeu na aula teórica e o que vai realizar na aula de T.L.F., até porque na maioria dos casos os professores são diferentes e não há a devida coordenação.

Este tipo de aulas é, segundo o meu ponto de vista, pouco rentabilizado no sistema de ensino português pois na prática verifica-se, por exemplo, alunos de 12º ano a realizarem experiências ao nível do 8º ano uma vez que, sendo uma cadeira opcional com relativa atractividade, os alunos a escolhem mas depois a maior parte não possui, ao nível do ano em que se encontra (12º ano), as bases necessárias para realizarem experiências desse nível, sejam elas de mecânica, electricidade ou outro tema de Física. Além disso, como as actividades são propostas não pelo Ministério da Educação mas sim pelos professores ao nível das escolas assiste-se, de escola para escola, a diferentes conteúdos e objectivos a cumprir. O que se sugere para colmatar este tipo de falhas seria adoptar várias medidas tais como:

- Enquadramento das aulas de T.L.F. ao nível das aulas convencionais estabelecidas no programa curricular;
- Objectivos e sugestões de actividades feitas não ao nível da escola mas indicadas pelo Ministério da Educação, com vista a “normalizar” os programas curriculares para este tipo de aulas nos diferentes anos de ensino;
- Ser o mesmo professor a leccionar as aulas teóricas convencionais e as aulas laboratoriais;
- Introduzir aulas pré e pós-laboratoriais como forma de introduzir o aluno nas actividades a realizar, mas também na discussão dos resultados obtidos (medida que, como referido na pág. 32 e 33 – “Efectividade da aproximação instrucional” se revela muito mais contributiva para a aprendizagem dos conceitos físicos), sendo que estas aulas poderiam funcionar nas próprias aulas de T.L.F.;

De referir ainda um outro aspecto positivo do livro que é a referência ao contexto histórico em que as descobertas da Física, relacionadas com o assunto tratado, tiveram lugar. O livro faz ainda a ligação ao quotidiano do aluno através das “Aplicações” (pág. 260 – 263) com exemplos do dia-a-dia, como sejam as centrais eléctricas, os aquecedores domésticos, as tarifas cobradas pela E.D.P., entre outros, o que permitirá ao aluno perceber onde é que a Física e em particular a electricidade, se insere na vida das pessoas e da sociedade.

Um exemplo interessante é apresentado na pág. 233 do livro – “Ligação à Terra” e exemplos deste tipo deveriam ser incluídos em maior número como forma de fazer a ligação ciência/tecnologia/sociedade. O aluno perceberia assim qual a aplicação prática daquilo que estuda e como a ciência e a tecnologia “resolvem” problemas do dia-a-dia e não se limita a pura investigação.

No final do tema tratado são ainda apresentados no livro de texto alguns exercícios teórico-práticos que permitirão ao aluno avaliar as suas capacidades para realizar os mesmos, logo o seu grau de conhecimentos em relação a este tema, .os quais não merecem nenhum reparo especial, uma vez que estão bem enquadrados no assunto abordado.

Nas pág. 272 –275 são feitas referências a outros assuntos de interesse facultativo, as quais poderão despertar no aluno a curiosidade para o estudo da Física e das ciências.

São ainda apresentadas nas pág. 277-283 tabelas relacionadas com o tema electricidade, algumas das quais o aluno poderá necessitar nas aulas práticas ou T.L.F. e as quais poderá ter já usado, nomeadamente no 9º ano, em experiências do tema H: “Controlar e regular”. Todas as tabelas que o livro apresenta são referidas de um modo claro, facilmente perceptível ao aluno e que lhe permite tomar conhecimento dos mais diversos símbolos e convenções internacionais utilizadas para designar os componentes eléctricos e electrónicos permitindo-lhe também, através da visualização de um circuito, compreender o significado dos símbolos aí representados, os quais o programa curricular sugere que sejam explicados ao aluno.

**C: ANÁLISE DOS ARTIGOS “RESEARCH AS A GUIDE FOR CURRICULUM DEVELOPMENT: AN EXAMPLE FROM INTRODUCTORY ELECTRICITY. PART I: INVESTIGATION OF STUDENT UNDERSTANDING” E “PART II: DESIGN OF INSTRUCTIONAL STRATEGIES” DE LILLIAN McDERMOTT AND PETER S. SHAFFER, AMERICAN JOURNAL OF PHYSICS, NOV. 1992**

Estes dois artigos de investigação propostos têm como finalidade perceber quais as dificuldades dos alunos em relação a circuitos eléctricos e como resolvê-las. A análise foi assim dividida em duas partes, uma por cada artigo, uma vez que cada artigo possui objectivos diferentes que levam a conclusões diferentes, sendo que os conceitos físicos subjacentes vão sendo introduzidos, à medida que é feita essa análise.

**I. “Part I: Investigation of student understanding”**

O artigo divide-se em 4 partes distintas, como sejam a introdução (ver pág. 994), os métodos de investigação usados (ver pág. 995), a identificação das dificuldades dos estudantes (que se divide por sua vez em vários sub-capítulos) (ver págs. 995-1002) e as conclusões (ver pág. 1002).

O principal objectivo desta investigação foi saber qual o grau de compreensão dos alunos em relação a circuitos eléctricos simples, compostos apenas por baterias ideais e elementos resistivos. Para tal foram utilizados vários métodos de investigação, que variam da simples entrevista individual até à análise das respostas dadas pelos alunos durante as aulas, sendo as mesmas gravadas e posteriormente analisadas pela equipa de investigação, com vista a identificar e caracterizar quais as dificuldades que os alunos têm.

Como a investigação é feita também ao nível da sala de aula, foi possível perceber o progresso dos alunos antes, durante e depois da explicação de um dado conceito, aumentando-se o grau de complexidade dos circuitos ao longo das investigações.

☞ **IDENTIFICAÇÃO DAS DIFICULDADES**

Algumas das dificuldades que os alunos têm vão desaparecendo ao longo das aulas mas, por outro lado, existem certas dúvidas que persistem e interferem com a aprendizagem de conceitos posteriores mais complexos. As dificuldades encontradas puderam então ser agrupadas em 3 categorias:

- A) Incapacidade para aplicar conceitos formais a circuitos eléctricos;
- B) Incapacidade para usar e interpretar representações formais de circuitos eléctricos;
- C) Incapacidade para raciocinar qualitativamente sobre o comportamento de certos circuitos eléctricos.

Ainda que as dificuldades apareçam interligadas segundo a perspectiva dos alunos, as mesmas serão aqui tratadas e discutidas individualmente.

### **A) Incapacidade para aplicar conceitos formais a circuitos eléctricos:**

Nesta secção foi sobretudo examinada a compreensão dos conceitos básicos usados para caracterizar um circuito simples de corrente contínua pois, em geral, o significado que os alunos associam a um dado conceito físico não é o mesmo que o professor associa. No entanto, este capítulo é dividido em outros 4 sub-capítulos que se prendem com dificuldades específicas dos alunos e que são apresentados em seguida:

#### **1) Dificuldades de natureza geral:**

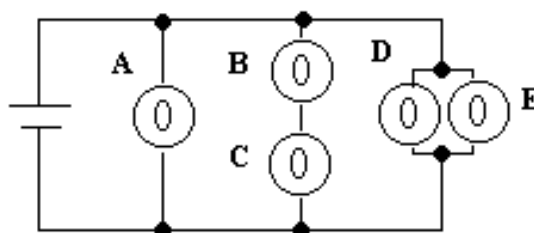
Muitas das vezes, os alunos referem-se a termos como corrente, potencial, voltagem e energia inapropriadamente. Isto leva a que sejam associados, a estes termos, conceitos errados e, ainda que o aluno seja capaz de escrever e manipular equações algébricas que representam um circuito, já não é capaz de explicar os conceitos que o levaram a essas mesmas equações, ou seja, se lhe for pedido que preveja o brilho de duas lâmpada num circuito, não é capaz de o fazer através da relação entre as intensidades de corrente que as atravessam, por exemplo, embora seja capaz de calcular numericamente as mesmas.

Verifica-se ainda que os alunos não têm, por vezes, a menor noção sobre como devem ser ligados os elementos de um circuito, cometendo erros tais como ligar o mesmo pólo de uma lâmpada aos dois pólos da pilha (ver Fig.1, pág. 996 do 1º artigo), o que revela também uma falta de conhecimentos sobre o que é necessário para ter um circuito correctamente elaborado.

Isto significa que muitos dos alunos têm dificuldades em reconhecer o conceito de “circuito completo”, ou seja, os alunos aprendem a definição mas não necessariamente o que ela significa. O conceito de “circuito completo”, segundo o meu ponto de vista, deve ser o que possui todos os seus componentes correctamente ligados e não como o referido atrás para a lâmpada com o mesmo pólo ligado aos dois pólos da pilha. Neste caso, o circuito completo deveria ser aquele que tem um pólo da lâmpada ligado ao pólo positivo da pilha e o outro pólo da lâmpada ligado ao pólo negativo da pilha, estando os dois pólos da lâmpada ligados interiormente por um filamento, estabelecendo-se deste modo um “caminho” fechado ao longo de todo o circuito por onde passa a corrente.

#### **2) Dificuldades com conceitos relacionados com corrente eléctrica:**

O ponto fulcral desta questão prende-se com o facto de saber, afinal, qual o conceito de corrente eléctrica do ponto de vista do aluno. Um dos estudos efectuados para se perceber o que o aluno entende como corrente eléctrica foi o de pedir aos alunos que, para um circuito como o da figura 6, dissessem qual a(s) lâmpada(s) que brilha(m) mais e a(s) que brilha(m) menos e as ordenasse segundo esta ideia, ou seja, segundo o seu brilho.



**Figura 6** – Circuito para os alunos “ordenarem” o brilho das lâmpadas

O estudo, efectuado por cerca de 500 alunos, revela que a maior parte dos estudantes (cerca de 85%), não consegue responder à questão de forma correcta ( $A=D=E > B = C$ ), o mesmo se verificando em alunos de cursos superiores.

Este é um problema que pode ser resolvido por duas vias: ou pela via quantitativa (aplicação das leis de Kirchoff) ou pela via qualitativa (apenas relacionando as correntes eléctricas que atravessam cada lâmpada). Como se proceder em cada caso será um dos aspectos discutidos no 2º artigo, que trataremos mais adiante.

Um outro aspecto a referir é o facto dos alunos acreditarem que a direcção da corrente ou a ordem de disposição dos elementos num circuito, afecta o seu comportamento. Por este facto, foram encontradas (em relação ao circuito da fig.6), respostas do tipo “A,B,D e E são igualmente brilhantes porque a corrente é livre, passando primeiro por estas lâmpadas”<sup>(1)</sup> ou “C é menos brilhante que B pois a corrente encontra uma certa resistência quando encontra a lâmpada B”<sup>(2)</sup>. Verifica-se, através deste tipo de resposta, que o sentido da corrente parece ser factor influente na resposta dos alunos, o que está errado.

De salientar ainda que os alunos acreditam que a corrente é “usada” num circuito, talvez levados pelo facto de a linguagem sugerir que a corrente está constantemente a ser produzida pela bateria, “gastando-se” nos elementos do circuito. São frequentes respostas do tipo “B brilha mais que C pois a corrente foi gasta em B e chega menos a C”<sup>(3)</sup>. O que os alunos devem então assumir, aquando da resolução de problemas quantitativos, é o facto de que a corrente é a mesma em todos os pontos do circuito ou ramos em que os elementos estão ligados em série. Como não o fazem, verifica-se também que o conceito de conservação da carga é, para eles, uma pura abstracção que não conseguem aplicar na análise de circuitos simples, uma vez que estão convictos que a corrente é “usada”.

### 3) Dificuldades com os conceitos relacionados com diferença de potencial

Muitos dos estudantes não entendem o facto de a bateria ideal manter, aos seus terminais, uma diferença de potencial constante que é independente do ramo à qual está ligada, pensando em vez disso que o que se mantém constante é a corrente. Não reconhecem também que, se tivermos dois ramos ligados em paralelo a uma bateria ideal, uma mudança efectuada num dos ramos não tem efeito sobre o outro uma vez que, na ligação em paralelo, a diferença de potencial aos terminais desse ramo é sempre a mesma, já o mesmo não se passando nas ligações em série.

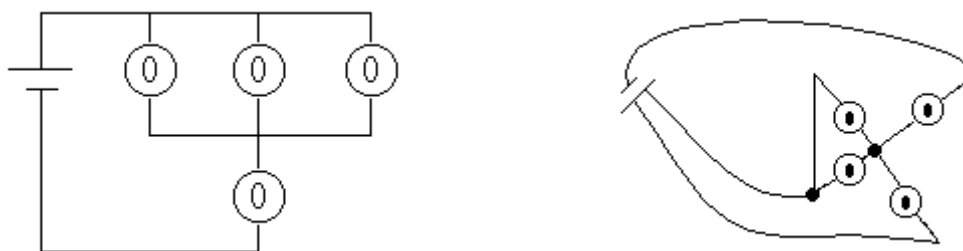
Há ainda uma outra dificuldade importante e que se traduz no facto de os alunos falharem na distinção entre potencial e diferença de potencial, utilizando os termos indiscriminadamente para, por vezes, se referirem a um mesmo conceito. Os estudantes não entendem que, por exemplo, o brilho de lâmpadas iguais num circuito, depende do modo como elas estão ligadas e não onde estão ligadas, associando assim o brilho ao potencial num dos terminais e não com a diferença de potencial entre os terminais. O potencial num ponto é apenas um número, não sendo mais do que uma convenção, tendo como referência o pólo negativo da bateria.

#### 4) Dificuldades relacionadas com o conceito de resistência

O conceito de resistência é um conceito fundamental na análise de circuitos eléctricos. No entanto, os alunos têm tendência a focar o aspecto da quantidade de elementos ou ramos e não o da sua “qualidade”, ou seja, para calcular a intensidade de corrente que percorre um ramo com uma ligação em paralelo de 2 resistências, muitas das vezes os alunos limitam-se, por exemplo, a dividir a corrente por 2, sem atender ao valor da resistência em cada ramo.

Este caso também se verifica se tivermos ligações em paralelo pois os alunos não atendem ao facto de que se for uma ligação deste tipo, a resistência total diminui quanto maior for o número de elementos resistivos.

Esta dificuldade pode ser explicada pelo facto de os indivíduos nem sempre distinguem o que é uma ligação em série e o que é uma ligação em paralelo. Para os alunos, a ligação em série é algo sequencial em vez de um tipo de ligação própria e que as linhas geométricas representam ligações eléctricas e, por este facto, se se apresentar um circuito segundo uma geometria diferente (fig. 8) em vez de o apresentar segundo a “geometria convencional” (fig.7), sendo os dois as representações correctas de um mesmo circuito real, os alunos não conseguem fazer a respectiva relação entre os dois, revelando que não entendem o que é uma ligação em série e o que é uma ligação em paralelo.



**Figura 7 e Figura 8-** Os alunos não conseguem associar os dois esquemas, que significam o mesmo

É assim necessário explicar aos alunos que, se temos 2 elementos ligados em série, não há derivação de corrente entre os mesmos, ou seja, a corrente que os percorre é a mesma e que se temos dois elementos ligados em paralelo, o potencial aos seus extremos é o mesmo.

#### **B) Incapacidade para usar e interpretar representações formais de circuitos eléctricos:**

Em geral, e como já foi dito no ponto 4 da categoria A desta mesma página, se não for apresentado ao aluno o diagrama geométrico convencional representativo de um circuito eléctrico, é-lhe bastante difícil fazer a correspondência entre um diagrama de um circuito e o circuito real representado no diagrama, uma vez que os estudantes focam a sua atenção em aspectos de localização física ou espacial e não nos aspectos das ligações eléctricas que vêm. Verifica-se também que quanto maior for o grau de complexidade do diagrama, maior é a dificuldade em fazer a correspondência atrás referida, sendo esta uma dificuldade de representação formal de circuitos e de interpretação dos mesmos.

Um outro ponto onde o aluno falha é no tratamento de aparelhos de medida (amperímetros e voltímetros), verificando-se que em cerca de 200 alunos, apenas cerca de 50% conseguiam dizer como se deveria e porquê, num circuito, ligar o voltímetro ou o amperímetro. Mesmo nas classes onde foi explicada a parte de corrente contínua e também nas que possuíam parte laboratorial, os erros persistiam apesar dos alunos constatarem que a resistência interna do amperímetro é muito pequena e que a do voltímetro é muito grande.

Então, é possível perceber que os alunos não relacionam estes factos com os aparelhos de medida nem reconhecem as implicações que os mesmos têm nas ligações exteriores a eles, se não forem devidamente posicionados no circuito. Não encaram os aparelhos de medida como aparelhos que, estando ligados a um circuito, não deverão afectar a intensidade de corrente (no caso do amperímetro) nem a diferença de potencial (no caso do voltímetro) que estão a medir, mas vêem-nos como se fossem ou mais um elemento capaz de interferir no circuito ou, por outro lado, se ele interfere, ou não se apercebem ou simplesmente o ignoram.

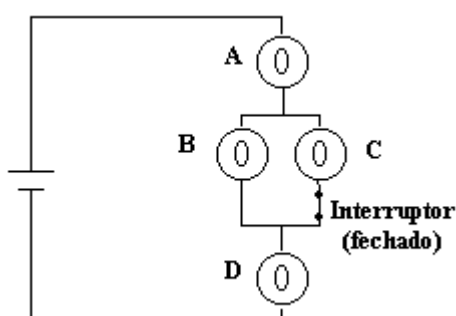
### **C) Incapacidade para raciocinar qualitativamente sobre o comportamento de certos circuitos eléctricos.**

Quando se altera um circuito, os alunos têm tendência a focar a sua atenção no ponto onde essa alteração foi feita, não reconhecendo que essa alteração pode influenciar o comportamento do circuito em outros pontos.

Há assim uma tendência dos alunos em explicarem o comportamento dos elementos que compõem o circuito, como se fossem peças isoladas e pudessem ser vistas e analisadas individualmente, fazendo uma espécie de “pensamento local ou sequencial”, não “olhando” para o circuito do ponto de vista holístico (global), significando que os alunos nem se apercebem de como uma ligação “fora de sítio” de um destes aparelhos afecta negativamente o comportamento de todo o circuito.

Os estudantes costumam interpretar um circuito por 2 processos: ou como sendo constituído por componentes isolados que podem ser analisados independentemente uns dos outros ou constituídos por componentes que podem ser analisados um após outro, em sequência, ao longo de todo o circuito. Um dos erros cometidos na análise a nível local é o que se verifica quando os alunos cometem o erro de associar o valor de potencial a um terminal de uma lâmpada com o seu brilho ou então ordenam as lâmpadas segundo o seu brilho de acordo com a sequência que elas têm no circuito.

Um outro caso em que os alunos falham é o das ligações em paralelo, como já foi referido na pág. 17, pois verificou-se que os alunos têm dificuldade em perceber a diferença entre uma ligação em paralelo ligada directamente aos terminais de uma bateria e uma ligação em paralelo ligada noutra sítio qualquer do circuito. Este caso ilustra-se bem se atendermos à fig.9, em que os alunos afirmam que o brilho da lâmpada A não muda quando o interruptor passa de fechado a aberto, pois não se socorrem de todos os seus conhecimentos para “olharem” globalmente sobre o circuito. Os alunos analisam o circuito a nível local, ou seja, olhando apenas para o facto de o interruptor estar aberto ou fechado não explicando que, estando o interruptor aberto, a resistência total do circuito aumenta e a corrente através da lâmpada A diminui, fazendo diminuir o brilho desta, não interpretando também que o interruptor pode fazer com que tenhamos uma ligação em série de 3 lâmpadas (interruptor aberto) ou uma ligação em paralelo (B+C) entre duas lâmpadas (A e D).



**Figura 9.** – Circuito eléctrico sobre ligações em paralelo ou em série

Torna-se ainda necessário fazer uma referência a uma dificuldade que os alunos têm e que é a de não conseguirem conceber modelos que prevejam e expliquem o comportamento de circuitos eléctricos simples de corrente contínua.

A performance verificada nos alunos revela que a maior parte não interioriza os conceitos eléctricos básicos de um modo coerente nem concebe modelos que os expliquem e que lhes sirvam de base para prever, por exemplo, o brilho relativo das lâmpadas da figura 6, socorrendo-se apenas de fórmulas, da sua intuição ou até de ambas para prever e explicar esses comportamentos, quase sempre errando na sua explicação.

É comum verificar-se que muitos estudantes, quando se lhes pede que prevejam ou analisem um determinado comportamento de um circuito, aplicam imediatamente um conjunto de leis e conhecimentos, como a lei de Ohm (ainda que de forma errada) ou outras equações, e começam a atribuir valores arbitrários à corrente, à diferença de potencial e à(s) resistência(s), com vista a resolver o problema, ainda que esses valores sejam inconsistentes. Se se der o caso dessa atribuição de valores dar resultados absurdos, os alunos optam pela sua intuição para prever e/ou descrever o comportamento dos circuitos, por vezes ignorando o raciocínio que fizeram anteriormente.

Este é, aliás, um grave problema que se coloca na medida em que, por vezes, os alunos usam a sua intuição em detrimento das fórmulas correctas, ignorando-as ou mesmo modificando-as. Um destes exemplos é transcrito e é uma explicação de uma aluno sobre o brilho relativo das lâmpadas da fig.6:

*“Eu assumi que cada lâmpada possuía uma resistência arbitrária, então apliquei as leis para a ligação em série e em paralelo, assumindo que a lâmpada que mais brilha é aquela pela qual a corrente passa primeiro”<sup>(4)</sup>*

Verifica-se aqui que a concepção do aluno está errada, pois não existe para ele a noção de como analisar o circuito. A resposta correcta a dar seria  $A=D=E>B=C$  mas, em vez disso, o aluno responde  $D=E>A>B=C$  como primeira resposta, alterando-a em seguida para  $D>E>A>B>C$ , uma vez que usou intuitivamente a ideia de que a lâmpada que brilha mais é aquela pela qual a corrente flui primeiro, não analisando sequer que tipo de ligações existem no circuito.

Como já foi dito antes, prever que a primeira lâmpada de um conjunto de lâmpadas é aquela que brilha mais, é um erro comum e pode ser um sintoma de mais do que uma dificuldade de fundamentação. É neste tipo de situações que, por vezes, o aluno faz uso da sua intuição, utilizando-a em vez de usar um formalismo adequado com vista a resolver a sua dificuldade ou a sua fundamentação, revelando imediatamente que não compreendeu os conceitos físicos subjacentes à interpretação e explicação dos circuitos eléctricos e que não conseguem raciocinar qualitativamente sobre os mesmos.

Este é, aliás, um tipo de erro comumente verificado até nos alunos portugueses, mesmo ao nível universitário que, aquando da resolução de problemas, fazem uso da sua intuição como forma de responder às questões que lhes são apresentadas, não atendendo aos conceitos que estão por detrás do fenómeno físico que estudam ou ao raciocínio estabelecido antes, revelando uma falta de “visão” global, de quem consegue interligar os assuntos que lhe são referidos, com vista a responder ao que lhe é pedido.

## **II. "Part II: Design of instructional strategies"**

Este 2º artigo tem 2 objectivos fundamentais:

- Usar os resultados obtidos para desenvolver estratégias específicas de ensino, com vista a colmatar dificuldades específicas que os alunos têm (ver pág. 1004 – 1010 do artigo)
- Projectar, testar, modificar e rever todos os dados obtidos, através de um ciclo contínuo realizado na sala de aula, de acordo com a experiência dos alunos para melhorar o currículo inicialmente proposto e proporcionar aos alunos uma melhor aprendizagem no domínio da electricidade (ver pág. 1010 – 1012 do artigo)

Assim, foram desenvolvidos alguns modelos de curriculum a adoptar e estruturados especialmente para preparar professores de Física, os quais posteriormente se revelaram úteis se aplicados a outras disciplinas. O primeiro curriculum consta de um conjunto de módulos de instrução com base laboratorial, denominado de "*Physics by Inquiry*", sendo o segundo curriculum constituído por aulas tutoriais, projectadas para serem acompanhadas com leituras e livros de texto.

### **☞ APLICAÇÃO DOS RESULTADOS DE INVESTIGAÇÃO PARA DESENVOLVER UM CURRÍCULUM DE BASE LABORATORIAL**

O desenvolvimento deste curriculum teve como premissa fundamental o facto de que a aprendizagem não ocorre nem é bem sucedida a menos que os alunos já estejam num dado grau intelectual e estejam realmente envolvidos e motivados na aprendizagem. Assim, este curriculum pretende encorajar os estudantes a fazerem precisamente isso, ou seja, a fazerem o seu desenvolvimento mental, guiando-os através de um processo de construção de modelos conceptuais para explicar o comportamento de circuitos eléctricos, sendo esse processo feito com base no seu contacto directo com pilhas e lâmpadas e através dos seus trabalhos com elas e, ao mesmo tempo, os envolver directamente na sua própria aprendizagem.

Este desenvolvimento foi feito em 3 fases, todas interligadas, e que são:

- A) Descrição de estratégias gerais de ensino;
- B) Escolha do conceito de corrente eléctrica como base para a construção de um modelo inicial;
- C) Tratamento de dificuldades específicas, dificuldades já apresentadas antes.

O grupo A: "Descrição de estratégias gerais de ensino", está dividido em 3 sub-partes, cada uma apontando para modelos específicos de ensino, que serão exploradas individualmente. Também o grupo C: "Tratamento de dificuldades específicas", está subdividido em 4 partes, uma vez que as dificuldades têm razões de ser diferentes e entendeu-se melhor separar o seu estudo para uma melhor compreensão e tratamento dessas mesmas dificuldades.

### A) Descrição de estratégias gerais de ensino:

O ensino de circuitos eléctricos é feito partindo do ensino gradual de conceitos qualitativos até chegar a razões de fundamentação teóricas. Os estudantes começam por fazer experiências (por exemplo, tentando acender uma lâmpada usando um fio e uma bateria), ao longo das quais vão tirando conclusões (o que é um circuito completo, verificar que a corrente não é usada, que a ordem dos elementos não afecta o brilho das lâmpadas, diferença entre ligações em paralelo e em série, entre outras) e constroem, através dessas mesmas experiências e conclusões, o seu conhecimento sobre os conceitos básicos de resistência, corrente eléctrica e ligações em série ou em paralelo.

Deste modo, os alunos tanto usam os fundamentos indutivos como os dedutivos para sintetizar conceitos sob a forma de um modelo qualitativo de corrente eléctrica, permitindo-lhes adquirir uma “imagem mental” para explicar os circuitos simples.

Este modelo vai sendo refinado e remodelado com novos conceitos à medida que o estudo vai avançando e só posteriormente são dadas ao aluno as aulas teóricas e quantitativas do estudo por ele efectuado.

De seguida, são referidas actividades que permitem uma lógica progressão no desenvolvimento de modelos conceptuais aplicáveis a todos os circuitos resistivos, e que abordam o mesmo estudo, indo do modelo qualitativo até ao modelo quantitativo, passando também pelo modelo semi-quantitativo. Uma breve descrição dessa progressão é aqui apresentada:

#### 1) Desenvolvimento inicial de um modelo conceptual: aproximação qualitativa

A noção de “circuito completo” é uma noção bastante importante e que o aluno deverá ter. Os alunos deverão comparar as condições em que a lâmpada está acesa ou não, utilizando um circuito como o da fig.10, utilizando para tal vários materiais com vista a estabelecer as ligações entre a pilha e a lâmpada, de modo a que esta última fique acesa, distinguindo assim o que são condutores e o que são isoladores. Examinam ainda a estrutura interna da lâmpada.



**Figura 10** – Circuito simples de estudo de condutores/isoladores e de “circuito completo”

Após este estudo, os alunos conseguiram por si concluir que, para que um elemento ser parte de um circuito completo, era necessário que houvesse um modo de condução entre os dois terminais da lâmpada, os quais deveriam estar ligados a diferentes terminais da bateria através de um percurso contínuo, como o da fig. 10 e não como o que inicialmente tinham efectuado (ver pág. 996, 1º artigo, “*Difficulties of general nature*”).

Além disso, concluíram que os diagramas de circuitos são apenas representações para mostrar as ligações eléctricas, podendo esses vários esquemas serem representados pelo mesmo diagrama, ultrapassando assim a dificuldade inicialmente detectada na pág. 19, relacionada com o conceito de resistência.

Um outro conceito que dá origem a dúvidas é o conceito de corrente. Os estudantes verificaram que se ligassem fios de materiais diferentes aos terminais de um pilha, uns aqueciam mais do que outros conforme o material de que é feito o fio. Tais observações deram origem aos seguintes pressupostos:

- existe uma “circulação” ao longo de um circuito completo, o que faz com que o fio aqueça;
- o brilho das lâmpadas é um indicador dessa “circulação”.

A essa circulação dá-se o nome de corrente eléctrica, mas o que circula não é identificado pelos alunos. Quando compararam o brilho de uma lâmpada em série com o de duas lâmpadas em série, verificaram que as duas lâmpadas brilhavam de igual modo mas menos do que quando só tinha uma lâmpada ligada. Os estudantes concluíram então que a corrente no circuito em série é menor e que, como o brilho das 2 lâmpadas em série é o mesmo, a corrente não é “usada”, ao contrário do que afirmavam antes (ver página 17 desta monografia, “Dificuldades com conceitos relacionados com corrente eléctrica”).

Trocando a posição dos elementos ou a ligação aos pólos da bateria, os estudantes concluíram ainda que nem a direcção da corrente nem a ordem de ligação dos elementos afecta o brilho das lâmpadas, ao contrário do que afirmavam antes (ver pág. 17 deste trabalho).

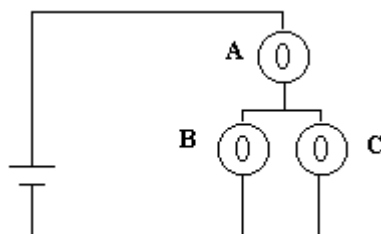
Conceitos tais como resistência e resistência equivalente foram também estudados com os alunos. A observação de que adicionar uma lâmpada a outra, em série, faz diminuir o brilho da primeira, fez com que o aluno interpretasse a lâmpada como um obstáculo ou resistência à passagem de corrente, aceitando assim a ideia de que quanto mais lâmpadas ligarmos em série, maior é a resistência equivalente. No entanto, já não aceitam tão facilmente a ideia de que se formos adicionando cada vez mais lâmpadas em paralelo, a resistência equivalente diminua.

Após algumas experiências de ligações em série e em paralelo, os estudantes concluíram assim que a resistência equivalente depende da configuração do circuito e não apenas do número de elementos ou ramos (ramificações do circuito).

Com este tipo de estudo e aplicando os modelos desenvolvidos, forneceram-se métodos que permitiram aos alunos ordenarem correctamente as lâmpadas do circuito da fig. 6 segundo o seu brilho, sabendo que antes apenas cerca de 15% dos alunos conseguiam fazer esta previsão de modo correcto.

Na posse destes novos conhecimentos fornecidos, os alunos investigaram também o comportamento do circuito da fig. 11 e, através de alterações que foram fazendo no mesmo, concluíram que uma abordagem local é inadequada para analisar o comportamento da lâmpada A conforme se adiciona ou remove a lâmpada C, notando que uma mudança num ponto quase sempre resulta em mudanças noutros pontos do circuito, pelo que é necessário fazer uma observação global do circuito, como já tinha sido recomendado na pág. 18 sobre a incapacidade para raciocinar qualitativamente sobre circuitos eléctricos.

Observando também as mudanças no brilho da lâmpada B conforme a lâmpada C está ou não presente, os estudantes puderam concluir que ramos em paralelo ligados directamente aos terminais da bateria ideal são independentes, ao passo que se estiverem conectados noutra parte do circuito já não o são.



**Figura 11** – Circuito simples para estudo do modelo qualitativo

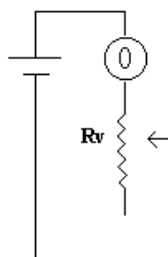
## 2) Extensão do modelo: aproximação semi-quantitativa

A utilização de lâmpadas permite uma prática e útil ajuda visual para desenvolver um primeiro modelo qualitativo, mas a sua utilidade é limitada por várias razões: o brilho não é quantificável, a resistência da lâmpada depende da corrente, adicionar lâmpadas ao circuito afecta a corrente significativamente e a menos que a lâmpada já esteja no circuito, não permite visualizar alterações na corrente.

Torna-se assim necessário introduzir um novo elemento ao circuito: o amperímetro. No entanto, como estamos a abordar o modelo semi-quantitativo, não queremos quantificações numéricas mas antes que os alunos, com a introdução deste aparelho e utilizando uma resistência variável, se apercebam das diferenças de brilho das lâmpadas em comparação com os valores que o amperímetro indica, percebendo também que o amperímetro permite proceder à quantificação da corrente que atravessa o circuito.

Um outro aparelho deveras importante em electricidade é o voltímetro. A realização de uma experiência simples, como seja adicionar pilhas em série com um única lâmpada, leva os alunos a perceber que, quanto mais pilhas forem adicionadas em série, maior será o brilho da lâmpada. O voltímetro, se introduzido no circuito em vez da lâmpada, permitirá aos alunos constatar que quanto mais pilhas forem adicionadas em série, maior será a deflexão sofrida pela agulha do amperímetro.

Os estudantes investigaram ainda de que modo variam os valores no voltímetro para a diferença de potencial através de uma lâmpada quando são feitas mudanças em outros elementos do circuito. Um circuito utilizado para este estudo é, por exemplo do tipo do circuito da fig. 12:



**Figura 12** – Variação do brilho da lâmpada conforme varia a resistência do circuito

Verificaram então que a diferença de potencial através da lâmpada aumenta conforme diminui a resistência a ele associada ( $R_V$ ) e que há uma correspondente diminuição de diferença de potencial através dessa resistência  $R_V$ . Inferiram assim a “regra” de que a diferença de potencial através de um elemento aumenta ou diminui conforme a sua resistência aumenta ou diminui, em conformidade com as outras resistências a ele ligadas em série.

### **3) Maior extensão do modelo: aproximação quantitativa**

Nesta fase iremos tratar da quantificação da corrente, diferença de potencial e resistência. Uma vez que se pretende uma compreensão conceptual, serão descritas de seguida as partes do curriculum nas quais a aproximação é quantitativa.

Um dos primeiros aspectos é a quantificação de conceitos básicos. Foram desenvolvidas definições para corrente, diferença de potencial e resistência com a ajuda do amperímetro e do voltímetro e, após ter sido desenvolvido o modelo semi-quantitativo, pode agora proceder-se às operações e relações algébricas. Nesta altura, os alunos já possuem bases suficientes que lhes permitem entender os circuitos simples e até verificar como e quando se aplicam certas leis, como as leis de Kirchoff ou a lei de Ohm.

As investigações dos alunos levaram a que fosse necessário introduzir dois novos conceitos: a potência e a energia. Isto porque os alunos realizaram experiências onde evidenciaram que quando duas lâmpadas **não** iguais estão ligadas em série, a corrente que as atravessa é a mesma e quando estão ligadas em paralelo, a diferença de potencial aos extremos das mesmas é igual e concluíram ainda que nem a corrente, nem a resistência nem a diferença de potencial por si só eram suficiente para determinar o brilho das lâmpadas. Foi assim necessário recorrer ao conceito de potência para poderem então prever qual o brilho de cada lâmpada e a sua relação entre eles.

Após isto, os estudantes ligaram em primeiro lugar, duas lâmpadas em paralelo a uma pilha, de seguida ligaram uma só lâmpada e em seguida duas lâmpadas em série, medindo de cada vez a corrente e verificaram que a pilha tem um tempo de duração finito. Isto permitiu-lhes identificar então uma quantidade que era dissipada, que é a energia.

#### **B) Escolha do conceito de corrente eléctrica como base para a construção de um modelo inicial:**

Escolher a diferença de potencial como conceito inicial permite desenvolver um modelo com base num conceito muito simples, por exemplo, como se de uma “pressão” se tratasse e que existe algo que flui devido a essa “pressão”. Estes conceitos são fáceis de entender por parte dos alunos mas o mesmo já não se passa se lhes tiver sido ensinado um modelo com base no conceito de energia, pois os estudantes terão dificuldades em distinguir energia e corrente tendo, por exemplo, dificuldade em conciliar a dissipação de energia com a conservação de corrente.

Um dos modelos simples mais utilizados tem sido o “modelo da água”, supondo-se que temos uma mangueira (analogia com o fio condutor) e que a água que flui no seu interior é, em analogia, a corrente eléctrica que flui dentro do fio condutor.

Do meu ponto de vista, esta não me parece ser a melhor abordagem, seja porque os alunos não estão familiarizados com certos conceitos de movimento de fluídos, seja porque a sua compreensão intuitiva pode dificultar o processo de aprendizagem se se usar este modelo. Um problema pode ser o de os alunos olharem para o circuito apenas como se se tratasse de um fio condutor contínuo e, se lhe colocarmos um interruptor algures, poderão não saber como explicar de que modo o mesmo pode afectar o circuito, conforme esteja aberto ou fechado.

### **C) Tratamento de dificuldades específicas:**

Uma vez que se tratam de dificuldades específicas encontradas nos alunos, entendeu-se que seria melhor separar as mesmas. Essa divisão foi feita e é apresentada sob a forma de 4 sub-capítulos:

- Dificuldades de fundamentação;
- Dificuldades com representações sob a forma de diagramas;
- Dificuldades com conceitos;
- Falta de experiência no “mundo real” (“*Lack of real worls experience*”)

#### **1) Dificuldades de fundamentação:**

Para uma melhor compreensão por parte dos alunos, certos conceitos foram sendo introduzidos de forma simples, aumentando depois o seu grau de complexidade. O processo de ir refinando certos conceitos através de uma série de aproximações, que no fundo é o modelo usado pelo professor, ajuda o aluno a desenvolver a sua capacidade cognitiva de acordo com as suas necessidades intelectuais.

Os estudantes reconheceram assim que, de facto, é necessário abordar o estudo dos circuitos eléctricos de uma forma holística, global, olhando sobre o todo e não sobre as partes. Desenvolveram assim uma capacidade conceptual fantástica que lhes permite prever e explicar o comportamento de circuitos eléctricos simples, levando a que os alunos que antes apenas aplicavam as leis de Kirchoff aos circuitos deixarem de depender das mesmas para resolver problemas qualitativos, uma vez que como os modelos atrás descritos, conseguem fundamentar as suas respostas pois têm um *feedback* prático (laboratorial).

#### **2) Dificuldades com representações sob a forma de diagramas:**

Como já foi discutido na pág. 19 – “Dificuldades relacionadas com o conceito de resistência” – muitos dos alunos têm dificuldades em interpretar diagramas de circuitos, existindo até casos em que os alunos não conseguem distinguir quais as ligações em paralelo das ligações em série. Para estes casos, a solução proposta passa pela resolução de exercícios sobre o assunto, com um grau de complexidade cada vez maior e, sobretudo, pela prática laboratorial e tutorial, de modo a que lhes seja possível perspectivar as diferenças entre esses 2 tipos de ligações.

Esta dificuldade está também interligada com a dificuldade que os alunos têm em relacionar circuitos reais com a sua representação esquemática, propondo-se como melhor solução a análise de circuitos reais e sua representação esquemática (como no caso das figuras 7 e 8), uma vez que os alunos têm tendência a fazer a correspondência entre as linhas e o arranjo dos elementos do diagrama do circuito com os fios e a colocação dos elementos para o sistema físico. Os alunos devem assim interpretar os diagramas de circuitos como uma representação de elementos eléctricos e conexões e não como tendo relações físicas ou espaciais.

### 3) Dificuldades com conceitos:

É necessário ter em conta que os erros que os alunos cometem são, de certa forma, persistentes pois muitas das vezes os conceitos são explicados aos alunos e eles suprimem o erro momentaneamente, mas a dificuldade permanece latente, apenas esperando para surgir noutra contexto.

Para que haja então uma mudança de atitude eficaz, torna-se extremamente necessário que os alunos se envolvam a fundo no processo de aprendizagem, tendo-se revelado bastante útil o uso de modelos que confrontem o aluno, levando-o ao conflito, e pedindo-lhe que o resolva. O aluno terá assim de fazer uma “escalada intelectual” para resolver a sua dificuldade, durante a qual será possível detectar e esclarecer as dúvidas do aluno. Este processo é no fundo traduzido por 3 passos:

- trazer à tona as dificuldades do aluno;
- confrontá-lo com as suas ideias (erradas);
- pedir-lhe que resolva esse conflito, esclarecendo-o das noções erradas que possui.

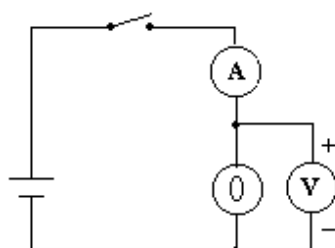
Estes passos não são isolados nem devem ser usados estrategicamente um a um, mas sim num contínuo de desenvolvimento da aprendizagem, devendo ser utilizados diferentes contextos com o mesmo conceito, reflectindo sobre eles e depois proceder à sua generalização.

Os alunos fazem as suas próprias observações e formulam, refinam e diferenciam ideias sobre os conceitos básicos que caracterizam os circuitos eléctricos. Este tipo de estratégia já tinha sido referido, por exemplo, aquando da apreciação do livro de texto (ver pág.12, 2º parágrafo). Três exemplos onde se pode aplicar este tipo de “ensino” são apresentados em seguida:

#### a) *Corrente vs Diferença de potencial:*

Apesar do uso do amperímetro e do voltímetro nas experiências realizadas pelos alunos, foi possível perceber que muitos deles não compreenderam os princípios de funcionamento básicos dos mesmos, não verificando inclusivé que em alguns casos esses aparelhos estavam a afectar o resto do circuito.

Realizaram ainda mais algumas experiências (diferentes das primeiras) utilizando um circuito como o da fig. 13:



**Figura 13** – Circuito para estudo das resistências internas do voltímetro e do amperímetro

Este estudo tem como finalidade a determinação de uma resistência desconhecida usando um amperímetro e um voltímetro.

Removeram um aparelho, examinaram o efeito no brilho da lâmpada e na leitura do aparelho que permanecia no circuito e inferiram qual a relação entre a resistência de cada aparelho e a resistência da lâmpada. Os alunos concluíram que a resistência interna do amperímetro é baixa e que a do voltímetro é elevada, embora não lhes tenham sido ditas nada. Repetiram o procedimento mas desta vez para o outro aparelho, inicialmente retirado do circuito. Tinha-se verificado antes que os alunos tinham uma maior tendência em prestar atenção nas diferenças das conexões externas em vez da qualidade dos valores medidos. Comparando e contrastando o comportamento do voltímetro e do amperímetro com o comportamento da lâmpada, os alunos perceberam que os aparelhos de medida deveriam estar ligados de modo a não afectarem o circuito e, além disso, verificaram que o amperímetro e o voltímetro são elementos de um circuito. Assim, os estudantes não só recordaram como deveriam ser ligados os aparelhos de medida como também recordaram a diferença entre diferença de potencial e corrente, com recurso a estes aparelhos de medida.

*b) Potencial vs Diferença de potencial:*

Os alunos realizaram uma experiência, onde fizeram o seguinte:

- Em primeiro lugar, ligaram três lâmpadas em série e ligaram-nas a uma pilha;
- De seguida, ligaram o pólo negativo da pilha ao pólo negativo do voltímetro;
- Posteriormente, foram ligando o pólo positivo do voltímetro ao pólo positivo da lâmpada e registaram os valores obtidos, sendo cada valor uma medida do potencial (processo 1);
- Após este procedimento, os estudantes ligaram o voltímetro apenas aos extremos de cada lâmpada e mediram a diferença de potencial (processo 2).

Os alunos aperceberam-se então que os valores obtidos no primeiro caso são valores numéricos de potencial. Fazendo a diferença entre estes valores, obtiveram resultados aproximadamente iguais aos obtidos pelo segundo processo. Neste 2º processo, os alunos notaram que a cada leitura feita deste modo corresponde um valor que é aproximadamente igual ao valor da diferença de potencial calculado para cada lâmpada. Uma vez que o brilho das lâmpadas era igual em ambos os casos, concluíram que o conceito relevante para prever o brilho das lâmpadas neste caso seria o de diferença de potencial e não o de potencial, percebendo que o potencial é um valor numérico lido no voltímetro.

c) *Resistência vs Resistência equivalente:*

Os alunos compreendem que, se tivermos, por exemplo, 5 resistências ligadas ou em série ou em paralelo, podemos calcular a resistência equivalente, que é o mesmo que achar um valor para a resistência total das 5 resistências e substituir as 5 resistências por uma só. No entanto, os alunos não entendem, por exemplo, que a energia dissipada por um dado elemento não pode ser calculada usando o conceito de resistência equivalente.

Assim, é extremamente útil e necessário fazer a distinção entre ambos os conceitos (resistência e resistência equivalente), levando o aluno a perceber quais as diferenças entre os mesmos levá-lo a reconhecer em que circunstâncias se aplica um ou outro modelo, através de exemplos simples como o que aqui foi referido para as 5 resistências.

**4) Falta de experiência no “mundo real” (“Lack of real world experience”):**

À medida que os estudantes foram realizando as experiências propostas, assistiu-se a uma gradual progressão de desenvolvimento na fundamentação dos conceitos de Física em detrimento dos seus *handicaps* inicialmente detectados, ganhando os estudantes uma experiência concreta sobre circuitos.

Este modelo de desenvolvimento de actividades laboratoriais, proposto para eliminar ou esclarecer as dúvidas existentes, trouxe benefícios e permitiu aos alunos responderem a questões sobre circuitos, mas indo buscar essas respostas à investigação por eles efectuada. Os alunos ficaram surpreendidos quando eles próprios conseguiram prever e descrever comportamentos de circuitos através da sua experiência. Parece-me importante este tipo de ensino pois, em vez do aluno memorizar uma data de conceitos, conseguirá percebê-los e explicá-los, não se limitando à constatação dos mesmos.

Assim, o aluno toma contacto com a realidade, algo que não faz através do ensino tradicional, onde tem como base do seu conhecimento a leitura das experiências. Uma chamada de atenção é feita aqui para o livro de texto analisado na primeira parte, o qual faz precisamente isto, apresentando experiências que o aluno provavelmente nunca chegará a realizar em laboratório.

☞ **APLICAÇÃO DO CURRÍCULO DE BASE LABORATORIAL NAS AULAS NORMAIS DA DISCIPLINA:**

Este capítulo dá-nos a perspectiva de como adaptar os ensinamentos retirados das aulas laboratoriais às aulas teóricas usuais. Verificou-se que certas alterações nas aulas comuns, com base nos resultados obtidos da investigação das ideias dos alunos no laboratório, têm inúmeras vantagens para uma correcta aprendizagem. Uma vez que se podem seguir duas vias, ainda que interligadas, o capítulo encontra-se assim dividido em 2 partes:

- A) Natureza dos elementos tutoriais;
- B) Descrição da aula tutorial.

**A) Natureza dos elementos tutoriais:**

Estes elementos tutoriais são constituídos sobretudo por fichas (“*worksheets*”), que guiam os alunos nas tarefas tutoriais e que requerem ao aluno que explique o fundamento das suas ideias. As tarefas propostas são do tipo: prever o efeito de uma dada mudança num circuito, observar e analisar demonstrações, esboçar gráficos e diagramas e resolver problemas que dêem ênfase à compreensão qualitativa de circuitos eléctricos.

As aulas tutoriais têm um carácter diferente das tradicionais aulas teóricas e teórico-práticas, nas quais a atenção se debruça sobretudo na resolução de problemas numéricos, tendo aqui o professor (ou “tutor”) o papel de facilitar a discussão sobre um dado assunto, em vez do papel de transmissor contínuo de conhecimentos, valorizando-se assim a qualidade e não a quantidade dos conhecimentos transmitidos.

Nestas aulas tutoriais, a avaliação também existe mas é feita sob o prisma de avaliar o progresso dos alunos e de ajudar o professor a identificar os erros dos alunos, recomendando-se que seja feita através de testes e que a sua duração não ultrapasse os 50 minutos, embora possa pesar na nota final.

Estas aulas são importantes pois, além da avaliação e das fichas, os alunos têm trabalhos de casa regulares, o que os obriga a estudar e manter a matéria em dia, revelando-se deveras vantajoso para o aluno e frutífero para o professor que pode ter a noção de como o aluno está a progredir.

**B) Descrição das aulas tutoriais:**

Verifica-se que os alunos, na sua generalidade, resolvem os problemas quantitativos sob a forma de cálculos numéricos mas denotam dificuldades em resolver problemas qualitativos simples.

Assim, as aulas tutoriais têm uma sequência de actividades nas quais os alunos não se limitam apenas à leitura da teoria sobre circuitos, mas podem eles próprios realizar experiências. Este tipo de actividades permitirá aos alunos analisar circuitos com diferentes configurações e, ao serem confrontados com dificuldades conceptuais e de fundamentação, podem verificar quais as condições em que tudo acontece e perceber as suas dúvidas e dificuldade bem como esclarecê-las e eliminá-las. Assim, em conjunto com as aulas teóricas e teórico-práticas e na posse dos elementos tutoriais, os alunos podem esclarecer-se, obtendo melhores resultados a nível de aprendizagem do que os obtidos nas normais aulas teóricas e teórico-práticas.

**☞ EFECTIVIDADE DA APROXIMAÇÃO INSTRUCIONAL:**

Até então, foram utilizados 2 modelos de ensino diferentes e que são:

- As aulas com curriculum de base laboratorial;
- As actividades tutoriais.

Nos capítulos seguintes, são apresentados os resultados percentuais de sucesso destes modelos relativamente ao modelo de aulas tradicional, com aulas teóricas e teórico-práticas.

**A) Efectividade das aulas com curriculum de base laboratorial:**

É deveras complicado avaliar até que ponto este tipo de aulas é vantajoso, mas verificou-se que há uma grande evidência que, em relação aos circuitos eléctricos, a facilidade de compreensão após aprendizagem com este método, é maior do que a verificada segundo o modelo de ensino tradicional.

Além disso, os alunos preparados segundo os métodos aqui descritos obtiveram performances superiores (quando se tratava de prever e explicar o comportamento de circuitos eléctricos simples) relativamente aos seus colegas que eram preparados segundo o método tradicional.

**B) Efectividade das actividades tutoriais:**

Foram comparadas as performances entre os alunos aos quais foram ministradas aulas tutoriais e os alunos da instrução tradicional, os quais não tiveram este tipo de actividades.

Verifica-se que, para o caso dos alunos do ensino tradicional, a percepção qualitativa dos conceitos não difere muito de turma para turma nem de instituição para instituição, não sendo também relevante a altura em que as perguntas são colocadas aos alunos pois a taxa de respostas correctas não ultrapassa, como já foi referido antes (ver pág. 18), cerca de 15%, em relação às respostas sobre o circuito da fig.6.

Para melhor se compararem os resultados, fizeram-se avaliações a curto e a longo prazo do modelo de aulas tutoriais.

**Percentagem de sucesso do modelo, a curto prazo:**

O circuito da fig. 6 foi o circuito que serviu de base a uma questão colocada a cerca de 500 alunos em 3 instituições de ensino diferentes, aos quais era pedido que previssem o brilho relativo de cada lâmpada.

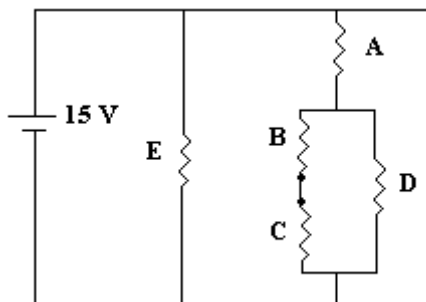
Pouco menos do que 50% dos alunos que frequentavam aulas teóricas mas que não assistiam a aulas tutoriais responderam correctamente à questão colocada. No entanto, num outro grupo de alunos que frequentavam aulas tutoriais, assistiu-se a cerca de 75% de respostas correctas à mesma questão.

Estes valores permitem assim afirmar que muitas das respostas erradas dadas se devem sobretudo a dificuldades específicas, tais como a de os alunos acreditarem que a corrente é “usada” pelas lâmpadas quando a mesma as atravessa e ainda dificuldades em distinguir, conforme referido na pág. 17 – “Dificuldades com os conceitos relacionados com a diferença de potencial” - a diferença entre potencial e diferença de potencial mas permitem afirmar também que os alunos que frequentam aulas tutoriais têm, a curto prazo, uma melhor compreensão dos conceitos e de fundamentação do que aqueles que não as frequentaram.

### Percentagem de sucesso do modelo, a longo prazo:

Quando cerca de  $\frac{3}{4}$  das aulas tinham sido ministradas, cerca de 100 alunos realizaram um teste para avaliar os seus conhecimentos sobre o que tinha sido ensinado durante a primeira metade das aulas sobre circuitos simples de corrente contínua.

Os circuitos sobre os quais incidiram as perguntas são o da figura 6 e o da figura 14 e foram feitas perguntas qualitativas e quantitativas sobre os mesmos.



$$R_A = R_B = R_C = R_D = R_E = 6 \Omega$$

**Figura 14**– Circuito utilizado como base para as pergunta de avaliação qualitativa

Destes cem alunos, cerca de 50 tiveram aulas tutoriais, 10 – 25 tiveram um breve contacto com elementos tutoriais e o resto não teve qualquer aula tutorial.

A pergunta qualitativa pedia ao aluno que ordenasse as lâmpadas do circuito da figura 14 segundo o seu brilho, à qual apenas cerca de 15% dos alunos que não frequentaram aulas tutoriais responderam correctamente, ordenando as lâmpadas de forma correcta, ao passo que cerca de 45% dos alunos que tiveram aulas tutoriais responderam correctamente, notando-se já uma diferente performance na compreensão de circuitos entre um e outro grupo de alunos.

A pergunta quantitativa pedia ao aluno que calculasse a corrente que atravessava a resistência A, quando o interruptor estava fechado. Foi dito aos estudantes que assumissem a bateria como ideal e usassem os valores indicados na figura.

Pouco menos do que 45% dos alunos das aulas tutoriais responderam correctamente à pergunta (que tinha como resposta 1,5 A) ao passo que, dos alunos que não frequentavam este tipo de aulas, apenas 15% foi capaz de dar esta resposta, denotando assim uma clara discrepância no número de alunos que responderam correctamente à pergunta entre ambos os grupos de alunos

Sumariando, denota-se que em ambos os casos (a longo e a curto prazo), os alunos que analisaram e preveram eficazmente o comportamento de circuitos ao nível quantitativo têm dificuldades em fazer essa análise ao nível qualitativo, indicando que a capacidade para resolver problemas numéricos não corresponde a uma elevada compreensão qualitativa dos conceitos físicos.

**D: CONTEXTUALIZAÇÃO E INTERLIGAÇÃO DOS RESULTADOS VERIFICADOS NOS 2 ARTIGOS NO CASO DO SISTEMA DE ENSINO PORTUGUÊS:**

De acordo com a análise destes 2 artigos, é possível verificar que existe uma série de dificuldades por parte dos alunos em compreender os conceitos físicos que estão na base do estudo dos circuitos eléctricos simples.

No entanto, estas dificuldades nem sempre são óbvias e, por vezes, é bastante difícil ao professor aperceber-se das mesmas, seja por falta de alerta para estas dificuldades, seja devido ao facto de os alunos também não se aperceberem das mesmas ou terem receio de colocar as suas dúvidas.

No primeiro artigo são analisadas as dúvidas dos alunos, trabalho de investigação bastante importante e, que a meu ver, poderia ser de grande utilidade para o sistema de ensino português. Este tipo de ensino peca por focar precisamente assuntos sobretudo quantitativos em detrimento dos aspectos qualitativos. Esta conclusão é estabelecida com base na análise do curriculum efectuada na 1ª parte deste trabalho, não podendo deixar de referir aqui que o manual escolar analisado na 1ª parte do trabalho também se inclui neste grupo, pois não pude deixar de constatar o facto de serem incluídas demonstrações sobre conceitos (ver pág. 231 do livro de texto “*Ritmos e Mudanças*” ; “Que valor deve ter a resistência equivalente a uma associação de resistências em paralelo”), serem apresentados puros exercícios numéricos sobre circuitos (ver pág. 264 – 271) e serem dados ao aluno exemplos de ilustração que pouco o esclarecem (ver “Exemplo”, pág. 214), entre outros factores, levando-me a perguntar onde é que é feita a análise qualitativa do tema electricidade e, em particular, a dos circuitos eléctricos.

O livro analisado na 1ª parte deste trabalho propõe bastantes actividades laboratoriais para serem realizadas e, segundo a minha perspectiva, poderão ser bastante úteis mas este tipo de actividades deveria ser realizada ou em aulas tutoriais ou em aulas laboratoriais, de modo a tirar o máximo proveito das mesmas.

Este é, aliás, um problema existente na maioria dos manuais escolares, talvez levados a isso de acordo com as indicações dos programas curriculares apresentados pelo Ministério da Educação.

Entendo que isso deva ser mudado, dado que as dificuldades referidas nos artigos em relação aos alunos de escolas americanas, se podem encontrar também nos alunos que frequentam as escolas secundárias portuguesas e até em alunos universitários, sejam eles de que ano ou curso forem. Não são tão raras as vezes em que isso é visível e nota-se que, apesar dos alunos conseguirem trabalhar os dados numéricos, aplicar leis e equações já não conseguem facilmente prever, por exemplo, o brilho relativo das lâmpadas de um circuito idêntico ao da figura 6, pois os alunos têm dificuldades que não sabem resolver.

De acordo com os ensinamentos retirados destes artigos, entendo que o sistema de ensino português bem como muitos dos livros adoptados nas escolas secundárias, não colmatam as dificuldades dos alunos ao nível dos circuitos eléctricos pois estão direccionados para um tipo de ensino mais teórico, onde o professor actua mais como um transmissor de conhecimentos, onde ensina o que lhe ensinaram, não havendo lugar à discussão de ideias, à partilha de experiências ou a actividades laboratoriais. Estes erros são comuns e, de acordo com os resultados que os investigadores obtiveram, este método revela-se errado (ver pág.32, “Natureza dos elementos tutoriais”).

As dificuldades dos alunos portugueses, em especial os do ensino secundário, enquadram-se nas dificuldades encontradas pelos investigadores em relação aos alunos do sistema de ensino americano. Não poucas vezes se assiste a casos em que os alunos têm dificuldades em relação a conceitos físicos, mas penso que estas dificuldades sejam devidas sobretudo ao modo como o ensino em Portugal (em especial, o ensino das Ciências Físico-Químicas) se encontra estruturado, o qual não favorece a adequada aprendizagem dos conceitos físicos.

Os artigos analisados revelam sobretudo dificuldades dos alunos ao nível conceptual e de fundamentação das suas ideias. No entanto, nada referem em relação às bases matemáticas que os alunos devem ter quando chegam ao nível de ensino em que estes estudos foram realizados. Esta é uma chamada de atenção, na medida em que muitos alunos também não conseguem resolver problemas quantitativos, resultando daí efeitos muito negativos para o sucesso do aluno.

Um outro problema focado pelos artigos é o de os alunos não conseguirem associar diagramas que não se apresentem segundo a geometria vulgarmente encontrada para circuitos, uma vez que não conseguem interpretar o que é uma ligação em série e o que é uma ligação em paralelo. Este é um fenómeno a que se assiste por parte dos alunos portugueses mas é também curioso observar o facto de que não encontrei nenhum manual escolar que faça essa distinção e dê exemplos concretos aos alunos sobre o modo em que cada um dos casos se processa.

As estratégias gerais de ensino defendidas no 2º artigo analisado parecem-me bastante correctas, privilegiando assim os aspectos didácticos, a qualidade e a conceptualidade. Estes métodos revelaram por si que são mais eficazes ao nível da aprendizagem efectuada pelos alunos e pressuponho que, se convenientemente adoptadas ao nível do ensino português se revelariam muito mais frutíferas do que o actual método usado em Portugal.

Penso que a escola deve ser capaz de produzir cidadãos capazes, mas onde haja uma efectiva aprendizagem, com participação, autonomia e cooperação social. Deverá o aluno saber argumentar, tomar decisões, resolver problemas que se lhe deparem e, por este facto, a escola deverá ter em conta o carácter utilitário do serviço que presta.

Os artigos analisados vão precisamente neste sentido e penso que o sistema de ensino em Portugal não deve ter apenas como função o transmitir conhecimentos e leis, sem que o aluno os entenda, mas antes adoptar uma postura de formar cidadãos capazes, pois de nada valerá ao aluno saber um conjunto de leis e fórmulas se não as conseguir aplicar em exemplos práticos.

Em jeito de resumo, tornou-se mais que evidente que o método de ensino tradicional não é aquele que melhor prepara os alunos, em termos de aprendizagem de conceitos físicos. Deveriam ser adoptadas estratégias (por exemplo, como as referidas no 2º artigo) e que se ensinassem os alunos, não segundo uma perspectiva de fornecer uma data de conhecimentos mas antes numa perspectiva de os fazer entender esses conhecimentos. No entanto, parece-me que o problema não se coloca apenas ao nível dos programas curriculares apresentados pelo Ministério da Educação mas também ao nível dos manuais escolares e, tendo estes um papel preponderante no estudo efectuada pelo aluno seja a que nível for, deveriam ser elaborados de modo a ter em atenção não só os aspectos quantitativos da matéria mas também os aspectos qualitativos (análise de circuitos, esboço de gráficos, elaboração de esquemas, etc).

Para finalizar, apenas quero referir que em Portugal já se começam a dar os primeiros passos no sentido da mudança. Um exemplo disso são as chamadas Técnicas Laboratoriais de Física (T.L.F.), mas após alguma investigação, pude concluir que as mesmas se encontram desadaptadas às exigências curriculares, pois assiste-se a casos como o de os alunos de T.L.F. do 12º ano andarem a realizar experiências de 8º ano! Assim, não só é necessário adoptar novas estratégias (aulas tutoriais e laboratoriais) mas é também fundamental adaptar as estratégias já existentes, como o caso das aulas T.L.F., de modo a não se cometerem erros da natureza dos referidos acima.

Algumas das estratégias que eu penso que deveriam ser adoptadas foram já referidas na pág. 14, sendo que algumas delas já foram aqui afloradas aquando do tratamento dos 2 artigos propostos (ver págs. 33 e 34). O ensino ao nível do ensino básico e secundário parece-me propor um tipo de ensino que não vai de encontro aos problemas da sociedade e muito menos desperta o aluno para a ciência, na medida em que os alunos não se identificam com o que lhes é ensinado nas aulas teóricas convencionais, verificando-se que em aulas do tipo tutorial ou laboratorial, há um maior envolvimento destes no processo de aprendizagem. Não se pretende com isto dizer que as aulas deveriam ser apenas deste tipo mas antes alertar para um facto, provavelmente prejudicial ao aluno, que é o de o aluno não encontrar referências neste tipo de ensino, interrogando-se a ele próprio sobre a finalidade do mesmo, para que serve, quais os benefícios que lhe traz.

O tipo de ensino apresentado como proposta no 2º artigo (ver pág. 23-34) parece-me assim ser muito mais vantajoso e gratificante quer para o aluno, quer para o professor, pois envolve muito mais o aluno na sua aprendizagem e desenvolvimento, beneficia o seu raciocínio e atrai o aluno para o campo das ciências, em particular para a Física.

## CONCLUSÕES

De um modo geral, poder-se-ia dizer que o programa apresentado pelo Ministério da Educação para o 10º ano de escolaridade para o tema “Electricidade”, foca assuntos de bastante interesse e, segundo o contacto que tive com professores que actualmente estão a leccionar este assunto e já com bastante experiência neste ramo, este é um dos assuntos que mais interesse desperta nos alunos.

No entanto, assiste-se a um factor interessante: o de os alunos preferirem ler os manuais adoptados a escrever aquilo que o professor diz, a menos que o professor insista bastante. Isto leva a concluir o quão importante é adoptar um bom manual escolar, claro e conciso, seja do ponto de vista linguístico, científico ou pedagógico.

O manual escolar escolhido para este trabalho é, de um modo geral, bom do ponto de vista científico embora ao nível pedagógico devesse ter mais atenção certos aspectos tais como o tipo de apresentação dos textos, fazer um enquadramento histórico adequado quando refere algum físico ou alguma teoria que foi descoberta (por exemplo, no caso da lei de Ohm) e incluir em maior número imagens sugestivas para, por exemplo, explicar (ou, pelo menos, para o aluno poder visualizar) um aparelho como o voltímetro ou amperímetro. Convém pois não esquecer que, muitas vezes, a disciplina de Físico-Química não possui suporte laboratorial adequado e o aluno apenas vê certos aparelhos em livros.

Além disso, aquando da sua preparação para exames, o livro vai ser o principal auxiliar de estudo para o aluno e convém que o mesmo seja claro e perceptível. O aluno, caso não lhe tenha sido despertado o interesse, tenderá a encarar a ciência e, em particular a Física, como um assunto maçador, complicado e “irreal” que apenas interessa a algumas pessoas (como, por exemplo, o seu professor). O livro é assim um dos principais meios de transmitir conhecimentos e, por este facto, reveste-se de alguma importância o tratamento de certos conteúdos científicos sem descurar os aspectos didáticos.

O presente trabalho insere-se assim no âmbito de um trabalho de Monografia, com o tema genérico “Electricidade no Ensino Secundário”. Numa 1ª fase, foi realizado um trabalho de análise dos programas curriculares propostos pelo Ministério da Educação português, bem como um livro de texto referente ao tema em questão.

Como trabalho extra, foram realizadas pesquisas em outros livros <sup>(5)</sup>, não só como meio de esclarecimento mas também para poder ser feita uma melhor análise e comparação do livro de texto analisado. Foram ainda estabelecidos contactos com alguns professores que leccionam a disciplina de Físico-Química, dos quais se obtiveram diversas reacções e opiniões, não só acerca do livro mas sobretudo do programa curricular e das matérias a abordar.

Em relação à 2ª parte da Monografia, que tem como base de trabalho a análise de 2 artigos da revista “*American Journal of Physics*” e depois fazer a interligação das dificuldades encontradas no sistema de ensino português, mais uma vez é possível afirmar que a grande maioria dos manuais escolares adoptados bem como o programa curricular orientador do professor se encontram elaborados para uma estrutura de aulas teóricas e de resolução de exercícios.

No entanto, este tipo de aulas tradicionais não corresponde de forma alguma às expectativas dos alunos, sendo talvez este tipo de aulas o responsável pelo insucesso escolar ao nível das Ciências Físico-Químicas e pelo respectivo desinteresse das mesmas.

O problema, segundo o meu ponto de vista, prende-se com a necessidade de perceber que existem conceitos bastante abstractos que têm que ser ensinados aos alunos e que, sem o apoio laboratorial ou tutorial permanente, se tornam assuntos que o aluno não percebe e que o fazem desinteressar-se pelas ciências. Este tipo de conceitos tem de ser ensinado ao aluno, não segundo a actual perspectiva de ensino mas adoptando uma postura de discussão e crítica construtivista, guiando o aluno no seu conhecimento, mas fazendo-o através duma abordagem mais ao nível prático.

Entendo que se deva deixar o aluno construir o seu próprio conhecimento, que seja o aluno a fazer em vez de ver fazer, pois se for o professor a realizar as experiências e a resolver os exercícios, o aluno vai entender tudo mas não será capaz de explicar por si o que viu fazer, ao passo que se tiver sido ele a fazer, poderá inclusivé esclarecer as suas dúvidas, apercebendo-se assim das dificuldades que ele próprio tem.

Acredito no entanto que a escola deve fornecer ao aluno um conjunto de ferramentas necessárias para o seu desenvolvimento mas que o valorizem. Não deve ser transmitido ao aluno informação em quantidade, mas deve sim apostar-se na qualidade pois o aluno que conseguir aplicar os seus conhecimentos na prática, será muito mais valorizado do que aquele que apenas o conseguir fazer para si, por vezes sem ele próprio entender o que está a fazer.

Penso que os objectivos foram alcançados mas foi sobretudo um trabalho de pesquisa e formação bastante valorizador e penso que, acima de tudo, será esse o aspecto mais importante, uma vez que me permitiu pela primeira vez, perspectivar o papel de professor como agente activo na formação da sociedade.

Este trabalho constituiu assim uma mais-valia para a minha formação, na medida em que permitiu um primeiro contacto com a realidade futura e me incutiu uma nova perspectiva sobre o sistema de ensino actual em Portugal, o seu desenvolvimento e perspectivas de futuro, mas também as suas fraquezas. A análise do livro escolhido e também de outros livros <sup>(5)</sup> permitiu-me também ver os vários modos de explicação de um mesmo assunto, as diferentes perspectivas conforme os autores e retirar até alguns ensinamentos para a actividade que irei desenvolver no futuro: a de professor. No entanto, entendo que a parte mais importante deste trabalho foi, sem dúvida, a 2ª parte pois permitiu-me perspectivar o conhecimento dos alunos segundo um outro prisma, levando-me a concluir que, afinal, os alunos não possuem certos conhecimentos pois existem neles certas ideias ao nível de conceptualização e fundamentação que é necessário esclarecer, tarefa essa a realizar quando for professor.

Este tipo de trabalho deveria ser mais amplamente utilizado, inclusivé em outras cadeiras, uma vez que permitiria ao seu autor começar a ter uma noção mais clara do que é ser professor, o que ele pode esperar do ensino e aquilo que o ensino espera dele, contrariando assim a noção, por vezes errada, que se tem sobre o que é ser professor. Além disso, permitir-lhe-ía uma maior preparação para ensinar e também desenvolver métodos de ensino mais eficazes do que os actualmente existentes.

## NOTA HISTÓRICA

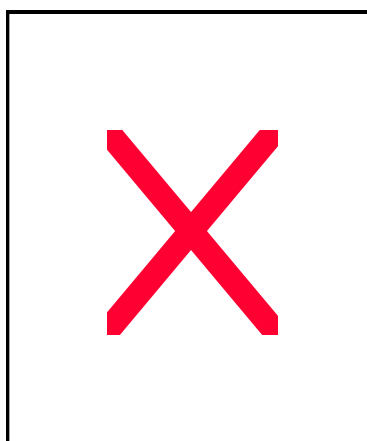
A electricidade não foi inventada: ela sempre existiu na natureza, podendo o homem testemunhar as suas mais diversas manifestações ainda na época antes de Cristo.

Electricidade vem do grego “*elektron*”, que significa âmbar amarelo., ou seja, resina vegetal amarela. Já o filósofo grego Tales de Mileto (600 a.c.) se referia a este material, pois verificou que após esfregar um pedaço de pele de gato em âmbar, este atraía corpos leves tais como pedacinhos de lã, palha ou pó.

Só séculos mais tarde é que foram obtidas respostas a certas questões.

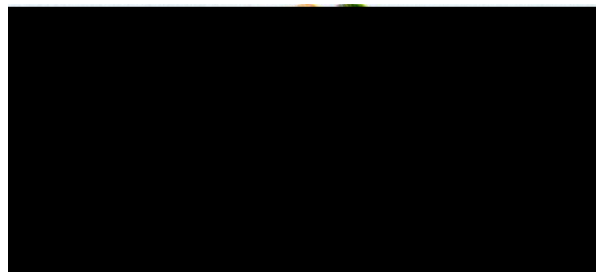
Em 1785, Coulomb define as leis de atracção e repulsão entre cargas,

abrindo assim caminho aos estudos de Gauss e de Laplace, enquanto que em 1800, Alessandro Volta (1745-1827), utilizando trabalhos de Galvani, inventa a chamada “pilha de Volta”. Muitos outros nomes apareceram ligados à electricidade e ao magnetismo, como Hans Oersted (1777-1851) que descobriu o efeito magnético de uma corrente eléctrica



**Figura 16** – Alessandro Volta (1745-1827)

Durante todos estes séculos, a Física avançou em muitas frentes, nomeadamente na parte do estudo da electricidade e do magnetismo. No entanto, a investigação não pára estando assim abertas todas as possibilidades no domínio do estudo dos fenómenos eléctricos.



**Figura 15**– Tales de Mileto (600 a.c.)

em 1820 e Michael Faraday (1791-1867) prosseguiu com o desenvolvimento do gerador eléctrico (dínamo) e do motor eléctrico. No entanto, nada disto teria sido possível sem o avanço progressivo do estudo das propriedades dos materiais existentes e da matéria que os constitui, os quais estão intimamente ligados à electricidade, uma vez que a matéria é constituída por átomos. Um átomo pode ser imaginado como uma esfera, no centro da qual está o núcleo, constituído por partículas carregadas positivamente (protões) e neutrões, orbitando em torno deste núcleo os electrões, partículas de carga negativa. Os electrões são em mesmo número que os protões. Os neutrões não possuem carga eléctrica, ao contrário dos electrões e dos protões.

**BIBLIOGRAFIA GERAL:**

- BELLO, Adelaide; COSTA, Esmeralda e CALDEIRA, Helena, “*Ritmos e Mudanças*”, Porto Editora, 1994, págs. 212-283
- COSTA, M.R. e ALMEIDA, Maria José B. Marques, “*Fundamentos da Física*”, Almedina, Coimbra, 1993
- CLARK, John, “*Nova Enciclopédia das Ciências – A Física*”, Círculo de Leitores, 1996
- FERREIRA, Adelina Figueiredo e MATOS, Adelina Figueiredo, “*Física Passo a Passo / 8º ano*”, Editorial O Livro, 1994
- FIOLHAIS, Carlos; VALADARES, Jorge; SILVA, Luís; TEODORO e Vítor Duarte, “*Física*”, Didáctica Editora, 1995
- GIL, Francisco Paulo de S. Campos, “*Apontamentos de Didáctica da Física II*”, 1997  
Ministério da Educação, “*Programa e Organização Curricular do Ensino Básico e Secundário*”, 1995
- McDERMOTT, Lillian e SHAFFER, Peter S., “Research as a guide for curriculum development: Na Example from introductory electricity. Part I: Investigation of Student understanding; Part II: Design of intruotional strategies”, *American Journal of Physics*, Nº60, Novembro 1992
- MORAIS, Ana Maria e SILVA, Irene, “*O meu livro de Ciências Físico-Químicas*”, Raíz Editora, 1993
- SIMÕES, Teresa Sobrinho, *et al*, “*Técnicas Laboratoriais de Química*”, Porto Editora, 1996
- VALADARES, Jorge e PEREIRA, Duarte Costa, “*Didáctica da Física e da Química*”, Universidade Aberta, 1991

**BIBLIOGRAFIA ESPECÍFICA:**

- (1) BELLO, Adelaide, *et al*, “*Ritmos e Mudanças*”, Porto Editora, 1994, págs. 212-283
- (2) McDERMOTT, Lillian C.*et al*, 1992, *American Journal of Physics*, Nº 60, pág. 997, alínea d);
- (3) McDERMOTT, Lillian C.*et al*, 1992, *American Journal of Physics*, Nº 60, pág. 997, alínea e);
- (4) McDERMOTT, Lillian C.*et al*, 1992, *American Journal of Physics*, Nº 60, pág. 1002;
- (5) FERREIRA, Adelina Figueiredo *et al*, “*Física Passo a Passo / 8º ano*”, Editorial O Livro, 1994  
MORAIS, Ana Maria e SILVA, Irene, “*O meu livro de Ciências Físico-Químicas*”, Raíz Editora, 1993