Nuno Alexandre Fernandes Vaz

PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DA ENERGIA: UMA PROPOSTA EXPERIMENTAL PARA O ENSINO SECUNDÁRIO.

Departamento de Física
Faculdade de Ciências
Universidade do Porto
Junho de 2003

Nuno Alexandre Fernandes Vaz

PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DA ENERGIA: UMA PROPOSTA EXPERIMENTAL PARA O ENSINO SECUNDÁRIO.

Tese submetida à Faculdade de Ciências da Universidade do Porto para obtenção do grau de Mestre em Física para o Ensino

Departamento de Física
Faculdade de Ciências
Universidade do Porto
Junho de 2003

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a disponibilidade e o apoio do orientador desta tese, o Professor João Lopes dos Santos, com quem muito aprendi.
Gostaria, também, de agradecer ao projecto Faraday a disponibilidade de recursos e a troca de ideias que enriqueceram este trabalho.
Agradeço ainda a Sandra Duarte pelo apoio dado durante todo o curso.

Sumário

Neste trabalho apresentamos um conjunto de actividades experimentais que podem ser levadas a cabo em sala de aula, no âmbito da componente de Física do Ensino Secundário, em temas relacionados com o conceito de energia. A escolha deste tópico foi motivada pelos conteúdos do programa da nova reforma curricular do 10º Ano.

Começamos por fazer um breve resumo de alguma investigação feita sobre as concepções alternativas dos alunos em torno dos conceitos de conservação de energia, energia interna, calor, trabalho, primeira lei da termodinâmica e temperatura, assim como sobre as metodologias de trabalho que passam pela resolução de problemas e actividades experimentais em sala de aula.

Todas as actividades propostas são orientadas pelo princípio da conservação da energia, como fio condutor de todos os conceitos em discussão.

As propostas apresentadas têm por primeiro objectivo tentar responder a estas concepções alternativas, clarificando os conceitos através da discussão de experiências concretas com sistemas que interagem trocando energia. O conceito de conservação enquadra toda a discussão de resultados.

O segundo objectivo é aprofundar os conceitos referidos dando uma perspectiva microscópica do sistema, procurando situações de interacção entre massas do sistema, onde graus de liberdade internos ao sistema terão de ser considerados para explicarmos variações de energia medidas. Deste modo esperamos conseguir uma integração harmoniosa entre uma perspectiva mecânica e termodinâmica evitando a cristalização de visões aparentemente contraditórias dos fenómenos no espírito dos alunos.

Finalmente é apresentado um conjunto de protocolos ou guias de experiência a ser usado pelos alunos em sala de aula que, à luz das metodologias de trabalho atrás referidas, permitam aos alunos realizar as mesmas actividades que aqui são apresentadas.

Índice

Capítulo 1 Introdução 7

1.1 Introdução 7

1.2 Uma ideia a construir 8

1.3 Dificuldades sentidas pelos alunos na discussão de energia e conceitos relacionados. 9

1.3.1 Calor e temperatura 11

1.3.2 Calor e trabalho 12

1.3.3 Primeira Lei da Termodinâmica 13

1.3.4 Princípio da conservação da energia 14

1.4 A necessidade de actividades experimentais e da resolução de problemas. 14

1.5 Sobre a proposta da nova reforma curricular, componente de Física do 10º Ano. .. 16

1.6 Breve descrição do sobre o trabalho que se seguirá. 17

Capítulo 2 Uma via experimental para o primeiro princípio da termodinâmica. 19

2.1 Apresentação geral das experiências. 19

2.2 Transferências de energia entre corpos. Energia interna e Temperatura 21

2.2.1 Introdução 21

2.2.2 Método das misturas 22

2.2.2.1 Misturas de massas de água líquida. 22

2.2.2.2 Mistura de uma massa de água e uma massa metálica. 26

2.2.3 Conclusão 30

2.3 Mistura de água líquida e gelo. Calor de fusão do gelo. 32

2.3.1 Introdução 32

2.3.2 Método das misturas 32

2.3.2.1 Verificação de que é possível ter água e gelo à mesma temperatura. 33

2.3.2.2 Mistura de gelo a 0 ºC e água à temperatura ambiente. 34

2.3.2.3 Aquecimento da água líquida a 0 ºC e gelo a 0 ºC, em recipientes separados e em simultâneo 37

2.3.2.4 Determinação do calor de fusão de uma porção de gelo. 40

2.3.3 Conclusão 45

2.4 Medição eléctrica da variação da energia interna de uma massa de água. Radiação. 47

2.4.1 Introdução 47
2.4.2 Material usado: 48
2.4.2.1 Aquecimento da água sem corante. 48
2.4.2.2 Aquecimento da água com corante negro diluído. 50
2.4.3 Conclusão 52
2.5 Outras formas de trabalho. Aquecer com "trabalho mecânico" 54
Capítulo 3 Transferência de energia por condução. O conceito de calor 56
3.1.1 Introdução 56
3.1.2 Material usado. 56
3.1.2.1 Transferência de energia entre duas porções de água líquida a temperaturas diferentes. 57
3.1.2.2 Isolamento térmico da barra. 60
3.1.2.3 Transferência de energia entre duas massas de água na qual uma é gelo. Condutividade. 62
3.1.3 Conclusão 65
3.2 Estudo das perdas de energia de uma garrafa térmica. 67
3.2.1 Introdução 67
3.2.2 Procedimentos e resultados 67
3.2.3 Conclusão 68
Capítulo 4 Colisões elásticas e inelásticas. Transferência de energia 69
4.1 Introdução 69
4.1.1 Inelasticidade e conservação de energia 69
4.2 Material usado no conjunto de experiências descritas neste capítulo: 71
4.3 Colisão do carrinho com o batente, deslizando sobre a calha inclinada. 71
4.4 Colisão do carrinho, e massas, com o batente: calha na horizontal. 75
4.4.1 Propostas alternativas. 80
4.5 O movimento browniano. 80
4.6 Conclusão 83
Capítulo 5 Propostas de protocolos experimentais para trabalho com alunos. 89
5.1 Transferências de energia entre objectos. Energia interna e Temperatura. 89
5.2 Temperatura de fusão da água. Equilíbrio térmico. 90
5.3 Mistura de água líquida e gelo. Calor de fusão do gelo. 91
5.4 Cálculo da energia necessária para fundir uma certa quantidade de gelo. 91

5.5 Medição eléctrica da variação da energia interna de uma porção de água. Radiação. 92
5.6 Transferência de energia por condução. Condutividade. 93
5.7 Colisões elásticas e inelásticas. Transferência de energia 95
5.8 Estudo das perdas de energia de uma garrafa térmica. 96
Capítulo 6 Conclusão 97
Referências Bibliográficas 101
Anexo I - Materiais utilizados nas experiências relatadas no capítulo 2, 3 e 4. 103
Índice de Tabelas 105
Índice de Figuras 105
Índice de Gráficos 106

Capítulo 1 Introdução

1.1 Introdução

Desde há vários anos que são desenvolvidos currícula de ciências onde são evidenciadas as implicações sociais, económicas e ambientais da Ciência e da Tecnologia. É objectivo de uma sociedade democrática que cada Cidadão seja capaz de discutir e intervir conscientemente nas transformações tecnológicas que lhe dizem respeito. O Sistema Educativo Português compreendeu, desde a década de 70, que vivemos numa sociedade fortemente influenciada pela Ciência e pela Tecnologia de tal modo que os currícula reflectem uma cada vez maior importância dada aos processos tecnológicos como motivos para a discussão em sala de aula. Compreendeu que muitas vezes as decisões pessoais e políticas tomadas não são neutras, que envolvem interesses sociais e económicos. Assim assumiu como objectivo uma formação dos jovens para uma literacia científica, a preparação dos nossos alunos para se assumirem como membros de pleno direito da nossa Sociedade. Tornou-se importante que os adolescentes, aqueles que despertam para estes problemas, compreendam através dos currícula o avanço da Ciência. Já não podemos ver o Ensino como a formação de seres especializados ou de cientistas, embora esta componente seja fundamental, mas de homens e mulheres preparados para a cidadania.

O Projecto Educativo prevê uma educação integral para todos os alunos, que de forma democrática, no futuro, intervirão de forma consciente nos passos que lhes dizem respeito. A discussão das questões energéticas, as necessidades de consumo crescentes, as implicações económicas da produção e exploração energética e as consequências ambientais do consumo descontrolado de energia tornaram o conceito de energia incontornável no currículo de Física nos Ensinos Básico e Secundário.

O conceito de energia travessa por completo o nosso quotidiano, reflexo de uma sociedade desenvolvida onde o conforto e o bem estar são objectivos nunca esquecidos. Não é, em nada, indiferente este conceito nos currícula dos vários ramos da ciência, na nossa Escola. Ele é introduzido no currículo de Física desde o primeiro nível da disciplina de Ciências Físico-Químicas. A análise de diferentes transformações que ocorrem na natureza, nas quais os conceitos introduzidos são referidos a quando da discussão, devem ser claros para qualquer cidadão participante do processo de desenvolvimento da nossa sociedade.

Desta forma, torna-se num desafio para a Física e os Professores de Física permitir que os alunos construam de forma clara este conceito assim como os que, com ele, se relacionam. A

natureza abstracta do conceito é a principal dificuldade. Este desafio tem levado muitos autores de investigação no ensino das ciências a apontarem pistas para se ultrapassar muitas das dificuldades com que os professores se deparam na sala de aula. Muito trabalho foi já desenvolvido sobre muitos dos factores que balizam o sucesso no ensino de Física, como as ideias alternativas dos alunos sobre os mais diversos conceitos, sobre a resolução de problemas e as implicações sobre a clarificação de conceitos, a actividade experimental e a orientação do ensino das ciências numa perspectiva de trabalho científico, entre outros.

O presente trabalho pretende ser um ponto de apoio a professores de Física numa perspectiva do ensino da Ciências orientado para a colocação de situações diversas perante os alunos, encorajando-os a levantar questões, fazer previsões, planear experiências simples, observar semelhanças e diferenças entre os resultados e avaliar os resultados à luz das ideias inicialmente expressas, dos pontos de partida conceptuais.

Apresenta-se um conjunto de propostas experimentais que não são meras tarefas pontuais e isoladas mas antes percursos de pesquisa onde paulatinamente os conceitos se tornam visíveis e claros. As propostas são acompanhadas de questões-problema permitindo o debate e o confronto inicial de ideias entre os alunos. Permitem ainda a exploração do trabalho em grupo, da cooperação na aprendizagem e comunicação entre alunos.

Este trabalho tem duas preocupações. A primeira consiste em identificar as dificuldades que os alunos apresentam quando discutem grandezas relacionadas com energia. Aqui o trabalho fundamenta-se em investigação levada a cabo por alguns autores, sobre a maneira como podemos compreender a linguagem habitualmente usada pelos alunos antes de iniciarem estes temas curriculares e de que forma colide com a linguagem científica. Por outro lado, compreender as ideias expressas pelos alunos após terem sido submetidos ao processo de ensino-aprendizagem do conceito de energia. A segunda preocupação será apresentar actividades experimentais e de discussão que possam ajudar a ultrapassar essas dificuldades.

1.2 Uma ideia a construir

Quando um tema curricular de Física, do Ensino Secundário, tem como base a energia, surgem conceitos como trabalho, calor, temperatura e energia interna intimamente relacionados. Mas existe uma ideia fundamental, que organiza a forma como são vistos estes conceitos por todas as áreas da Física contemporânea: o princípio de conservação de energia. É oportuno lembrar a forma como Feynman (1965) expôs esta ideia:

> "There is a fact, or if you wish, a *law*, governing all natural phenomena that are known to date. There is no known exception to this law-it is exact so far as we

know. The law is called the *conservation of energy*. It states that there is a certain quantity, which we call energy, that does not change in the manifold changes which nature undergoes. That is a most abstract idea, because it is a mathematical principle; it says that there is a numerical quantity which does not change when something happens. It is not a description of a mechanism, or anything concrete; it is just a strange fact that we can calculate some number and when we finish watching nature go through her tricks and calculate some number again, it is the same. (Something like the bishop on a red square, and after a number of moves – details unknown – it is still on some red square. It is a law of this nature.) "

" Existe um facto, ou se quiser, uma *lei*, governando todos os fenómenos naturais conhecidos até à data. Não são conhecidas excepções a esta lei - tal é exacto tanto quanto conhecemos. A lei é chamada de conservação da energia. Estabelece que existe uma certa quantidade, a que chamamos energia, que não se altera nas mais diversas alterações que ocorrem na natureza. É uma ideia bastante abstracta, porque é um princípio matemático; diz que existe uma quantidade numérica que não se altera quando algo acontece. Não é uma descrição de um mecanismo, ou algo em concreto; é apenas um facto estranho que podemos calcular um número e quando acabamos de observar a natureza nalguma das suas transformações e calculamos algum número de novo, é o mesmo. Algo como o bispo numa casa vermelha, que depois de um certo número de movimentos - não importa quantos - ele continua numa casa vermelha. É uma lei desta natureza."

Todos os conceitos referidos serão abordados tendo como pano de fundo este princípio. O calor, o trabalho mecânico e eléctrico, a energia interna, a temperatura, mas também a massa, a capacidade calorífica e a condutibilidade térmica aparecem em relações matemáticas que expressam esta ideia e permitem descrever a forma como a energia pode variar, transferir-se, assumir diferentes formas, mas que no entanto, num sistema isolado conservar-se-á.

1.3 Dificuldades sentidas pelos alunos na discussão de energia e conceitos relacionados.

H. Goldring e J. Osborne, (1994) referem que "De todos os tópicos que emanam da ciência, energia é o tema que acompanha todos os passos da vida", " é o tema básico de todas as

ciências, biologia, química e física." Este tema é introduzido na linguagem cientifica, em currícula, desde cedo na vida escolar dos alunos, portanto é suposto estes ganharem, dada a insistência, a capacidade de aplicar com sucesso os conhecimentos relacionados.

Energia e conservação de energia estão tão próximos que é quase impossível discutir uma sem a outra em qualquer sistema isolado.

Muitas vezes tenta-se ensinar estes conceitos em dois passos: primeiro o conceito de energia e depois o princípio de conservação. Esta metodologia é muito popular entre professores de física e está bastante presente em muitos manuais escolares do nosso mercado. As dificuldades de compreensão poderão começar aqui. Poderão ainda começar a acumular-se quando na linguagem usada em sala de aula aparecem expressões como "crise energética" sem a devida discussão de como esta ideia se enquadra com a de conservação. De facto os conflitos começam cedo entre a linguagem do quotidiano e a linguagem científica. A palavra energia acaba por ser usada nos mais variados contextos e é referida simultaneamente quando falamos em gasolina, gás natural, esforço, frio, quente, nuclear, a conta da electricidade ou numa sensação. Na verdade muitos alunos manifestam dificuldades com o conceito de energia e ideias relacionadas (H. Goldring e J. Osborne, 1994). Essas dificuldades são visíveis na aplicação destes conceitos a situações do quotidiano. Mesmo quando os alunos são capazes de manipular com facilidade um grande número de fórmulas e resolver muitos dos problemas quantitativos, falham nas relação qualitativas ou na discussão de conceitos. De facto muitas vezes, no processo ensino-aprendizagem, coloca-se ênfase no treino da resolução de problemas numéricos, os denominados exercícios, partindo do pressuposto que estas competências são bem mais difíceis de adquirir que a compreensão e discussão qualitativa dos conceitos. Tal não é assim. Este tipo de ensino impede que os alunos aprendam os conceitos mesmo quando são capazes de enunciar leis e princípios de forma imaculada. Raramente se coloca a ênfase na discussão, reflexão, ou seja, na compreensão.

Nos currículos, estes conceitos são inicialmente introduzidos com o desenvolvimento da lei do trabalho e energia. O cálculo do trabalho de uma força, conservativa ou não conservativa acaba, muitas vezes, por ser a tarefa primordial numa aula de física, ficando "a flutuar", sem mais análise, expressões ou afirmações como "trabalho dissipado" ou "forças dissipativas" ou até a relação entre estes conceitos e o aumento de temperatura resultante de um processo de fricção.

1.3.1 Calor e temperatura

Esta subestimação do conhecimento que resulta da reflexão e análise qualitativos dos conceitos e a falta de eficácia do ensino virado para o treino do exercício leva à permanência da linguagem comum dos conceitos relacionados com energia. M.H.Caldeira e D.R. Martins (1990) resumem de forma conclusiva algumas das ideias mais correntes que alunos universitários apresentam quando solicitados a falarem sobre calor e temperatura. Vejamos algumas das respostas dadas pelos alunos:

" – Quando o nosso tacto nos diz que um corpo está quente ou frio, estamos a referir o calor que o corpo tem.
- Calor é uma sensação dos nossos sentidos.
- O calor é aquilo que se transmite de uma superfície para outras ou pelo Sol.
- O calor movimenta-se.
- Calor é energia. A temperatura quantifica-a, de modo à sua utilização standartizada.
- Calor é uma forma de energia que se sente pelos sentidos Humanos.
- O calor está relacionado com os movimentos moleculares de um dado sistema.
- Calor é agitação dos átomos no material. Temperatura é uma variável termodinâmica que traduz numericamente essa agitação.
- Calor é a quantidade de energia térmica que o corpo possui.
- Calor pode ser definido como energia interna de um sistema; a temperatura depende do calor do sistema.
- O calor define-nos a quantidade de energia dos corpos. Se um corpo tem mais energia que outro, ele tem mais calor que o outro.
- Calor é uma propriedade inerente dos corpos, enquanto que a temperatura é precisamente a medida dessa propriedade através duma convenção inicial.
- Calor é a temperatura fornecida quando se aquece um corpo.
- Temperatura é a quantidade de calor que a superfície tem depois de aquecida.
- Temperatura é a medida relativa do calor, isto é, a temperatura mede o calor de uma substância relativamente a outra.
- Temperatura é uma medida absoluta das variações de calor.
- Temperatura é uma característica dos corpos perceptível pelos nossos sentidos (sentimos calor ou frio).
- Temperatura está relacionada com as percepções sensoriais do calor e do frio.
- Temperatura é energia interna do sistema."

É flagrante a confusão entre calor e temperatura. Numa primeira análise reparamos que é recorrente a ideia de que calor é algo que existe no interior dos corpos, fazendo-nos lembrar das mais antigas teorias do *calórico*. Algo interno que torna os corpos "quentes" ou "frios" conforme a quantidade de calor que possuem. Entretanto o calor pode sair do corpo, transferindo-se para outro, movimentando-se. Outras afirmações revelam a ideia de que a energia interna é o calor que os corpos possuem, ou então, que a temperatura surge como uma medida do calor e ainda a confusão que existe entre temperatura e a sensação que um objecto nos pode proporcionar pelo tacto. Assim a má definição de calor por um lado e de temperatura por outro tendem a ser no sentido de confundir ambos os conceitos: "Temperatura é a medida absoluta das variações de calor". Podemos até subentender que alguns alunos consideram a temperatura como uma propriedade dos materiais que constituem os corpos.

Por outro lado M.F.Thomaz, I.M.Malaquias, M.O.Valente e M.J.Antunes (1994) referem que "para a maioria dos alunos, diferentes sensações significa diferentes temperaturas e o conceito de equilíbrio térmico, considerado pelos professores e autores de livros de texto como um dado adquirido pelos alunos, na grande parte dos casos não foi assimilado por estes. Quando em contacto com um ambiente a uma certa temperatura, durante um intervalo de tempo suficientemente longo, a temperatura de um objecto é vista, por um grande número de alunos, como dependente primordialmente da substância de que os corpos são feitos. Também muitos alunos pensam que aquecer uma substância significa sempre aumentar a sua temperatura. A temperatura de mudança de fase não é considerada como uma característica de uma substância pura; por outro lado, a temperatura de transição de fase é vista, por um grande número de alunos como a temperatura máxima que uma substância pode alcançar quando aquecida."

1.3.2 Calor e trabalho

Muitos alunos afirmam sem hesitações que calor é a energia contida num corpo. Mas esses mesmos alunos aprenderam que o trabalho de uma força ou o trabalho eléctrico de uma resistência podem fazer aumentar ou diminuir a energia desse mesmo corpo. Os conceitos de calor e trabalho estão, no pensamento dos alunos, de alguma forma associadas à energia. A dúvida que parece subsistir nos alunos está na compreensão do papel que cada um destes processos pode desempenhar no aumento ou diminuição da energia de um corpo. Poderemos até ser levados a pensar se esses alunos considerarão que trabalho e calor são, afinal, a mesma

grandeza ou significam a mesma coisa. Aquando da discussão destes conceitos, nos primeiros níveis de ensino, estes são tratados de forma separada, como se cada um destes processos encerre em si a única forma de variar a energia de um sistema, contribuindo para a confusão. Nos textos dos manuais sobram exemplos como a descrição da fricções de objectos sobre superfícies rugosas ou de colisões totalmente inelásticas entre corpos, surgem expressões como "o trabalho é convertido em calor" (A.B.Arons, 1999) ou o "trabalho dissipa-se sob a forma de calor" surgem sem que seja dada uma oportunidade a uma compreensão mais global das transferências de energia ocorridas. O uso desta linguagem contribui apenas para que os alunos não sejam capazes de associar correctamente estes conceitos com as situações do quotidiano, como o ligeiro aquecimento das mãos quando as esfregamos uma contra a outra. O currículo de Física tende a restringir os possíveis efeitos do trabalho a variações de energia cinética e energia potencial do sistema.

O conceito de energia interna, até hoje, escapou aos currículos do Ensino Básico e Secundário assim como o papel que o trabalho poderá desempenhar na sua variação, manifestando-se, por exemplo em variações de temperatura. O conceito de calor substitui o conceito de energia interna. Por outro lado, o conceito de temperatura aparece de tal forma "agarrado" aos conceitos de calor e energia interna nas ideias de alguns alunos que o trabalho parece não ter qualquer relação com a energia interna e que calor e trabalho não poderão provocar num sistema o mesmo efeito, como uma alteração da sua temperatura.

1.3.3 Primeira Lei da Termodinâmica

M.E.Loverude, C.H.Kautz e P.R.L.Heron (2001) apontam, como resultado de um estudo, que embora alguns alunos tratem calor como um processo que produz uma variação de energia interna, outros tratam calor como sendo essencialmente a mesma coisa que energia interna. Mas, em ambos os casos relacionam calor de forma tão exclusiva com variações de temperatura, que o trabalho parece supérfluo num processo térmico. Na confusão dos conceitos alguns alunos tentam associar trabalho com calor.

Estes autores referem ainda que muitos alunos parecem confundir quantidades relacionadas com processos, como calor e trabalho, com quantidades relacionadas com estados, como temperatura e energia interna. Isto acontece quando usam expressões como " variações de calor" ou até "variações de trabalho". Em conclusão, a primeira lei da termodinâmica é desconhecida, não representa uma hipótese para uma análise quantitativa de situações concretas, revelando-se não estar consolidada nos conceitos de alguns dos alunos.

1.3.4 Princípio da conservação da energia

"A energia gasta-se" é uma das frases mais comuns da linguagem quotidiana. Todos os dias somos chamados à atenção para a crise energética em que vivemos. De facto termos como dissipação ou perdas povoam as ideias de muitos alunos quando o conceito de energia é referido. É experiência de muitos professores de Física a dificuldade que têm em discutir com os alunos situações abstractas de sistemas isolados, atritos nulos ou perdas inexistentes. Os alunos apresentam grande resistência a problemas construídos nestes termos. Estes mesmos alunos afirmam, sem hesitações, que "energia não é criada nem destruída", ainda assim não são capazes de aplicar este princípio para resolver simples problemas. Nos nossos currícula este princípio tem surgido exclusivamente em transformações mecânicas, novamente, na resolução de exercícios numéricos mais ou menos complexos. Os manuais escolares parecem demonstrar alguma dificuldade em integrar na discussão este princípio tal como a primeira lei. Existe o medo de que os alunos não sejam capazes de analisar situações de conservação onde trabalho e calor intervenham. As dificuldades dos alunos são reais e põem-nos o desafio de dar um passo em frente no sentido da discussão simultânea dos conceitos clarificando calor, trabalho, energia interna, temperatura e o princípio da conservação.

1.4 A necessidade de actividades experimentais e da resolução de problemas.

Os problemas que normalmente são utilizados constituem exercícios de aplicação mecânica e rotineira em que, quase sempre, apenas se fazem variações numéricas ou se procede a rearranjos de equações matemáticas, fórmulas, conducentes à obsessão pela fórmula e ao operativismo.

As acções levadas a cabo em sala de aula continuam, ainda, a pautar-se por opções didácticas que colocam o aluno na situação de receptor passivo da informação.

Raramente os professores utilizam estratégias apoiadas na resolução de problemas, problemas que verdadeiramente contribuam para a discussão e aprendizagem de conceitos. Embora muitos manuais apelidem de "problemas" muitas das suas propostas de actividades, na realidade não passam de simples repetições de processos algorítmicos que os alunos, de algum modo, já conhecem.

Por outro lado, a adopção quase exclusiva de estratégias padronizadas fixa o aluno em esquemas de raciocínio excessivamente rígidos. Desta forma contribui-se para reforçar a sua eventual incapacidade de discussão qualitativa dos conceitos em situações novas, dificultando até a sua acomodação ao mundo que o rodeia, deixando-o de fora de muita da discussão ocorrida no seu quotidiano.

Esta didáctica dificilmente conduz à dissipação de ideias alternativas que, atrás expostas, os alunos apresentam. Ora os problemas devem constituir oportunidades de explanação e discussão dos conceitos, mais, devem oferecer aos alunos momentos de clarificação de conceitos que se apresentam confusos ou indistinguíveis nas ideias daqueles. De facto, já há muito compreendemos que métodos de ensino, em que os alunos são "treinados" na execução de tarefas, são ineficazes.

Muitos dos professores referem que as principais funções da actividade experimental são a familiarização dos alunos com o método científico e a motivação para a aprendizagem (Jaime Alís, 1995). Na realidade em muitos casos as actividades laboratoriais não são usadas como um meio de discussão mas como meio de cativação de atenção, noutros, seguem rígidas receitas que os alunos se limitam a seguir, sem que se parta de uma situação problema e sem que a discussão de hipóteses e de resultados tenham um papel importante.

Muitos currícula de Física propõem algumas actividades experimentais de execução descaracterizada e em que as conclusões não constituem um corpo conceptual e de discussão para outro conceitos.

Muitas vezes as actividades são preparadas sem serem precedidas de situações problema, situações que os alunos reconheçam como sendo suas questões. Quase sempre, as actividades são preparadas sem o cuidado de se pensar nas dificuldades que os alunos vão manifestando quanto aos conceitos curriculares.

Entre os professores, o desenvolvimento de actividades experimentais tem sido alvo de alguma controvérsia. Alguns manifestam-se dizendo que " não servem para nada" ou "os alunos não se interessam". Outros insistem em continuar a preparar actividades com resultados contraditórios. Parece-me que algumas respostas a estas dúvidas poderão ser encontradas no sentido do que foi atrás dito. No entanto muitos autores apontam que, para o sucesso no ensino das ciências, devemos partir de situações problemáticas que estejam de alguma forma relacionadas com o dia-a-dia dos alunos e que correspondam a questões que os alunos se colocam nos seus quotidianos. Não devemos procurar a experiência mais elaborada mas a que suscite o conflito de ideias, que preceda um problema e que seja clarificadora de conceitos. Enfim que procure responder às dúvidas que os alunos levantam. Aqui parece

presente o método cientifico, de recuos e avanços, de dúvidas, e da experimentação de aspectos particulares e muito parciais da complexa realidade. Ora o ensino da ciência não se pode colocar à margem da própria ciência e dos seus trilhos. A actividade cientifica deve inspirar o processo de ensino-aprendizagem, colocando o aluno em contacto com os métodos e as atitudes da ciência. Usufruir dos erros e dos fracassos das actividades, retirando conclusões e promovendo a discussão. Mas também valorizar os passos bem sucedidos, avançando nos conceitos.

Pretende-se que as actividades experimentais sirvam como momentos de discussão e que constituam, elas próprias, problemas a resolver, lembrando sempre aos alunos os longos passos e o esforço de gerações de investigadores que, no passado, trabalharam para que hoje possamos compreender algumas das situações mais complexas que ocorrem no nosso quotidiano, e que de outro modo nunca poderíamos realizar as mais simples experiências em aula.

1.5 Sobre a proposta da nova reforma curricular, componente de Física do 10º Ano.

As orientações curriculares ainda em vigor para o ensino da Física atribuem uma grande importância à mecânica elementar, mas a energia desempenha um papel secundário. A abordagem começa normalmente com a noção de trabalho seguido do teorema do trabalho-energia, a análise do trabalho de forças conservativas e não conservativas, para no final da linha se chegar à energia cinética e à energia potencial. O princípio da conservação da energia aparece, quase sempre, como um caminho para a resolução e determinação de outras variáveis que não a própria energia.

Naturalmente existem dificuldades na conciliação dos pontos de vista mecânico e termodinâmico quando falamos de energia. Mas não devemos fugir a esta necessidade atirando a perspectiva termodinâmica da energia para unidades opcionais que acabam por nunca serem abordadas.

De facto o conceito central que é a energia, no ensino da Física, é relegado para uma situação de menor importância mantendo sem discussão o aspecto fundamental da conservação da energia no Mundo em evolução que é o nosso.

A proposta da nova reforma curricular coloca como tema central a energia. Situações simples e familiares são o ponto de partida para a introdução de conceitos gerais e complexos. Apresenta uma visão global do conceito de energia, dando diferentes imagens e perspectivas

das manifestações diárias da energia que correspondem diferentes níveis de descrição da natureza.

É muito positiva a ênfase dada à necessidade da actividade experimental, tendo em conta as diferentes perspectivas, numa problematização das situações e ideias. Assim a nova proposta constitui um desafio para os professores no sentido de mudança de algumas práticas e para uma abordagem mais qualitativa e de reflexão dos conceitos em análise, pretendendo apresentar-se como uma ruptura com didácticas postas de lado pelas ciências da educação. Manifesta uma preocupação com os interesses dos alunos e as suas dificuldades com os conceitos abordados.

No entanto parece posta um pouco de lado, e não devemos deixar de a enfrentar, a discussão da aparente oposição entre o princípio da conservação da energia e a perspectiva dissipativa da energia em processos mecânicos. Perde a oportunidade de uma análise microscópica dos processos de transferencia e dissipação de energia, deixando, assim, de atribuir uma maior unidade ao tema e aos conceitos relacionados. Por outro lado, tendo em conta a necessidade de clarificar alguns conceitos atrás referidos, algumas das propostas experimentais poderiam ter sido pensadas no sentido de ir um pouco mais ao encontro das dificuldades que muitos alunos apresentam nestes temas.

1.6 Breve descrição do sobre o trabalho que se seguirá.

Este trabalho, a partir daqui, desenvolver-se-á em cinco capítulos essenciais. Nos três próximos capítulos (capítulos 2, 3 e 4) serão apresentadas propostas experimentais que acreditamos responder às dificuldades atrás referidas. Serão apresentadas na forma de relatório, isto é, será feita uma descrição dos procedimentos, do material utilizado, dos resultados obtidos, de alguns cálculos auxiliares, de algumas dificuldades sentidas nas execuções experimentais e de conclusões. Esta forma de apresentação tem duas preocupações: Proporcionar uma descrição, a mais fiel possível, do trabalho laboratorial por nós desenvolvido, sem que dúvidas fiquem para quem ler as descrições, partilhando as dificuldades e alguns aspectos dos resultados que não eram esperados a partir das hipóteses preestabelecidas e apresentar resultados e conclusões indo ao encontro das dificuldades que alguns alunos apresentam, atrás apontadas.

No capítulo 2 são descritas interacções entre massas de água, massas de água e cilindros metálicos, massas de água e gelo, sempre a diferentes temperaturas. Avaliaremos ainda o

efeito produzido pelo trabalho eléctrico e outras formas de trabalho realizado sobre massas de água e gelo.

No capítulo 3 a principal preocupação será clarificar o conceito de calor, apresentando um conjunto de experiências baseadas na transferência de energia entre duas massas água através de uma barra metálica.

No capítulo 4 descreveremos um conjunto de colisões inelásticas, onde tentaremos compreender a diminuição da variação da energia cinética de translação de um sistema complexo, isto é, um sistema não considerado uma partícula pontual.

Apesar da aparente não relação entre as diferentes propostas, algo orientará todas as descrições ao longo destes três capítulos: o princípio da conservação da energia.

No capítulo 5 são apresentadas propostas de protocolos experimentais que poderão ser usados pelos alunos, em sala de aula. Tentaremos apresentar protocolos que suscitem a discussão, levantando questões e propondo alguns procedimentos experimentais que permitam alguma liberdade de execução.

No capítulo 6 tentaremos expor algumas conclusões globais sobre o trabalho desenvolvido.

Capítulo 2 Uma via experimental para o primeiro princípio da termodinâmica.

2.1 Apresentação geral das experiências.

A ciência cresceu e desenvolveu-se a partir da análise de aspectos isolados e particulares da realidade complexa, para chegar a compreender esta mesma realidade. Em muitas das situações quotidianas, nas quais verificamos transferências de energia, enfrentamos sérias dificuldades quando queremos evidenciar o princípio da conservação ou outros conceitos de forma isolada de terceiros. A descrição de uma situação experimental em termos de princípio teórico ou conceito requer um controlo cuidado de variáveis experimentais. Não é fácil encontrar situações concretas que permitam esse controlo, sem introdução de uma camada indesejável de complexidade no processo experimental. Assim, as situações experimentais por nós escolhidas correspondem a uma selecção criteriosa cuja simplicidade, permitindo uma compreensão suficientemente profunda dos conceitos atrás referidos, não se afaste em demasia das experiências quotidianas dos alunos.

As primeiras experiências apresentadas propõem a simples mistura de duas massas de água. Começando por uma mistura de duas massas de água iguais numa garrafa térmica, seguida da mistura de duas massas diferentes, tentamos evidenciar o conceito de energia interna de uma massa, de variação de energia e de energia interna de um sistema isolado. A estas misturas seguem-se misturas de uma massa de água e uma massa metálica, de cobre ou alumínio, pondo em evidência o conceito de capacidade calorífica. Apesar da simplicidade do método, a discussão qualitativa é rica e de crescente complexidade com a introdução de variáveis como massa, capacidade calorífica, variação de temperatura, energia interna e ainda o conceito de equilíbrio térmico, à medida que as experiências se desenrolam.

Um dos objectivos destas propostas é proporcionar conflitos de ideias , assim sugerimos, no seguimento, a mistura de uma massa de água líquida à temperatura ambiente e uma massa de gelo a 0 °C, onde tentemos clarificar a diferença entre temperatura ou variação de temperatura e energia interna ou variação de energia interna. A quantificação não é um aspecto central destas propostas mas importante quando queremos confirmar ou verificar hipóteses. O cálculo da energia necessária à fusão de uma massa de gelo não pode deixar de ser feito na sequência desta mistura. As experiências anteriores quantificam energia em termos de variações de temperatura de massa de água. Historicamente correspondem a usar o conceito de caloria. É importante aqui ilustrar o alargamento do princípio da conservação de energia introduzindo

outras formas de a calcular. Aqui podemos mergulhar uma resistência eléctrica numa massa de água líquida conhecida, numa garrafa térmica, realizando trabalho e controlando a variação da temperatura da água. A nossa proposta consiste em mergulhar a resistência numa mistura de água e gelo, em equilíbrio térmico, controlando a massa do gelo, da água e o trabalho eléctrico seguindo ao longo do tempo a temperatura do sistema. Esta actividade permite uma rica discussão em torno do gráfico temperatura-tempo.

O aquecimento eléctrico é bastante familiar dos alunos, assim usámo-lo oferecendo aos alunos a oportunidade de medir variações de energia a partir de variações de temperatura, controlando grandezas eléctricas. Mas este método pode crescer em complexidade se no lugar de uma resistência usarmos uma lâmpada de incandescência. Num recipiente de plástico transparente contendo uma massa de água é mergulhada uma lâmpada e é medido o trabalho eléctrico. A radiação visível vai poder escapar e a água vai sofrer um aumento de temperatura. Usando um corante negro dissolvido na água verificaremos um aumento da temperatura da água superior ao anterior. Os alunos poderão identificar um termo no balanço energético associado à luz. O conceito de rendimento de uma lâmpada é também referido de forma muito clara.

Em todas as experiências referidas o conceito de calor não surge necessariamente. A ênfase pode ser colocada nos estados inicial e final de energia, consolidando o conceito de energia interna, evitando o conceito de calor. Mas é inevitável a sua abordagem. Como foi visto, a palavra calor é usada pelos alunos com diversos sentidos obrigando-nos a alguns cuidados. Tendo como pano de fundo o princípio da conservação propomos uma experiência que consiste em ligar duas massas de água iguais, contidas em duas garrafas térmicas, a diferentes temperaturas, com uma barra metálica e fazer o registo da temperatura de cada massa ao longo do tempo. Os alunos poderão concluir que ocorre transferência de energia entre as massas através da barra, em resultado da diferença de temperaturas entre elas. Propomos realizar esta experiência com uma barra de cobre e depois com uma barra de alumínio, colocando em evidência as diferentes condutibilidades térmicas de diferentes materiais.

No final deste conjunto de experiências estamos em condições de formular a primeira lei da termodinâmica. Os conceitos que ela envolve foram todos amplamente discutidos e julgamos deste modo que o significado operacional da primeira lei se tornará mais claro.

2.2 Transferências de energia entre corpos. Energia interna e Temperatura

2.2.1 Introdução

O princípio da conservação da energia tem, recentemente, sido um guia na orientação dos processos investigação na Física, no entanto, todos os dias o nosso quotidiano a energia parece desaparecer diante dos nossos olhos. Tentaremos conciliar a comum ideia da inevitável degradação da energia com este princípio.

Na natureza, como no nosso quotidiano, as interacções energéticas são de alguma complexidade, não nos deixando perceber de que forma pode a energia se conservar. A construção de situações simples e concretas em que, de modo experimental, possamos considerar o princípio da conservação, aprendendo o conceito de energia, é o desafio que se nos depara. O objectivo não é fazer uma prova do princípio da conservação ou uma redescoberta, mas, constatando-o em cada ensaio, fazer luz sobre os conceitos referidos.

Quando duas massas estão juntas, constituindo um sistema, podem interagir. Se a temperatura for diferente entre elas a interacção ocorre certamente. Essa interacção resulta na variação da temperatura de cada massa. Estas variações cessam quando as massas são separadas ou quando os seus estados físicos se tornam iguais, quantificáveis em propriedades como a temperatura, que pode ser facilmente medida através de um termómetro em equilíbrio térmico com as massas. Finalmente, estas variações obedecem ao princípio da conservação, isto é, se a energia de uma massa aumenta a energia da outra massa deverá diminuir. Esta ideia básica é facilmente aceite pelos alunos, então vamos usá-la.

Então assumimos que dois corpos próximos interagem um sobre o outro, ocorrendo transferência de energia entre eles, alterando-se a energia interna de cada um. Estas variações de energia podem manifestar-se pela alteração de algo que se pode medir, a temperatura. Iremos avaliar variações de energia medindo variações de temperatura.

Neste primeiro conjunto de experiências, orientados pelo princípio de conservação da energia, pretendemos estabelecer a relação matemática que permite determinar essa variação de energia para uma determinada massa de um dado material, isto é, $\Delta E = m \times c \times \Delta T$. Trabalharemos com variações de temperatura e variações de energia de forma estreita, estabelecendo correspondências entre elas mas distinguindo-as claramente.

2.2.2 Método das misturas

Para realizar este conjunto de experiências é necessário o seguinte material. No anexo I podemos encontrar uma descrição completa do material usado em todas as actividades descritas neste trabalho.

- Água
- Disco de aquecimento
- Vasos de vidro.
- 2 garrafas térmicas. (máx. 3/4 l)
- 2 termómetros (resolução: 0,1 °C)
- Rolha de borracha adaptada às garrafas a um termómetro.
- Um cilindro de cobre com uma pega e cerca de 180g.
- Um cilindro de alumínio com uma pega e cerca de 180g.
- Fio de pesca.
- Balança (máx.:1500g ; resolução: 0,1g)

2.2.2.1 Misturas de massas de água líquida.

Procedimentos:

a) Colocamos uma certa massa de água, m_1 conhecida, à temperatura ambiente numa garrafa térmica e com um termómetro medimos o valor da temperatura, acompanhando-a durante um ou dois minutos verificando que esta não variou.

b) Medimos com a balança uma outra massa de água, m_2, e aquecemo-la no disco até cerca de 50 °C. Vertemo-la para a outra garrafa e com um segundo termómetro registamos o respectivo valor de temperatura quando este deixou de variar significativamente.

c) Imediatamente após vertemos a água à temperatura ambiente na garrafa contendo a água aquecida e isolamos o sistema fechando a garrafa com a rolha mantendo o termómetro mergulhado na mistura.

d) Registamos o valor final da temperatura do sistema quando este deixou de variar significativamente.

Resultados:

Após a mistura e registada a sua temperatura final, é possível calcular a variação de temperatura que cada massa de água sofreu. Apresentamos os resultados de vários ensaios na Tabela 2.1.

	Massas (g)	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	Variação de temperatura (°C)
Ensaio 1	m_1: 150	19,7	35,8	+16,1
	m_2: 150	51,2	35,8	-15,4
Ensaio 2	m_1: 200	19,5	35,1	+15,6
	m_2: 200	50,0	35,1	-14,9
Ensaio 3	m_1: 250	19,2	36,7	+17,5
	m_2: 250	53,5	36,7	-16,8
Ensaio 4	m_1: 300	19,3	36,7	+17,4
	m_2: 300	53,4	36,7	-16,7
Ensaio 5	m_1: 300	19,2	31,1	+11,9
	m_2: 150	53,8	31,1	-22,7
Ensaio 6	m_1: 150	18,9	42,1	+23,2
	m_2: 300	53,3	42,1	-11,2
Ensaio 7	m_1: 400	19,3	30,2	+10,9
	m_2: 200	51,5	30,2	-21,3
Ensaio 8	m_1: 200	18,7	41,9	+23,2
	m_2: 400	53,0	41,9	-11,1

Tabela 2.1 Valores iniciais, finais e variações de temperatura de cada massa medidos em oito ensaios realizados.

As variações de temperatura de cada massa são aproximadamente iguais, nos quatro primeiros ensaios. De facto, e independentemente do valor das massas de água, as variações de temperatura são simétricas para massas iguais.

Numa primeira abordagem a esta experiência vamos ignorar transferências de energia entre as massas de água e o exterior. Mais tarde abordaremos esta questão (ver ponto 3.2). Mas desde já notemos que as variações de temperatura antes e após da mistura ocorrem de forma muito mais lenta que as variações que ocorrem no intervalo de tempo em que é executada a mistura.

Não pretendendo, com esta ideia, desprezar as perdas para o exterior, é de concluir que a grande parte da energia em trânsito transfere-se entre as massas em contacto. Isto é, a variação de energia de uma massa é simétrica da variação de energia da outra massa,

$$\Delta E_1 = -\Delta E_2 \qquad \textbf{2. 1}$$

ou,

$$\Delta E_1 + \Delta E_2 = 0$$

2. 2

Esta última equação traduz o princípio de conservação da energia para o nosso sistema isolado na garrafa.

As massas de água usadas são iguais, a interacção entre elas resultou numa variação de temperatura simétrica, traduzindo que a energia perdida por uma das massas é absorvida pela outra massa. Esta variação simétrica de energia foi, nesta experiência traduzida pela variação simétrica da temperatura de cada massa de água,

$$\Delta T_1 = -\Delta T_2$$

2. 3

O sistema, constituído pelas duas massas, apresenta a mesma energia interna antes e após ter sido atingido o equilíbrio térmico.

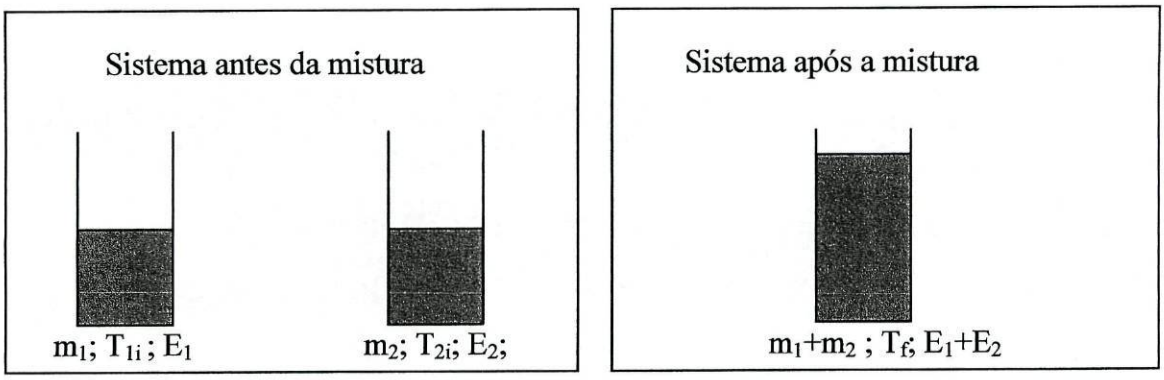


Figura 2.1 A massa, a temperatura e a energia de cada massa de água e da mistura.

Reparemos que a soma da energia interna da massa 1 e a energia interna da massa 2, é a energia do sistema, tal como a soma das massas corresponde à massa do sistema. Esta não se altera apesar da alteração da energia interna de cada uma das massas que se "compensam", verificando-se a conservação da energia total.

Os últimos quatro ensaios apresentados na Tabela 2.1 foram realizados com massas diferentes. Neste caso verificamos que as variações de temperatura não são simétricas.

Verificamos ainda que esta variação é maior para a menor massa em ambos os ensaios apresentados. De facto, a razão entre as massas é aproximadamente inversa da razão das variações de temperatura respectivas, ou,

$$-\frac{m_1}{m_2}=\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}$$

2. 4

Esta equação pode rescrever-se na seguinte forma,

$$m_1 \times \Delta T_1 + m_2 \times \Delta T_2 = 0$$

2. 5

Comparemos esta expressão com a que exprime a conservação da energia, 2. 2. Esta última expressão parece conduzir-nos, de novo, a uma ideia de conservação. Porque exprime que uma dada grandeza tem uma variação simétrica para as duas massas. Logo variação de energia de uma massa de água deverá ser proporcional a $m \times \Delta T$. De outra forma, podemos dizer que se

$$\Delta E = constante \times m \times \Delta T$$

2. 6

então os resultados das nossas experiências são uma expressão de conservação de energia.
A massa e a variação de temperatura de uma massa surgem relacionadas na quantificação da variação da energia interna dessa massa, de água por exemplo. Se quisermos fazer aumentar a temperatura de uma massa de água em, por exemplo, 1K, teremos de fornecer uma quantidade de energia que dependerá do valor dessa massa. Esta relação conduz-nos a uma conhecida unidade de medida da energia: a caloria. Uma caloria corresponde à energia necessária para fazer aumentar a temperatura de 1K de 1g de água. Com esta definição a constante da equação 2. 6 vale uma unidade. Isto é, com a energia expressa em calorias, $\Delta E = m \times \Delta T$ em que ΔE é a variação de energia de uma massa de água m cuja temperatura varia ΔT. Ou então, a medida da variação da temperatura de uma determinada massa de água, conduz-nos directamente ao valor da variação da energia interna dessa massa medida em calorias. A relação entre caloria e Joule será deixada para mais tarde.

Discussão:

É fácil verificar que este dispositivo experimental parte do pressuposto de que as garrafas térmicas isolam as massas de água, separadas ou misturadas, do resto dos objectos circundantes. Verificamos, nos resultados, que tal não é verdade. A referida temperatura estável é algo que não existe. É inevitável que ocorram perdas de energia para o exterior, pela

rolha e até pelas paredes da garrafa, da massa de água aquecida e da mistura, uma vez que se encontram a uma temperatura superior à do exterior. Este fenómeno é contínuo, assim a temperatura desta está continuamente a baixar até à temperatura ambiente.

Quando se realiza a mistura vertemos a água fria sobre a água quente com o termómetro mergulhado na última. Neste processo o termómetro regista uma forte diminuição de temperatura até um valor aparentemente estável. De facto a temperatura continua a diminuir, embora muito mais lentamente, até atingir a temperatura ambiente.

Esta limitação também se faz sentir quando se tenta registar o valor inicial da temperatura da massa aquecida. Digamos que entre o registo do valor e a mistura teremos de ser o mais rápidos que for possível para minimizar erros de determinação dos valores.

Por outro lado, na mistura, a massa de água aquecida, no interior da garrafa, sofre uma diminuição da temperatura de 11° a 17°C nos ensaios referidos, que corresponde a uma perda de energia. Mas também as paredes interiores da garrafa, bem como o termómetro, sofrem uma equivalente diminuição de temperatura que, inevitavelmente, resultará numa cedência de energia à mistura. O nosso sistema não está isolado, recebendo uma pequena quantidade de energia de outros corpos. Assim a temperatura de equilíbrio térmico registada será ligeiramente superior à do esperado, como podemos verificar na sempre menor variação de temperatura da massa previamente aquecida que daquela verificada na massa de água inicialmente à temperatura ambiente, nos primeiros quatro ensaios apresentados, tal como em quase todos realizados no decorrer deste trabalho e que aqui não são apresentados.

Em alguns dos ensaios realizados verteu-se a água aquecida sobre a água fria, procedimento este que leva a resultados muito diferentes do que os aqui apresentados. Nesse caso, a hipótese de isolamento térmico do sistema está muito distante das condições reais da experiência, pois a água aquecida entra em contacto com o ar ao ser vertida na garrafa com água à temperatura ambiente. Mas essa é uma dificuldade que não deve ser escamoteada aos alunos. Num ensaio em que alguns alunos escolham este procedimento "errado" surge uma oportunidade de discussão e reflexão que pode ser muito enriquecedora.

2.2.2.2 Mistura de uma massa de água e uma massa metálica.

Uma variação simples da experiência anterior corresponde a usar substâncias diferentes da água, num processo de misturas. Cilindros metálicos são muito convenientes para este efeito. Podem, à temperatura ambiente ser mergulhados em água quente. Uma comparação com os resultados anteriores conduz-nos ao conceito de capacidade calorífica e calor mássico.

Procedimentos:

a) Colocamos uma certa quantidade de água à temperatura ambiente no interior de uma garrafa térmica, mergulhamos um cilindro metálico na água e registamos o valor da temperatura usando um termómetro previamente fixado na rolha e com o cilindro em equilíbrio térmico.

b) Aquecemos alguma água até aproximadamente 40°C e colocamos 200g da água aquecida numa garrafa térmica e registamos a temperatura desta.

c) De imediato, mergulhamos a cilindro à temperatura ambiente na água aquecida, mantendo o termómetro mergulhado nesta.

d) Fechamos a garrafa, contendo a água aquecida e o cilindro, com a rolha, permitindo que o termómetro registasse o valor da temperatura da mistura.

e) Registamos o valor da temperatura quando este foi considerado estável.

Resultados:

Da mistura da massa metálica com uma diferente massa de água a diferentes temperaturas obtivemos o apresentado na seguinte tabela.

	Massas (g)	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	Variação da temperatura (°C)	$m \times \Delta T$ (°C.g)
Ensaio 1	Cobre: 181,7	19,2	49,2	+30,0	5451
	Água: 200	51,8	49,2	-2,6	-520
Ensaio 2	Cobre: 181,7	19,7	41,6	+21,9	3979
	Água: 200	43,5	51,6	-1,9	-380
Ensaio 3	Alumínio: 181,7	19,2	42,4	+23,2	4215
	Água: 200	47,0	42,4	-4,6	-921
Ensaio 4	Alumínio: 181,7	19,2	37,8	+18,6	3380
	Água: 200	41,5	37,8	-3,7	-740

Tabela 2.2 Resultado do produto da massa e da variação da temperatura para quatro ensaios realizados.

À luz dos resultados anteriores poderíamos facilmente determinar qual seria a temperatura final se em vez de 180 g de cobre usássemos 180 g de água à mesma temperatura. Reparemos ainda que, sendo as massas dos cilindros iguais, as temperaturas finais das misturas destes com os 200 g de água são diferentes e diferentes da que teríamos se usássemos água. De facto

parece aqui existir algo relacionado com as substâncias envolvidas no sistema, alguma característica que diferencia água, cobre e alumínio, com a qual não nos preocupámos atrás. Se não, de outra forma teríamos de concluir que os cilindros metálicos teriam perdido uma grande quantidade de energia, traduzida na grande diminuição de temperatura, sem que a temperatura da água subisse significativamente, isto é, sem que a sua energia interna aumentasse. Teríamos de concluir que o sistema teria perdido energia de alguma forma desconhecida. Ora se a interacção ocorre no interior de uma garrafa térmica, temos de voltar a admitir que a energia se conserva.

Se nos recordarmos da equação 2. 6, que exprimia a relação entre variação de energia, massa e variação de temperatura para a água, verificamos que, as nossas observações são incompatíveis com um valor da constante igual para as diferentes substâncias. Se assim for a energia não será conservada como evidencia a última coluna da Tabela 2.2. Com o princípio da conservação da energia a orientar-nos, tentemos responder à questão: Se três massas iguais de cobre, água e alumínio sofrerem a mesma variação de temperatura, qual das massas sofre maior variação de energia interna? Esta variação de energia de cada massa, depende da substância que a constitui, de tal modo que podemos supor que a variação de energia pode ser,

$$\Delta E = c \times m \times \Delta T$$

2. 7

em que c depende da substância.

Os resultados obtidos nestas experiências, tendo em conta o produto $m \times \Delta T$ (última coluna da Tabela 2.2), mostram que: as constantes do alumínio e do cobre são menores que a da água (que como vimos é 1 se a energia for expressa em calorias) e que a constante é menor no cobre que no alumínio.

Usando de novo a ideia de conservação de energia

$$\Delta E_{\text{água}} + \Delta E_{\text{cobre}} = 0$$

2. 8

e a Equação 2. 7, obtemos

$$c_{\text{água}} \times m_{\text{água}} \times \Delta T_{\text{água}} + c_{\text{cobre}} \times m_{\text{cobre}} \times \Delta T_{\text{cobre}} = 0$$

2. 9

A razão do produto da massa e da variação da temperatura corresponderá ao inverso da razão das constantes indicativas dessas características,

$$-\frac{c_{\text{cobre}}}{c_{\text{água}}} = \frac{m_{\text{água}} \times \Delta T_{\text{água}}}{m_{\text{cobre}} \times \Delta T_{\text{cobre}}} \qquad \textbf{2. 10}$$

esta constante, c , indica a capacidade térmica da massa em questão.

Por exemplo, nos dois ensaios realizados com o cobre, a razão é de aproximadamente 0,1. A capacidade térmica mássica do cobre é muito mais pequena que a da água. Assumindo o valor de 1 $cal.K^{-1}.g^{-1}$ (ver 2.3.2.4) para a capacidade térmica mássica da água, valor de referência, calculamos experimentalmente que, a capacidade térmica mássica do cobre é de 0,0954 $cal.K^{-1}.g^{-1}$ e 0,0955 $cal.K^{-1}.g^{-1}$ para o primeiro e segundo ensaios respectivamente, da mesma forma determinamos que os valores desta característica para o alumínio, nos dois ensaios, são ambos de 0,219 $cal.K^{-1}.kg^{-1}$. Estes valores apresentam um desvio de 5% e de 4% dos valores tabelados (Alonso, M. e Finn, E.J.; 1999), respectivamente.

Estes valores indicam a energia absorvida por uma unidade de massa, quando essa massa sofre um aumento de temperatura de 1 K. Podemos ainda calcular essa energia absorvida ou cedida por mole dessa substância. Sendo, a massa molar do cobre 63,6 $g.mol^{-1}$, então a capacidade térmica do cobre por mole é de 5,784 $cal.K^{-1}.mol^{-1}$. Da mesma forma verificamos que a capacidade térmica molar do alumínio é de 5,664 $cal.K^{-1}.mol^{-1}$. A semelhança destes dois valores será discutida mais tarde.

As experiências mostram directamente que se as analisarmos tendo como pano de fundo o princípio da conservação de energia, verificamos que uma massa de água tem uma variação de temperatura muito menor que uma massa de cobre ou alumínio para a mesma variação de energia. Temos uma percepção directa da diferença de capacidades térmicas para diferentes massas de diferentes substâncias e que esta diferença foi conseguida pela via experimental, bem mais interessante que a via expositiva.

Discussão:

Também aqui, a hipótese de isolamento térmico do sistema impeliu-nos para realizarmos a mistura, mergulhando a cilindro à temperatura ambiente numa massa de água previamente aquecida e colocada no interior de uma garrafa térmica. A transferência do cilindro para a garrafa não levanta, assim, qualquer problema térmico. Do ponto de vista conceptual talvez

seja mais fácil para os alunos associarem uma transferência de energia à situação de mergulho de um cilindro quente numa massa de água fria, verificando uma subida da temperatura da água. Este procedimento pode ser adoptado. Ensaios por nós realizados, desta forma, conduziram-nos a resultados menos bons mas válidos para a discussão, desde que o valor da temperatura inicial do cilindro não seja demasiado elevado (cerca de 40 °C é razoável).

Quando mergulhamos o cilindro na água, esta sofre uma variação de temperatura de 2 a 5 °C, valores bem menores que aqueles verificados nas misturas de duas massas de água. Aqui a contribuição energética das paredes internas da garrafa para o sistema é bastante menos significativa. Mais significativo é o tempo necessário para que seja atingida a temperatura correspondente ao equilíbrio térmico entre o cilindro e a água. Quando o cilindro é mergulhado, a água sofre uma abrupta diminuição de temperatura, ao mesmo tempo ocorre perda de energia do sistema para o exterior com consequente diminuição de temperatura, também. A temperatura de equilíbrio corresponde ao valor mínimo registado, quando considerado estável, mas este valor requer algum tempo a ser obtido pois a interacção do cilindro com a água é bem menos eficaz que a interacção água com água, assim o valor registado pode, naturalmente, ser mais baixo do que o valor que era pretendido registar com esta tarefa experimental.

2.2.3 Conclusão

Não fizemos, com estas experiências, a prova do princípio da conservação da energia, que acreditamos estar presente em todos os processos naturais. Verificamos a interacção entre duas partes de um sistema. Essa interacção resultou na troca de energia entre massas a diferentes temperaturas até que as suas temperaturas se igualassem, sem que a energia total do sistema se alterasse. Todos os corpos em contacto interagem entre si. Entre eles ocorre transferência de energia. Um tacho com água depois de aquecida "vê" a sua energia dissipar-se, mas podemos estar certos de que essa energia não está perdida, apenas se transferiu para o ar que circunda o tacho.

As variações de temperatura verificadas estão naturalmente relacionadas com a energia transferida sob a forma de calor, então será o calor e a temperatura ou o aumento da temperatura de um corpo a mesma grandeza? Esta questão pode desde já ser respondida, mas para evitar as confusões atrás referidas, todas as análises qualitativas nesta fase podem ser feitas sem referir calor. O que é importante? Os alunos devem ser capazes de calcular variações de energia a partir de variações de temperatura, distinguindo-as. Isto é, a expressão

$\Delta E = c \times m \times \Delta T$ já não é mais uma fórmula aprendida, ganha um forte significado. Quando um corpo sofre uma variação de temperatura então poderemos concluir que a energia interna do sistema varia. Se a temperatura de um sistema aumentou então terá absorvido energia, se a temperatura de um sistema diminuiu então terá perdido energia. No entanto esta relação é regulada pela massa do sistema e por características intrínsecas associadas ao calor específico. Por outro lado, no decorrer destas experiências medimos temperaturas iniciais e finais mas não medimos energias internas iniciais ou finais, seria possível? Não conseguiríamos mas também não é importante. A temperatura inicial relaciona-se com o estado energético inicial de uma massa e a temperatura final dessa massa relaciona-se com o estado energético final dessa massa. A temperatura não é energia mas a sua variação permite-nos chegar à variação da energia. A noção de estado inicial e estado final surge clara, assim como o papel da temperatura, como algo que se relaciona com o estado de um sistema.

Os alunos poderão ainda adquirir de forma clara o conceito de equilíbrio térmico e da sua relação com o conceito de temperatura quando podemos dizer que a interacção entre duas massas termina quando a transferência de energia entre elas termina. Verificando-se quando a temperatura é a mesma, quando é atingido o equilíbrio térmico.

Um outro debate pode resultar daqui, duas massas de água diferentes, à mesma temperatura, possuem a mesma energia interna? A resposta é imediata no seguinte sentido: mesmo que para uma temperatura particular a energia fosse a mesma, não seria a outras temperaturas pois $\Delta E \propto m \times \Delta T$ (quanto maior for a massa maior é a variação da energia para a mesma variação de temperatura). Parece que a massa é uma grandeza importante nesta discussão, quanto maior for a massa de um corpo mais energia temos de fornecer para obter a mesma variação de temperatura, diferentes variações de energia interna para a mesma variação de temperatura. Ou seja, variações de temperatura é algo de diferente de variações de energia. Assim podemos colocar a questão: Consideremos duas massas m_1 e m_2, com energia internas E_1 e E_2 à mesma temperatura. Se as juntarmos teremos uma massa total m_1+m_2 e uma energia interna total E_1+E_2. E a temperatura final da mistura? Seria T_1+T_2?

Por outro lado os dois cilindros metálicos de igual massa necessitam de diferentes quantidades de energia se quisermos que as suas temperaturas variem em igual quantidade. Este cálculo pode, agora, ser realizado facilmente pelos alunos, voltando a concluir pela diferença entre temperatura e energia interna. Este raciocínio pode tornar mais claro o papel de grandes massas de água nos estados climatéricos verificados nas regiões costeiras e ribeirinhas, muitas vezes referidas em manuais escolares.

Um dos aspectos interessantes destas experiências é a verificação de que as capacidades térmicas por mole do cobre e do alumínio são aproximadamente iguais, quando estas grandezas se apresentam significativamente diferentes quando calculadas por unidade de massa. Isto é, quando a variação de energia por unidade de massa é a mesma a variação de temperatura pode ser diferente. Mas se a variação de energia por partícula for a mesma, a variação de temperatura é aproximadamente a mesma. Não será de excluir a importância de uma visão microscópica da matéria quando tentamos compreender os valores da capacidade térmica de um corpo.

2.3 Mistura de água líquida e gelo. Calor de fusão do gelo.

2.3.1 Introdução

Este conjunto de experiências deverá ser realizado após aquelas onde se executa a mistura de diferentes massas de água líquida e cilindros metálicos. Os alunos já sabem prever variações de temperatura de massas de água líquida quando estas interagem. Assim os resultados que a seguir apresentamos ganharão maior interesse quando comparados com os anteriores.

Aqui tentamos realçar o facto de que para provocarmos a mudança de estado físico de uma massa de água, é necessário que essa massa absorva ou perca uma determinada quantidade de energia e que, no entanto, a temperatura desta massa de água não se altera. Embora haja transferência de energia envolvida entre dois corpos a temperatura destes poderá não variar.

Este conjunto experimental tenta desmontar a ideia muito comum de que temperatura e energia interna são a mesma grandeza, procurando tornar estas duas grandezas de mais fácil compreensão, reforçando as conclusões já retiradas nas anteriores actividades. Por outro lado mostrar que é possível ter gelo e água líquida com a mesma temperatura. Esta verificação prende-se com a necessidade de, no decorrer destas experiências, usar gelo a 0 °C e água também a 0 °C, facto este que nem sempre é evidente para os alunos.

Assim os objectivos serão verificar que nem toda a energia transferida resulta numa alteração de temperatura de um corpo. Comparar o aquecimento de uma massa de gelo a 0 °C com uma massa de água líquida a 0 °C. Calcular o calor de fusão de uma massa de gelo.

2.3.2 Método das misturas

O material usado no conjunto das experiências foi:

- Duas garrafas térmica (750 ml)

- Uma tina de vidro.
- Dois vasos de vidro. (100ml)
- Um tubo de ensaio.
- Dois termómetros (resolução: 0,1°C)
- Dois sensores de temperatura. (resolução: 0,1°C)
- Rolha de borracha preparada para adaptar um sensor.
- Uma resistência eléctrica.
- Um voltímetro.
- Um amperímetro.
- Uma balança. (máximo: 1500g; resolução: 0,1g)
- Uma fonte de alimentação.
- Agitador magnético.

Em algumas das actividades agora descritas foram construídos gráficos temperatura-tempo a partir do programa de aquisição de dados LoggerPro 2.1.1 da Vernier Software (Vernier Software & Technology, 13979 SW Millikan Way, Beaverton, OR 97005-2886; www.vernier.com)

2.3.2.1 Verificação de que é possível ter água e gelo à mesma temperatura.

Procedimentos:

a) Numa tina de vidro colocamos vários cubos de gelo mergulhados em água líquida e deixamos a mistura repousar cerca de meia hora.
b) Usando um termómetro registamos a temperatura da mistura.
c) Colocamos um pouco de água líquida no fundo do tubo de ensaio, retirada da mistura e mergulhamos o tubo na mistura sem que gelo tenha entrado no tubo de ensaio.
d) Usando o outro termómetro registamos a temperatura da água que se encontra dentro do tubo de ensaio.

Resultados e conclusão: As temperaturas obtidas por ambos os termómetros é de 0 °C. Quer na tina onde está gelo e água quer no tubo de ensaio só com água líquida.

2.3.2.2 Mistura de gelo a 0 °C e água à temperatura ambiente.

Procedimentos:

a) Numa tina de vidro colocamos alguns cubos de gelo e acabamos de a encher com água líquida. Esta mistura repousou alguns minutos, durante os quais, com um termómetro, verificamos a sua temperatura até registar 0 °C.

b) Medimos a massa de cerca de meio litro de água à temperatura ambiente. Na garrafa térmica colocamos a água à temperatura ambiente e com o outro termómetro registamos o valor da sua temperatura.

c) Colocamos dois ou três cubos de gelo, a 0 °C, no interior da garrafa misturando-os com a água no seu interior. Isolamos o sistema de imediato com a rolha. Na rolha adaptamos o termómetro de modo a podermos registar o valor da temperatura do sistema.

d) Colocando a garrafa sobre o agitador magnético, registamos o valor da temperatura do sistema quando foi considerado estável.

e) Medimos a massa da mistura usando a balança.

f) Calculamos o valor da massa dos cubos de gelo mergulhados pela diferença de valores obtidos em b) e e).

Resultados:

A Tabela 2.3 apresenta as variações de temperatura que cada massa de água sofreu quando interagiu com a outra massa de água.

	Massa (g)	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	Variação de temperatura (°C)
Ensaio 1	Água: 400	18,6	8,4	-10,2
	Gelo: 49,1	0,0	8,4	+8,4
Ensaio 2	Água: 500	18,7	7,8	-10,9
	Gelo: 64,7	0,0	7,8	+7,8
Ensaio 3	Água: 400	18,9	5,6	-13,3
	Gelo: 65,6	0,0	5,6	+5,6

Tabela 2.3 As variações de temperatura para três ensaios realizados misturando água e gelo.

A temperatura final, temperatura de equilíbrio térmico, da mistura água e gelo registada é claramente mais baixa que aquela que poderia ser obtida se misturássemos iguais massas de água líquida, calculada pela expressão da Equação 2. 4.

Os alunos poderão, agora, realizar o seguinte cálculo. Tomemos como referência o primeiro ensaio. Se misturássemos 400 g de água líquida a 18,6°C e 49,1 g de água, também líquida, a 0 °C, então a expressão da Equação 2. 4 tomava a forma,

$$-\frac{49,1}{400}=\frac{T_f-18,6}{T_f-0,0} \qquad \textbf{2. 11}$$

A temperatura final do sistema, T_f, seria de 16,6 °C. Seguindo o mesmo raciocínio poderemos verificar que as temperaturas de equilíbrio para os ensaios 2 e 3 seriam de 16,6 °C e 16,2 °C, respectivamente.

Para cada um dos três ensaios verificamos que existe uma grande diferença entre os valores das temperaturas finais obtidas experimentalmente, na mistura água e gelo e os valores determinados quando consideradas misturas de massas de água líquidas, como na secção 2.2.

Uma comparação conceptual entre a experiência agora realizada água e gelo (sistema 1) e a que poderia ser feita misturando água à temperatura ambiente e água a 0 °C (sistema 2) pode ser muito rica.

A energia transferida da massa de água inicialmente à temperatura ambiente, para a massa inicialmente congelada (sistema 1) (ver Figura 2.2), é notoriamente maior que aquela que pode ser calculada para o sistema 2, visto que a variação de temperatura dessa massa de água no sistema 1 é muito maior que no sistema 2. No entanto esta transferência de uma maior quantidade de energia não resultou numa maior variação de temperatura dos 49,1 g de gelo que aquela que poderíamos obter para os 49,1 g de água liquida do sistema 2. Antes pelo contrário. Teremos de concluir que parte de energia transferida terá sido utilizada para a fusão do gelo e não para o aumento da temperatura deste.

Aqui, mais uma vez, verificamos que sendo ambas as massas constituídas pela mesma substância, água, as variações de temperatura de cada massa estão relacionadas com os valores das massas envolvidas (ver Equação 2. 4). Mas quando uma das massas é gelo então a conclusão anterior parece não fazer sentido. Assim temos de concluir que a mudança de estado físico da água sólida para líquida constitui uma alteração da energia interna desta massa de água, sem que esta alteração esteja de alguma forma relacionada com uma alteração de temperatura da mesma.

A Figura 2.2 ilustra o tipo de argumento que pode ser desenvolvido a propósito desta experiência. A energia interna do sistema 1, E_1, é inferior à energia interna do sistema 2, E_2,

pois, em cada um dos sistemas, após atingido o equilíbrio entre as massas a temperatura final do sistema 1 é inferior à do sistema 2, apesar de ambos os sistema conterem a mesma quantidade de massa de água e se encontrarem no mesmo estado físico. Esta diferença corresponde a uma diferença de energias internas. Esta diferença corresponde à energia que foi necessária para fundir os 49,1g de gelo do primeiro sistema, pois a única diferença entre os estados iniciais está no facto de existir gelo no sistema 1 e igual massa de água líquida no sistema 2. Podemos calcular esta energia

$$\Delta E = E_2 - E_1 = m_{sistema} \times c_{água} \times (T_{f2} - T_{f1}) = 449{,}1 \times 1 \times (16{,}6 - 8{,}4) = 3{,}68 \times 10^3 \text{ cal} \qquad \textbf{2. 12}$$

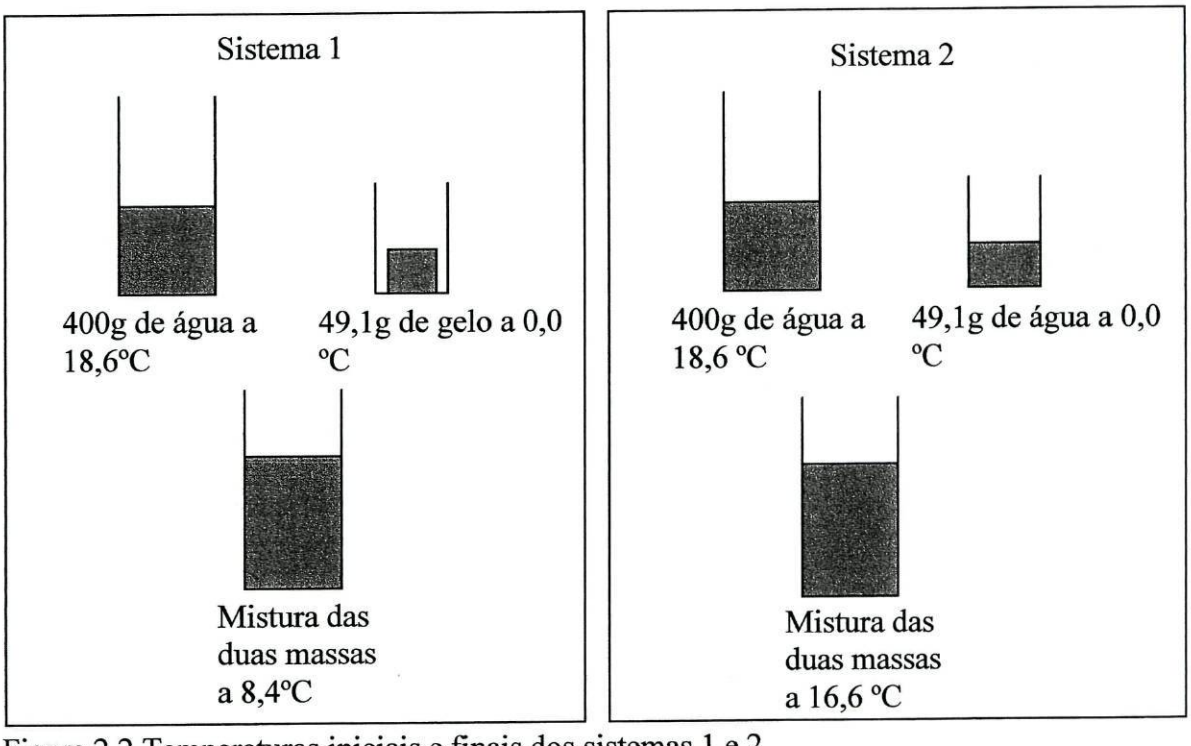


Figura 2.2 Temperaturas iniciais e finais dos sistemas 1 e 2.

Se esta é a energia necessária para fundir 49,1 g de gelo, então para fundir 1 g de gelo são necessários 75,0 $cal.g^{-1}$.

Realizando os mesmos cálculos com os valores obtidos nos ensaios 2 e 3 obteremos, para a energia de fusão do gelo, 76,5 $cal.g^{-1}$ e 75,2 $cal.g^{-1}$, respectivamente. Os três valores obtidos apresentam desvios, do valor tabelado para esta energia, 79,71 $cal.g^{-1}$ (Alonso, M. e Finn, E.J.; 1999), entre 4% e 6%.

Discussão:

É suposto realizar esta experiência com cubos de gelo retirados de um qualquer frigorífico. Mas, estes cubos de gelo apresentam, normalmente, valores de temperatura inferiores a 0 °C. Não é fácil nem muito prático medir a temperatura destes à saída do congelador, mas se estes se encontrarem em equilíbrio térmico com água líquida então sabemos, a sua temperatura é de 0 °C.

No entanto, quando os cubos são retirados da tina, para além de terem fundido parcialmente, estão naturalmente molhados, devendo ser limpos da água que os envolve, "secos" com papel absorvente, mas é inevitável que um pouco, de água líquida seja lançada na garrafa com o gelo.

Quando os cubos mergulham na água à temperatura ambiente esta sofre uma significativa descida de temperatura, que é registada pelo termómetro e que continuará até os cubos se fundirem e a água líquida resultante estabelecer equilíbrio térmico com a restante água. A temperatura de equilíbrio térmico corresponde à temperatura final do sistema, que é mais baixa que a temperatura do exterior à garrafa. Assim, devido à entrada de energia do exterior, o sistema verá a sua temperatura subir lentamente. A temperatura mínima registada pelo sensor, durante todo o processo, corresponde assim ao valor de temperatura de equilíbrio térmico das duas massas de água em contacto. No entanto as trocas de energia entre as massas são bem mais rápidas que aquelas verificadas entre o exterior e o sistema (ver ponto 3.2) . Não é difícil identificar um intervalo de variação muito lenta de temperatura, no qual podemos medir a temperatura "final" resultante da interacção das duas massas de água , antes de a temperatura começar a subir em virtude de trocas com o exterior.

2.3.2.3 Aquecimento da água líquida a 0 °C e gelo a 0 °C, em recipientes separados e em simultâneo.

Para a experiência que se segue é necessário medir a temperatura em função do tempo. A utilização de um sistema automático de medição (sensor, interface de aquisição e

computador) é conveniente mas não essencial. Termómetros e cronómetro servem para a aquisição de dados para aquela medida.

Procedimentos:

a) Numa tina de vidro colocamos alguns cubos de gelo e acabamos de a encher com água líquida. Esta mistura repousou alguns minutos, durante os quais, com um termómetro, verificamos a sua temperatura até registar 0 °C.

b) Colocamos uma certa quantidade de água líquida a 0 °C num vaso de vidro.

c) Colocamos uma igual quantidade de gelo a 0 °C, misturado com água líquida, no outro vaso de vidro.

d) Em cada um dos vasos colocamos um sensor e registamos a temperatura, ao longo do tempo, de cada uma das massas de água existente em cada um deles.

e) Agitamos, com um agitador, a mistura de água líquida e gelo, de modo a manter uniforme a temperatura desta massa de água.

f) Registamos os valores de temperatura de cada massa até estes atingirem um valor próximo da temperatura ambiente. O nosso sistema de aquisição de dados foi programado para que cada sensor registasse 1000 pontos por hora.

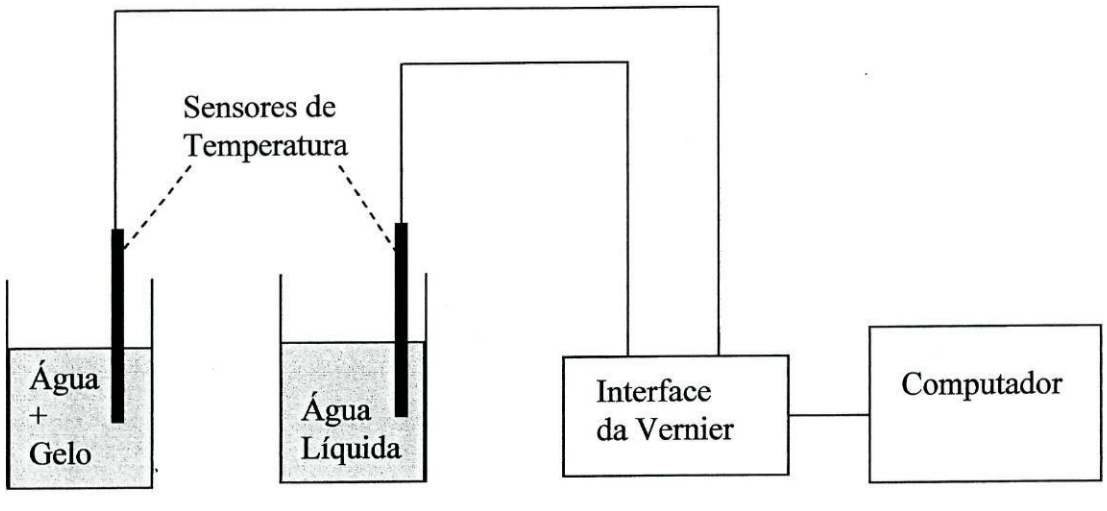


Figura 2.3 Esquema da montagem experimental usada para o aquecimento simultâneo de duas massas de água.

Resultados:

No Gráfico 2.1 apresentam-se as curvas de aquecimento das duas massas de água ao longo de tempo. A temperatura ambiente no momento da realização da experiência rondava os 18 °C.

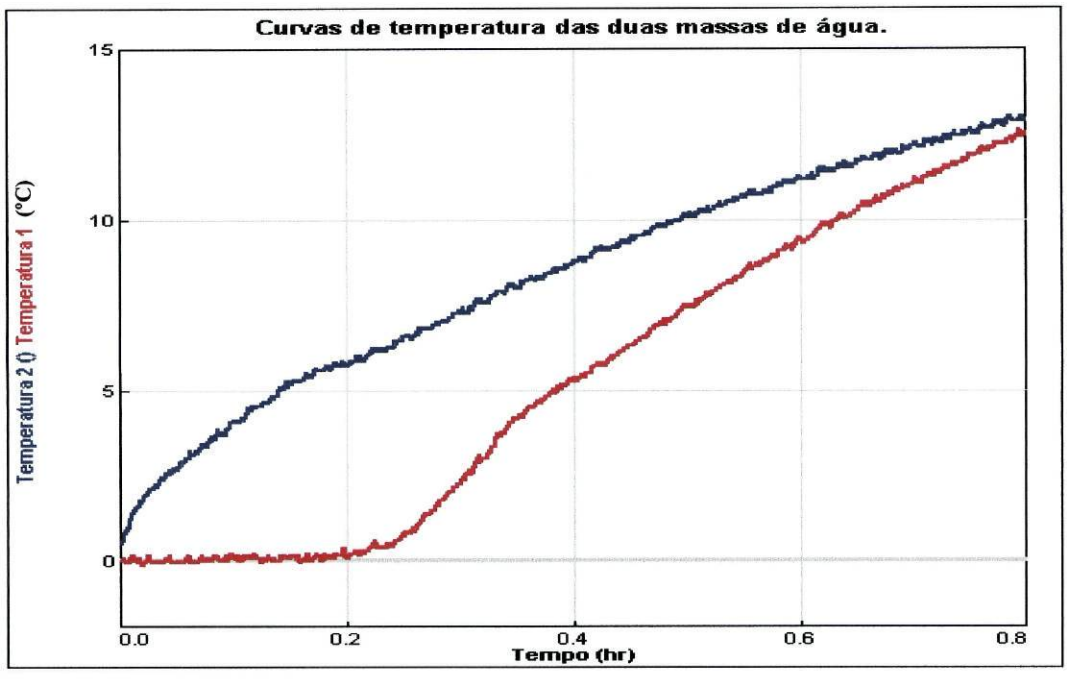


Gráfico 2.1 A curva azul corresponde à massa de água líquida e a curva vermelha corresponde à mistura de água e gelo.

A curva a azul representa o aquecimento da água inicialmente líquida e a curva a vermelho representa o aquecimento da mistura com água inicialmente congelada.

O aspecto mais interessante consiste no patamar da curva a vermelho, nos primeiros 12 a 14 minutos a temperatura mantém-se constante apesar de, durante este período de tempo, absorver energia do exterior. Na realidade, a energia absorvida esta a ser utilizada para a fusão do gelo existente no vaso.

Entretanto, entre o minuto 12 e 14 da experiência verifica-se uma súbita mudança na variação da temperatura. Neste momento supõem-se que o gelo terá fundido na totalidade. De facto no vaso de vidro entre estes instantes já pouco gelo existia.

A curva azul mostra o aquecimento de uma massa de água inicialmente líquida. Aqui a energia que o sistema vai absorvendo é totalmente usada para a elevação da sua temperatura.

O gráfico mostra, ainda, a dificuldade em ter as massas de água exactamente a 0 °C no início da experiência. Se repararmos, os valores iniciais de temperatura do ensaio apresentado rondam o valor de 1 °C, para a massa de água líquida.

Finalmente podemos observar a temperatura das duas massas de água, após o minuto 14, já ambas no estado líquido, a tender para a temperatura ambiente (cerca de 18 °C), verificando que as curvas se aproximam perto deste valor.

Discussão:

Nesta experiência temos dois sistemas distintos em estudo, cada um com dificuldades próprias de análise. Quando retiramos água a 0 °C da tina para o vaso verificamos que um súbito aumento de temperatura, devido à temperatura relativamente elevada (temperatura ambiente) das paredes do vaso. Esta dificuldade foi minimizada arrefecendo, previamente, os vasos enchendo-os com uma mistura de água e gelo.

Ainda assim o simples deslocamento das porções de água da tina para os vasos altera os valores das suas temperaturas aumentando-as. No caso do deslocamento da água líquida este fenómeno é mais notório, como já referido. No caso da porção de água congelada não temos um aumento de temperatura mas uma parcial fusão, o que, no entanto, não põe em causa o objectivo da experiência, já que estes efeitos são relativamente pequenos.

Outra dificuldade sentida reside na quantidade de gelo a usar na mistura com água no segundo vaso. Com o uso de muito gelo corre-se o risco de a fusão total demorar demasiado tempo, sugere-se cerca de 20 g de gelo misturado em 50 ml de água a uma temperatura perto de 0 °C, e 70 ml de água líquida no outro vaso.

2.3.2.4 Determinação do calor de fusão de uma porção de gelo.

Esta experiência tem algumas semelhanças com a anterior. No entanto introduzimos aqui um controlo da energia fornecida à mistura de água e gelo usando uma resistência eléctrica de aquecimento. Este controlo permite-nos relacionar as unidades de medida Joule e caloria, ou seja, relacionar medições de energia através de variações de temperatura e realização de trabalho eléctrico.

Procedimentos:

a) Numa garrafa térmica, previamente arrefecida, introduzimos a resistência eléctrica.
b) Ligamos a resistência à fonte de alimentação, ao voltímetro e ao amperímetro conforme Figura 2.4.
c) Na mesma garrafa térmica colocamos três cubos de gelo, "secos", retirados da tina.
d) Na mesma garrafa adicionamos cerca de 100 ml de água líquida a 0 °C, retirada da tina, cuja massa foi previamente medida na balança. De imediato, fechamos a garrafa com a rolha e o sensor adaptado na rolha e ligamos a fonte de alimentação da resistência.
e) Agitamos a água no interior da garrafa de modo a manter homogénea a temperatura entre as fases sólida e líquida da água.
f) Registamos ao longo do tempo o valor da temperatura do sistema.

g) Registamos, com intervalos de dois minutos, os valores de d.d.p. aos terminais da resistência e a intensidade de corrente eléctrica que a travessou.

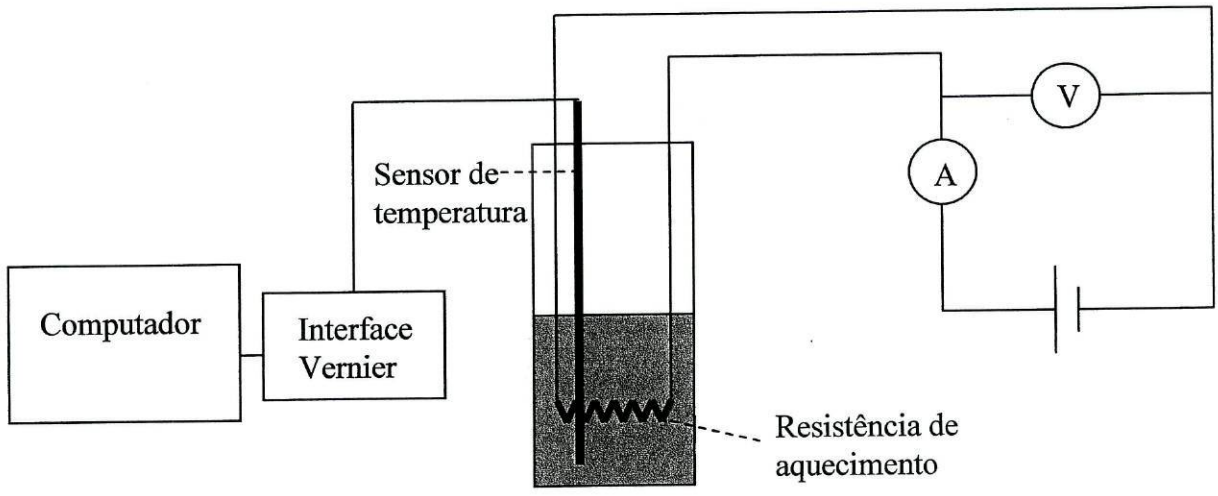


Figura 2.4 Esquema da montagem usada.

h) Medimos a massa de toda a água no interior da garrafa e calculamos a massa dos cubos de gelo usados.

i) Determinamos graficamente o tempo que demorou a fusão total do gelo.

Resultados:

O gráfico representa a curva de aquecimento da mistura de água líquida e gelo ao longo do tempo.

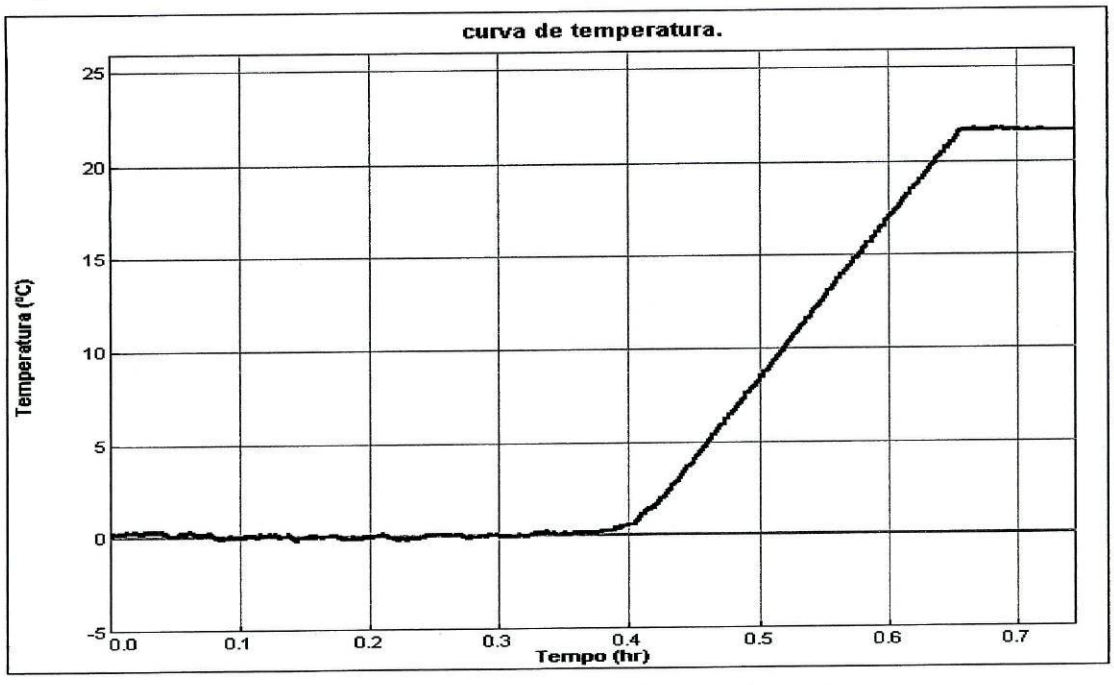


Gráfico 2.2 Variação da temperatura da massa de água ao longo do tempo.

Dados:

No ensaio apresentado a massa de água líquida adicionada foi de 67,7 g. A massa de toda a água no interior da garrafa foi de 140,2 g. A massa de gelo foi, então, de 72,5 g. A diferença de potencial eléctrico e intensidade de corrente eléctrica foram medidas com intervalos de dois minutos. Para cada par de valores de d.d.p. e I calculamos um valor de potência dissipada na resistência. O valor médio obtido foi de 14,8 W. A resistência foi desligada no instante 0,654 h.

Cálculo da capacidade calorífica da água

Esta experiência permite-nos também apresentar aos alunos a relação entre duas unidades de energia. Vimos atrás que a unidade "caloria" era operacionalmente definida a partir da variação de temperatura de uma massa de água. Por outro lado na medição de trabalho eléctrico realizado por uma bateria usamos a unidade "Joule".

No gráfico está traduzido o aumento da temperatura do sistema ao longo do tempo pela linha recta crescente, entre os instantes 0,403 h e 0,654 h. A temperatura subiu de 0,0 °C até o valor de 21,4 °C. Poderíamos usar estes intervalos de valores para calcular a capacidade térmica da água, mas, no início não sabemos se ainda algum gelo se encontra no sistema. Por outro lado no final do aquecimento, após desligarmos a fonte no instante 0,654h, a água sofre ainda um ligeiro aumento de temperatura, até 21,7 °C. Assim, para evitarmos estas dificuldades, consideraremos um intervalo de tempo durante o qual a temperatura da água aumenta linearmente. Consideraremos o intervalo entre os instantes 0,450h e 0,620h. Neste período de tempo não ocorre mudança de estado físico do sistema, assim o trabalho eléctrico da resistência resulta apenas no aumento da temperatura. O trabalho realizado é,

$$W_{\text{eléctrico}} = P \times \Delta t = 14{,}8 \times (0{,}620 - 0{,}450) \times 3600 = 9{,}06 \times 10^3 \text{ J} \qquad \textbf{2. 13}$$

Esta é a energia absorvida pelos 140,2 g do sistema. Neste intervalo de tempo a temperatura da água subiu de 4,2 °C para o valor de 18,7 °C. Podemos então determinar experimentalmente o valor do calor específico da água, usando o Joule como unidade de energia, supondo que o trabalho eléctrico da resistência resulta no aumento da energia interna da água,

$$9{,}06\times10^{3} = m_{\text{sistema}} \times c_{\text{água}} \times (T_{\text{f}} - T_{\text{i}})$$

2. 14

então,

$$c_{\text{água}} = \frac{9{,}06\times10^{3}}{0{,}1402\times(18{,}7-4{,}2)} = 4457 \text{ J.kg}^{-1}\text{.K}^{-1}$$

2. 15

Se considerarmos este valor por grama, temos 4,457 $J.g^{-1}.K^{-1}$, ou seja a energia que um grama de água absorve quando a sua temperatura aumenta de 1 K. Quando definimos "caloria" vimos que esta quantidade é precisamente 1 cal. Assim esta experiência diz-nos que,

$$1 \text{ caloria} = 4{,}457 \text{ J}$$

2. 16

Este valor apresenta um desvio de 7 % do valor tabelado para a temperatura ambiente, 4,183 J. (Alonso, M. e Finn, E.J.; 1999)

Cálculo do calor de fusão do gelo:

Por aproximação foi considerado que o intervalo de tempo que decorreu até à total fusão do gelo foi de 0,403 horas.

Assim a energia fornecida aos 72,5g de gelo foi de,

$$E = P\times\Delta t = 14{,}8\times(0{,}403-0)\times3600 = 2{,}15\times10^{4} \text{ J}$$

2. 17

Supondo que o gelo terá absorvido toda esta energia e mais nenhuma, então cada grama de gelo absorveu,

$$E = \frac{2{,}15\times10^{4}}{72{,}5} = 296 \text{ J.g}^{-1}$$

2. 18

Usando a relação atrás referida entre as unidades de medida da energia,

$$E = 70{,}1 \text{ cal./g}$$

2. 19

No ponto 2.3.2.2 calculamos a energia necessária para fundir um grama de gelo, onde obtivemos valores em torno de 75 cal/g. Este valor é próximo do valor agora calculado, 70,1 cal/g. De qualquer forma, estes apresentam-se inferiores ao valor tabelado de 79,71 cal/g para o calor de fusão de um grama de gelo.

A partir deste gráfico podemos realizar o cálculo da energia de fusão do gelo de outra forma. A resistência eléctrica está em funcionamento desde o instante 0 até ao instante 0,654 h, durante este intervalo de tempo uma parte da água fundiu e a sua totalidade aumentou de temperatura. Podemos afirmar, como o já fizemos, que a energia interna do sistema aumentou e o seu aumento corresponde ao trabalho eléctrico durante todo este tempo,

$$W_{\text{eléctrico}} = P \times \Delta t = 14{,}8 \times (0{,}654 - 0) \times 3600 = 3{,}48 \times 10^4 \text{ J} = 8319 \text{ cal.}$$

2. 20

Os 140,2 g de água sofreram um aumento de temperatura de 0,0ºC até 21,7ºC, a que corresponde a um termo do aumento da sua energia interna,

$$\Delta E = m \times c_{\text{água}} \times \Delta T = 140{,}2 \times 1 \times (21{,}7 - 0{,}0) = 3042 \text{ cal}$$

2. 21

Se ao trabalho eléctrico subtrairmos esta energia, correspondente ao termo do aumento da temperatura, deveremos obter o outro termo de energia responsável pela fusão do gelo,

$$\Delta E_{\text{fusão}} = W_{\text{eléctrico}} - \Delta E = 8319 - 3042 = 5277 \text{ cal}$$

2. 22

Sabendo nós que colocamos 72,5 g de gelo dentro da garrafa, então a energia de fusão de um grama de gelo é de 72,8 cal/g. Este valor apresenta uma ligeira diferença em relação ao valor 70,1 cal/g, anteriormente calculado. Será interessante para os alunos discutirem sobre ela. Pensamos que esta diferença prende-se com um erro de método de cálculo do primeiro valor obtido. De facto o intervalo de tempo considerado, de 0 a 0,403 h, é aquele em que seguramente achamos que ainda existe gelo na garrafa, na verdade não temos possibilidade de

determinar o exacto instante em que o último grama de gelo se funde. O gráfico, em torno do instante 0,4 h não é muito claro. Pensamos que ainda depois do instante 0,403 h ainda possa existir gelo, pois o segundo valor determinado, sem esta dificuldade, para a energia de fusão por grama é ligeiramente superior.

Discussão

O papel da resistência é o de fornecimento de energia ao gelo. No entanto, a resistência usada deve funcionar mergulhada em água líquida, pois de outro modo poderá sobreaquecer, para além de ser esta a forma mais eficaz de transmitir energia para a água e, indirectamente, para o gelo.

Nesta experiência é suposto ser a resistência o único objecto fornecedor de energia ao gelo. Mas o uso de água líquida na garrafa cria dificuldades, pois esta quando é adicionada ao gelo apresenta algumas décimas de grau acima de zero. A água é retirada da tina e vertida para a garrafa que se encontra sobre a balança. Esta simples tarefa de medida da massa, altera a sua temperatura. Assim os cubos de gelo receberão um pouco de energia da água que os banham.

Outra dificuldade desta experiência resulta do sempre deficiente arrefecimento das paredes internas da garrafa, nunca atingindo estas a temperatura de 0 °C. Então o gelo também receberá energia da própria garrafa, para além da inevitável entrada de energia do exterior para o sistema. Ainda temos de lidar com o facto de os cubos de gelo não se encontrarem bem limpos de água líquida, introduzindo aqui um erro na medida da massa de gelo efectiva que recebe energia da resistência.

No entanto, estas contribuições indesejáveis de energia ao gelo são significativamente inferiores à energia cedida pela resistência, mantendo-se assim, válida no essencial, a discussão anterior.

Finalmente é de referir que a constante agitação da água deve ser feita de modo a manter homogénea a temperatura de toda a água, já que a resistência está apenas em contacto directo com uma pequena parte da água. Esta agitação deve ainda ser executada de modo a que o sensor de temperatura não toque na resistência, mas antes que esteja sempre em contacto com a água misturada com o gelo.

2.3.3 Conclusão

O Gráfico 2.2 obtido pode claramente ser analisado em duas partes: antes do instante 0,403 h e após este instante. Até aquele instante podemos afirmar e verificar que a temperatura se

mantém constante, isto, apesar de a resistência ter estado continuamente a fornecer energia ao sistema. Então, e tendo o sistema estado isolado do exterior com a resistência no seu seio, o que terá acontecido a esta energia? Só pode ter sido usada no processo de mudança de estado do gelo, sem que a temperatura se tivesse alterado significativamente. A energia, que foi fornecida ao sistema electricamente, não resultou em alteração de temperatura.

Após aquele instante a temperatura subiu rapidamente, num comportamento diferente do anterior. Agora toda a água contida na garrafa está no estado líquido e a energia transferida da resistência para a água resulta, apenas, no aumento da temperatura desta.

A diferença entre temperatura e energia interna têm aqui uma nova oportunidade para se tornar clara.

Atrás os alunos puderam ver que se notássemos uma variação de temperatura num sistema então poderíamos afirmar que a energia interna desse sistema tinha variado. Mas a seguinte questão pode surgir: Se a energia interna do sistema variar, a temperatura varia? Até aqui falamos em estados iniciais e finais de energia de um sistema. Para cada um desses estados medimos um valor de temperatura, mas já vimos que o valor de temperatura não é uma medida da energia interna do sistema, apenas medimos variações desta energia a partir de variações de temperatura. Estas experiências são muito claras a estabelecer esta diferença, pois podemos fornecer energia a um sistema, a sua energia interna aumentar e, no entanto, a sua temperatura pode permanecer constante. A resposta à pergunta feita atrás é então: não necessariamente.

Fornecemos energia ao sistema, não vimos a temperatura subir, mas vimos uma mudança de fase, uma massa de água passou do estado sólido ao estado líquido. Depois desta mudança a energia fornecida resulta num aumento de temperatura. Aqui temos dois efeitos muito distintos num sistema quando energia lhe é fornecida. Voltaremos a este aspecto mais tarde.

O equilíbrio verifica-se entre duas massas de água que apresentam estados físicos diferentes e que, portanto, possuem energias internas diferentes, mas com temperaturas iguais. O equilíbrio térmico não se estabelece quando as energias internas de dois corpos, que interagem um sobre o outro trocando energia, eventualmente se igualem mas quando as temperaturas se igualam. É interessante esta ideia pois para além de reforçar o conceito de equilíbrio térmico volta a chamar atenção para a diferença entre temperatura e energia interna.

Atrás perguntamos se duas massas de água diferentes, à mesma temperatura, possuíam a mesma energia interna. Podemos voltar a responder à questão: a energia interna poderá ser diferente mesmo que as massas sejam iguais.

Concluindo, os alunos poderão verificar que o sistema sofreu uma variação da sua energia interna observável, por um lado, pela mudança de estado físico, por outro, pela variação de temperatura. Estas alterações são claramente visíveis no gráfico que mostra a variação da temperatura ao longo do tempo da massa de água sujeita ao aquecimento através da resistência eléctrica. Assim é o trabalho eléctrico da resistência responsável pela variação da energia interna da mistura, então, se aceitarmos como certo o princípio de conservação da energia, neste caso,

$$\Delta E = W_{\text{eléctrico}}$$

2. 23

o trabalho eléctrico corresponde à variação da energia interna, ΔE, do sistema. Nas variações de energia interna identificamos dois termos: Um associado a uma variação de temperatura e outro associado a uma transição de fase. Reparemos que começamos agora a dar forma à primeira lei da termodinâmica, enunciando-a para um processo energético concreto que foi a nossa actividade experimental.

2.4 Medição eléctrica da variação da energia interna de uma massa de água. Radiação.

2.4.1 Introdução

O uso da energia eléctrica para o aquecimento de uma massa de água, uma massa de ar outro objecto qualquer é uma prática conhecida e muito usada. A esmagadora maioria dos aparelhos eléctricos que usamos nas nossas casas, embora concebidos para os mais diferentes propósitos, neles ocorrem transferências de energia associadas a aumentos de temperatura. Este fenómeno é evidente numa lâmpada de incandescência, onde o aquecimento desta poderá corresponder a um aumento de várias centenas de graus centígrados. Assim a construção de aparelhos eléctricos cada vez mais eficientes tornou-se um imperativo técnico.

A energia pode transferir-se entre objectos de diferentes formas, mas neste conjunto de experiências tenta-se por em evidência a transferência de energia sob a forma de radiação. Quando uma lâmpada está acesa esta fornece energia ao meio que a circunda, uma parte dessa energia transfere-se manifestando-se num aumento da temperatura da lâmpada e uma outra sob a forma de radiação visível.

Assim os objectivos serão estudar a importância da radiação no processo de transferência de energia entre sistemas. Calcular o rendimento de uma lâmpada.

2.4.2 Material usado:

- Calorímetro transparente, fechado, com uma lâmpada adaptada na parte superior.
- Um voltímetro.
- Um amperímetro.
- Uma fonte de energia eléctrica.
- Um sensor de temperatura.
- Água.
- Corante negro.
- Balança.
- Um agitador magnético.

2.4.2.1 Aquecimento da água sem corante.

Procedimentos:

a) Medimos a massa de cerca de 200 ml de água à temperatura ambiente e colocamos a água no calorímetro.

b) Registamos o valor da temperatura da água, temperatura inicial.

c) Fechamos o calorímetro, mergulhando a lâmpada na água, tal como indicado na Figura 2.5.

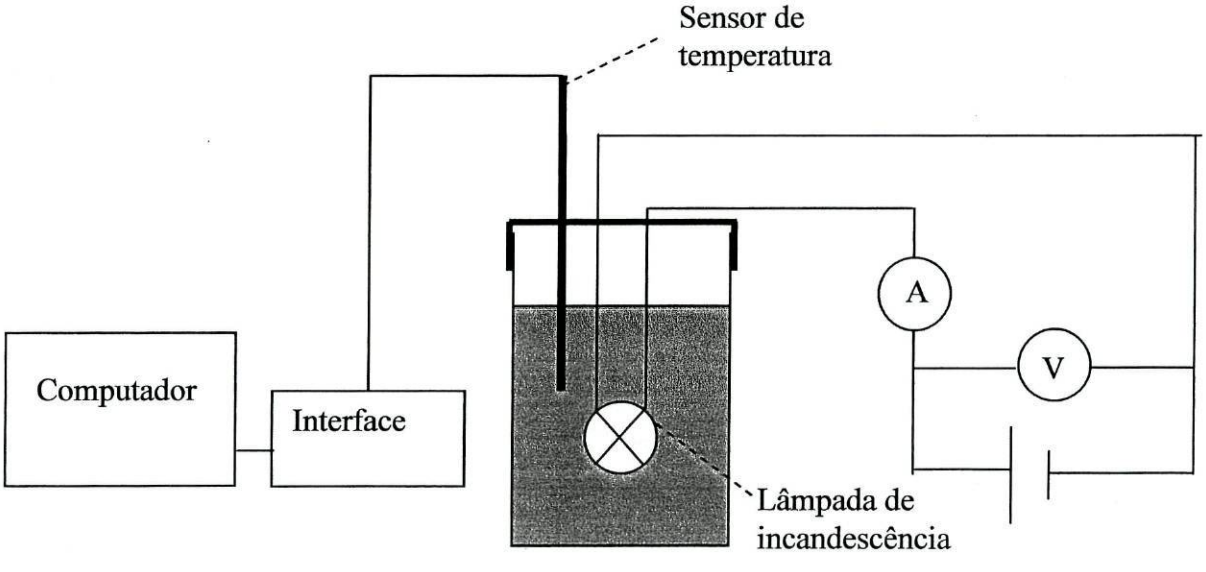


Figura 2.5 Esquema da montagem experimental usada.

d) Mergulhamos o sensor na água.

e) Ligamos a lâmpada e registamos o valor da temperatura da água ao longo de 8 minutos, com o calorímetro sobre o agitador.

f) Em simultâneo registamos, em cada minuto, o valor da intensidade da corrente eléctrica e da diferença de potencial aos terminais da lâmpada.

g) Calculamos o rendimento do processo.

Resultados e registo de dados:

No Gráfico 2.3 poderemos verificar a curva de aquecimento da massa de água resultando num aumento da temperatura da mesma. No final do aquecimento a água tinha atingido um valor máximo de temperatura de 29,9°C. Tendo o seu valor inicial sido de 18,8°C. A massa de água aquecida foi de 200g.

Para cada par de valores de d.d.p. e de I foi calculado um valor de potência da lâmpada. O seu valor médio é de 29,8 W. No instante em que a fonte foi desligada, 8 min, o sensor registava um valor de 29,7°C.

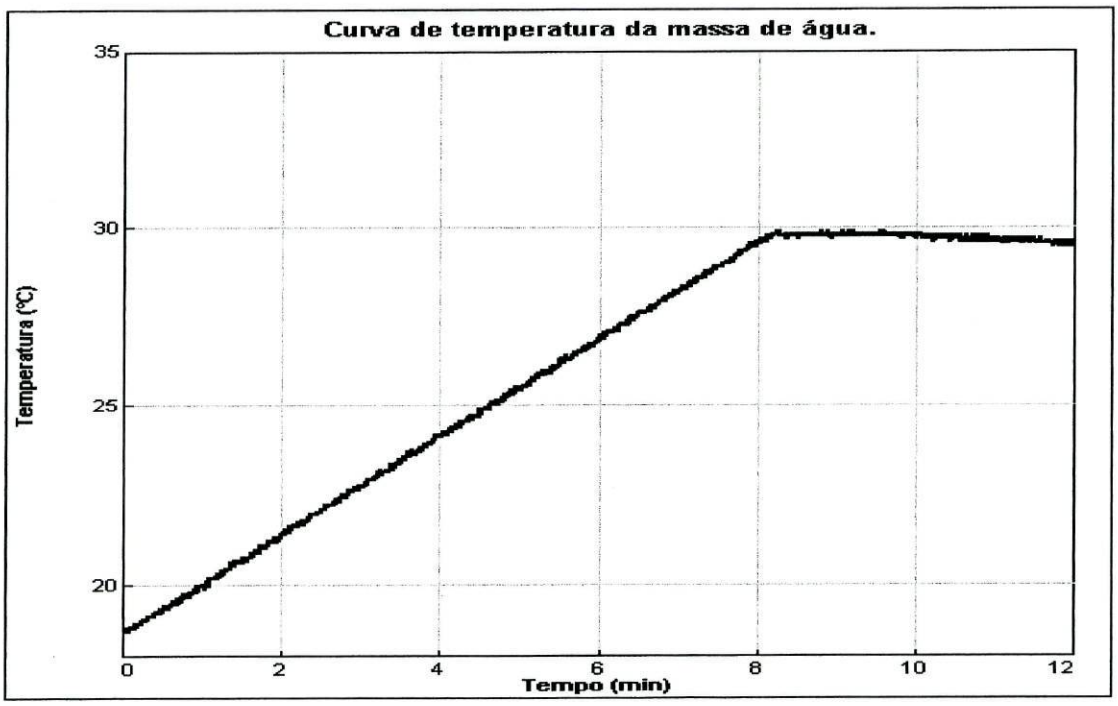


Gráfico 2.3 Aquecimento da água sem corante durante 8 minutos.

Cálculo do rendimento.

O aumento da energia interna da água foi de,

$$\Delta E = m \times c \times \Delta T = 0{,}200 \times 4183 \times (29{,}9 - 18{,}8) = 9{,}29 \times 10^3 \text{ J}$$

2. 24

A energia eléctrica fornecida à lâmpada foi de,

$$E_{\text{eléctrico}} = P \times \Delta t = 29{,}8 \times 8 \times 60 = 14{,}3 \times 10^3 \text{ J}$$

2. 25

Assim o rendimento do processo de transferência de energia foi de,

$$\eta = \frac{\Delta E}{E_{\text{eléctrica}}} = \frac{9{,}29 \times 10^3}{14{,}3 \times 10^3} = 0{,}65$$

2. 26

O que podemos verificar é que apenas 65 % da energia que a lâmpada transformou resultou em aumento de temperatura da massa de água, a restante energia ter-se-á "perdido".

2.4.2.2 Aquecimento da água com corante negro diluído.

Procedimentos:

Repetimos os procedimentos descritos em 2.4.2.1 colocando corante na água tornando-a negra, antes de iniciar o aquecimento.

Resultados e registo de dados:

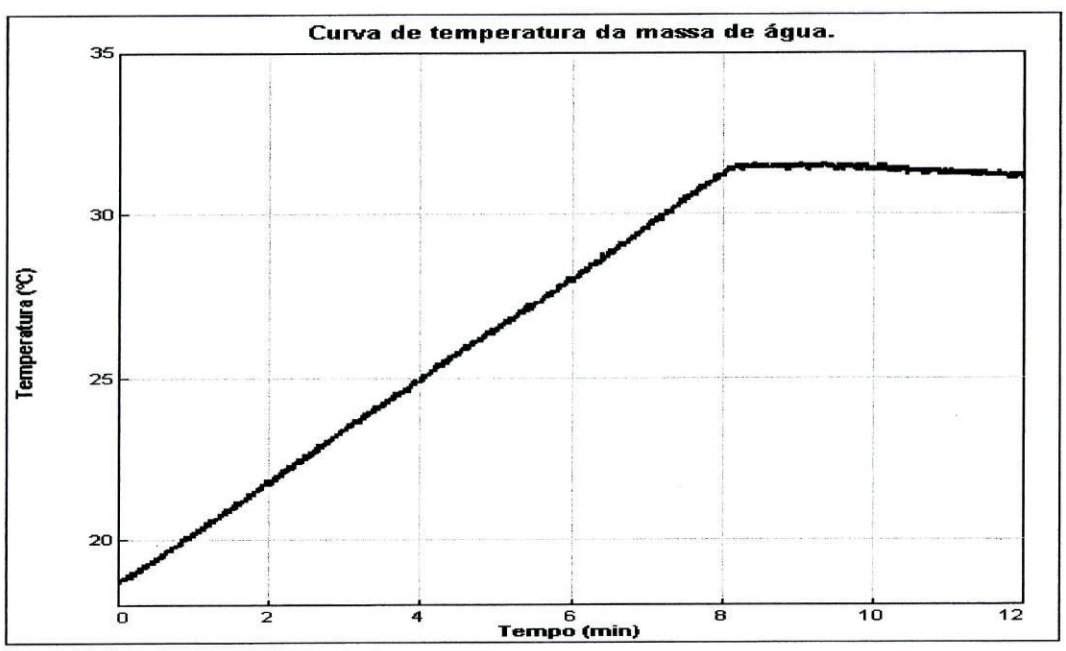


Gráfico 2.4 Aquecimento da água com corante durante 8 minutos.

No final do aquecimento a água tinha atingido um valor máximo de temperatura de 31,6 ºC. Tendo o seu valor inicial sido de 18,8 ºC. A massa de água aquecida foi de 200 g.

Para cada par de valores de *d.d.p.* e de *I* foi calculado um valor de potência da lâmpada. O seu valor médio é de 29,45 W.

No instante em que a fonte foi desligada, 8 min, o sensor registava um valor de 31,3 °C.

Cálculo do rendimento do processo.

O aumento da energia interna da água foi de,

$$\Delta E = m \times c \times \Delta T = 0{,}200 \times 4183 \times (31{,}6 - 18{,}8) = 10{,}7 \times 10^3 \text{ J}$$

2. 27

A energia eléctrica fornecida à lâmpada foi de,

$$E_{\text{eléctrica}} = P \times \Delta t = 29{,}45 \times 8 \times 60 = 13{,}7 \times 10^3 \text{ J}$$

2. 28

Assim o rendimento do processo de transferência de energia foi de,

$$\eta = \frac{\Delta E}{E_{\text{eléctrica}}} = \frac{10{,}7 \times 10^3}{13{,}7 \times 10^3} = 0{,}78$$

2. 29

Assim verificamos um aumento do rendimento do processo em relação ao anterior.

Cálculo do rendimento da lâmpada.

No primeiro processo onde a radiação visível pode livremente escapar para o exterior ao calorímetro, a água conseguiu reter $9{,}29 \times 10^3$ J de energia. Mas no segundo processo onde a luz não teve oportunidade de escapar à água esta reteve$10{,}7 \times 10^3$ J de energia. O aumento da energia interna da água foi superior no segundo processo em $1{,}41 \times 10^3$J. Isto acontece apesar de no segundo processo o trabalho eléctrico realizado ser ligeiramente inferior, $13{,}7 \times 10^3$ J contra $14{,}3 \times 10^3$ J no primeiro. Podemos pois considerar que o rendimento de aquecimento da água é superior (78 %) no segundo caso porque uma parcela adicional de energia, associada à radiação visível fica retida no calorímetro. Isto é,

$$\eta_2 = \frac{\Delta E_1 + \Delta E_{\text{rad}}}{E_{\text{eléctrica}}} = \frac{\Delta E_1}{E_{\text{eléctrica}}} + \frac{\Delta E_{\text{rad}}}{E_{\text{eléctrica}}} = \eta_1 + \frac{\Delta E_{\text{rad}}}{E_{\text{eléctrica}}}$$

2. 30

Usando os valores de η_1 e η_2 acima determinados tiramos

$$\frac{\Delta E_{\text{rad}}}{E_{\text{eléctrica}}} = \eta_2 - \eta_1 = 0{,}78 - 0{,}65 = 0{,}13 \qquad \textbf{2. 31}$$

ou seja, 13 % do total da energia que a lâmpada forneceu ao seu exterior.

Discussão

A lâmpada mergulhada na água realiza trabalho eléctrico que pode ser medido controlando a diferença de potencial e a intensidade de corrente eléctrica. Este trabalho resulta no aumento da temperatura da água e na luz que escapa do calorímetro, pelo menos no primeiro ensaio. Numa situação ideal a soma da energia associada à luz com a energia associada ao aumento da temperatura seria igual ao trabalho eléctrico medido, assim enuncia o princípio da conservação da energia. Esta igualdade não é verificada, pois o nosso sistema encontra-se num recipiente constituído apenas por paredes de plástico transparente, permitindo pois trocas de energia com o exterior por condução e não apenas por radiação. Na realidade os rendimentos obtidos foram de 65 % no primeiro e de 78 % no segundo ensaio.

Naturalmente o sensor mergulhado na água também perturba o sistema absorvendo alguma da energia deste. O sensor deve ser mergulhado com a sua ponta num local suficientemente afastado da lâmpada, pois junto desta a temperatura do sistema é muito superior às verificadas nos restantes pontos do sistema. De qualquer forma, para que o sensor registe um valor de temperatura próximo do valor médio da temperatura do sistema a água deverá ser continuamente agitada durante todo o aquecimento, homogeneizando termicamente o sistema.

Para a determinação da variação de temperatura, usada no cálculo do aumento da energia interna da água, verificamos que a temperatura aumentou ainda algumas décimas de grau após o instante em que é desligada a fonte eléctrica da resistência. Na verdade o equilíbrio térmico entre a água e a lâmpada demora alguns segundos a ser estabelecido. Mesmo depois de desligada, a lâmpada ainda fornece alguma energia, verificada neste ligeiro aumento de temperatura, à água que tem de ser considerada nos cálculos.

2.4.3 Conclusão

A porção de energia transferida pela lâmpada para a água sob a forma de radiação é apenas uma pequena parte de toda a energia que a lâmpada transferiu para o seu exterior. Cerca de 13 %. É também bastante mais pequena que a totalidade da energia retida pela água em cada um dos ensaios realizados. No entanto foi possível perceber que a radiação emitida, pela lâmpada

e absorvida pela água no segundo processo, resultou num aumento de temperatura extra da água em relação ao primeiro processo.

Ficamos com uma ideia clara, apesar dos erros que o processo introduz, de que uma lâmpada de incandescência como aquela que foi usada tem um rendimento muito baixo. De facto as alternativas, para dispositivos de iluminação, a este tipo de lâmpadas aparecem cada vez em maior número. Esta experiência tem esta riqueza conceptual, de fazer sobressair um balanço energético que nem sempre é obvio para os alunos.

Entre o primeiro e o segundo processo verificamos um aumento do rendimento no aquecimento da lâmpada, dito de outra forma, a percentagem de energia "perdida" para o exterior ao calorímetro diminuiu. Será que podemos anular esta percentagem? Será possível construir um processo, de aquecimento da água, perfeito? Poderemos talvez revestir o calorímetro com alguma substância isolante para o sistema. A porção de energia "perdida" diminuiria com certeza. No entanto, parece difícil responder à questão, mas é possível conduzir esta experiência no sentido de percebermos que, se tal fosse possível, teríamos a total conservação da energia no sistema. Parece difícil descobrir aqui o princípio da conservação da energia mas ele está cá.

Uma das ideias mais populares entre os alunos é a de que para fazer aumentar a temperatura a um corpo é preciso coloca-lo junto a outro a superior temperatura. A radiação visível é algo nunca associado a transferências resultantes em variações de temperatura. Mas de facto a luz é energia em transporte que pode ser cedida, absorvida, transferida, podendo resultar numa variação de temperatura.

Seguimos uma linha de pensamento orientada pelo princípio da conservação da energia. Os alunos já sabem que o aumento da energia interna de um sistema se pode manifestar pelo aumento da temperatura desse sistema. No entanto o aumento de temperatura verificado no primeiro processo ficou aquém do esperado quando comparado com o trabalho eléctrico da lâmpada, mas também, neste processo, vimos luz escapar do sistema. Se os alunos compreenderem que a luz é uma manifestação da energia e se a luz não poder escapar então o aumento de temperatura do sistema deverá ser superior ao anterior. Podemos pensar assim se aceitarmos o princípio referido, também se os alunos assim pensarem poderão prever que, no segundo processo, com o corante, se a energia interna aumenta ainda mais então poderão medir um maior aumento de temperatura, tal como se verifica. Não é preciso que toda a energia fornecida electricamente ao sistema se conserve no sistema para usarmos o princípio da conservação como linha de pensamento. Assim se considerarmos todos os termos energéticos já referidos, associados à luz, aumento da temperatura e ainda outras perdas da

água para o exterior, podemos pensar que os resultados não estão em contradição com a expressão 2. 23, para a primeira lei da termodinâmica.

Exemplos de transferências de energia associadas à radiação, como o uso do microondas, podem ser abordados quando verificamos o aumento da temperatura dos alimentos confeccionados.

2.5 Outras formas de trabalho. Aquecer com "trabalho mecânico"

Como vimos a ideia de "energia contida num corpo" está intimamente ligada ao conceito de calor e de temperatura tal como, por outro lado, o conceito de energia mecânica associada ao movimento do corpo e forças, que realizando trabalho, são responsáveis por esses movimentos, aparece nas ideias dos alunos, desligada do conceito de energia interna. Como lidar com estas duas manifestações da energia, aparentemente tão afastadas, à luz do tão abrangente e unificador princípio da conservação da energia?

Temos de nos recordar das experiências propostas por Joule sobre trabalho dissipado realizado sobre um sistema.

Uma experiência, muito simples, que poderá ser realizada em poucos minutos, e que foi realizada no decorrer deste trabalho, consiste em introduzir uma varinha mágica, electrodoméstico comum, num pouco de água, cerca de 300 g, à temperatura ambiente. Ao fim de cerca um minuto de funcionamento da varinha, de forma intermitente de forma a não danificar a aparelho eléctrico, constata-se o aumento da temperatura da água em 1 a 2 K. Com um termómetro com uma resolução de décimas de grau torna a demonstração bastante eficaz. O aumento da temperatura verifica-se não porque a água tenha estado em contacto com outro corpo a superior temperatura, é importante que os alunos se apercebam deste facto, mas porque, verificando-se o movimento das pás solidárias com o eixo rotativo da varinha no seio da água, afirmamos que estas sofrem forças contrárias ao seu movimento realizadas pela própria água, forças "dissipativas" da energia associada ao movimento de rotação das pás, ou seja, trabalho foi realizado sobre a água associado ao movimento de rotação aumentando a energia interna associada aumento da temperatura. Esta experiência é aconselhável apenas como introdução ao suscitar do debate de caracter qualitativo, uma vez que uma análise quantitativa levanta delicadas dificuldades.

Outra referência interessante e muito elucidativa trata do movimento de um bloco sobre uma superfície horizontal e rugosa sob acção de uma força externa. Este é um exemplo hipotético muito referido em manuais escolares. O primeiro aspecto será considerar o bloco e a

superfície com sendo o conjunto em estudo, tratando as forças de fricção como interacções internas, entre duas partes do sistema. Alguém ou algo, através de um fio, por exemplo, puxa o bloco fazendo-o arrastar-se a velocidade constante. O sistema não está em contacto com outros a superior ou inferior temperatura, no entanto à medida que o bloco é arrastado torna-se evidente o aumento da temperatura do sistema, notoriamente se as superfícies em contacto forem bastante rugosas, este fenómeno é bem conhecido dos alunos. O trabalho realizado sobre o sistema é realizado pela força externa, chamemos $F_{\text{ext.}}$, sendo então $W_{\text{ext.}} = F_{\text{ext.}} \times \Delta S$, onde ΔS representa o deslocamento do centro de massa do bloco. Um aluno diria que o trabalho desta força é positivo, se assim é a energia do sistema deverá então aumentar, pois não existem outras forças externas ao sistema. No entanto, não são notadas variações de energia cinética associada à translação do bloco, então este aumento deverá ser admitido como um aumento da energia interna do sistema manifestando-se no aumento da temperatura. Ou seja, sendo a trabalho da força directamente responsável pelo aumento da temperatura,

$$\Delta E = W_{\text{ext.}} \qquad \textbf{2. 32}$$

tal como já vimos.

Reparemos que não é preciso calcular o trabalho das forças de resistência, nem interessa neste momento fazer grandes considerações sobre as interacções moleculares entre superfícies, de qualquer forma estas forças são algo que ocorre no interior do sistema, apenas nos basta considerar o que acontece entre o sistema e o exterior, a força externa, e notar os estados inicial e final, pelo aumento da temperatura. É tudo que é necessário para estudarmos energicamente o processo e considerar a primeira lei da termodinâmica sem ambiguidades.

Capítulo 3 Transferência de energia por condução. O conceito de calor.

3.1.1 Introdução

A condução de calor é um dos fenómenos mais importantes do nosso quotidiano. Está presente em muitos dos processos térmicos levados a cabo na nossa sociedade assim como é inegável a sua importância para o conforto das nossas casas, como a obtenção de água quente, a confecção dos alimentos. Evidente também é a ocorrência deste processo nos resultados de muitas das experiências descritas.

No nosso dia-a-dia lidamos com o calor das mais diversas formas. Por vezes pretendemos que a energia se transfira rapidamente entre corpos como entre um tacho e um bocado de água ou entre uma lareira e a respectiva sala. Noutras situações tentamos a todo custo evitar que o calor se "perca", revestimentos entre paredes, janelas de vidros duplos ou as já mencionadas garrafas térmicas são conhecidas formas de evitar a transferência de energia entre objectos a diferentes temperaturas.

A investigação sobre os materiais mais adequados para as mais diferentes situações onde se pretende a condução de calor ou a conservação da energia num determinado sistema levou-nos a uma das características mais interessantes dos materiais: a sua condutividade. Expressões como bons condutores, maus condutores ou isoladores são conhecidas de todos. Mas na realidade não existe tal material que possamos considerar como o condutor ideal ou o isolador ideal.

O processo de condução parece ser simples. Dois objectos em contacto, com temperaturas diferentes, interagem um sobre o outro resultando numa transferência de energia daquele que apresenta maior temperatura para aquele que apresenta menor temperatura de tal modo que os valores das suas temperaturas variem aproximando-se.

Assim os objectivos são clarificar o processo de transferência de energia associada ao calor. Estabelecer a diferença da capacidade de condução de energia entre o cobre e o alumínio e estudar o princípio da conservação de energia num sistema no qual ocorre um processo de condução de energia.

3.1.2 Material usado.

- Duas garrafas térmicas.
- Dois sensores de temperatura.

- Duas barras metálicas (cobre e alumínio), em U e de diâmetro 15 mm.

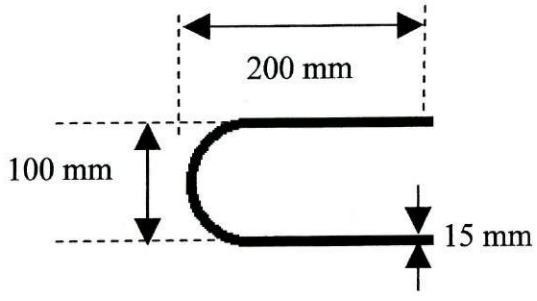


Figura 3.1 Forma e dimensões das barras usadas.

- Duas rolhas de borracha preparadas para se adaptarem os sensores de temperatura e as extremidades da barra metálica.
- Disco de aquecimento.
- Água líquida.
- Gelo.
- Balança.
- Caixa de papelão e esferovite.

3.1.2.1 Transferência de energia entre duas porções de água líquida a temperaturas diferentes.

Procedimentos

a) Num garrafa térmica colocamos cerca de 600 g de água à temperatura ambiente. A massa foi medida antes, usando a balança.

b) Aquecemos igual massa de água até uma temperatura de aproximadamente 80 °C.

c) Introduzimos a água aquecida na outra garrafa e fechamos a garrafa com uma rolha de modo a que um sensor, adaptado à rolha tenha registado o valor da sua temperatura.

d) Fechamos também a garrafa contendo a água à temperatura ambiente registando a sua temperatura.

e) Durante cerca de 20 minutos registamos o valor da temperatura de ambas as massas de água.

f) Retiramos as rolhas das garrafas, adaptamos cada uma das extremidades da barra metálica a cada uma das rolhas e introduzimos cada uma das extremidades em cada uma das garrafas de modo que estas tenham ficado fechadas.

g) Continuamos a registar o valor de temperatura das duas massas de água.

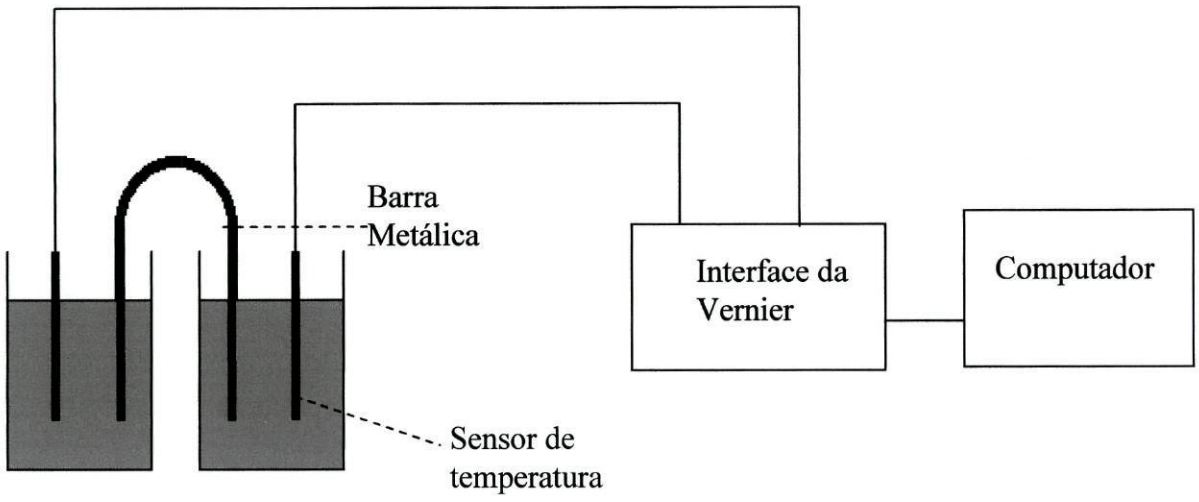


Figura 3.2 Esquema da montagem final usada.

Resultados

As curvas temperatura 1 e temperatura 2 representam a evolução do valor da temperatura ao longo do tempo da água inicialmente à temperatura ambiente e da água aquecida, respectivamente.

No instante 0,406h iniciou-se a tarefa de introdução da barra, terminado no instante 0,430h.

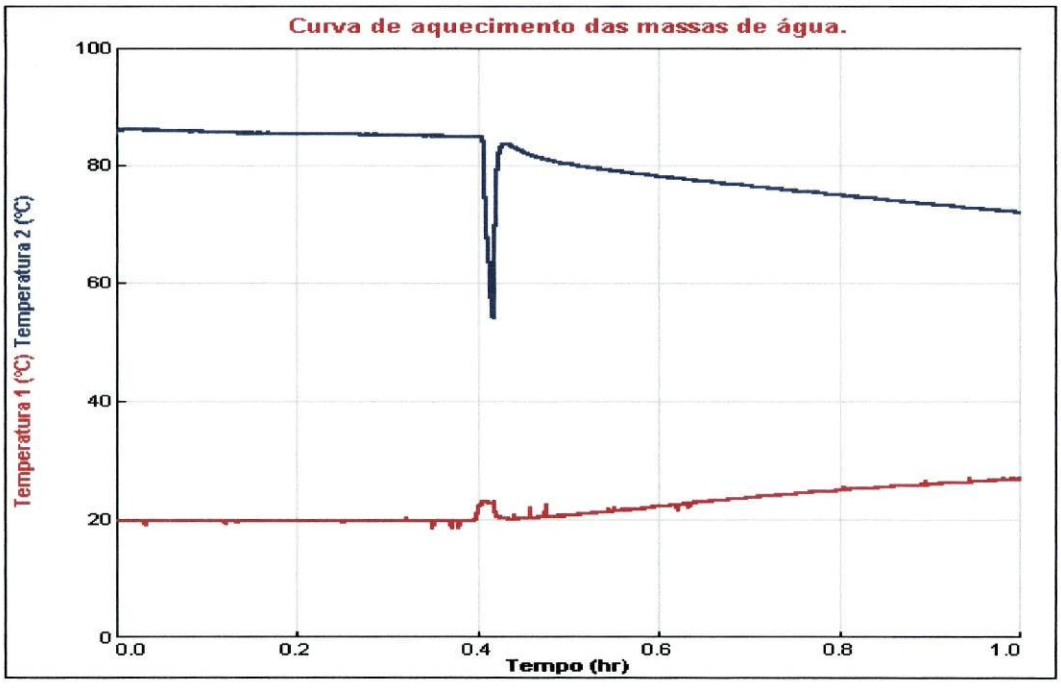


Gráfico 3.1 Variações da temperatura das duas massas antes e após a introdução da barra de cobre.

Sendo as massas de água, em ambas as garrafas, iguais, e sendo as variações dos valores das temperaturas indicadoras das variações de energia que cada massa de água sofre podemos fazer uma comparação directa entre as variações de temperatura.

No Gráfico 3.2, Delta T1 e Delta T2 representam a diferença entre o valor da temperatura em cada instante e o valor inicial da temperatura da massa de água inicialmente à temperatura ambiente e da massa inicialmente aquecida, respectivamente. No gráfico apenas estão representadas estas diferenças a partir do instante em que terminamos de introduzir a barra.

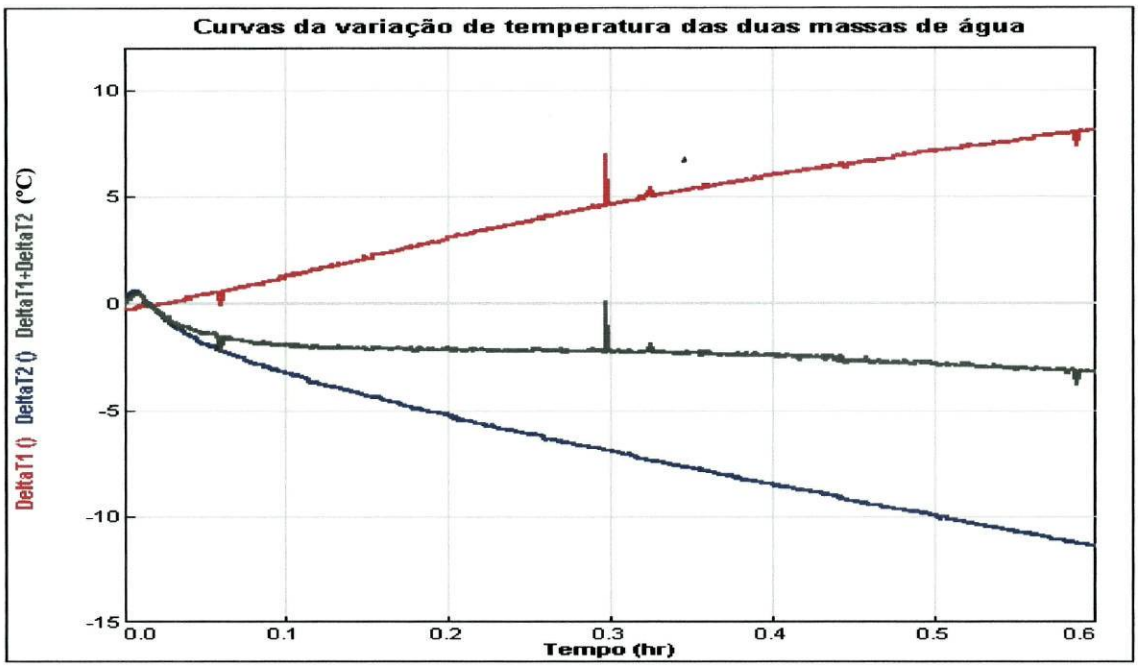


Gráfico 3.2 As curvas azul e vermelha representam as variações de temperatura da cada massa. A curva a verde representa a diferença entre estas variações.

A curva a verde indica a diferença entre as variações de temperatura de cada uma das massas de água. Verifique-se que a variação de temperatura da massa de água inicialmente aquecida, sobre o disco, é superior à variação de temperatura da massa de água inicialmente à temperatura ambiente.

No Gráfico 3.1 podemos ver que a temperatura da água à temperatura ambiente antes do instante 0,406h é constante. A água previamente aquecida sofre uma ligeira diminuição de temperatura devido a inevitáveis perdas de energia para o exterior a uma temperatura significativamente mais baixa.

Após concluída a introdução da barra variações significativas de temperatura são notadas em ambas as massas de água. Os alunos poderão pensar que a diminuição da temperatura da

massa a 80ºC se deve à simples introdução de um corpo à temperatura ambiente na garrafa que a contem, que é a barra. Então o que devemos fazer notar junto dos alunos é a facto de que a massa inicialmente à temperatura ambiente sofreu um aumento de temperatura após a introdução da outra extremidade da barra. De onde recebe energia esta massa de água? Os alunos sabem que se misturarem estas duas massas de água no mesmo recipiente, ambas, interagindo, assumiriam um valor de temperatura entre a ambiente e os 80ºC, correspondente ao equilíbrio térmico. Aqui podemos perguntar se, estando a temperatura de uma das massas diminuindo e a da outra aumentando, não estará ocorrendo interacção entre as massas até que as suas temperaturas se igualem no equilíbrio térmico. A massa de água inicialmente à temperatura ambiente só pode receber energia da outra massa e essa transferência ocorre porque existe um meio que permite a interacção: a barra.

Notemos que os alunos já sabem relacionar variações de temperatura com variações de energia. Se as massas são iguais e ambas de água então, por exemplo, iguais variações de temperatura poderão significar iguais variações de energia. A transferência de energia entre massas não integral, isto é, a energia cedida por uma não é igual à absorvida pela outra. Existe uma diferença nas variações de temperatura de cada massa. Parte da energia perdida pela água aquecida não chega à outra massa. O Gráfico 3.2 é muito claro neste aspecto, onde a curva a verde indica as perdas de energia do sistema. Que poderá ter acontecido a essa energia?

3.1.2.2 Isolamento térmico da barra.

Procedimentos

Os procedimentos que seguimos foram aqueles descritos em 3.1.2.1. No entanto, logo após a introdução da barra, todo o sistema foi colocado numa caixa de cartão e imediatamente preenchida com esferovite até o sistema ter ficado completamente tapado.

Resultados

A curva a verde indica, novamente, a diferença nas variações de temperatura das duas massas de água.

Aqui podemos verificar que esta diferença é mais pequena que aquela verificada nos resultados anteriores.

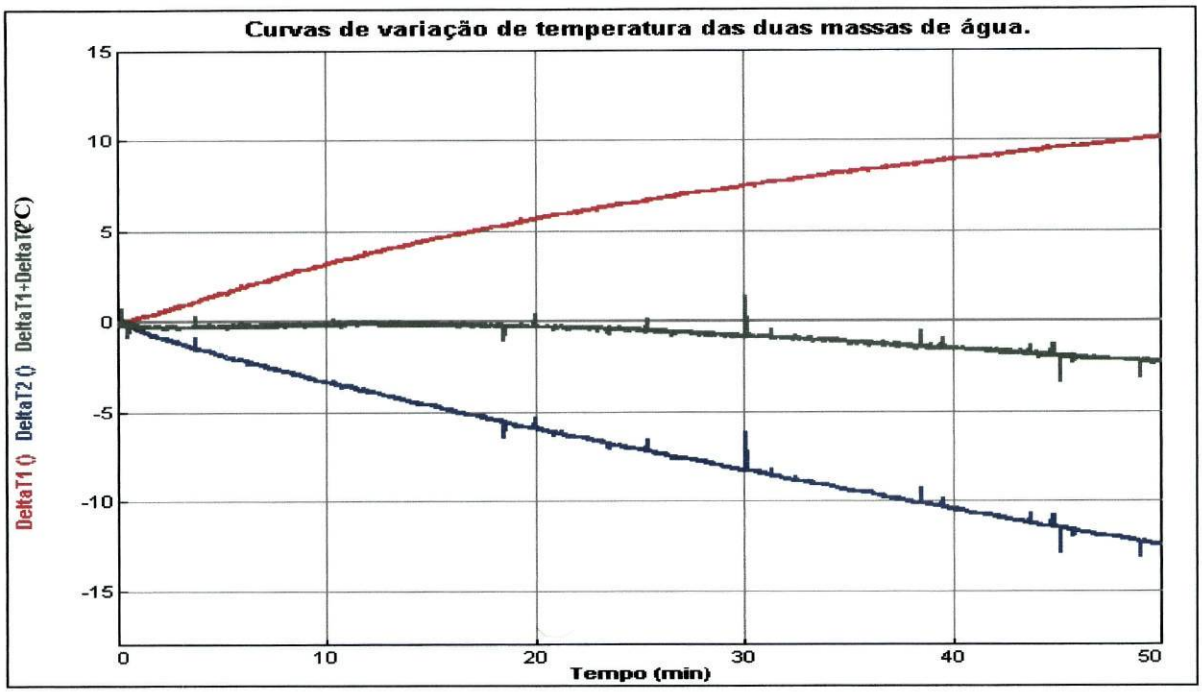


Gráfico 3.3 As curvas azul e vermelha representam as variações de temperatura da cada massa. A curva a verde representa a diferença entre estas variações.

É interessante verificar que na experiência traduzida pelo Gráfico 3.3, durante os primeiros 20 minutos, as perdas de energia são praticamente nulas. De facto, quando compararmos estes resultados com os resultados obtidos no ponto 3.1.2.1 percebemos imediatamente que aqui as perdas de energia para o exterior são bastante menores. A energia que a massa de água inicialmente aquecida cede e a porção de energia absorvida pela massa inicialmente à temperatura ambiente têm valores muito próximos. Podemos considerar que, tendo ocorrido um fluxo de energia entre as massas de água, a energia total do sistema diminuiu pouco ao longo do tempo.

Quando a experiência é realizada sem a esferovite falta-nos um termo no balanço da energia. uma parte da energia do sistema "perdeu-se" sem termos percebido o que teria acontecido a essa energia, correspondente à diferença entre a energia fornecida por uma massa e a energia absorvida pela outra. As condições de realização daquela experiência constituem, no entanto, um motivo de reflexão sobre os resultados obtidos, por exemplo, o facto de a barra estar em contacto com o ar e eventuais correntes. Quando a experiência decorre com a barra envolvida em esferovite, aquela diferença diminui significativamente, colocando-nos mais "próximos" de nos aperceber de uma maior conservação da energia do sistema assim que o sistema se encontra em melhores condições de isolamento do exterior.

Discussão

A maior dificuldade sentida está no momento da introdução das extremidades da barra nas garrafas. Neste processo os sensores são, por momentos, retirados das respectivas garrafas. O sensor inicialmente mergulhado na água aquecida, nesses instantes, está apenas em contacto com o ar exterior registando uma muito menor temperatura. Este facto poderá ser detectado no Gráfico 3.1 onde se nota uma abrupta diminuição no valor da temperatura. Nesse gráfico podemos até contabilizar o tempo que decorreu na introdução da barra pelo tempo entre a queda e a subida do valor na curva designada por temperatura 2.

A barra, antes da sua introdução, encontra-se à temperatura ambiente. Mergulhar uma das suas extremidades na água aquecida representa mergulhar um corpo metálico noutro a superior temperatura. Assim como a barra apresentará um aumento no valor da sua temperatura, a água registará uma quebra no valor da sua temperatura no momento do mergulho. De facto, o fenómeno de condução de energia é tanto mais apreciável quanto maiores forem as dimensões da barra, mas tanto maior será a perturbação no valor da temperatura da água. Felizmente a variação da temperatura da água aquecida verificado pelo fenómeno de condução de energia para a massa de água a menor temperatura, é bem maior que a variação registada pela perturbação referida.

As variações dos valores de temperatura de ambas as massas como resultado da interacção entre elas é tanto mais visível quanto mais tempo decorrer a experiência.

A introdução do sistema na caixa e subsequente enchimento da caixa com esferovite faz prolongar o tempo de introdução da barra. Aqui apenas se registaram os valores das variações das temperaturas das porções de água após a introdução do sistema na caixa.

3.1.2.3 Transferência de energia entre duas massas de água na qual uma é gelo. Condutividade.

Procedimentos:

a) Numa garrafa colocamos gelo picado e alguma água enchendo-a.

b) No disco aquecemos cerca de 600 g de água líquida até aproximadamente 70 °C. A massa da água foi determinada previamente.

c) Colocamos a água aquecida na outra garrafa fechando-a. Na rolha, adaptamos um sensor de modo a registar o valor da temperatura da água ao longo do tempo.

d) Registamos o valor da temperatura da água aquecida durante alguns minutos.

e) Abrimos a garrafa contendo a água aquecida, adaptamos uma das extremidades da barra de cobre na rolha e mergulhamos essa extremidade na água de tal modo que a garrafa ficou fechada. Em simultâneo, a outra extremidade da barra foi introduzida na garrafa com o gelo.

f) Registamos o valor da temperatura da água, anteriormente aquecida, durante cerca de meia hora.

g) Repetimos todos os procedimentos anteriores mas usando a barra de alumínio.

Resultados

A massa de água aquecida apresentava uma temperatura de 68,0°C, aquando da realização da experiência com a barra de cobre. O Gráfico 3.4 Revela que, no entanto, este valor diminui

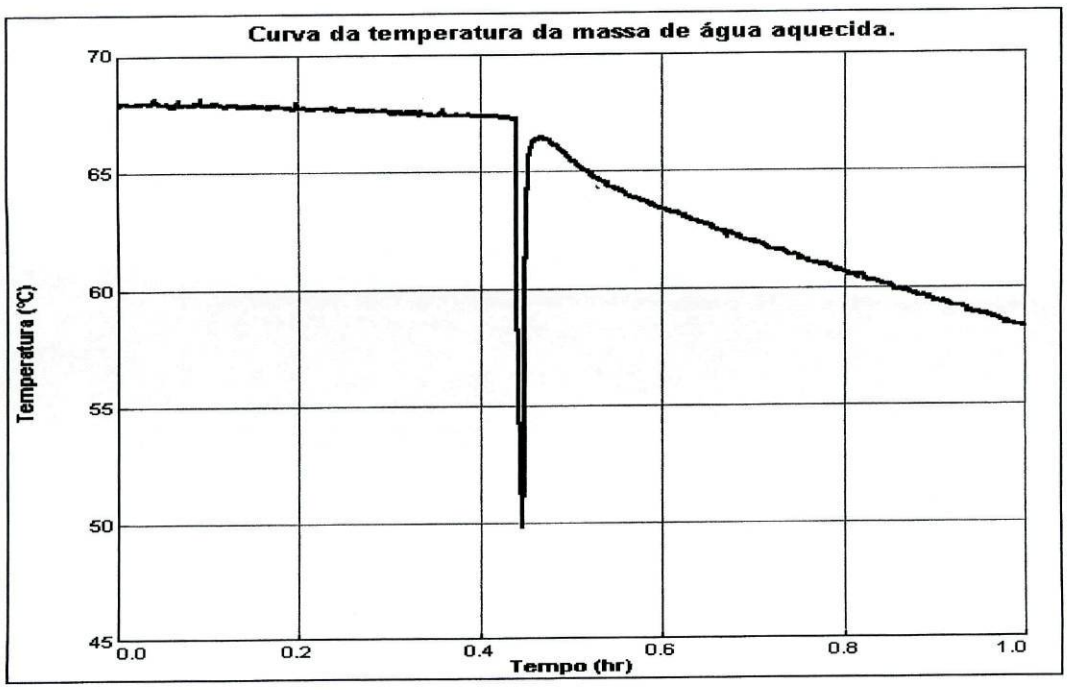


Gráfico 3.4 Variação da temperatura da massa aquecida devido à condução de calor pela barra de cobre antes e após a sua introdução.

até o instante 0,440 h, instante em que se introduziu a barra de cobre. Esse momento é notório na brusca descida no valor da temperatura registada pelo termómetro, pois este foi momentaneamente retirado do interior da garrafa. O termómetro voltou a registar um valor estável de temperatura, após a introdução da barra conjuntamente com o termómetro na água, de 66,5 °C no instante 0,466 h. Depois deste instante a temperatura da água baixou a um ritmo temporal mais elevado que antes da introdução da barra, até ao instante 1,0 h, atingindo a

temperatura de 58,4 °C.

Com a barra de alumínio e após a introdução desta na massa de água o termómetro estabilizou no valor de 66,9 °C. A partir deste instante, 0,465 h, o termómetro registou uma diminuição do valor da temperatura da água até ao valor de 61,3 °C no instante 1,0 h.

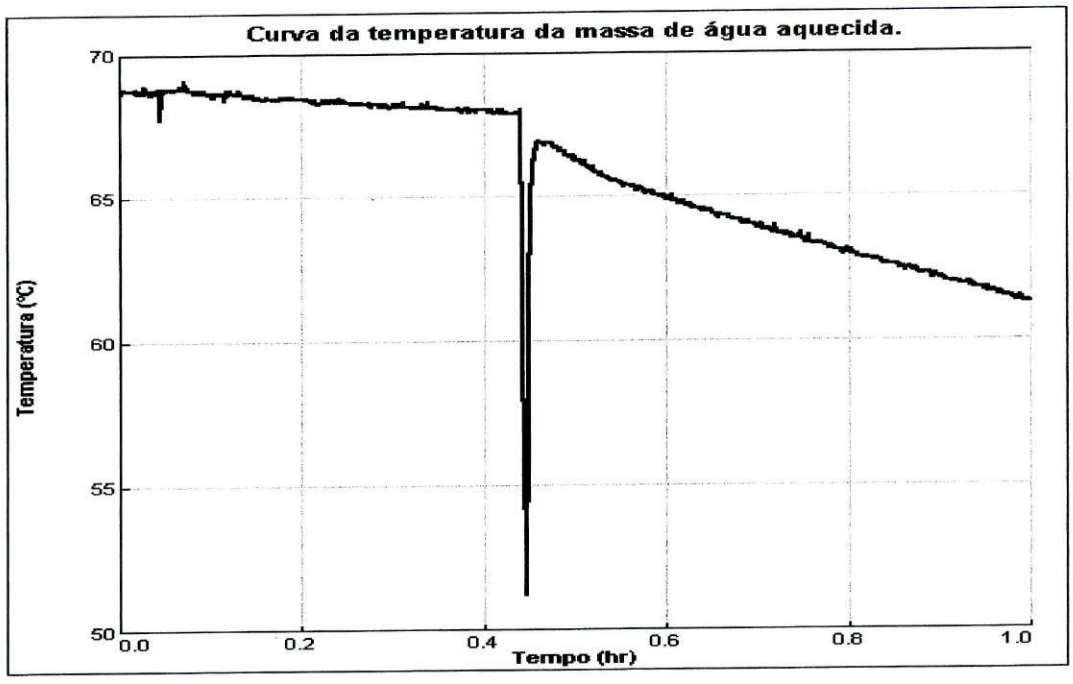


Gráfico 3.5 Variação da temperatura da massa aquecida devido à condução de calor pela barra de alumínio antes e após a sua introdução.

Com barra de cobre, a massa de água sofreu uma variação de temperatura de -8,1 °C em 0,534 h. Com a barra de alumínio, a massa de água sofreu uma variação de temperatura de -5,6 °C em 0,535 h.

O intervalo de tempo durante o qual a barra de cobre esteve mergulhada na água aquecida e no gelo é aproximadamente igual aquele durante o qual a barra de alumínio conduziu energia da água aquecida para o gelo, 0,534 h e 0,535 h respectivamente. No entanto, a variação de temperatura experimentada pela massa de água em ambas as situações é maior no primeiro caso que no segundo. Praticamente, no mesmo intervalo de tempo a barra de cobre foi capaz de promover um maior fluxo de energia que a barra de alumínio. Esta capacidade é designada por condutividade térmica que é superior no cobre que no alumínio.

3.1.3 Conclusão

O que acontece nas primeiras experiências apresentadas neste trabalho, onde diferentes massas de água a diferentes temperaturas foram misturadas interagindo atingindo a equilíbrio térmico, é o mesmo que aquilo que acontece nestas experiências onde duas massas de água interagem através de uma barra metálica. Entre dois corpos a diferentes temperaturas ocorre transferência de energia do corpo a superior temperatura para o corpo que se encontra a inferior temperatura, até que as temperaturas sejam iguais. No entanto, uma diferença podemos encontrar no tempo que demora a ser atingida essa temperatura de equilíbrio. Nas primeiras experiências os alunos dificilmente ficam com a noção de fluxo de energia, pois o equilíbrio é atingido muito rapidamente e por outro lado apenas se registaram valores iniciais e finais de temperatura das massas em interacção. Aqui a interacção durou longos minutos e, mais interessante, os alunos puderam presenciar essa interacção segundo a segundo, controlando a temperatura de cada massa de água e não somente valores iniciais e finais. Os alunos através dos valores registados pelos sensores apercebem-se da lenta transferência de energia entre massas. Uma outra diferença está na forma em como é promovida a interacção entre massas, se atrás misturamos dois líquidos no mesmo recipiente, agora a interacção é muito menos eficaz, sendo feita através de uma barra de determinadas dimensões. Onde antes os alunos viam um sistema como uma certa quantidade de água encerrada num recipiente, agora vêem um sistema constituído por duas massas de água separadas, ligadas por um terceiro corpo. Antes com maior dificuldade os alunos poderiam referirem-se a processos ocorridos entre partes do sistema, apenas a estados iniciais e finais, agora podem identificar um processo associado à transferência de energia entre dois corpos a diferentes temperaturas, podem falar em fluxo de energia e podem finalmente falar em calor como a energia transferida sempre que dois objectos a diferentes temperaturas que interagem entre si.

Aqui devemos recuperar alguns dos conceitos já tratados. Comecemos por falar da energia interna. Sabemos que uma massa de água ou outro objecto qualquer possui energia, que se mantém se o objecto estiver isolado. Não a podemos medir mas sabemos que ela existe quando uma parte se transfere para outro objecto, quando se manifesta, por exemplo, pela variação de uma temperatura, ou mudança de estado físico. Nessa altura podemos afirmar que a energia interna do corpo variou. Se essa variação resultou da transferência entre corpos a diferentes temperaturas, então a energia transferida, o calor, corresponde à variação da energia interna desse corpo. Não existe calor contido num corpo, o que existe é energia cuja variação podemos medir. A associação que estabelecemos entre um determinado valor de temperatura

e a energia interna é tão legítima como a associação entre calor e variação de energia interna, mas nunca entre um determinado valor de temperatura e calor.

Na interacção entre as duas massas, a energia interna de uma diminui, a da outra aumenta na mesma proporção, a energia transferida corresponde ao aumento da energia interna da última massa, então podemos afirmar que,

$$\Delta E = Q$$

3. 1

onde Q representa o calor.

No entanto, atrás, verificamos a aumento da energia interna de um sistema, não porque se tenha verificado que esse sistema interagisse com outro a diferente temperatura, mas porque tínhamos controlado outras grandezas como diferença de potencial eléctrico ou intensidade de corrente eléctrica ou o trabalho de uma força. Aí dissemos, não que o sistema tinha absorvido calor, mas que trabalho havia sido realizado sobre o sistema.

Assim podemos voltar a falar da primeira lei da termodinâmica de forma mais geral, tendo em conta as equações 2. 23, 2. 32 e 3. 1, podendo agora dizer que a energia interna de um sistema pode variar e que essa variação se pode calcular conhecido o calor, Q, transferido e o trabalho realizado, W,

$$\Delta E = W + Q$$

3. 2

Trabalho e calor são conceitos muito importantes em física sempre que falamos de energia, com significado perfeitamente definido e que devem ser ensinados com clareza. No ensino secundário a abordagem destes temas tem passado, como vimos, pela resolução de problemas que, falando da conservação da energia, se apresentam isentos da variável força dissipativa. Noutros problemas surgem análises a algumas fricções entre superfícies, mas aí parece proibido tocar no termo conservação. Ou seja, com restrito interesse para o ensino do conceito de energia. Será que os alunos devem por de parte o princípio da conservação da energia, quando no enunciado são referidas a existência de superfícies rugosas, ou a viscosidade de líquidos? Talvez assim pensem que às vezes a energia não se conserva! É esta forma compartimentada de ensinar conceitos, sem pontes de análise e discussão entre fenómenos aparentemente distintos, que cria nos alunos insegurança no conceito de conservação e no conceito de energia. Ora trabalho e calor são conceitos que tratam da mesma coisa: energia. Se sobre um corpo é realizado trabalho a sua energia aumenta, se a esse mesmo corpo é

fornecido calor a sua energia também aumenta, o efeito poderá ser o mesmo, por exemplo, um aumento de temperatura. Afinal esta ideia está por detrás do trabalho mais referenciado de Joule, produzir numa massa de água ou óleo um aumento de temperatura fazendo movimentar pás ou outros objectos no seu interior, dos quais poderia medir a energia mecânica e estabelecer uma relação de igualdade entre essa energia e a energia que seria necessária, pela transferência de calor, para provocar o mesmo aumento de temperatura, o chamado equivalente mecânico do calor. No fundo é isso que se pretende, encontrar uma maior unidade entre diferentes processos de transferência, e que permitiu a relação entre as unidades de medida Joule e caloria. (ver ponto 2.3.2.4)

Apenas nos limitamos, ao longo deste texto, a clarificar a diferença entre aqueles dois conceitos de modo a que o conceito de energia se torne menos ambíguo e o princípio da conservação algo de natural e universal para os alunos.

Verdadeiramente os conceitos de trabalho, calor, energia interna e temperatura só poderão ser compreendidos se organizados sob o princípio de conservação da energia.

3.2 Estudo das perdas de energia de uma garrafa térmica.

3.2.1 Introdução

A suposição de que realizamos uma determinada experiência, onde estudamos os processos de transferência de energia no interior de um sistema, supondo que esse mesmo sistema está isolado não corresponde à realidade. Em algumas das nossas experiências utilizamos garrafas térmicas onde ocorriam interacções entre corpos ou aquecimento de massas de água, na esperança que as paredes da garrafa impediriam a entrada de energia, do exterior, no sistema ou a transferência de energia do sistema para o exterior.

Assim os objectivos são tentar mostrar que de facto um corpo no interior de uma das garrafas usadas não é um sistema isolado. Mostrar, ainda assim, que a taxa temporal de transferência de energia através das paredes da garrafa e da rolha que a fecha é muito mais baixa que aquelas verificadas na interacção entre os corpos constituintes do sistema.

3.2.2 Procedimentos e resultados

Numa das garrafas usadas colocamos cerca de 600 g de água a uma temperatura de aproximadamente 80 °C. Fechamos a garrafa com uma das rolhas usadas com um sensor de

temperatura adaptado à rolha de modo a registar a temperatura da água ao longo do tempo. Ou seja, registamos a variação da temperatura de um sistema supostamente isolado.

No Gráfico 3.6 podemos analisar a curva da temperatura da massa de água durante 25 minutos.

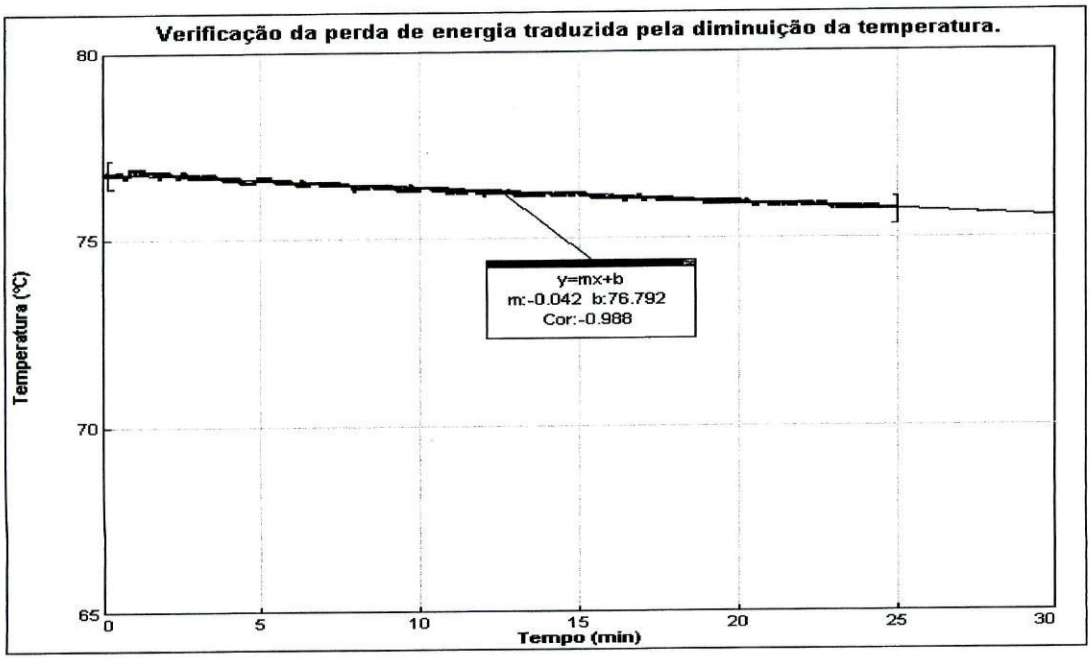


Gráfico 3.6 Declive da recta que traduz a diminuição da temperatura da massa de água.

Assumindo que a taxa temporal da diminuição da temperatura é aproximadamente constante, verificamos que, durante este intervalo de tempo, a temperatura diminui 0,042 ºC por minuto ou 2,52 ºC por hora.

3.2.3 Conclusão

Muitas das experiências realizadas e expostas neste trabalho terminam quando duas massas atingem o equilíbrio térmico. Uma das dificuldades atrás expostas prendia-se com a suposta transferência de energia do exterior da garrafa para o sistema, dentro da garrafa, ou do sistema para o exterior e na forma como estas inevitáveis transferências poderiam influenciar decisivamente a validade dos resultados. Na realidade as experiências realizadas nas garrafas térmicas são relativamente rápidas, como por exemplo as misturas de água, gelo e cilindros metálicos, onde as variações de temperaturas das massas envolvidas são significativamente maiores que aquelas ocasionadas pelas transferências referidas em tão curtos intervalos de tempo.

Capítulo 4 Colisões elásticas e inelásticas. Transferência de energia.

4.1 Introdução

M.H.Caldeira e D.R. Martins referem que "o modelo adoptado pela teoria cinética é capaz de interpretar os fenómenos físicos de forma mais ampla e profunda." Coloquemos a questão: "Porque não fazer incidir o mais possível a explicação no contexto microscópico?" De facto os alunos desde o 9º ano tem um conhecimento da estrutura da matéria que lhes permite esta incidência. Até aqui pudemos avançar com análises de processos energéticos apenas considerando estados iniciais e finais. Mesmo quando atrás referimos a existência de forças de atrito internas não nos preocupamos em compreender os seus mecanismos mas em avaliar o estado final do sistema, maior ou menor energia interna.

Nos capítulos anteriores exploramos o conceito de temperatura de um modo fenomenológico, baseado na experimentação. Isto permite-nos construir uma noção operacional do conceito. Os alunos podem aprender por essa via a distinguir temperatura de calor e energia interna, e a aplicar o conceito na descrição dos fenómenos. Mas uma melhor compreensão do significado desta grandeza obriga-nos a considerar os processos internos de um sistema que condicionam o tipo de observações anteriores.

4.1.1 Inelasticidade e conservação de energia.

Quando largamos, em queda livre, uma bola a uma certa altura do solo verificamos que esta ressalta até uma altura quase igual à altura anterior. Este exemplo é muitas vezes referido como uma colisão praticamente elástica. Outros exemplos de colisões, como entre bolas de bilhar, surgem na literatura, mas, geralmente, o conjunto das partes em colisão é considerado isolado, isto é, a resultante das forças exteriores é nula. É comum abordar colisões entre objectos numa perspectiva macroscópica da matéria. Os objectos são apresentados como partículas, em situações mais simples, sem dimensões ou, quase sempre, indeformáveis. Ainda assim, existe a pretensão de tratar colisões inelásticas, onde a energia cinética do sistema diminui em resultado das colisões.

Se dois objectos estão suficientemente afastados, antes e depois de uma colisão, sem interagir um sobre o outro, podemos considerar a respectiva energia potencial constante. Então, se a energia cinética do sistema for diferente antes e após a colisão entre eles, a energia total do

sistema deverá ter variado. Como pode um sistema destes, considerado isolado, onde as partes são consideradas indeformáveis e pontuais, ver a sua energia diminuída no decorrer da interacção entre eles, da colisão? Podemos ser tentados a considerar que, afinal, o sistema não está isolado, e que o atrito é responsável por todas as perdas de energia verificadas sob formas mecânicas. Como veremos, esta conclusão é precipitada. Temos que reconhecer que um corpo macroscópico é um sistema de partículas muito complexo e que os seus movimentos macroscópicos são movimentos colectivos muito particulares dos seus átomos ou moléculas. A inelasticidade pode então estar associada a transferência internas de energia destes modos de movimento macroscópico, muito especiais para outros modos mais desconhecidos.

As colisões são um dos tópicos mais correntes no ensino da física e umas das situações mais familiares para os alunos como processos de transferência de energia e momento linear. A passagem de um modelo de colisão entre partículas pontuais para colisões entre corpos com graus de liberdade internos coloca os alunos perante a necessidade de comutar entre dois níveis de descrição muito diferente: a descrição do movimento é perfeitamente natural usando o paradigma de partícula pontual (ou em casos mais complexos de sólidos rígidos), mas a conciliação da ideia de dissipação com o caracter universal de conservação de energia obriga a considerar modos internos de movimento. A seguinte proposta pretende facilitar a compreensão da relação entre estes dois níveis de descrição. Um carrinho, com um conjunto de massas com a liberdade para executarem movimentos de rotação em torno de um eixo, solidário com carrinho, é colocado em movimento rectilíneo e uniforme, sobre uma calha, colidindo com um batente e invertendo a sua marcha. Na colisão as massas podem entrar em rotação. A velocidade do carrinho é controlada antes e após a colisão. Esta experiência é realizada, também, com granalha de chumbo no interior de uma caixa adaptada ao carrinho e ainda sem qualquer acessório. Nestas colisões os alunos tentarão conciliar o nosso ponto de partida, o princípio da conservação da energia, com a evidência de estarmos na presença de colisões inelásticas, onde a energia cinética do carrinho diminui. Estas experiências permitirão uma integração entre a visão mecânica e macroscópica dos fenómenos de transferência de energia e dos conceitos de dissipação e conservação a ela associados com a visão termodinâmica do conceito de conservação de energia e transferências associadas a graus de liberdade que não se manifestam macroscopicamente. Julgamos que proporcionando um ponto intermédio entre estas duas visões conseguimos criar a oportunidade aos alunos de melhor compreenderem o conceito de temperatura e outros conceitos com este relacionados.

4.2 Material usado no conjunto de experiências descritas neste capítulo:

- Calha de movimento de baixo atrito graduada para medição de distâncias.
- Um carrinho com magnetes.
- Caixa de alumínio adaptável ao carrinho.
- Granalha de chumbo (Cerca de 100 g).
- Massas presas a hastes adaptadas a um suporte colocado no carrinho. (ver Figura 4.1)
- Batente com magnetes adaptável a uma das extremidades da calha.
- Sensor de movimento adaptável a uma das extremidades da calha.

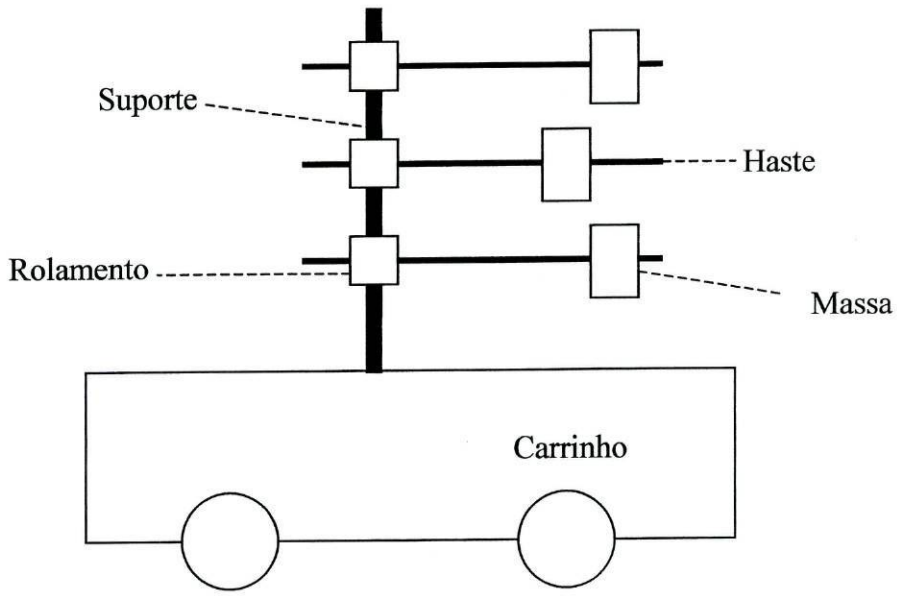


Figura 4.1 Esquema do dispositivo de massas com liberdade de rodarem em torno do suporte.

4.3 Colisão do carrinho com o batente, deslizando sobre a calha inclinada.

Procedimentos:

a) Inclinamos a calha dois ou três por cento.

b) Colocamos o batente na extremidade mais baixa da calha.

c) Largamos o carrinho, sem qualquer acessório, sobre a calha, a uma certa distância do batente.

d) Registamos a posição da qual o carrinho foi largado, assim como, a posição correspondente à altura máxima atingida pelo carrinho após a colisão.

e) Repetimos os procedimentos anteriores, variando a colocação inicial das massas de modo a variar também o movimento das mesmas após a colisão.

f) Comparamos as diferentes posições de altura máxima atingidas.

g) Repetimos os lançamentos do carrinho com a caixa de alumínio sobre ele, com alguma granalha de chumbo.

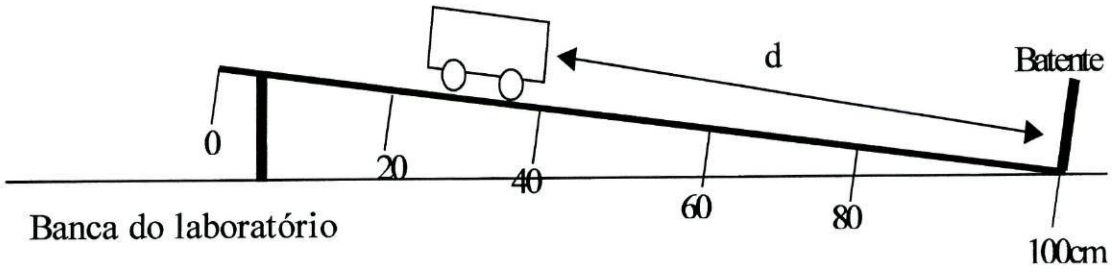


Figura 4.2 O carrinho encontra-se, sobre a calha, na posição onde foi abandonado em todos os ensaios apresentados, a uma distância, d, de 60 cm do batente.

Resultados

Colisão sem qualquer acessório sobre o carrinho – configuração 1.

Os primeiros ensaios foram realizados sem qualquer acessório sobre o carrinho. A Tabela 4.1 revela a distância máxima atingida pelo carrinho, após a colisão, depois de ter sido abandonado a uma distância de 60 cm do batente

Distância máxima atingida (cm)
35
36
35,5
35
35,5

Tabela 4.1 Distâncias máximas atingidas pelo carrinho, sem acessórios, em cinco ensaios.

A distância máxima média atingida pelo carrinho é bastante inferior à correspondente à posição inicial. De que resultará esta diferença? Aqui apenas poderemos alegar o atrito existente entre as rodas do carrinho e a calha e talvez alguma transferência de energia do carrinho para o batente no momento da colisão. Perdas de energia por estes motivos deverão ser esperadas em todos os ensaios realizados e apresentados a partir daqui.

Hastes com a mesma direcção do movimento do carrinho – configuração 2.

Quando o carrinho é largado com as hastes na mesma direcção que o movimento do carrinho, estas, após a colisão, mantêm a sua posição relativamente ao carrinho, executando movimentos pouco significativos em relação a este.

Distância máxima atingida (cm)
33,5
33
33
33,5
33,5

Tabela 4.2 Para cinco ensaios, as distâncias máximas atingidas pelo carrinho com hastes.

De notar que agora a distância máxima média, 33,5 cm, atingida pelo carrinho é um pouco inferior àquela obtida nos ensaios anteriores. Terá a presença das massa tido qualquer influência? Terá o atrito aumentado?

Hastes com direcção perpendicular ao movimento da carrinho – configuração 3.

Quando o carrinho é largado com as hastes numa direcção perpendicular ao movimento de carrinho, estas executam um movimento circular em relação ao carrinho após este colidir com o batente.

Distância máxima atingida (cm)
27
26
26,5
27
27

Tabela 4.3 Para cinco ensaios, as distâncias máximas atingidas pelo carrinho com hastes na perpendicular.

A distância máxima média atingida aqui, 27 cm, é ainda mais pequena que as anteriores. O movimento das massas tem de facto influência no movimento de translação do carrinho.

Caixa com granalha de chumbo sobre o carrinho – configuração 4.

Esta mesma experiência foi realizada com a caixa de alumínio adaptada ao carrinho e, no seu interior, alguma granalha de chumbo. A posição de abandono do carrinho foi a mesma que a anterior. A Tabela 4.4 mostra a posição a tingida pelo carrinho após a colisão, em situações em que a granalha se movimentou livremente na caixa.

Distância máxima atingida (cm)
20,5
23
24
23
22,5

Tabela 4.4 Para cinco ensaios, as distâncias máximas atingidas pelo carrinho com granalha de chumbo.

A distância máxima média atingida é a mais baixa de todas as configurações que usamos neste conjunto de experiências.

De qualquer forma e em qualquer um dos casos a posição atingida é sempre mais baixa que a posição de largada, antes da colisão. Isto significa que ocorre perda de energia mecânica do sistema durante a colisão. No entanto na configuração 3, com as hastes e as massas na direcção perpendicular ao movimento do carrinho, a distância correspondente à altura máxima atingida é em média mais baixa que aquela atingida na primeira e segunda configuração. Se não víssemos o movimento das hastes interpretaríamos este facto como estando associado a uma maior inelasticidade na colisão, já que a diferença entre os ensaios não pode, neste caso, ser explicada por diferenças de atrito pois a calha é a mesma, a inclinação desta a mesma, o carrinho o mesmo, o batente o mesmo e a posição média de partida aproximadamente a mesma. A diferença é encontrada na configuração do sistema antes e após a colisão. De facto, a energia perdida, a do movimento de translação do carrinho na configuração 3, foi convertida em energia de rotação das massas. Em verdade, a energia não se perdeu mas antes se transformou num modo de movimento interno do sistema (carrinho + massas).

Os resultados obtidos, quando as experiências são realizadas, com a granalha de chumbo levam-nos a conclusões idênticas. Interessante é, no entanto, comparar estes resultados com

aqueles obtidos com as hastes. Com a granalha as distâncias atingidas encontram-se entre 20,5 e 24 cm, ou seja, mais baixas que as distâncias atingidas pelo carrinho com as hastes e massas, entre 26 e 27 cm. Este facto constitui um interessante motivo de reflexão. Parece que a massa de chumbo usada e os múltiplos graus de liberdade em que a granalha se movimentou implicou uma maior diminuição de energia mecânica do sistema carrinho mais granalha que do sistema carrinho mais massas.

Com o carrinho sem qualquer acessório, as distâncias atingidas variam entre 35 e 36 cm, isto é, superiores que entre os valores 33 e 33,5 cm das posições obtidas com as hastes na mesma direcção do movimento do carrinho. Sem acessórios não ocorre qualquer movimento de qualquer parte do sistema em relação ao carrinho, o que já não acontece com as hastes. Existe sempre movimento das hastes sobre o carrinho. De facto, é difícil que as hastes não se movam, em relação ao carrinho, na colisão.

Quando o carrinho é largado possui uma determinada energia mecânica, quando regressa da colisão verifica-se que a sua energia mecânica é menor. Não foi possível explicar o que terá acontecido a toda a energia "perdida" mas verificamos que uma parte dessa energia se converteu em energia associada a movimentos internos ao sistema.

4.4 Colisão do carrinho, e massas, com o batente: calha na horizontal.

O conjunto de experiências atrás descrito foi repetido com a calha na horizontal e com uma medição contínua de velocidade do carrinho usando um sensor de movimento. Esta montagem, embora um pouco mais complexa tem a vantagem de permitir uma analise mais fina do processo de colisão eliminando largamente as complicações do atrito da calha no movimento do carrinho.

Procedimentos:

a) Colocamos a calha na horizontal, verificando a horizontalidade da calha colocando o carrinho sobre esta e observando que este não se movimentou.

b) Sem qualquer acessório, empurramos o carrinho imprimindo-lhe uma velocidade constante até colidir. Repetimos este procedimento algumas vezes.

c) Registamos a velocidade do carrinho antes e após a colisão, ao longo do tempo através do sensor de movimento. O sensor foi programado para registar 5 valores da velocidade por segundo.

d) Colocamos as hastes na mesma direcção que o movimento do carrinho e no sentido do batente.

e) Empurramos o carrinho imprimindo-lhe uma velocidade constante até colidir. Repetimos este procedimento algumas vezes.

f) Repetimos os procedimentos anteriores, colocando as hastes na direcção perpendicular à direcção do movimento do carrinho.

g) Substituímos o suporte com as massas pela caixa de alumínio e colocamos alguma granalha de chumbo no fundo da caixa e repetimos todos os procedimentos.

Resultados

Os gráficos que a seguir se apresentam foram construídos no programa informático EXCEL da Microsoft, a partir dos dados recolhidos pelo programa de aquisição de dados *Data Studio* da *Pasco Scientific*. Representamos ainda o módulo da velocidade do carrinho de modo a evidenciar mais facilmente o caracter elástico ou inelástico de cada colisão.

Colisão do carrinho sem qualquer acessório.

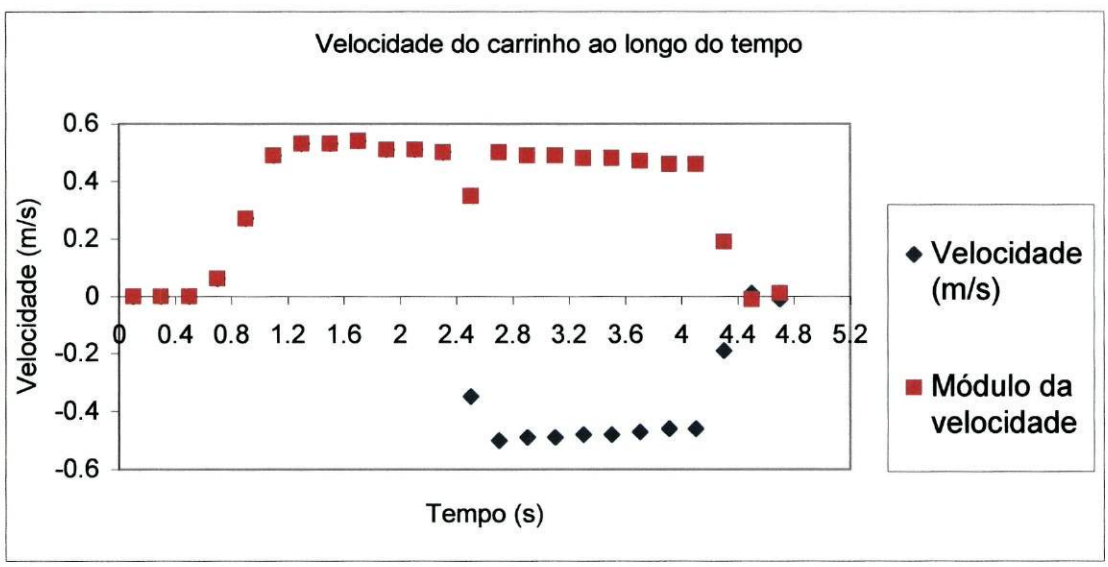


Gráfico 4.1 Velocidade e módulo da velocidade do sistema durante o seu movimento.

Por volta do instante t=1s verificamos que a velocidade do carrinho aumenta rapidamente devido ao impulso da mão. Depois podemos constatar que a velocidade se mantém praticamente constante, diminuindo muito ligeiramente, até à colisão que decorreu por volta do instante t=2,5s evidenciada no gráfico por um valor para o módulo da velocidade inferior aos imediatamente anteriores e posteriores. Imediatamente após a colisão podemos ver que o

módulo da velocidade do carrinho volta a assumir valores próximos daqueles verificados imediatamente antes da colisão, continuando este a diminuir lentamente até cerca do instante t=4s, altura em que o carrinho é travado.

Esta ligeira diminuição do módulo da velocidade ao longo de todo o movimento parece não estar de alguma forma relacionada com a colisão em si mas antes com o atrito existente entre o carrinho e a calha, tal como já tínhamos verificado nos ensaios descritos no ponto anterior. De facto, nesta primeira configuração do sistema, a colisão não produziu diferenças significativas nos valores do módulo da velocidade do carrinho antes da colisão e após esta ter ocorrido.

Hastes quase imóveis relativamente ao carrinho antes e depois da colisão.

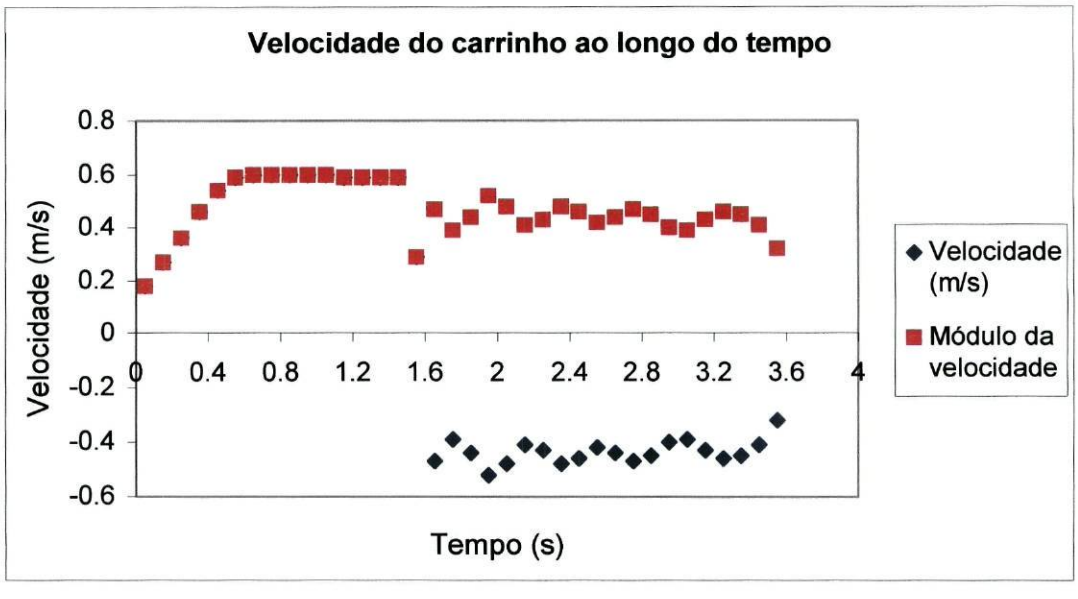


Gráfico 4.2 Velocidade e módulo da velocidade do sistema durante o seu movimento.

Por volta do instante t=1,5s podemos, agora também, facilmente concluir que o carrinho terá colidido com o batente, mas o módulo da velocidade do carrinho, após a colisão tem valores, em média, significativamente inferiores aos apresentados antes da colisão. Para além disso, após a colisão, o valor do módulo da velocidade parece oscilar. Ambas estas observações se explicam pelo facto de haver algum movimento relativo das massas em relação ao carrinho após a colisão. A energia inicial de translação do carrinho passou em parte para o movimento das massas. O movimento das massas implica uma variação da posição do centro de massa do sistema relativamente ao carrinho. Por isso a velocidade de translação do carrinho não é uniforme.

Hastes em direcção perpendicular ao movimento do carrinho.

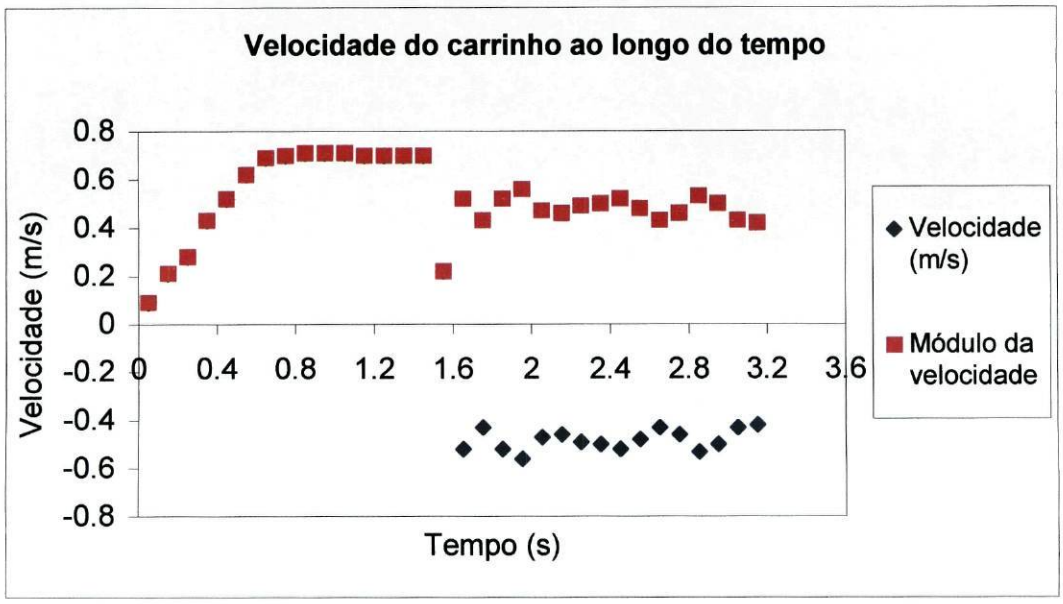


Gráfico 4.3 Velocidade e módulo da velocidade do sistema durante o seu movimento.

A diferença entre a segunda e a terceira configuração está na orientação das hastes que suportam as massas no interior do sistema. Após a colisão o movimento interno das massas em relação ao carrinho foi muito mais significativo agora do que o observado na configuração anterior. Por isso é mais significativa a diminuição do valor médio do módulo da velocidade após a colisão nesta terceira configuração, como podemos constatar pelo Gráfico 4.3.

Colisão do carrinho com a granalha.

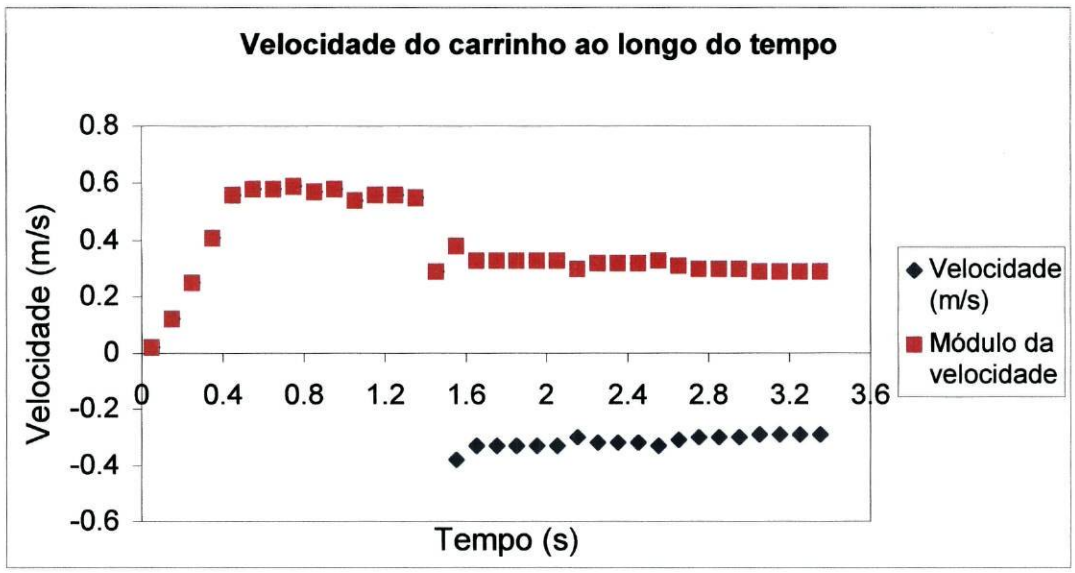


Gráfico 4.4 Velocidade e módulo da velocidade do sistema durante o seu movimento.

Finalmente neste último ensaio, realizado com granalha de chumbo, desaparece a oscilação do valor do módulo da velocidade pois a granalha movimenta-se no interior da caixa de forma desordenada, ao contrário das massas que se movimentaram de forma bastante mais ordenada em relação ao carrinho. Mas verificamos uma forte diminuição do módulo da velocidade em resultado da colisão assim como vemos e ouvimos a várias dezenas de esferas de chumbo "mexerem-se" no interior da caixa de alumínio.

Em resumo na primeira configuração a colisão foi quase elástica, conservando-se a energia cinética de translação. Nas outras três configurações foram, em graus diferentes, inelásticas, verificando-se sempre uma diminuição de energia cinética de translação. Mas em qualquer caso a diminuição de energia cinética de translação é acompanhada por um incremento de energia cinética de rotação de uma parte do sistema ou por uma alteração da forma do sistema quando a granalha salta no interior da caixa de alumínio. Embora não seja possível confirmar quantitativamente a conservação de energia, fica claro nestas experiências que a inelasticidade aparece associada a uma transferência de energia cinética de translação do sistema para outros movimentos ("graus de liberdade") sendo perfeitamente compatível com a ideia universal e conservação de energia.

As ideias atrás expostas surgem mais claras quando a experiência é realizada com a granalha, onde algumas centenas de pequenas esferas de chumbo se movimentam livremente em diferentes direcções e de diferentes modos. Aqui o número de graus de liberdade interna no sistema é muito maior que aquela configuração onde três massas rodam em torno de um mesmo eixo e na mesma direcção.

Discussão

Esta experiência resulta tanto mais quanto maior forem as massas em rotação em relação à massa de todo o sistema (carrinho + massas). Por outro lado quanto maior for a energia cinética de rotação das massas sobre o carrinho maior instabilidade elas criam ao movimento do carrinho. O movimento deixa de ser uniforme passando a ser oscilante na velocidade após a colisão (ver Gráfico 4.2 e Gráfico 4.3). Por outro lado as rodas do carrinho mais facilmente colidem com as partes laterais dos carris da calha, aumentando o atrito entre o carrinho e a calha. A afinação do processo experimental deve ter em conta todos estes factores.

4.4.1 Propostas alternativas.

Posteriormente à realização desta experiências foi construído um protótipo de um modelo mais prático, que dispensa a utilização da calha e permite uma demonstração bastante eficaz da relação entre inelasticidade e transferência de energia de translação para graus de liberdade internos. Consiste num carro de madeira com um conjunto de discos metálicos (que totalizam uma massa da ordem de grandeza do carro) sustentados em elásticos. Estes discos podem também ser colocados em suportes rígidos que impedem o seu movimento. A colisão do carrinho com uma parede na primeira das configurações é quase totalmente inelástica e é acompanhada de um movimento de vibração dos discos perfeitamente visível.

Uma outra demonstração de grande eficácia consiste em deixar cair duas bolas de ténis de mesa no chão. Uma salta outra fica completamente parada no solo. A diferença é que a segunda está cheia de granalha de chumbo.

Estas duas demonstrações constituem um complemento às actividades aqui descritas, que pode ser muito útil em contexto de sala de aula.

4.5 O movimento browniano.

A energia associada à translação de um sistema pode ser transformada noutros termos para modos diferentes de movimento, como por exemplo, duas bolas de bilhas colidindo podem ficar com os seus centros de massa parados mas rodando.

Nas experiências que realizamos uma parte da energia cinética de translação de um determinado sistema, o carrinho, foi convertida em energia associada a modos internos de movimento. Energia cinética de rotação das massas ou, numa situação mais complexa, agitação errática de esferas de chumbo no interior do sistema.

A energia cinética de rotação de cada uma das massas, em torno do eixo que as suportou poderia, com algum trabalho, ser calculada e essa energia poderia ser comparada com a diminuição de energia cinética do carrinho associada à translação deste. Mas tarefa impensável seria calcular a energia cinética de translação de cada esfera de chumbo em relação ao carrinho. Aqui talvez possamos determinar a diminuição da energia cinética de translação do carrinho e atribuir essa diminuição ao aumento de energia associada à agitação da granalha de chumbo, dividindo-a em partes iguais por cada esfera que se encontrava na caixa, isto supondo um valor médio de energia cinética por cada esfera.

Mas agora imaginemos, não algumas dezenas de esferas de chumbo, mas um número N de partículas constituintes de um sistema onde todas possam agitar-se umas em relação às outras,

executando movimentos de translação, rotação e de vibração. Estas experiências que aqui apresentamos podem ser complementadas com outras que tornam ainda mais clara esta ideia de uma visão microscópica de graus de liberdade internos de um sistema como termos de energia. No decorrer destas experiências observamos o movimento aleatório, ao microscópio, de gotículas de gordura de leite em água. Esta observação é de grande riqueza conceptual, pois permite complementar o mundo macroscópico que rodeia os alunos e formam as suas ideias com a visão da teoria corpuscular da matéria. Numa lâmina de vidro são colocadas algumas gotas de água. Molhando a ponta de um clip em leite toca-se com essa ponta na água mexendo ligeiramente diluindo o leite na água, coloca-se uma outra lâmina sobre a mistura para proteger as objectivas do microscópio. Com uma ampliação de 400× as gotículas serão visíveis como pequenas bolas escuras ou claras se estas se encontrarem fora do plano de focagem. A gordura do leite, na água, agrupa-se em pequenas gotículas que estão constantemente em movimento aleatório, em torno de uma determinada posição ou deslocando para outras posições próximas.

Os alunos perante a oportunidade de observarem estes movimentos deverão ser questionados sobre o porquê destes movimentos. Na verdade estas gotículas estão rodeadas por milhões de moléculas de água que, deslocando-se rapidamente, colidem com a gota de gordura. Cada gota sofre um elevado número de colisões por segundo em todas as direcções, provocando a agitação observada, a que chamamos de movimento browniano.

Este fenómeno deve o seu nome a um botânico escocês chamado Robert Brown, que em 1827 observou o movimento errático de partículas de pólen no interior de gotas de água. A controvérsia sobre a origem deste movimento durou todo o século XIX entre botânicos, tendo sido colocadas diversas hipóteses como a possibilidade das partículas de pólen estarem "vivas". Mas é o próprio Brown quem a afasta a explicação biológica do movimento quando observa o mesmo movimento em partículas de pó e de pólen retirado de plantas então mortas à mais de 100 anos. Ainda assim, durante este período, foi possível perceber que o movimento destas partículas em suspensão era tanto mais rápido quanto maior fosse o valor da temperatura da solução.

É só no final do século XIX, com o desenvolvimento da teoria cinética da matéria, que Einstein (1905/06) dá uma explicação qualitativa para este movimento errático de partículas suspensas num fluido. Alguns artigos então publicados de Einstein e outros estabelecem a relação entre este movimento e a temperatura, a viscosidade e a massa das partículas. De facto, diziam, a teoria cinética da matéria explicava cabalmente estes movimentos aleatórios.

Einstein mostrou para além de qualquer dúvida possível, através de um estudo quantitativo profundo, que o movimento dos grãos de pólen se devia a colisões com as moléculas do fluido (água ou óleo) onde eles estavam suspensas.

Imaginemos que a gotícula de gordura , num determinado instante, está parada em relação às moléculas de água. Então devido às colisões, a gotícula aumentará a sua energia cinética média de translação até esta igualar a energia cinética média das moléculas da água que com ela colidem. O que ocorre é uma transferência de energia entre partículas, das moléculas para a gotícula.

Por outro lado, num outro instante, a gotícula poderá apresentar uma energia cinética superior à das moléculas de água. Então, sofrendo colisões em todas os sentidos, estas serão preferencialmente no sentido oposto ao do seu próprio deslocamento nesse instante. A gotícula sofre forças de atrito, fazendo com que a sua energia cinética diminua. Einstein mostrou que na situação de equilíbrio são iguais as energias cinéticas médias de translação da gotícula de leite e de cada molécula de água,

$$\langle E_c \rangle_{\text{Gotícula}} = \langle E_c \rangle_{\text{Molécula}} \qquad \textbf{4. 1}$$

É assim, à luz de uma descrição microscópica da matéria que devemos avançar para a discussão deste fenómeno.

Se largarmos uma mão cheia de berlindes no chão, estes agitar-se-ão aleatoriamente até pararem, ao contrário das moléculas de água que continuam e incessantemente agitam as partículas em suspensão. Porque é que as moléculas de água nunca param? Que diferença fundamental existe entre uma molécula de água e um berlinde?

Reparemos que uma molécula de água é constituída por apenas três átomos. O número de graus de liberdade internos desta molécula é muito inferior aos de um berlinde, que apresenta um número de átomos numa ordem de grandeza de 10^{23}.

Numa gota de água isolada, a energia total é conservada. Sendo a molécula um sistema intrinsecamente muito mais simples que um berlinde, com muito menos possibilidades de movimentos internos, terá sempre uma parte significativa da energia total associada a movimentos de translação.

O berlinde, ao contrário tem um enorme número de graus de liberdade internos e não é talvez surpreendente que, no equilíbrio, a sua energia de translação seja uma porção ínfima da sua energia total. O que o resultado de Einstein mostra é que o berlinde, tal como a gotícula de

gordura, no equilíbrio tem uma energia cinética de translação média igual à de uma molécula de ar.

Uma gotícula de gordura de leite tem o diâmetro médio de cerca um 1 μm. Supondo que a densidade da gordura de leite é próxima da água, então poderemos estimar que a massa de uma gotícula de gordura terá uma ordem de grandeza de 10^{-18} kg. Ou seja, muito inferior à massa de um berlinde. Isto significa que, no equilíbrio, a velocidade média de translação de um berlinde será muito inferior à de uma gotícula.

Quando vemos um berlinde em movimento, associamos a essa translação uma energia que é muito superior à que corresponde à situação de equilíbrio.

O conceito de igualdade de energias cinéticas médias no equilíbrio, faz lembrar a condição de igualdade de temperaturas no equilíbrio térmico, como trás vimos. E de facto a temperatura, macroscopicamente observada, reflecte a energia cinética média das partículas de um corpo.

Podemos completar a equação anterior escrevendo, no equilíbrio,

$$\langle E_c \rangle_{\text{Gotícula}} = \langle E_c \rangle_{\text{Molécula}} = \frac{3}{2} \times K_B \times T = \frac{1}{2} \times m \times v^2 \qquad \textbf{4. 2}$$

Em que T é a temperatura absoluta.

Se assumirmos que a massa de uma gotícula de gordura de leite tem cerca de $2{,}7\times10^{10}$ vezes a massa de uma molécula de água então, tendo em conta a relação 4. 2, a velocidade típica de uma gotícula será de 4 mm por segundo. Notemos que durante um segundo uma destas gotículas, sofrendo um elevado número de colisões, muda muitas vezes de direcção no seu movimento. De outro modo, com uma ampliação de 400 vezes, a gotícula desaparecia do nosso campo de visão em pouco tempo, o que não se verifica.

Usando o mesmo raciocínio para um berlinde de 50 g concluímos que este apresentará uma velocidade típica de 5×10^{-7} mm por segundo. Completamente imperceptível.

A diferença fundamental entre uma molécula de água e um berlinde está relacionada com a diferença entre uma visão macroscópica da matéria e uma visão microscópica dessa mesma matéria.

4.6 Conclusão

Neste capítulo descrevemos duas observações experimentais. A primeira fala da possibilidade da transferência de energia associada à translação de um sistema para modos de agitação

internos ao sistema. A segundo fala da agitação, incessante no tempo, de partículas em soluções a determinada temperatura. Em ambas o princípio da conservação da energia rege o que observamos. Num sistema isolado a energia já mais poderá diminuir. Quando o carrinho colide com o batente de magnetes, a sua energia cinética de translação diminui, aumentando a energia associada a modos internos de movimento, aumenta a energia interna do sistema. Por outro lado, se a agitação interna está limitada pela simplicidade intrínseca do sistema, como uma molécula, então a energia associada à translação do sistema (molécula) nunca poderá anular-se, mantendo o sistema movimentos de translação ao longo do tempo.

Agora estas observação e discussões poderão levar-nos mais longe. A profundar e consolidar os conceitos de temperatura e de equilíbrio térmico, mas também de calor, trabalho e energia interna.

A expressão 4. 2 conduz-nos a uma noção de equilíbrio entre uma partícula em suspensão e outras que com ela colidem, fazendo-a agitar-se. Quanto maior for o grau de agitação das moléculas de água ou ar, maior será a agitação das partículas que nesse meio estão suspensas. Mas se pensarmos que a energia cinética média das partículas depende da temperatura da solução, então a noção de equilíbrio poderá ser de equilíbrio térmico. Se uma partícula está em equilíbrio com o meio que a rodeia, então apresenta a mesma temperatura desse meio. Está em equilíbrio térmico com esse meio, seja uma molécula, uma gota de gordura ou um berlinde.

Macroscopicamente podemos analisar estas transferências de energia referindo temperatura. Em cada instante a energia cinética de uma partícula poderá não ser igual à da sua vizinha, mas se tomarmos o valor médio para período longo de tempo, então podemos afirmar que os valores são iguais. As partículas vão interagindo equilibrando entre si estes valores de energia.

A temperatura relaciona-se com este valor médio de energia cinética, de um conjunto elevado de partículas em equilíbrio estatístico.

Que diferenças podemos encontrar no movimento das gotículas se a mistura de água e leite se encontrar, não à temperatura ambiente, mas a uma temperatura superior? Esta questão conduziu-nos ao conceito de temperatura. Se os alunos concluírem que uma maior temperatura significa uma maior energia cinética das moléculas da água, provocando uma maior agitação das gotículas, associada à translação daquelas poderemos encontrar uma definição de temperatura concordante com todos os resultados obtidos até agora. Desta forma poderemos dizer que a temperatura de um corpo se relaciona com a energia cinética média das partículas desse corpo.

Voltemos um pouco atrás. Quando sobre um sistema realizamos trabalho mecânico, esse trabalho pode não significar um correspondente aumento da energia mecânica, mas antes a um aumento da agitação molecular do sistema, isto é, aumento da energia cinética média das moléculas em relação ao centro de massa do sistema, tal como o carrinho que sofrendo uma diminuição da sua energia mecânica, no termo da energia cinética, notamos um aumento da energia cinética média das massas ou das esferas em relação ao carrinho. Este aumento da energia cinética média das partículas significa um aumento da temperatura do sistema, traduzido num aumento da energia interna do mesmo.

Nas misturas que atrás realizamos, verificamos que dois corpos em contacto interagem até que as suas temperaturas se igualem, quando é estabelecido o equilíbrio térmico. Nesse instante, quando as temperaturas são iguais, a transferência de energia cessa. Na verdade as numerosas partículas que constituem cada um desses corpos continuam, na fronteira entre corpos, colidindo e interagindo trocando energia, mas o valor médio de energia trocada é nula. No equilíbrio a energia cinética média das partículas é igual nos dois corpos. A relação entre a temperatura e a energia cinética média das partículas é algo complexa e diferenciada entre sistemas sólidos, líquidos ou gasosos. Nos mais diversos sistemas o aumento de temperatura leva a um afastamento entre partículas, verificado no aumento do volume do sistema, como aumenta de volume o mercúrio de um termómetro quando interage com outro corpo a superior temperatura. Este aumento cessa quando é atingido o equilíbrio térmico entre o mercúrio e o corpo como, por exemplo, uma massa de água. A temperatura é uma grandeza de caracter macroscópico, cujo valor estatístico, indicando se um corpo está em equilíbrio térmico com outro, está relacionado com um valor médio.

Voltando ainda mais atrás, como poderemos explicar, à luz desta visão microscópica, que um sistema possa absorver energia sem que a sua temperatura aumente? Se a temperatura não aumentou então não terá aumentado a energia cinética média das partículas. No entanto afirmamos que a energia interna de um corpo, tal como a mistura de água e gelo, aumentou. Temos de admitir que a energia interna de um corpo tenha outros termos para além da energia cinética, termos associados à transição de fase dos sistemas. Mesmo que admitíssemos que num corpo todas as partículas não executassem movimentos entre si, ainda assim teríamos de admitir a existência de relações de energia associadas às forças de ligação que mantêm a rigidez dos corpos. Relações que dependem da massa das partículas e da distância entre elas, relações que se alteram quando, por exemplo, uma massa de gelo se funde, e que podem ser agrupadas num termo da energia interna a que chamamos de energia potencial interna.

Podemos então dizer que a energia interna de um sistema é dada por,

$$E_{\text{interna}} = E_{\text{Cinética,int.}} + E_{\text{Potencial,int.}}$$

4. 3

Quando dois corpos, a diferentes temperaturas, interagem podemos dizer que a energia cinética média das partículas, sendo diferente para os dois corpos, variam ocorrendo trocas de energia entre as partículas de tal modo que as partículas mais "agitadas" cedem energia às mais "lentas", há transferência de energia entre corpos. A energia cinética das partículas do corpo a superior temperatura diminui. A que corresponde uma diminuição da energia interna desse corpo, verificável na diminuição da respectiva temperatura. A energia cinética das partículas do corpo a inferior temperatura aumenta, a que corresponde um aumento da energia interna desse corpo, verificável no aumento da sua temperatura. Se tomarmos o caso da barra metálica, onde uma das extremidades está a uma temperatura superior à outra das extremidades, podemos raciocinar da mesma forma. Os átomos que apresentam maior energia cinética transferem energia para aqueles que apresentam menos energia cinética, que na sua maioria se encontram sempre mais próximos da extremidade, digamos, mais fria. Este processo de transferência ocorre ao longo de toda a barra, ou seja, um fluxo de energia ao longo da barra, num determinado sentido, como atrás tínhamos referido e chamado de calor.

Não é possível medir a energia transferida entre duas partículas, mas é possível medir a energia transferida entre dois corpos a diferentes temperaturas, onde estão envolvidas N partículas, sabendo que dificilmente a energia trocada entre quaisquer partículas será sempre a mesma, medimos valores médios para muitas interacções microscópicas. Tal como a temperatura, calor é um conceito estatístico e macroscópico.

Sempre que duas partículas de um sistema interagem, por colisões exercendo forças do tipo eléctrico, estas sofrerão deslocamentos, isto é, existe a realização de trabalho a um nível microscópico. Ora isto é o que acontece no fenómeno de transferência de energia entre partículas que ocorre quando os corpos, a que pertencem essas partículas, se encontram a diferentes temperaturas e que chamamos calor, quando essa energia é medida de um modo macroscópico, considerando todas as partículas, ou seja, trabalho que não pode ser contabilizado de um modo macroscópico.

Trabalho que pode ser medido e que pode corresponder a variações da energia mecânica de um sistema, como aquele que realizamos sobre um corpo colocando-o em movimento, pode também corresponder a variações de energia interna desse mesmo sistema, como vimos. Uma

visão microscópica do sistema é necessária para aclararmos esta variação de energia interna. Imaginemos que arrastamos um bloco sobre uma superfície rugosa. Agora podemos considerar que as partículas das superfícies do bloco e rugosa interagem electricamente, aumentando a sua energia cinética e que tal pode ser verificado pelo aumento da temperatura do sistema bloco + superfície rugosa, que a energia interna deste sistema aumentou. Reparemos que agora inspeccionamos mecanismos ocorridos no interior do sistema, tal como o fizemos atrás quando verificamos o movimento de rotação das massas ou vimos a granalha de chumbo saltando aleatoriamente no interior do carrinho. Esta inspecção não pode deixar de ser feita. Assim como não podemos deixar de verificar o movimento das massas e da granalha para compreendermos o processo energético que tinha acabado de ocorrer, também o teremos de o fazer quando é considerada a colisão entre duas partículas tidas como pontuais com perda parcial de energia cinética deste sistema. Aqui não se está apenas a simplificar ou desprezar possíveis movimentos de rotação ou outros associados à geometria dos corpos em colisão, está-se afastando os alunos de uma melhor compreensão do papel que o trabalho desempenha nos mecanismos de transferência de energia, afastando os alunos do princípio da conservação da energia e assim do conceito de energia. Visão e compreensão que está ao alcance dos alunos deste nível de ensino.

No ponto 2.2.2.2 onde descrevemos as misturas de água e cilindros metálicos, referimos as capacidades caloríficas por unidade de massa e por mole do cobre e do alumínio. Então vimos que esta capacidade para absorver ou ceder energia, por unidade de massa era muito diferente no cobre e no alumínio. Mas quando consideradas por mole estas capacidades apresentavam valores muito próximos.

Quando um cilindro recebe energia que resulte num aumento de temperatura, então devemos esperar que cada átomo do cilindro aumente a sua energia cinética média. Notemos que este aumento de energia cinética por átomo depende de outros factores como, por exemplo, das forças de ligação entre átomos, associadas a termos energia potencial. Mas estes factores são relativamente parecidos entre estas duas substâncias metálicas, quando comparados, por exemplo, com as da água, onde as ligação são de outra ordem de grandeza.

Assim quando um átomo de cobre e um átomo de alumínio recebem igual quantidade de energia, o aumento no grau de agitação de cada um destes átomos deverá ser idêntico. Estatisticamente, num elevado número de átomos de cobre e alumínio, este idêntico aumento na agitação traduz-se num idêntico aumento de temperatura. Quando um igual número de átomos de cobre e alumínio recebem a mesma energia, as suas temperaturas aumentam em idênticas proporções. Ou seja, igual capacidade térmica molar. Quando estas capacidades,

para estas duas substâncias, são consideradas por unidade de massa obtemos valores muito distintos, porque de facto o número de átomos por unidade de massa é muito distinto.

Capítulo 5 Propostas de protocolos experimentais para trabalho com alunos.

Cada uma das propostas seguintes corresponde a uma questão para reflexão seguida de um conjunto de procedimentos com questões orientadoras do trabalho a desenvolver. Estes procedimentos não correspondem na exactidão aos procedimentos descritos ao longo dos anteriores capítulos. Mas as tarefas propostas poderão ser executadas com os mesmos recursos e os mesmos métodos das actividades atrás apresentadas. Naturalmente as tarefas propostas são isso mesmo: propostas. Um professor poderá apresentar a questão-problema aos alunos e como resultado de uma discussão os alunos terão oportunidade de estabelecer um caminho experimental que clarifique os conceitos que o professor pretende abordar. No entanto, as orientações propostas são suficientemente abertas para que alunos e professor possam encetar alguma discussão quanto aos métodos.

5.1 Transferências de energia entre objectos. Energia interna e Temperatura.

Questão Problema

Um peça metálica e uma peça de madeira, de iguais massas a igual temperatura, são retiradas de um forno e colocadas junto de um conjunto de blocos de gelo.

Qual das peças irá fazer fundir uma maior quantidade de gelo, antes que arrefeçam até terem a temperatura do gelo?

1. A peça metálica.
2. A peça de madeira.
3. Ambos irão derreter igual quantidade de gelo.

Material a utilizar:

Um disco de aquecimento; dois vasos de vidro de capacidade 600 ml; Duas garrafas térmicas de capacidade 750 ml; cilindros de cobre, alumínio, latão, madeira ou outros de igual massa; dois termómetros e uma balança.

Procedimentos:

As tarefas consistem em realizar misturas. Misturas entre massas de água, misturas entre massas de água e massas metálicas e entre massas de água líquida e massas de gelo, com

diferentes valores de massa e diferentes temperaturas e procurar a temperatura de equilíbrio entre as massas misturadas, a temperatura do sistema.

1. A situação mais simples será misturar duas massas iguais de água a diferentes temperaturas. Qual a variação de temperatura que cada massa sofreu?

2. Prosseguir com a mistura de diferentes massa de água a diferentes temperaturas. Que relação existe entre cada massa de água e a respectiva variação da temperatura?

3. Misturar uma massa de água e uma massa metálica a diferentes temperaturas. Será que a relação encontrada em 2. se verifica?

4. Misturar uma massa de água líquida com uma massa de gelo. Seriam as variações de temperatura iguais se, em vez da massa de gelo, fosse usada uma igual massa de água líquida a 0 °C?

5. Foi gasta energia para fundir o gelo? Calcular a energia necessária para fundir um grama de gelo.

5.2 Temperatura de fusão da água. Equilíbrio térmico.

Questão problema.

Podem o gelo e a água líquida ter a mesma temperatura?

Material a utilizar:

gelo picado; dois vasos de vidro; uma tina de vidro de capacidade 2 litros; dois termómetros.

Procedimentos:

Encher a tina com gelo picado e deixar fundir um pouco do gelo. Verter um pouco de água líquida da tina para um vaso e mergulhar, o mais possível, o vaso na mistura de água e gelo da tina, sem que gelo entre no vaso. Mergulhar cada um dos termómetros na água do vaso e na mistura da tina. Verificar a temperatura registada por cada termómetro, ao fim alguns minutos.

5.3 Mistura de água líquida e gelo. Calor de fusão do gelo.

Questão-problema

Quando fornecemos energia a um cubo de gelo a sua temperatura aumenta?

Material a utilizar:

Cubos de gelo; Dois vasos de vidro; dois sensores de temperatura; uma tina de vidro e uma balança.

Procedimentos:

Quando temos uma massa de água a 0 °C num recipiente aberto numa sala à temperatura ambiente, a água receberá energia do exterior, podendo resultar num aumento da sua temperatura. Podemos ter uma massa no estado líquido e outra no estado sólido. Como variará a temperatura de cada uma dessas massas de água quando colocadas em recipientes iguais e no mesmo local?

1. De uma tina de vidro com gelo picado e água líquida em equilíbrio, retirar um pouco de gelo e água líquida perfazendo 100 g.

2. Da mesma tina retirar, para outro vaso, 100 g de água líquida e imediatamente mergulhar um sensor em cada vaso, começando a registar os valores de temperatura de cada massa ao longo do tempo.

3. Que semelhanças e diferenças significativas se pode encontrar entre as curvas de temperatura no aquecimento de cada massa?

4. Durante o período em que a temperatura de mistura água e gelo não varia, será que não recebeu energia do exterior? Se sim o que aconteceu a essa energia?

5.4 Cálculo da energia necessária para fundir uma certa quantidade de gelo.

Material a utilizar:

Cubos de gelo; resistência eléctrica; um termómetro; uma garrafa térmica; uma tina de vidro; uma balança; um amperímetro; um voltímetro e uma fonte de alimentação eléctrica.

Questão-problema

Qual a energia necessária para fundir um grama de gelo?

Procedimentos:

O trabalho eléctrico realizado por uma resistência é facilmente calculável, quando determinada a diferença de potencial eléctrico aos terminais da resistência e a intensidade da corrente eléctrica que a atravessa. Quando mergulhada numa mistura de água e gelo libertará energia para a mistura. Esta energia poderá permitir a fusão do gelo e o aumento da temperatura da água fundida. Se for conhecida a quantidade de gelo na mistura, poder-se-á determinar a energia necessária que cada grama de gelo absorveu fundindo-se.

1. Numa garrafa térmica colocar água a 0 °C retirada de uma mistura água e gelo em equilíbrio e alguns cubos de gelo de massa conhecida.

2. De seguida mergulhar a resistência e o termómetro na mistura de modo a não se tocarem.

3. Mantendo a mistura em agitação para promover a homogeneização da temperatura, registar o valor da temperatura ao longo de tempo, até que atinja o valor da temperatura ambiente.

4. A partir do gráfico temperatura-tempo calcular o calor de fusão do gelo.

5.5 Medição eléctrica da variação da energia interna de uma porção de água. Radiação.

Questão-problema

Cada vez mais o mercado oferece as chamadas lâmpadas de "baixo consumo" em detrimento das lâmpadas de incandescência. Porque é que as lâmpadas de incandescência têm sido postas de lado?

Material a utilizar:

Calorímetro; uma lâmpada; um voltímetro; um amperímetro; um termómetro; água; corante negro e uma fonte de alimentação eléctrica.

Procedimentos:

Uma lâmpada de incandescência é capaz de fornecer energia mediante a realização de trabalho eléctrico. Quando uma dessas lâmpadas é "ligada" numa sala, a energia libertada é transferida para os diferentes objectos que existem na sala, como por exemplo o ar que rodeia a lâmpada. A tarefa será permitir que uma massa de água absorva a energia libertada por uma lâmpada, mergulhando a lâmpada na água.

1. Assim, num calorímetro colocar 200 ml de água à temperatura ambiente e na tampa do calorímetro adaptar a lâmpada. Fechar o calorímetro mergulhando a lâmpada.

2. Mergulhar o termómetro na água para registar o valor da temperatura ao longo do tempo.

3. Montar o circuito eléctrico necessário para fornecer energia eléctrica à lâmpada e ligar a lâmpada durante alguns minutos. De que forma se poderá verificar que a água recebe energia?

4. A luz aquece? Repetir os procedimentos colocando um pouco de corante na água. Serão os resultados idênticos aos obtidos no ponto 3.? Em que diferem?

5. Qual o rendimento da lâmpada?

O rendimento da lâmpada pode ser calculado a partir da diferença entre os rendimentos dos processos de aquecimento da água com e sem corante diluído.

6. Discutir o processo de transferência de energia da lâmpada para a água à luz do princípio da conservação da energia.

5.6 Transferência de energia por condução. Condutividade.

Questão-problema

Que tipo de contacto térmico pode existir entre as duas massas de água a temperaturas diferentes?

Material a utilizar:

Barras de cobre e alumínio em U; duas garrafas térmicas; disco de aquecimento; dois termómetros; gelo picado; uma balança; uma caixa de papelão com esferovite ou lã de vidro;

Procedimentos:

A energia pode transferir-se entre duas massas de água desde que essas duas massas não estejam isoladas uma da outra. Quando cada uma das massas se encontra na sua garrafa térmica fechada, não há qualquer possibilidade de ocorrer a troca de energia entre elas. Por outro lado se as massas se encontram em contacto térmico e se as temperaturas, de cada uma, são diferentes, então energia fluirá entre elas. Que tipo de contacto térmico pode existir entre as massas?

1. Numa garrafa térmica colocar uma massa de 600 g de água previamente aquecida até uma temperatura de 70 °C.

2. Na segunda garrafa colocar uma mesma massa de água à temperatura ambiente.

3. Fechar as garrafa mergulhando um termómetro em cada uma das massas contidas nelas, registando a temperatura de cada uma ao longo do tempo. Variam significativamente os valores de temperatura ao longo do tempo?

4. Mergulhar cada uma das extremidades da barra de cobre em cada uma das massas de água, continuando a registar os valores de temperatura de cada massa ao longo do tempo. De que modo variam os valores de temperatura das massas de água? Discutir os resultados à luz do princípio da conservação da energia.

5. Nas nossas casas, as canalizações de água aquecida estão revestidas com materiais especiais de isolamento térmico. O revestimento da barra de cobre poderá conduzir a resultados diferentes daqueles obtidos no ponto anterior?

5. Repetir os procedimentos anteriores colocando na segunda garrafa gelo picado. Usar a barra e cobre e a barra de alumínio. Que diferenças se encontram nos resultados obtidos com a barra de cobre daqueles obtidos com a barra de alumínio?

5.7 Colisões elásticas e inelásticas. Transferência de energia.

Questão problema:

Quando largamos uma bola "saltitona" a uma certa altura do solo, sem velocidade inicial, ela sofre um ressalto atingindo uma altura pouco inferior à altura de largada.

Porque será que não atinge a mesma posição de onde foi largada?

O que acontecerá se a bola for constituída por plasticina?

Será que, em ambas as situações, poderemos afirmar que a energia da bola se conservou?

Material a utilizar:

Calha de movimento; carrinho; sensor de movimento; granalha de chumbo; eixo com rolamentos e massas adaptadas e batente.

Procedimentos:

Sobre uma calha de movimento inclinada, um carrinho munido de magnetes mover-se-á colidindo com um batente também munido de magnetes orientados com polaridade oposta da dos existentes no carrinho, instalado numa das extremidades da calha. O carrinho e o batente deverão colidir sem se tocar. O carrinho deve ser largado, sem velocidade inicial, numa determinada posição a que corresponde a uma altura em relação à banca do laboratório. Após a colisão o carrinho subirá a calha até parar.

1. Sobre o carrinho instalar as massas com as respectivas hastes orientadas na direcção do movimento do carrinho. Qual a posição onde o carrinho pára após a colisão?

2. Orientar as hastes na direcção perpendicular à do movimento do carrinho. Comparar a posição atingida pelo carrinho, após a colisão, com as posições obtidas em 1.

3. Substituir os pesos pela caixa de alumínio, cobrindo o seu fundo com granalha de chumbo. Serão os resultados idênticos aos anteriores? Em que diferem?

4. Colocar a calha na horizontal. Dar um impulso ao carrinho, permitindo que este adquira uma velocidade constante, colidindo com o batente. Realizar este procedimento com as massas, com a granalha e sem nada sobre o carrinho, registar a velocidade do carrinho ao longo do tempo colocando o sensor de movimento na outra extremidade da calha.
Construir e analisar os gráficos velocidade-tempo e os gráficos módulo da velocidade-tempo. Que semelhanças e diferenças se podem encontrar entre os gráficos?

5.8 Estudo das perdas de energia de uma garrafa térmica.

Questão-problema

Serão as garrafas térmicas realmente eficazes?

Material a utilizar:

Uma garrafa térmica; um disco de aquecimento; um termómetro e água.

Procedimentos:

O objectivo é fazer uma analise qualitativa e quantitativa da diminuição da temperatura de uma massa de água previamente aquecida colocada no interior de uma garrafa térmica.

1. Assim, começar por aquecer cerca de 500 ml de água até uma temperatura próxima de 70 °C.

2. Introduzir a água aquecida no interior da garrafa e fecha-la com uma rolha. Na rolha deve estar adaptado o termómetro de tal forma que possa ficar mergulhado na água.

3. Registar a temperatura da água ao longo tempo, durante cerca de 30 minutos.

4. Qual é variação de temperatura da água durante os 30 minutos?

5. Supondo que a diminuição da temperatura é constante, estimar o tempo necessário para que a água fique à temperatura ambiente.

Capítulo 6 Conclusão

Todas as actividades experimentais aqui descritas, bem como outras situações referidas e que ocorrem no nosso quotidiano, caracterizam-se pela transferência de energia. Que factos foram constatados e que nos levaram a afirmar que a energia se transferiu? Medimos variações de temperatura de diferentes massas, de diferentes substâncias, verificamos a fusão do gelo, medimos a velocidade de carrinhos antes e após sofrem colisões e observamos gotículas de leite agitarem-se incessantemente.

Por outro lado vimos que, por exemplo, uma variação de temperatura de uma massa de água pode ser conseguida por processos muito distintos. É possível realizar trabalho eléctrico sobre a massa, ou trabalho mecânico ou ainda fazer interagir essa massa com outra a superior temperatura. No essencial vimos que estas alterações de temperatura, estado físico ou alteração no grau de agitação interno de um sistema resultaram da interacção do sistema com o exterior ao sistema.

Para a análise qualitativa e quantitativa destas alterações partimos de dois pressupostos: o primeiro é identificar estas modificações no sistema com a absorção ou a cedência de energia por parte do sistema. O segundo é considerar que a energia de um sistema isolado sempre se conserva.

As concepções experimentais, aqui propostas, têm como pano de fundo estes dois pressupostos, nomeadamente o princípio da conservação da energia. O princípio da conservação é algo pré aceite, que nos conduziu nas hipóteses colocadas, nos cálculos realizados e nas expressões obtidas, como naquela que relaciona a variação da energia interna de uma massa conhecida e a variação da sua temperatura, ou na que corresponde à primeira lei da termodinâmica.

O princípio da conservação da energia esteve presente em cada uma das actividades experimentais apresentadas. Quando começamos por misturar duas massas iguais de água, num recipiente que as isolou do exterior, previmos que as variações de energia deveriam ser simétricas. Neste caso a transferência de energia entre massas deveria ocorrer, previmos, devido à diferença de temperaturas das massas de água. Nos resultados a conservação da energia traduziu-se na variação simétrica das temperaturas das massas.

Um aluno, ainda que possa confundir variação de energia com variação de temperatura, pode entender uma variação simétrica de temperatura como uma manifestação do princípio da conservação e usar este princípio para misturas de massas de água diferentes.

Esta simples mistura de iguais massas de água é, talvez, a mais simples das actividades propostas. Mas caracteriza a nossa intenção: elaborar experiências, onde sistemas conservem a sua energia total, e a partir desse facto estabelecer relações qualitativas e quantitativas entre grandezas e clarificar conceitos.

Quando os alunos, em seguida, misturam diferentes massas de água a diferentes temperaturas, as variações destas deixam de ser simétricas. Esta segunda tarefa experimental nunca poderá ser levada a cabo sem a realização da primeira atrás referida. Nem podemos terminar o nosso curso na primeira. Pois é isto que ao longo do trabalho fomos propondo: a confrontação entre resultados aparentemente contraditórios. Os alunos deverão reflectir: se as temperaturas já não variam simetricamente, será que o princípio da conservação já não deverá ser usado? Ou será que a diferença nos valores da massa terá tido influência nos resultados?

Só em resultado desta confrontação e reflexão os alunos poderão estabelecer uma diferença conceptual entre variação de energia e variação de temperatura, uma distinção que resulta mais clara quando é conseguida a partir de resultados experimentais, como inicialmente defendemos.

A discussão que podemos ter com os alunos é esta: sempre que misturamos massas que apresentam estados energéticos diferentes, estas interagem resultando em modificações visíveis, como a variação de temperatura. Serão estas modificações iguais em todo o tipo de misturas? Estamos convencidos que serão os próprios alunos a suscitar esta questão, propondo diferentes exemplos. O que fizemos foi apresentar os resultados de outras misturas para além de água líquida com água líquida. A mistura de diferentes substâncias como água e cobre ou água e alumínio, quando analisadas pelo princípio da conservação, conduziu-nos à noção de capacidade térmica de uma massa, de calor específico e caloria. Mas também ao reforço da distinção dos conceitos de energia e temperatura e estabelecer uma definição operacional de temperatura e de equilíbrio térmico.

Finalmente, neste conjunto de propostas de misturas de massas, a mistura de água líquida e gelo permitiu uma riquíssima discussão, ainda, sobre o conceito de energia, temperatura e equilíbrio térmico. Porque aqui a variação da energia interna de uma massa de água pode não resultar numa variação de temperatura.

No final da análise dos resultados destas actividades referimos dois aspectos importantes sobre a orientação do trabalho: o primeiro foi a ligação do conceito de energia do conceito de conservação. Usamos o conceito de conservação de energia para definir energia, distinguindo-a operacionalmente de temperatura e associando-a a outro tipo de alterações num sistema, que

não variação de temperatura. O segundo foi termos conseguido esta definição de energia sem abordarmos o conceito de trabalho ou de calor.

Um dos nossos propósitos foi clarificar calor de temperatura. Com uma experiência simples de condução, podemos definir calor como a energia transferida entre massas a diferentes temperaturas. Atrás associamos uma variação de temperatura a uma variação de energia. Nesta experiência associamos o calor a uma energia transferida e portanto a uma variação de energia. Então podemos associar calor a uma variação de temperatura, mas não a um valor de temperatura concreto, não a um valor alto ou baixo de temperatura de um corpo, uma massa de ar ou água, como é comum fazê-lo no quotidiano. Da mesma forma não devemos associar calor a uma energia contida num corpo, energia interna, mas a uma energia recebida ou cedida.

A confusão entre calor e temperatura é uma das mais referidas pelos estudos sobre concepções alternativas dos alunos em termodinâmica. Por isso entendemos que no ensino do tema "energia" deverão ser abordados os conceitos de calor e trabalho. Como vimos aquela confusão resulta da associação de calor a temperatura e não a energia. Muitos alunos reflectem a ideia de que para a temperatura de um corpo subir é obrigatoriamente necessário calor ou que temperatura elevada significa calor. Pensamos que é importante a realização de actividades onde ocorrem variações de temperatura sem que interajam sistemas a diferentes temperaturas. É importante desenvolver actividades onde seja destacado o papel do trabalho eléctrico ou mecânico na variação da energia interna de um sistema e na eventual variação da temperatura desse sistema.

O ensino da primeira lei de termodinâmica depende desta abordagem do conceito de trabalho, bem como do conceito de calor. Referindo que esta lei é uma expressão matemática do princípio da conservação da energia.

As colisões inelásticas representam situações muito familiares para os alunos, onde ocorre um aparente desaparecimento de uma parte da energia do sistema, contrariando a hipótese de conservação da energia que sustenta todas as afirmações anteriores. Aqui os alunos podem compreender que um sistema é mais que uma ou duas partículas pontuais e que a energia desse sistema se pode manifestar de outras formas que não na translação de uma ou duas partículas. Que a energia se conserva sempre, apenas temos de procurar responder à questão: Para "onde" foi? Estas experiências dão maior segurança aos alunos quanto ao princípio da conservação.

Por outro lado estas experiências permitem uma primeira abordagem ao comportamento microscópico da matéria e, a partir de outras observações como o movimento browniano,

perceber como este comportamento pode explicar as observações e medições de carácter macroscópico que realizamos ao longo dos capítulos 2 e 3 e permitir um nível de compreensão mais profundo de conceitos como temperatura, calor, energia interna e trabalho.

Referências Bibliográficas

Alís, J. C.; 1995; *Trabajos práticos de Física y Química como problemas;* ALAMBIQUE Didáctica da las ciencias experimentales; N.°5; p. 67-76.

Alonso, M.; Finn, E.J.; 1999; *Física*; Addison Wesley.

Arons, A.B.; 1999; *Development of energy concepts in introductory physics courses*; Department of Physics, University of Washington, seattle.

Caldeira, H.; Bello, A.; San-Bento, C.; Pina, E.P.; Martins; I.P.; Magalhães, M.C.; Simões, M.O.; Simões, T.S.; Lopes; J.M.G.; Costa, J.A.L.; Fvereiro de 2001; *Física e Química A – Programa 10° Ano,* Ministério da Educação, Departamento do Ensino Secundário.

Caldeira, M.H. e Martins D.R.; 1990; *Calor e Temperatura. Que noção têm os alunos universitários destes conceitos?*; Gazeta de Física, Vol. 13, Fasc. 2, p. 85-94.

Feynman, R.P.; 1965; *The Feynman Lectures on Physics*; Addison-Wesley, Reading, MA; Vol. I, P. 4-1.

Goldring, H.e Osborne, J; 1994; *Students` difficulties with energy and related concepts*; Physics Education, 29.

Hewitt, P.; 2003; *Figuring Physics;* The Physics Teacher, Vol. 41, No.1, P. 8.

Taber, K.S.; 2000; *Finding the optimum level of simplification: the case of teaching about heat and temperature*; Physics Education 35(5) P. 320-325.

Thomaz M.F.; Malaquias I.M.; Valente M.O. e Antunes M.J.; 1994; *Uma tentativa para ultrapassar concepções alternativas sobre calor e temperatura*; Gazeta de Física; vol. 17; fasc. 3; p. 10-16.

Ganiel, U.; 1992; *Elastic and Inelastic Collisions: A Model (or: What Happens to the Kinetic Energy?)*; The Physics Teacher, vol. 30.

Valente, M.O. ,Neto, A.J. e Valente, M; 1989; *Resolução de problemas em física: Necessidade de uma ruptura com a didáctica tradicional;* Gazeta de Fisica; Vol. 12; Fasc. 2.

Anexo I - Materiais utilizados nas experiências relatadas no capítulo 2, 3 e 4.

Garrafas térmicas de marca Valira, capacidade ¾ l.

Termómetros Zeal SZB Resolução 0,1 °C.

Multímetros de marca Univolt, modelo DT191.

Disco de aquecimento de marca ASL, modelo FA7, 1000w, 230v~50hz.

Vasos de vidro de marca Duran-Schott, capacidade 300ml e 600ml.

Sensores de temperatura de marca Vernier Softwaer, Standard Temperatura Probes TPA-DIN, -50 °C a 150 °C.

Interface ULI-Universal Lab. Interface.

Computador Pentium P54C, 120Mhz, 80 Mb RAM, 1,19 Gb.

Balança de marca Sartorius, PT 1500. 0-1500 g. Resolução 0,1 g.

Resistência eléctrico de aquecimento RS 159-764. 15 W.

Fonte de alimentação UNIVOLT DT305DS. 0-30 v. 0-2 A.

Calorímetro de marca PASCO-SCIENTIFIC. P/N 650-02975. Valor máximo 100 °C. Capacidade 200 ml.

Lâmpada do calorímetro TD-8552. Máximo 13 V (DC).

Agitador magnético M22/1. 0-300 °C. 0-14 $min^{-1} \times 100$.

Sensor de movimento Pasco Scientific PS-2103

Interface Pasco Scientific UBS Link PS-2100

Batente Pasco Scientific 003-04989

Carrinho Pascar Pasco Scientific ME-6950

Caixa de alumínio de massa 54,4 g e dimensões conforme a Figura I.1

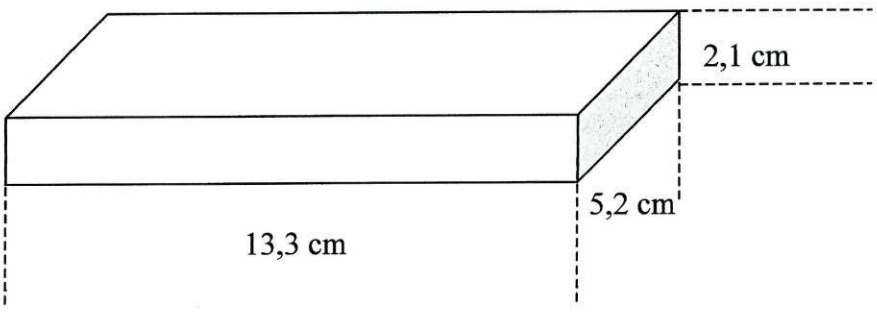


Figura I.1. Dimensões de uma caixa de alumínio para montagem em PASCAR

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 Valores iniciais, finais e variações de temperatura de cada massa medidos em oito ensaios realizados. 23
Tabela 2.2 Resultado do produto da massa e da variação da temperatura para quatro ensaios realizados. 27
Tabela 2.3 As variações de temperatura para três ensaios realizados misturando água e gelo. 34
Tabela 4.1 Distâncias máximas atingidas pelo carrinho, sem acessórios, em cinco ensaios. .. 72
Tabela 4.2 Para cinco ensaios, as distâncias máximas atingidas pelo carrinho com hastes..... 73
Tabela 4.3 Para cinco ensaios, as distâncias máximas atingidas pelo carrinho com hastes na perpendicular. 73
Tabela 4.4 Para cinco ensaios, as distâncias máximas atingidas pelo carrinho com granalha de chumbo. 74

Índice de Figuras

Figura 2.1 A massa, a temperatura e a energia de cada massa de água e da mistura. 24
Figura 2.2 Temperaturas iniciais e finais dos sistemas 1 e 2. 36
Figura 2.3 Esquema da montagem experimental usada para o aquecimento simultâneo 38
Figura 2.4 Esquema da montagem usada. 41
Figura 2.5 Esquema da montagem experimental usada. 48
Figura 3.1 Forma e dimensões das barras usadas 57
Figura 3.2 Esquema da montagem final usada. 58
Figura 4.1 Esquema do dispositivo de massas com liberdade de rodarem em torno do suporte. 71
Figura 4.2 O carrinho encontra-se, sobre a calha, na posição onde foi abandonado em todos os ensaios apresentados, a uma distância, d, de 60 cm do batente. 72
Figura I.1. Dimensões de uma caixa de alumínio para montagem em PASCAR 104

Índice de Gráficos

Gráfico 2.1 A curva azul corresponde à massa de água líquida e a curva vermelha corresponde à mistura de água e gelo..... 39
Gráfico 2.2 Variação da temperatura da massa de água ao longo do tempo..... 41
Gráfico 2.3 Aquecimento da água sem corante durante 8 minutos..... 49
Gráfico 2.4 Aquecimento da água com corante durante 8 minutos. 50
Gráfico 3.1 Variações da temperatura das duas massas antes e após a introdução da barra de cobre. 58
Gráfico 3.2 As curvas azul e vermelha representam as variações de temperatura da cada massa. A curva a verde representa a diferença entre estas variações..... 59
Gráfico 3.3 As curvas azul e vermelha representam as variações de temperatura da cada massa. A curva a verde representa a diferença entre estas variações..... 61
Gráfico 3.4 Variação da temperatura da massa aquecida devido à condução de calor pela barra de cobre antes e após a sua introdução..... 63
Gráfico 3.5 Variação da temperatura da massa aquecida devido à condução de calor pela barra de alumínio antes e após a sua introdução. 64
Gráfico 3.6 Declive da recta que traduz a diminuição da temperatura da massa de água. 68
Gráfico 4.1 Velocidade e módulo da velocidade do sistema durante o seu movimento..... 76
Gráfico 4.2 Velocidade e módulo da velocidade do sistema durante o seu movimento..... 77
Gráfico 4.3 Velocidade e módulo da velocidade do sistema durante o seu movimento..... 78
Gráfico 4.4 Velocidade e módulo da velocidade do sistema durante o seu movimento..... 78