

**José Vicente Hallak d'Angelo**

Engenheiro químico pela UFMG, Mestre e Doutor em Engenharia Química e Livre-Docente pela Unicamp. Professor e pesquisador da Faculdade de Engenharia Química da Unicamp desde 2002. Foi Assessor da Pró-Reitoria de Graduação em 2010 e Coordenador de Graduação da FEQ de 2008 a 2010.

**Roger Josef Zemp**

Engenheiro químico e Mestre pela UNICAMP, Doutor em Engenharia Química pela Universidade de Manchester (Reino Unido) e Livre-Docente pela Unicamp. Professor e pesquisador da Faculdade de Engenharia Química da Unicamp desde 1986. Foi Coordenador de Graduação da FEQ de 2006 a 2008.

# Experimentos em sala de aula como forma de estimular a aprendizagem de conceitos fundamentais em cursos de engenharia

## 1 – INTRODUÇÃO

A grande maioria dos cursos de graduação em Engenharia Química no Brasil tem uma estrutura básica constituída de disciplinas teóricas e experimentais. As disciplinas experimentais, desenvolvidas em laboratórios, procuram demonstrar os conceitos teóricos aprendidos em sala de aula, proporcionando ao aluno uma consolidação desses conceitos; além de apresentar equipamentos relacionados a operações e processos industriais, em escala de laboratório, para que o aluno possa entender melhor seu princípio de funcionamento. Nessa estrutura convencional de disciplinas teóricas e práticas podem ser levantados dois problemas fundamentais: 1) se o experimento prático for apresentado muito tempo depois da teoria ter sido

abordada na sala de aula, o aluno poderá não tirar o melhor proveito do experimento no sentido de aliar teoria e prática; 2) disciplinas que apresentam apenas aulas teóricas muitas vezes não despertam tanto o interesse dos alunos que acabam não entendendo bem a importância e a aplicação da teoria na sua formação, levando a uma queda da aprendizagem e não raro, no desinteresse pela disciplina. Uma alternativa para eliminar ou pelo menos reduzir esses problemas é a realização de experimentos em sala de aula, no momento em que uma determinada teoria é apresentada aos alunos, como forma de estimular a aprendizagem e o ensino de conceitos fundamentais do curso de Engenharia Química. Nesse artigo são relatados dois experimentos distintos,

utilizados em sala de aula de disciplinas do curso de graduação em Engenharia Química da Unicamp. O objetivo desse artigo é, não apenas relatar as experiências realizadas e os resultados obtidos, mas principalmente demonstrar que existem alternativas viáveis para tornar o ensino mais interessante, resultando em um maior envolvimento dos alunos.

A ideia de aliar experimentos práticos a aulas teóricas não é nova, muito pelo contrário, tem sido divulgada constantemente por diversos autores[1-8]. Em 1971, Gibbons[1] relatou um cenário que permanece ainda atual: em um currículo típico de cursos de engenharia, apenas 10% dos créditos estão relacionados a disciplinas experimentais. Ele também relata que muitos estudantes inferiam a existência de uma ordem de importância entre disciplinas teóricas e experimentais com base nas seguintes observações: a) uma disciplina de laboratório sempre tem uma disciplina teórica como pré-requisito; b) um professor titular normalmente ministra as aulas teóricas, enquanto que um professor assistente é responsável pelo laboratório; c) disciplinas de laboratório normalmente não são consideradas prioritárias quando se discute uma reforma curricular do curso. Essa percepção por parte dos alunos resultava numa falta de valorização das disciplinas de laboratório, de tal forma que se não fossem obrigados a participar dessas aulas, eles apresentavam grande índice de ausências.

Uma situação semelhante a essa relatada por Gibbons em 1971 ocorre atualmente no curso de Engenharia Química

da Unicamp e provavelmente em muitos outros cursos de Engenharia Química no Brasil. A porcentagem de créditos de disciplinas de laboratório na nossa grade curricular é hoje em torno de 14% se consideradas todas as disciplinas experimentais (incluindo as de química e física do ciclo básico) e menos de 8% se consideradas apenas os laboratórios de engenharia. Além disso, também é válida a mesma situação (a) descrita por Gibbons, sobre a disciplina de laboratório ter sempre uma disciplina teórica como pré-requisito. Com relação à situação (b), não existe distinção de professores para ministrar disciplinas teóricas e práticas. Tanto professores titulares como professores em início de carreira podem ser responsáveis por uma ou outra e há semestres em que podem ministrar tanto uma disciplina teórica como uma de laboratório. Porém um fator que pode contribuir para que o aluno infira a baixa prioridade de disciplinas de laboratório é que atualmente ainda existe uma má distribuição dos experimentos abordados nessas disciplinas, o que leva, em alguns casos, a um intervalo muito grande entre o que visto na teoria e na prática (no mínimo há um intervalo de um semestre, a teoria vista num semestre é abordada em algum experimento no semestre seguinte, mas há casos em que esse intervalo pode chegar a 1 ano ou mais). Por fim, também é válida a observação feita na letra (c). Numa reforma curricular, via de regra, as disciplinas de laboratório são as últimas a serem discutidas. Dessa forma, também é possível observar uma falta de valorização dessas disciplinas por parte dos alunos.

Porém, independentemente da questão de valorização dessas disciplinas, o que se pretende discutir e demonstrar é que é possível estimular a aprendizagem em sala de aula, apresentando aos alunos experimentos que comprovem a teoria e que permitam que os mesmos desenvolvam uma visão crítica. Gibbons[1] argumenta que é possível maximizar a aprendizagem dos alunos, proporcionando um ganho de percepção física de uma determinada matéria por meio de experimentos realizados em sala de aula, sem necessariamente utilizar uma disciplina exclusivamente de laboratórios. Esse argumento baseia-se no princípio de que teoria e prática devem receber aproximadamente a mesma atenção, reforçando tanto os conceitos básicos como suas aplicações.

Na literatura são encontrados vários relatos de experiências que comprovam o argumento apresentado por Gibbons. Olinger e Hermanson[7] do Instituto Politécnico de Worcester realizaram uma abordagem denominada DIANE (*Daily Integration of Analytical, Numerical and Experimental Methods*). Nessa abordagem um aparo experimental era demonstrado diretamente na sala de aula de um curso de engenharia. Os dados experimentais eram adquiridos em tempo real, analisados e comparados com os obtidos utilizando os conceitos teóricos. 90% dos 390 estudantes de três disciplinas distintas do curso de graduação (mecânica dos fluidos, transferência de calor e aerodinâmica), nos quais essa abordagem foi aplicada, afirmaram preferir esse tipo de abordagem à forma tradicional, acreditando que assim obtinham um ganho maior de entendimento dos princípios da engenharia. Moor e Piergiovanni[5] reafirmam os benefícios de juntar experimentos com aulas teóricas, sendo possível

resolver problemas com uma abordagem mais flexível que a forma tradicional de separar laboratório e aulas teóricas. Estes autores desenvolveram alguns kits de laboratório e apresentam em seu estudo os resultados de uma experiência utilizada para ensino de controle de processos, utilizando circuitos elétricos RLC (constituídos de um resistor, um indutor e um capacitor) e um equipamento montado com peças LEGO®. Del Carmen Ramirez e Macias[8] apresentaram um experimento com o objetivo de ajudar os alunos a entenderem o conceito de balanço de massa em regime transiente. A forma tradicional de abordagem desse tópico envolve o uso de equações diferenciais como modelos matemáticos, porém esses modelos não permitem ver realmente o que está acontecendo no processo. A dificuldade em lidar com equações diferenciais é menor que a encontrada pelos alunos para entender a concepção do problema usando apenas o quadro negro. Nesse caso específico os autores utilizaram um experimento on line por meio de um acesso remoto a partir da sala de aula, permitindo aos alunos visualizarem em tempo real o que acontecia no processo. Diversos outros relatos de realização de experimentos em sala de aula e sua efetiva contribuição na aprendizagem dos alunos são encontrados na literatura.

A utilização de experimentos em sala de aula pode ser classificada como uma forma de aprendizagem ativa. O conceito de aprendizagem ativa é amplo e envolve basicamente técnicas de ensino não tradicionais e que normalmente utilizam tarefas curtas e objetivas, que juntas podem até constituir um projeto mais extenso. A aprendizagem ativa implica em um processo no qual os alunos estejam descobrindo, processando e aplicando informações e não apenas ouvindo o professor ou lendo slides projetados na sala de aula. As técnicas utilizadas num processo de aprendizagem ativa podem ser bastante

diversificadas e é importante que tentem alcançar o maior número de alunos. Para tal é fundamental conhecer também o estilo de aprendizagem dos alunos, de forma a estabelecer uma conexão efetiva entre professor e alunos. O Prof. Richard Felder, da North Carolina State University (EUA), é um grande entusiasta e divulgador do estilo de aprendizagem ativa, não necessariamente apenas no sentido de utilizar experimentos em sala de aula, mas principalmente no sentido de criar oportunidades para que os alunos participem de forma ativa na sala de aula. O modelo Felder-Silverman[9], de 1988, possibilita uma classificação de estilos de aprendizagem que ajuda a definir melhor as possíveis estratégias para uma abordagem bem sucedida da aprendizagem ativa em sala de aula. Felder e Spurlin[10] apresentam um índice de estilos de aprendizagem (ILS – *Index of Learning Styles*) que é um instrumento utilizado para definir as preferências das quatro dimensões do modelo de estilo de aprendizagem de Felder-Silverman.

Experimentos simples, porém de grande abrangência e caráter multidisciplinar, têm sido realizados em sala de aula, em duas disciplinas de graduação oferecidas pela Faculdade de Engenharia Química da Unicamp: EQ481 – Introdução à Engenharia Química e EQ582 – Fenômenos de Transporte e Operações Unitárias. Nesse artigo são apresentados detalhadamente ambos os experimentos, descrevendo a participação dos alunos e como estes experimentos são usados para estimular o aprendizado e uma melhor compreensão dos conceitos teóricos envolvidos. Os experimentos realizados foram: estimativa da potência de um forno de micro-ondas, com base na variação de temperatura de uma determinada massa de água (EQ481) e acompanhamento da temperatura do líquido no interior de uma lata de refrigerante, ao ser imersa em um banho de água e gelo (EQ582).

## **2 – EXPERIMENTO DE EQ481: ESTIMATIVA DA POTÊNCIA DE UM FORNO DE MICRO-ONDAS**

A disciplina EQ481 – Introdução à Engenharia Química é oferecida para alunos de graduação do curso de Engenharia Química no segundo semestre (curso integral) e terceiro semestre (curso noturno). Também é oferecida como disciplina de serviço para alunos do sétimo semestre do curso de Química Tecnológica. Nessa disciplina são abordados balanços de massa e energia, aplicados a equipamentos e processos industriais. A Primeira Lei da Termodinâmica, que trata da conservação da energia é o conceito fundamental utilizado nos balanços de energia. O experimento da estimativa da potência de um forno de micro-ondas é utilizado como uma forma de aplicar a Primeira Lei da Termodinâmica, porém com um objetivo ainda maior que é estimular a visão crítica dos alunos, levando-os a discutirem sobre prováveis causas para as diferenças observadas entre valores teóricos e experimentais obtidos. Essa atividade prática em sala de aula permite então não somente a consolidação de um conceito fundamental, mas principalmente uma oportunidade para discussão e desenvolvimento de uma capacidade analítica pelos alunos.

### **2.1 – Descrição do experimento**

O objetivo desse experimento é determinar a potência de um forno de micro-ondas doméstico, comparar com o valor fornecido pelo fabricante do equipamento, tomado como sendo o valor teórico e então discutir as prováveis causas da diferença observada entre o valor teórico e experimental. Os alunos são então divididos em duplas. Para tornar a atividade uma competição saudável e mais interes-

sante, assegurando que todos estarão envolvidos e concentrados, são oferecidos pontos extra na prova. Assim todos se esforçam mais e quem não obtiver esses pontos não sofre nenhum tipo de prejuízo na nota. Normalmente adota-se uma premiação para as 6 duplas que apresentarem o maior número de causas prováveis para a diferença observada, sendo 1,0 ponto extra para os alunos das três primeiras duplas e 0,5 ponto extra para outras três duplas. Aos alunos é dito que devem explorar todas as causas prováveis e que toda e qualquer explicação possível será considerada. Essa é uma forma de indicar a eles que devem ser também criativos e buscarem explicações nem sempre óbvias, mas possíveis!

O experimento começa com a escolha de um voluntário para realizá-lo. Na mesa da sala são disponibilizados os seguintes materiais: um micro-ondas doméstico comum; um bquer; um termômetro de mercúrio; um recipiente transparente contendo um líquido incolor que é dito ser água de torneira. A partir do momento que o experimento começa, é chamada a atenção dos alunos para observarem atentamente tudo que o voluntário irá realizar, pois qualquer observação poderá ser importante no momento de apontar os prováveis desvios.

Antes do experimento se iniciar é dada a tarefa para a turma: determinar a potência do forno de micro-ondas, utilizando os materiais apresentados. Como fazê-lo? Nesse momento, talvez até sem perceber, eles já estarão aplicando a Primeira Lei da Termodinâmica. Toda a turma determina fácil e rapidamente o procedimento a ser feito: colocar um volume conhecido do líquido no bquer, medir a temperatura inicial com o termômetro, colocar o bquer com o líquido no micro-ondas, acioná-lo por um tempo determinado, retirar o bquer e medir a temperatura da água. O cálculo da potência pode ser feito da seguinte forma: o volume ( $V$ ) do líquido é transformado em massa ( $m$ ), utilizando-se o valor de sua massa específica ( $\rho$ ), conforme a Equação (1):

$$m = \rho \cdot V \quad (1)$$

Em seguida, utilizando-se essa massa ( $m$ ), o valor do calor específico do líquido ( $CP$ ), no caso água e a temperatura inicial ( $T_i$ ) e final ( $T_f$ ) do mesmo, obtém a quantidade de calor transferida ( $Q$ ) para o fluido por meio da Equação (2), que é uma forma da Primeira Lei da Termodinâmica, quando algumas hipóteses simplificadoras são válidas:

$$Q = m \cdot C_p \cdot (T_f - T_i) \quad (2)$$

A potência do forno ( $P$ ) é obtida dividindo-se o calor transferido pelo tempo ( $t$ ) em que o forno ficou acionado, o qual é medido utilizando-se o próprio relógio do micro-ondas, conforme a Equação (3).

$$P = \frac{Q}{t} \quad (3)$$

O primeiro passo é definir os valores das propriedades físicas (massa específica e calor específico) que serão utilizadas nos cálculos. Por uma questão de praticidade, os alunos utilizam os valores típicos

adotados para a água:  $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$  e  $CP = 1 \text{ cal/(g.}^\circ\text{C)}$ . Importante lembrar que essas propriedades variam com a temperatura, mas isso não é ressaltado na sala de aula, pois é exatamente o que se espera que os alunos lembrem de considerar.

O aluno voluntário escolheu colocar 400 mL de água, que por meio da Equação (1) e o valor de  $r$  obtém-se um valor de 400 g para a massa. Em seguida ele colocou o termômetro de mercúrio na água e anotou a temperatura inicial ( $T_i$ ) de  $25^\circ\text{C}$ . Colocou então o bquer no micro-ondas e ajustou o relógio para que o equipamento funcionasse por 2 minutos. Retirou então o bquer com a água aquecida e leu a temperatura final ( $T_f$ ) de  $75^\circ\text{C}$ . Com base nesses dados faz-se o cálculo da potência do forno, usando as Equações (2) e (3).

$$Q = 400 \text{ g} \times 1 \text{ cal/(g.}^\circ\text{C)} \times (75 - 25)^\circ\text{C} = 20.000 \text{ cal ou } 83680 \text{ J}$$

$$P = 83680 \text{ J} / 2 \text{ min} = 83680 \text{ J} / 120 \text{ s} = 697,3 \text{ J/s} \approx 697 \text{ W}$$

A potência obtida experimentalmente é então de 697 W. Na etiqueta do fabricante do micro-ondas a potência informada, tomada como sendo o valor teórico é de 800 W. Então aos alunos é solicitado que discutam as possíveis causas para essa diferença observada entre a potência nominal (fabricante) e a potência útil (experimental), elaborando uma lista com itens que explicariam o que foi observado. É fixado um tempo para que eles entreguem essa lista (geralmente em torno de 20 a 25 min). As listas são recolhidas ao final do tempo definido, corrigidas posteriormente e os resultados são discutidos na aula seguinte e os ganhadores dos pontos extras são anunciados.

## 2.2 – Discussão dos resultados

Os resultados obtidos com essa atividade são muito interessantes. Há duplas que realmente se envolvem de tal maneira que surpreendem pela capacidade analítica e pela criatividade. Há duplas que não se aprofundam tanto na discussão, ficam apenas nas causas mais óbvias; mas não há registro de duplas que não tenham se envolvido e participado ativamente. Todos participam da atividade e é impressionante como são realmente competitivos quando se trata de uma questão que lhes desperta o interesse.

Existem algumas causas que são apontadas por todas as duplas formadas,

por serem as mais fáceis. À medida que as causas mais óbvias começam a se esgotar, os alunos fazem maior uso da criatividade e também da teoria, imaginando explicações que talvez não se apliquem, mas que são prováveis e, portanto, corretas.

Em geral, as causas apontadas pelos alunos podem ser agrupadas da seguinte forma:

1. dissipações da potência;
2. perdas por transferência de calor;
3. erros experimentais;
4. erros nas hipóteses adotadas;
5. erros diversos.

Para cada um desses grupos, aparecem diversas razões, sendo algumas listadas na Tabela 1. No grupo dos erros diversos são incluídos todos que não se encaixam nos anteriores, em especial os que apelam mais para a criatividade. Normalmente as duplas vencedoras do desafio e que recebem o ponto extra costumam apontar em torno de 25 causas prováveis para a diferença observada, sendo 32 causas o recorde registrado até o momento. A correção das listas entregues é feita com muita atenção, não só para eliminar causas consideradas improváveis, mas também para evitar a duplicidade de causas, fato que ocorre com grande frequência.

### **3 – EXPERIMENTO DE EQ582: RESFRIAMENTO EM REGIME TRANSIENTE**

O assunto de transferência de calor é tradicionalmente apresentado na disciplina de Fenômenos de Transporte II (EQ641), por meio de uma abordagem teórica. Em um semestre posterior, os alunos retornam a este assunto realizando um experimento prático na disciplina de Laboratório de Engenharia Química II (EQ701), que envolve a transferência de calor em regime transiente.

Com o oferecimento da disciplina EQ582 – Fenômenos de Transporte e Operações Unitárias, como disciplina de serviço, houve a necessidade de repensar a apresentação deste assunto, uma vez que o público desta disciplina (alunos do curso de Química Tecnológica) não tem a oportunidade de fazer o experimento. Em adição, o pouco tempo previsto para lecionar transferência de calor em regime transiente e de convecção natural exigiu uma mudança bastante significativa na forma didática de abordar estes assuntos, culminando com a proposta e implementação de uma aula teórica-experimental cobrindo os três aspectos: convecção natural, regime transiente, e demonstração do fenômeno na prática. Assim, é possível cobrir estes assuntos em uma única aula, com uma abordagem que é atrativa para alunos com diferentes características de aprendizagem.

**Tabela 1 – Causas apontadas pelos alunos para a diferença entre os valores da potência útil (experimental) e nominal (teórica) por classificação dos grupos.**

| GRUPO                             | Descrição das causas associadas ao grupo                                                                           | Causas apontadas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dissipações da potência           | Considera dissipações que ocorrem no equipamento em si e no sistema experimental (béquero + água + termômetro)     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• consumo de potência pela lâmpada do forno;</li> <li>• consumo de potência para girar o prato do forno;</li> <li>• perdas no circuito elétrico do forno devido ao efeito Joule;</li> <li>• vazamento de micro-ondas pela porta e pelas paredes do forno;</li> <li>• aquecimento do ar contido no interior do forno.</li> </ul>                                                                                                                                                                                       |
| Perdas por transferência de calor | Considera as perdas observadas por transferência de calor do sistema para a vizinhança                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• aquecimento do béquer pela água quente;</li> <li>• aquecimento da bandeja do forno pelo béquer aquecido;</li> <li>• aquecimento das paredes do forno;</li> <li>• perdas de calor do béquer para o ar atmosférico entre o momento da retirada do béquer do forno e a leitura da temperatura final;</li> <li>• perdas de calor do béquer para as mãos do operador, que não usou luvas isolantes.</li> </ul>                                                                                                           |
| Erros experimentais               | Considera as causas associadas aos erros instrumentais e do aluno voluntário (operador) na execução do experimento | <ul style="list-style-type: none"> <li>• béquer não é uma vidraria muito precisa para medir volumes;</li> <li>• erro de leitura do volume por parte do operador;</li> <li>• termômetro pode estar descalibrado;</li> <li>• erro de paralaxe por parte do operador na leitura do termômetro;</li> <li>• relógio do forno não é confiável, pode estar com erro;</li> <li>• ocorreu oscilação da corrente e da voltagem da rede durante o experimento.</li> </ul>                                                                                               |
| Erros nas hipóteses adotadas      | Considera as causas associadas aos erros das simplificações adotadas na modelagem do problema                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• massa específica da água não é exatamente <math>1 \text{ g/cm}^3</math>;</li> <li>• calor específico da água não é exatamente <math>1 \text{ cal/(g}\cdot\text{°C)}</math>;</li> <li>• calor específico da água não é constante (hipótese necessária para se utilizar a Equação 2);</li> <li>• água não é pura.</li> </ul>                                                                                                                                                                                          |
| Erros diversos                    | Considera todas as demais causas não contempladas nos grupos anteriores                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• o fluido poderia não ser água;</li> <li>• o operador não falou a verdade ao revelar para a turma os valores experimentais obtidos;</li> <li>• o forno é antigo e já não consegue fornecer a potência nominal indicada;</li> <li>• o fabricante do forno não fez medições corretas da potência nominal;</li> <li>• as condições utilizadas pelo fabricante ao determinar a potência são diferentes das condições da sala de aula;</li> <li>• o fabricante é desonesto e não foi fiscalizado pelo Inmetro.</li> </ul> |

### 3.1 – Abordagem do experimento em sala de aula

O experimento é abordado na sala de aula de acordo com as etapas descritas a seguir.

#### 1. Apresentação do problema

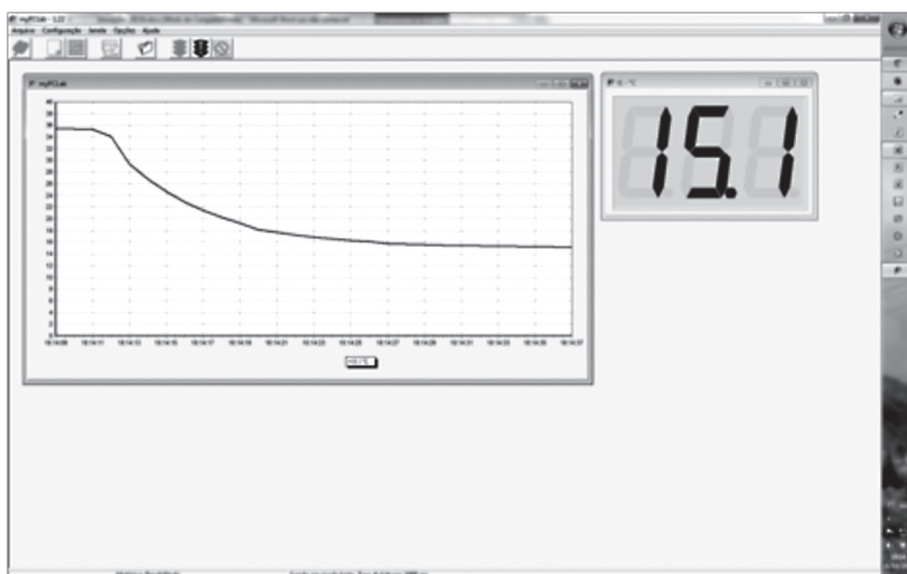
No início da aula é apresentado um problema prático: o resfriamento de uma latinha de bebida. Os alunos são incentivados a propor diferentes formas de promover o resfriamento da bebida, e pensarem nas vantagens e desvantagens de cada método. Propostas típicas incluem a colocação da latinha em um freezer ou em um banho de água com gelo. Neste ponto é feita uma ligação com conceitos já abordados em sala de aula, como a força motriz existente para a transferência de calor em cada sistema (a diferença de temperatura entre a lata e o meio que a envolve é maior no freezer que no banho de gelo), a característica do meio de transferência de calor (ar no caso do freezer, água no caso do banho de gelo),

a transferência de calor no interior do sistema, assim como os mecanismos de transferência de calor envolvidos (convecção natural e condução).

#### 2. Realização do experimento

Em seguida, é utilizada uma montagem experimental para acompanhar a variação da temperatura do líquido no interior de uma latinha ao longo do tempo, quando mergulhada em um banho de água e gelo.

Uma lata de refrigerante comercial foi adaptada para o posicionamento da haste do termômetro no centro, e preenchida com água. Para a leitura da temperatura é utilizado um sensor de temperatura *MyPCProbe*, da NOVUS Produtos Eletrônicos, que é conectado à porta USB do microcomputador, e permite a visualização da temperatura, na tela do computador, de duas formas distintas: valor instantâneo da temperatura, e variação ao longo do tempo por meio de um gráfico (Figura 1).



Esta tela é projetada no quadro branco, permitindo que os alunos acompanhem a variação da temperatura em tempo real (Figura 2). Simultaneamente, os dados coletados são armazenados em um arquivo, com valores de temperatura para cada instante de amostragem.

Figura 1 – Tela do computador mostrando a temperatura instantânea e a variação da temperatura, no interior da lata

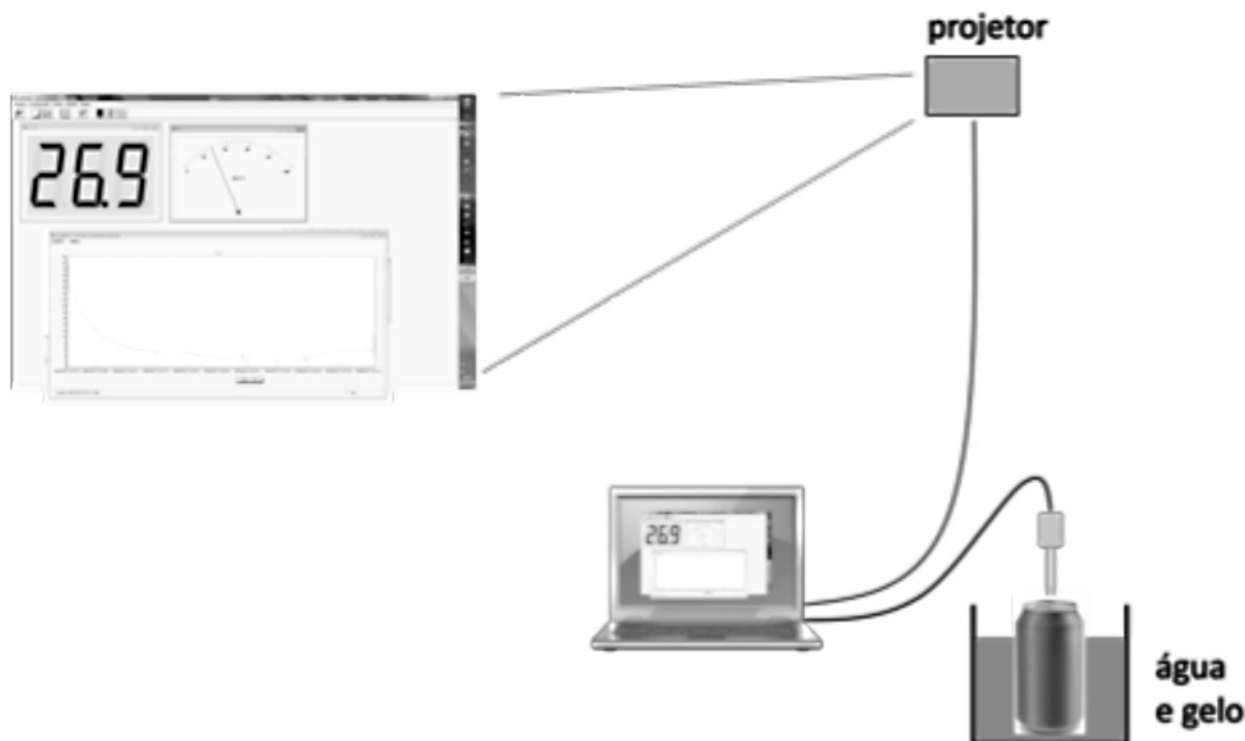


Figura 2 – Configuração do experimento na sala de aula.

Durante a execução do experimento é desenvolvido o modelo matemático para a transferência de calor em regime transiente, o qual basicamente descreve o comportamento da temperatura no interior do sistema em função do tempo. São utilizados os conceitos de balanço de energia em regime transiente (variação do conteúdo energético do líquido no interior da lata em função da temperatura do mesmo) e da transferência de calor em regime transiente (função da diferença de temperatura entre a lata e o meio). Também é discutido o impacto de cada uma das resistências existentes sobre a transferência de calor, especialmente a formação de uma circulação de água no interior da lata (convecção natural) decorrente do resfriamento do líquido perto da superfície interna da lata e os possíveis perfis de temperatura no interior do sistema.

### 3. Tratamento e análise dos resultados

Uma vez atingido o estado estacionário (temperatura do líquido constante), o experimento é interrompido e inicia-se a fase de análise dos dados e a estimativa do coeficiente de transferência de calor por convecção natural. Para tanto são utilizados os dados armazenados no arquivo, que, tratados em uma planilha eletrônica utilizando o modelo desenvolvido durante a aula, permitem estimar o valor do coeficiente global de transferência de calor  $U$  entre o líquido no centro do interior da lata e o meio que envolve a lata (banho de gelo), a partir das temperaturas do líquido na lata ( $T_{inicial}$  e  $T_{final}$ ) para um dado período de tempo  $t$ . São utilizados também os seguintes dados do sistema (lata com água):  $m$  – massa de água contida na lata,  $A$  – área superficial

da lata e  $C_p$  – calor específico do líquido no interior da lata. O modelo utilizado é baseado na consideração da resistência interna desprezível e apesar de não ser rigorosamente apropriado para este sistema, permite uma análise adequada para a compreensão do fenômeno envolvido. O valor de  $U$  é calculado por meio da Equação (4) a seguir.

$$\ln \left[ \frac{T_{\text{inicial}} - T_{\text{banho}}}{T_{\text{final}} - T_{\text{banho}}} \right] = \frac{U \cdot A \cdot t}{C_p \cdot m} \quad (4)$$

Uma configuração mais adequada seria o resfriamento da lata em ar frio, mas isso demandaria muito mais tempo para a execução completa do experimento. O valor calculado de  $U$  é então comparado com os valores obtidos para outros arranjos de resfriamento de latinhas (freezer a  $-21^\circ\text{C}$ , água corrente a  $15^\circ\text{C}$ ), encontrados na literatura[11]. Em seguida é incentivada a discussão sobre a validade do modelo para o presente experimento, em função das considerações feitas e as modificações necessárias para remover as limitações do mesmo.

No caso de disponibilidade de mais de uma aula para o assunto de transferência de calor em regime transiente o docente poderá discutir a aplicação do modelo completo para descrever o experimento, e comparar os resultados obtidos experimentalmente com valores determinados por correlações típicas de transferência de calor por convecção natural.

#### 4 – CONCLUSÕES

O ponto que mais chama a atenção nesse tipo de atividade é a concentração e o interesse dos alunos. Normalmente em aulas apenas teóricas, após pouco tempo de explanação, observa-se o aumento do desinteresse dos alunos pela exposição da matéria, os quais começam a desviar sua atenção para outros interesses, frequentemente de cunho pessoal. Uma saída para tornar aulas teóri-

cas menos maçantes é fazer interrupções esporádicas e resolver um exercício no quadro ou solicitar que os alunos tentem resolver algum exercício sozinhos. Essa atitude quebra um pouco o cansaço de aulas expositivas, mas nem sempre os alunos se concentram totalmente na resolução dos exercícios. Muitas vezes começam a se dispersar em conversas ou não raro, aproveitam para resolver tarefas de outras matérias.

A oferta de um experimento em sala de aula, no qual os alunos podem aplicar seus conhecimentos teóricos aliados a uma competição saudável por pontos extras na prova criam um ambiente de alto nível de concentração e envolvimento e os resultados obtidos surpreendem a cada semestre pelo grau de aprofundamento das discussões que algumas duplas de alunos conseguem alcançar. Essa oportunidade de desenvolver a análise crítica e a criatividade é de suma importância para a formação do engenheiro, contribuindo para sua capacidade analítica na abordagem de problemas reais e pode ser feita por meio de um experimento simples e barato, mas também de grande potencial pedagógico.

O retorno obtido dos alunos, com base nesses experimentos realizados em sala de aula tem sido muito positivo. A primeira pergunta que sempre surge é “por que não existem mais experimentos como esse em outras disciplinas?”. Os alunos vivem hoje num mundo globalizado e muito interativo. Atividades como essa vão ao encontro de suas necessidades e despertam seu interesse pelo fato de serem capazes de visualizar um fenômeno, uma aplicação prática, equipamentos, etc. Isso aumenta seu envolvimento pois se convencem da aplicação prática da teoria vista na aula e passam a perceber a importância daquele conhecimento na sua formação.

As conclusões dessas atividades realizadas em sala de aula também são muito semelhantes às observadas por Gibbons[1]

em 1971. Experimentos possuem uma natureza intrinsecamente ligada à ocorrência de imprevistos, portanto é necessário pensar em experimentos interessantes, mas que devem ser de fácil execução e seguros. Porém quando imprevistos ocorrem, eles podem servir até para enriquecer as discussões no sentido de buscar explicações para comportamentos e dados inesperados. No quesito segurança, existe uma preocupação em utilizar principalmente a água como material, bem como condições experimentais de temperatura e pressão mais próximas das do ambiente.

Uma vez adotada essa sistemática é difícil interromper esse processo de ensino. Os alunos tornam-se cada vez mais ávidos por experimentos em sala de aula e esperam isso também de outras disciplinas, o que por um lado é frustrante, uma vez que ainda são poucas as disciplinas do curso que adotam essa prática. Isso demanda uma política de ensino com o envolvimento da maior parte do corpo docente, porém não se pode negar a carga de trabalho envolvida na elaboração e execução de experimentos em sala de aula. Além disso se for uma prática muito frequente numa mesma disciplina, é possível que haja comprometimento do cumprimento de todo o programa. Para implementar tais mudanças é preciso pensar com cuidado na grade curricular e também convencer o corpo docente a se envolver com esse tipo de prática.

Infelizmente, assim como Gibbons[1] ainda não foi realizado um trabalho quantitativo junto aos alunos, no sentido de levantar seu grau de satisfação com relação a esse tipo de atividade, de forma que pudesse ser utilizado como um argumento para convencer os demais colegas a adotarem prática semelhante. Contudo a percepção da eficácia dessa metodologia, em termos de envolvimento dos alunos e melhora na qualidade do ensino é bastante significativa e tem trazido benefícios a todos.

## 5 – Referências

- [1] Gibbons, J. F.; "Classroom Experiments for the teaching of physical insight in electrical engineering", *Proceedings of the IEE*, v. 59, n. 6, pp. 895-899, 1971. doi: 10.1109/PROC.1971.8283.
- [2] Lynch-Caris, T.; Ludwigsen, D.; "Integrating student experience into the classroom", 2009 *ASEE Annual Conference and Exposition – Conference Proceedings*, Austin, Texas, EUA, 2009. Acessado em 17/02/2014: [http://search.asee.org/search/fetch?url=file%3A%2F%2Flocalhost%2F%3A%2Fsearch%2Fconference%2F19%2FAC%25202009Full460.pdf&index=conference\\_papers&space=129746797203605791716676178&type=application%2Fpdf&charset=](http://search.asee.org/search/fetch?url=file%3A%2F%2Flocalhost%2F%3A%2Fsearch%2Fconference%2F19%2FAC%25202009Full460.pdf&index=conference_papers&space=129746797203605791716676178&type=application%2Fpdf&charset=)
- [3] Sigle, J.; Critcher, A.; Agarwal, K.; "Experience with a fully collaborative classroom", *Proceedings of the Information Systems Education Conference – ISECON 2007*, v. 24, Pittsburgh, EUA, 2007. ISSN: 21671435. Acessado em 17/02/2014: <http://proc.isecon.org/2007/4122/ISECON.2007.Sigle.pdf>
- [4] Durham, S.; Hale, M.; Freyne, S.; "Classroom teaching aids and laboratory experimentation to engage students in materials learning"; 2008 *ASEE Annual Conference and Exposition – Conference Proceedings*, Pittsburgh, EUA, 2008. Acessado em 17/02/2014: [http://search.asee.org/search/fetch?url=file%3A%2F%2Flocalhost%2F%3A%2Fsearch%2Fconference%2F17%2FAC%25202008Full2564.pdf&index=conference\\_papers&space=129746797203605791716676178&type=application%2Fpdf&charset=](http://search.asee.org/search/fetch?url=file%3A%2F%2Flocalhost%2F%3A%2Fsearch%2Fconference%2F17%2FAC%25202008Full2564.pdf&index=conference_papers&space=129746797203605791716676178&type=application%2Fpdf&charset=)
- [5] Moor, S. S.; Piergiovanni, P.; "Experiments in the classroom: Examples of inductive learning with classroom-friendly laboratory kits"; 2003 *ASEE Annual Conference Proceedings*, pp. 7323-7332, Nashville, EUA, 2003. Acessado em 17/02/2014: <http://www.engr.uky.edu/~aseeched/papers/2003/1322.pdf>
- [6] Minerick, A.; "Desktop experiment module: heat transfer"; 2009 *ASEE Annual Conference and Exposition – Conference Proceedings*, Austin, Texas, EUA, 2009. Acessado em 17/02/2014: [http://www.engr.uky.edu/~aseeched/papers/2009/1609\\_A\\_DESKTOP\\_EXPERIMENT\\_MODULE\\_HEAT\\_TRANSF.pdf](http://www.engr.uky.edu/~aseeched/papers/2009/1609_A_DESKTOP_EXPERIMENT_MODULE_HEAT_TRANSF.pdf)
- [7] Olinger, D. J.; Hermanson, J. C.; "Integrated thermal-fluid experiments in WPI's discovery classroom", *Journal of Engineering Education*, v. 91, n. 2, pp. 239-243, 2002. ISSN: 10694730. doi: 10.1002/j.2168-9830.2002.tb00697.x
- [8] Del Carmen Ramirez, D.; Macias, M. E.; "Solving material balance problems at unsteady state using a remote laboratory in the classroom"; 2013 *ASEE Annual Conference and Exposition – Conference Proceedings*, Atlanta, EUA, 2013. Acessado em 17/02/2014: <http://www.engr.uky.edu/~aseeched/papers/2013/8178.pdf>
- [9] Felder, R. M.; Silverman, L. K.; "Learning and teaching styles in engineering education"; *Engr. Education*, v. 78, n. 7, pp. 674-681, 1988. Acessado em 17/02/2014: <http://www4.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/Papers/LS-1988.pdf>
- [10] Felder, R. M.; Spurlin, J.; "Applications, reliability and validity of the index of learning styles"; *Int. J. Engng. Ed.*, v. 21, n. 1, pp. 103-112, 2005. Acessado em 17/02/2014: [http://www4.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/ILSdir/ILS\\_Validation\(IJEE\).pdf](http://www4.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/ILSdir/ILS_Validation(IJEE).pdf)
- [11] Horwitz, B. A.; "How to cool your beer more quickly", *Chemical Engineering*, Aug 10, 1981.