

# METODOLOGIA PARA ENSINO DOS PRINCÍPIOS DE BALANÇO MATERIAL UTILIZANDO ROTINAS EXPERIMENTAIS E SIMULAÇÃO MATEMÁTICA

*Hyasmim Martins da Cruz Afonso<sup>1</sup>  
Esly Ferreira da Costa Jr.<sup>2</sup>  
Andréa Oliveira Souza da Costa<sup>3</sup>*

**Resumo:** No presente trabalho é proposta a utilização de rotinas experimentais, aliadas com a teoria e o emprego de simulação matemática, no ensino de conceitos inerentes à base da Engenharia Química (especialmente balanço material). Tal proposta objetiva aprimorar a qualificação das discentes do curso, bem como fomentar uma escolha mais consciente dos futuros ingressantes.

**Palavras Chaves:** Ensino, Rotinas experimentais, Balanço material, Modelo matemático.

**Abstract:** In this paper it is proposed the use of experimental routines, combined with the theory and mathematical simulation for teaching principles of Chemical Engineering (especially material balance). This proposal aims to improve the qualification of the Chemical Engineering students and to encourage conscious choices for the future freshmen.

**Keywords:** Teaching, Experimental Routines, Material balance, Mathematical model.

---

<sup>1</sup> Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: hyasmim.cruz@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: eslyfcjr@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: andreaosc@yahoo.com.br

## 1. INTRODUÇÃO

Uma das dificuldades que as instituições de ensino superior enfrentam nos dias atuais é a evasão de graduandos que, além de refletir um perfil de incerteza dos estudantes, causa despesas ao governo (Machado *et al*, 2005). A evasão de estudantes no curso de graduação em Química é significativa desde o final da década de noventa e o mesmo ocorre na Engenharia Química (Machado *et al*, 2005 e Cunha *et al*, 2001 e Braga *et al*, 1997 e Mazzetto *et al*, 2002). Estudos sobre tal problema estão sendo feitos, porém poucas iniciativas eficientes foram implantadas. A partir desses estudos, observou-se que os motivos das desistências do curso são explicados, em alguns casos, por repetitivas reprovações, conseqüentes de uma base educacional não estruturada, e pela falta de conhecimento da área de atuação do profissional (Cunha *et al*, 2001 e Braga *et al*, 1997 e Mazzetto *et al*, 2002).

O índice de reprovação dos ingressantes no curso de Engenharia Química pode ser significativo, principalmente considerando as matérias básicas da área de matemática. Tal resultado, além de refletir uma possível deficiência oriunda do ensino médio, pode estar vinculado à dificuldade que o ingressante possui em correlacionar conceitos matemáticos aos sistemas reais.

A união entre a parte teórica e a prática é eficaz na formação de um profissional qualificado e preparado para o mercado de trabalho (Perkins, 2002). Além das rotinas experimentais, a utilização de ferramentas computacionais, em especial na simulação de sistemas reais, engrandece o aprendizado fazendo com que os discentes concretizem os conhecimentos obtidos (Leite *et al*, 2014). Tal conceito se estende ao nível médio, uma vez que este recurso didático propõe aos alunos um maior entendimento da parte teórica, motivando-os a se interessar mais sobre o assunto (Lôbo, 2012 e Souza *et al*, 2012).

Além disso, um maior conhecimento da estrutura do curso origina uma escolha mais estruturada do estudante, diminuindo, assim, a possibilidade de desistência (Machado *et al*, 2005).

O ensino dos conceitos inerentes à base da Engenharia Química apresenta seu maior desafio em explicar aos discentes as suas aplicações reais, seja nas indústrias ou no cotidiano do discente (Prausnitz, 2001). Ressalta-se ainda que as carreiras da área tecnológica nem sempre são atrativas para as estudantes do sexo feminino. Além disso, o número de ingressantes nos cursos de Engenharia Química, que são oriundos de escolas públicas, ainda é muito reduzido quando comparado ao número de ingressantes oriundos de escolas particulares. E que os índices de retenção podem ser explicados, muitas vezes, pelas reprovações nas disciplinas da área de matemática.

Dentro deste contexto, os objetivos desde trabalho são: (i) Propor uma metodologia experimental simples, barata e com boa reprodutibilidade; a ser empregada no ensino de conceitos fundamentais da Engenharia Química (especialmente balanço de material). (ii) Aplicar a modelagem matemática para explicar os resultados experimentais obtidos; (iii) Motivar o ingresso de estudantes do sexo feminino, oriundos de escolas públicas, no curso de Engenharia Química. Desta forma, será possível aliar a teoria, a prática e princípios matemáticos no ensino de conceitos inerentes à base da Engenharia Química. Espera-se, ainda que a metodologia proposta possa ser empregada no aumento da motivação dos discentes e na diminuição da retenção e da evasão, principalmente nos primeiros períodos do referido curso.

## 2. DESENVOLVIMENTO

Inicialmente foi realizada uma seleção para a escolha das alunas que participariam do estudo. Foi escolhida uma discente do segundo período do curso de Engenharia Química da UFES

(campus de Alegre, ES) e duas alunas do ensino médio da Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio (EEEFM) Aristeu Aguiar (Alegre, ES). A escolha das alunas do ensino médio contou com o suporte de um professor do ensino médio.

Todas as etapas do estudo foram desenvolvidas em laboratório de pesquisas da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), campus de Alegre, e contou com a efetiva participação da discente de graduação. Foram propostos encontros semanais e primeiramente foram apresentados, às alunas do ensino médio, os fundamentos teóricos que norteiam o princípio da conservação de massas (Himmelblau e Riggs, 2006 e Felder e Rousseau, 2005 e Shreve e Brink, 2006 e Perry e Green, 2007). Ressalta-se que tais conceitos se mostram presentes na grande maioria dos processos reais industriais (Felder e Rousseau, 2005 e Shreve e Brink, 2006 e Perry e Green, 2007).

Terminada a parte teórica, iniciou-se a parte experimental do projeto. As montagens experimentais propostas são apresentadas nas Figuras 1 e 2. A calibração dos instrumentos utilizados e a obtenção dos dados experimentais foram realizadas com a participação das alunas do nível médio e da discente de graduação. As rotinas experimentais objetivaram exemplificar sistemas transientes, empregando diferentes combinações das eficiências de bombas dosadoras.

Neste trabalho, especial ênfase será dada à parte experimental da metodologia proposta. Além disso, será detalhado o modelo matemático proposto para o processo, bem como a comparação dos resultados experimentais e simulados.



**Figura 1.** Montagem Experimental 1



**Figura 2.** Montagem Experimental 2

### 3. ROTINAS EXPERIMENTAIS

Durante a realização das práticas experimentais, as estudantes do ensino médio, participaram da rotina de um laboratório de pesquisa instalado em uma universidade. Além disso, foi possível vivenciar e aplicar os seguintes conceitos: medição de volume e de vazão; calibração de equipamentos; valorização de obtenção de réplicas (reprodutibilidade) e exploração do conceito de fluido incompressível. Ressalta-se que tradicionalmente tais conceitos são usualmente apresentados apenas aos ingressantes dos cursos de graduação em Engenharia Química. Além disso, os mesmos são raramente exemplificados em rotinas experimentais.

Nas montagens experimentais foram empregadas três bombas dosadoras (Marca: Hanna instruments). As bombas possuíam diferentes graduações de eficiência. De acordo com o fabricante, a bomba 1 possuía vazão máxima de 10,8 L/h e as bombas 2 e 3 de 15,2 L/h.

A calibração das bombas prosseguiu de acordo com as seguintes etapas: (i) A bomba a ser calibrada foi preenchida com água; (ii) Com auxílio de uma proveta de 250 mL e um cronômetro, acionou-se a bomba, juntamente com o cronômetro, na eficiência de 10 %; (iii) Os tempos foram anotados quando os volumes de 150 mL e 200 mL de água foram alcançados; (iv) Repetiu-se o procedimento para as demais eficiências. Tal procedimento foi realizado com as três bombas dosadoras, três vezes em cada uma delas. Em seguida, realizou-se o tratamento dos dados da calibração que serão detalhados no item Resultados e Discussões.

Duas rotinas experimentais foram realizadas.

### 3.1. ROTINA 1

A rotina 1 foi conduzida empregando-se duas bombas dosadoras: bomba 2 e 3, e uma proveta de 2000 mL (Figura 1). O procedimento utilizado seguiu as seguintes etapas: (i) Inicialmente as bombas volumétricas foram ligadas até que as mesmas estivessem preenchidas com água; (ii) A proveta foi preenchida com água até o volume inicial ( $V_0$ ) de 200 mL e mediu-se a temperatura do sistema com o auxílio de um termômetro digital acoplado a um tensor PT100; (iii) Juntamente com o cronômetro, a bomba 2 foi acionada trabalhando na eficiência de 90 %; (iv) Os intervalos de tempo foram obtidos em variações de 40 mL durante todo o processo; (v) A bomba 3 foi acionada quando o volume de 360 mL foi alcançado, trabalhando na eficiência de 30 %; (vi) As eficiências das bombas volumétricas foram modificadas em volumes pré-estipulados durante o procedimento; (vii) As mudanças ocorreram nos seguintes volumes: 40 mL, 520 mL, 680 mL, 880 mL, 1080 mL, 1320 mL, 1600 mL e 1760 mL para as respectivas eficiências: bomba 2 para 20 %, bomba 2 para 40 %, bomba 3 para 80 %, bomba 2 para 70 %, bomba 2 para 30 %, bomba 3 para 40 %, bomba 3 para 90 % e bomba 2 para 50 %; (viii) Ao alcançar o volume máximo de 2000 mL

( $V_m$ ) as bombas foram desligadas; (ix) Mediu-se a temperatura final do sistema com auxílio de um termômetro digital acoplado a um tensor PT100.

### 3.2. ROTINA 2

A rotina 2 foi conduzida empregando-se as três bombas citadas anteriormente (bombas 1, 2 e 3) e uma proveta de 2000 mL (Figura 2). O procedimento adotado foi similar ao da rotina 1 e seguiu as seguintes etapas: (i) As bombas dosadoras foram ligadas até que as mesmas estivessem preenchidas com água; (ii) A proveta foi preenchida com água até o volume inicial ( $V_0$ ) de 200 mL e mediu-se a temperatura do sistema com o auxílio de um termômetro digital acoplado a um tensor PT100; (iii) Juntamente com o cronômetro, a bomba 1 foi acionada trabalhando na eficiência de 90 % e as bombas 2 e 3 permaneceram desligadas; (iv) Os intervalos de tempo foram obtidos em variações de 40 mL durante todo o processo; (v) As eficiências das bombas volumétricas foram modificadas em volumes pré-estipulados durante o procedimento; (vi) As mudanças realizadas foram feitas nos seguintes volumes: 360 mL, 480 mL, 600 mL, 800 mL, 880 mL, 1080 mL, 1280 mL, 1360 mL, 1520 mL, 1680 mL e 1920 mL (vii) As respectivas mudanças foram: bomba 2 foi acionada em 40 %, bomba 1 foi modificada para 30 %, bomba 3 foi acionada em 30 %, bomba 1 foi desligada, bomba 2 foi modificada para 90 %, bomba 3 foi modificada para 40 %, bomba 2 foi modificada para 30 %, bomba 1 foi acionada em 40 %, bomba 2 foi desligada, bomba 3 foi modificada para 50 % e bomba 2 foi acionada em 30 %; (viii) Ao alcançar o volume máximo de 2000 mL ( $V_m$ ) as bombas foram desligadas; (ix) Mediu-se a temperatura final do sistema com auxílio de um termômetro digital acoplado a um tensor PT100.

#### 4. MODELAGEM MATEMÁTICA

Durante a realização da modelagem matemática, a discente de graduação aplicou conceitos vistos nas disciplinas básicas de matemática na descrição de processo real. Além disso, foi possível vivenciar e aplicar os conceitos de acúmulo de material e a sua relação com o conceito de derivada (neste caso, derivada ordinária). Foi possível ainda explorar o conceito de condição inicial e a sua relação com a definição de integral definida (ou com a constante de integração). Trabalhando os dados de calibração obtidos para as três bombas, a discente de graduação verificou, na prática, o conceito de desvio padrão e aplicou a técnica de regressão linear a um sistema real. Destaca-se neste ponto que os conceitos inerentes à regressão linear também foram trabalhados com a discente, especialmente o conceito de linearidade e não linearidade, o conceito de erro, e conceito de coeficiente de correlação ( $R^2$ ) e sua importância para a descrição de dados experimentais.

Para a modelagem do sistema considerou-se: (i) Sistema aberto em regime transiente; (ii) A variação de volume ficou entre 200 mL ( $V_0$ ) e 2000 mL ( $V_m$ ); (iii) Fluido de trabalho (água) com densidade constante (As variações de pressão e temperatura não foram significativas durante os ensaios. Assim a variação na densidade da água foi desprezível).

Aplicando-se o balanço de material dinâmico e a condição inicial do sistema foi possível obter uma equação diferencial ordinária que integrada dá origem à Equação 1, onde  $V$  é o volume acumulado (em mililitros),  $f$  é a eficiência da bomba (em porcentagem) e  $t$  é o tempo (em segundos). Como inicialmente explicitado, o volume inicial ( $V_0$ ) adotado em todos os ensaios foi igual a 200 mL. O tempo inicial ( $t_0$ ) foi considerado igual a zero.

$$V = f \cdot (t - t_0) + V_0 \quad (1)$$

Nos testes de calibração foi possível verificar qual é a real vazão para cada

valor de eficiência ( $f$ ) de cada bomba. Empregando tais dados, foram propostas as correlações descritas nas Equações 2, 3 e 4 que descrevem as bombas 1, 2 e 3 respectivamente. Os coeficientes de correlação ( $R^2$ ) obtidos na proposta das relações lineares descritas nas Equações 2, 3 e 4 são 0,9837; 0,9844 e 0,9712; respectivamente. Nas Equações 2 a 4,  $\dot{V}$  é vazão volumétrica fornecida pela bomba em mL/s.

$$\dot{V} = 0,0651 \cdot f + 0,5619 \quad (2)$$

$$\dot{V} = 0,0794 \cdot f - 0,0983 \quad (3)$$

$$\dot{V} = 0,0816 \cdot f - 0,0712 \quad (4)$$

#### 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados experimentais obtidos nas rotinas 1 e 2 foram tratados e analisados pelas discentes envolvidas neste estudo. Além disso, foi possível introduzir o uso de programas computacionais no tratamento de dados experimentais, especialmente indicados para manipulação de dados e confecção de gráficos.

Nas Figuras 3 e 4 são apresentados os resultados experimentais obtidos, considerando a realização de três ensaios para cada rotina. A análise das Figuras 3 e 4 indicam que foi possível alcançar uma boa reprodutibilidade nos testes. Para a Rotina 1, apenas para valores de tempo superiores a 200 s é possível verificar um distanciamento entre os testes (Figura 3). Para a rotina 2, este distanciamento não é significativo para todo o intervalo de tempo analisado.

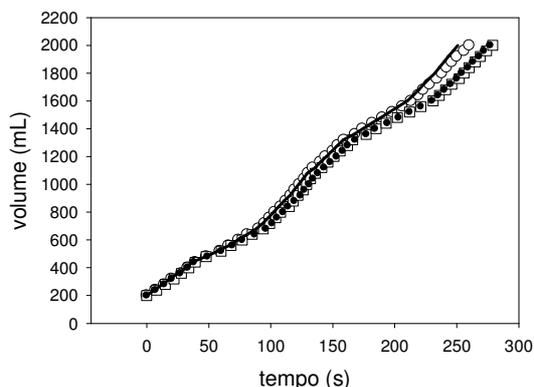
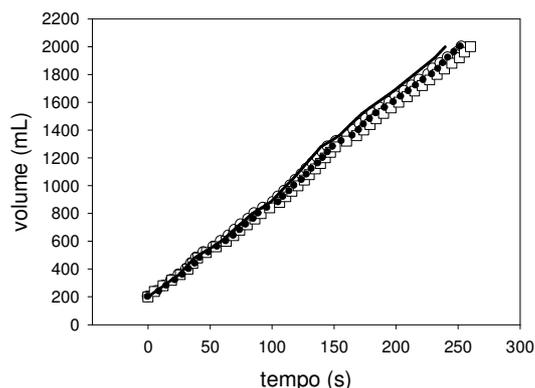


Figura 3. Dados experimentais obtidos

na Rotina 1 (Teste 1:●; Teste 2:○, Teste 3: □) e valores simulados (—)



**Figura 4.** Dados experimentais obtidos na Rotina 2 (Teste 1:●; Teste 2:○, Teste 3: □) e valores simulados (—)

Em um segundo momento, as equações 1 a 4 foram empregadas na simulação matemática do processo. Para simular o procedimento experimental adotado na Rotina 1, tais equações foram empregadas seguindo o mesmo roteiro explicitado para a obtenção dos dados experimentais. O mesmo procedimento foi adotado para simular a Rotina 2. Os resultados obtidos são apresentados nas Figuras 3 e 4 (valores simulados).

A análise dos resultados das simulações, apresentadas nas Figuras 3 e 4, indica que a metodologia proposta é capaz de descrever satisfatoriamente o sistema. Mais além, é possível verificar que os valores simulados tendem a se distanciar dos valores experimentais à medida em que o tempo aumenta. Os autores acreditam que tal comportamento pode ser explicado considerando-se a imprecisão das bombas empregadas na obtenção dos dados.

## 6. CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento deste tipo de trabalho é possível concluir que iniciativas como esta contribuem para aproximar a realidade do aluno de ensino médio com a realidade universitária. Tal proximidade é de grande benefício para todos os envolvidos, uma vez que proporciona o possível ingresso de discentes mais conscientes com a realidade do curso, o que pode diminuir

as taxas de evasão na universidade. Além disso, os conceitos técnicos trabalhados durante o projeto agregam valor à formação das alunas do ensino médio, o que pode fomentar o ingresso de discentes com melhor qualificação na universidade. Sendo assim, espera-se que iniciativas como estas sejam capazes de reduzir o índice de retenção, verificado principalmente nos primeiros períodos do curso.

Outra conclusão deste trabalho consiste em verificar que a utilização de aulas diferenciadas, que aliam os conceitos teóricos (matemáticos e físicos) com rotinas experimentais e ferramentas computacionais, pode ser essencial para fomentar a motivação dos discentes. Ou ainda, tais práticas aprimoram o rendimento dos discentes do curso de Engenharia Química, especialmente nos primeiros períodos do curso, implicando em uma menor evasão.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (Edital MCTI/CNPq/SPM-PR/Petrobras 18/2013 - Processo: 409956/2013-9; Bolsa de produtividade DTI) e à Fapes pelo apoio financeiro (Bolsa Pesquisador Capixaba).

## REFERÊNCIAS

- BRAGA, M. M., MIRANDA-PINTO, C. O. B. & CARDEAL, Z. L. 1997. Perfil socioeconômico dos alunos, repetência e evasão no curso de química da UFMG. *Química Nova*, 20, 438-444.
- CUNHA, A. M., TUNES, E. & SILVA, R. R. 2001. Evasão do curso de química da Universidade de Brasília: a interpretação do aluno evadido. *Química Nova*, 24, 262-280.
- HIMMELBLAU, D. M., RIGGS, J. B. 2006. *Engenharia Química – Princípios e Cálculos*, Rio de Janeiro, LTC.
- FELDER, R. M., ROUSSEAU, R. W. 2005. *Princípios Elementares dos*

*Processos Químicos*, Rio de Janeiro, LTC.

LEITE, J. P., BELTRÃO, M. J. C., CHEBAR, I. E. & RAMIREZ, N. I. B. 2014. Avaliação preliminar do impacto de softwares de simulação no ensino das Engenharias Química e do Petróleo. *Engevista*, 16, 28-40.

LÔBO, S. F. 2012. O trabalho experimental do ensino da química. *Química Nova*, 35, 430-434.

MACHADO, S. P., MELO FILHO, J. M. & PINTO, A. C., 2005. A evasão nos cursos de graduação de química. Uma experiência de sucesso feita no Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro para diminuir a evasão. *Química Nova*, 28, S41-S43.

MAZZETTO, S. E., BRAVO, C. C. & CARNEIRO, S. 2002. Licenciatura em química da UFC: perfil socioeconômico, evasão e desempenho dos alunos. *Química Nova*, 25, 1204-1210.

PERKINS, J. 2002. Education in process systems engineering past, present and future. *Computers and Chemical Engineering*, 26, 283-293.

PERRY, R. H., GREEN, D. W. 2007. *Perry's Chemical Engineer's Handbook*, McGraw-Hill.

PRAUSNITZ, J. M. 2001. Chemical engineering and the postmodern world. *Chemical Engineering Science*, 56, 3627-3639.

SHREVE, R. N., BRINK, J. A. 2006. *Indústrias de Processos Químicos*, Rio de Janeiro, Guanabara Dois.

SOUSA, R. S., ROCHA, P. P. & GARCIA, I. T. S. 2012. Estudo de caso em aulas de química: percepção dos estudantes de nível médio sobre o desenvolvimento de suas habilidades. *Química Nova na Escola*, 34, 220-228.