

O OSCILADOR DE VAN DER POL: ANÁLISE, SIMULAÇÃO E APLICAÇÕES

Gilson da Mota Machado Júnior

Aluno do curso de Engenharia Industrial Elétrica do CEFET - BA

Dr. Elias Ramos de Souza

Professor do CEFET - BA e Líder
do grupo de Pesquisa em Bioquímica Teórica e Computacional

RESUMO

Neste trabalho, estudamos do oscilador não-linear de van der Pol não-forçado, o qual é descrito por um sistema de equações diferenciais ordinárias de segunda ordem. A análise de estabilidade linear em torno de pontos fixos permite a caracterização da resposta do sistema a perturbações de pequena amplitude. Para o estudo da influência das não-linearidades no comportamento do sistema, desenvolvemos aplicativos em Matlab, nos quais são utilizados diferentes esquemas numéricos. Finalmente, discutimos a aplicação do oscilador em circuitos elétricos e em sistemas biológicos.

PALAVRAS-CHAVE

Osciladores Não-Lineares. Modelagem Computacional. Circuitos Elétricos. Sistemas Biológicos.

1-INTRODUÇÃO

Em 1927, o engenheiro eletricitista Balthazar van der Pol derivou uma equação diferencial ordinária não-linear de segunda ordem, para descrever a dinâmica de um oscilador eletrônico implementado em um circuito contendo uma válvula (triódo em tubo a vácuo). Embora esta tecnologia seja, nos dias atuais, ultrapassada, a equação de van der Pol permanece atual e desperta interesse científico em diferentes áreas do conhecimento. Já naquela época, van der Pol sugeriu que este oscilador poderia ser usado para modelar o batimento de um coração humano. Desde então, o osciladores de van der Pol, bem como variantes deste modelo, têm sido largamente utilizados na modelagem de sistemas biológicos.

A utilização do modelo de van der Pol em trabalhos de pesquisa científica e tecnológica tem sido alvo de distintas motivações que vão desde a busca de resposta de novas perguntas científicas até o desenvolvimento de novas tecnologias educacionais. A título de exemplo, o modelo tem sido utilizado no estudo de leis de sincronização em sistemas não-lineares (PELEŠ, WIESENFELD, 2003), no estudo de células excitáveis (CARTWRIGHT, 2000) e no desenvolvimento de novas tecnologias para o ensino na área médica (ANGELONI, KREUTZ, BARRETO, 2000).

Este trabalho está baseado no desenvolvimento de

um projeto de iniciação científica e tem por objetivo a abordagem, a partir do modelo de van der Pol, de diferentes técnicas de solução de problemas não-lineares e da analogia entre modelos de circuitos elétricos e sistemas biológicos. Os seus resultados podem ser utilizados como ferramentas didáticas no ensino de circuitos não-lineares e na modelagem de sistemas biológicos através da analogia entre estes e circuitos elétricos.

O oscilador de van der Pol não-forçado, que é descrito por uma equação diferencial ordinária não-linear homogênea de segunda ordem, é, portanto, aqui estudado, através das seguintes abordagens: 1) Análise qualitativa da equação de evolução, através da análise de estabilidade em torno do ponto fixo; 2) Solução numérica usando programa Matlab, através de dois métodos numéricos distintos (método de Euler e método de Runge-Kutta). Como perspectiva de continuidade, discute-se a aplicação dos resultados obtidos na implementação de circuitos elétricos que possam ser utilizados como ferramentas didáticas no ensino de Engenharia Elétrica e de Engenharia Biomédica.

2- O OSCILADOR DE VAN DER POL

No oscilador de van der Pol, uma grandeza x que varia no tempo t , obedece a uma equação de evolução na forma:

$$\ddot{x} + \lambda\varphi(x)\dot{x} + x = \beta p(t) \quad (1)$$

onde o ponto sobre a variável x representa derivação

em relação ao tempo, isto é, $\dot{x} = \frac{dx}{dt}$, $\varphi(x)$,

é uma função par, que deve satisfazer às seguintes condições:

$$\varphi(x) < 0 \text{ para } |x| < a,$$

$$\varphi(x) > 0 \text{ para } |x| > a,$$

sendo a um parametro do sistema, $p(t)$ e uma função periódica e os parâmetros λ e β são tais que $\lambda > 0$ e $\beta \geq 0$.

Na sua forma mais geral, a equação de van der Pol corresponde à equação de um oscilador harmônico "amortecido" forçado, com a particularidade de que o "amortecimento" $\lambda\varphi(x)$ pode ser positivo ou negativo, de acordo com os critérios estabelecidos para a função $\varphi(x)$. Para $\beta = 0$, tem-se o caso particular de um oscilador de van der Pol sem forçamento externo. Como consequência dos requisitos estabelecidos para o "amortecimento" $\lambda\varphi(x)$, a equação de van der Pol descreve um oscilador não-linear. Com vistas a proceder a análise de estabilidade linear e a solução numérica do sistema, nós vamos assumir que a função é dada por:

$$\varphi(x) = x^2 - 1, \quad (3)$$

de modo que a Eq. (1) passa a ser:

$$\ddot{x} + \lambda (x^2 - 1)\dot{x} + x = 0, \quad (4)$$

Onde fizemos a consideração $\beta = 0$. Em função da não linearidade expressa no segundo termo à esquerda, termo de "amortecimento", a Eq. (4) não tem solução analítica exata, de forma que podem ser aplicadas técnicas analíticas qualitativas, bem como técnicas numéricas adequadas para estudar o comportamento da sua solução.

3 - ANÁLISE DE ESTABILIDADE LINEAR

A técnica de análise de estabilidade linear em torno de pontos fixos (FIEDLER- FERRARA, 1994; NICOLIS, 1995) é largamente utilizada no estudo de sistemas não-lineares. Estando baseada na linearização das equações em torno de um ponto de equilíbrio, esta técnica permite obter informações importantes sobre o comportamento do sistema na vizinhança imediata deste ponto.

A Eq. (4), que é uma equação diferencial ordinária não-linear de 2ª ordem, pode ser transformada em um sistema de duas equações diferenciais ordinárias de 1ª ordem, fazendo-se $\dot{x} = y$, donde se obtém:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= y \\ \dot{y} &= -\lambda (x^2 - 1)y - x \end{aligned} \quad (5)$$

Os pontos de equilíbrio são obtidos, fazendo-se $\dot{x} = \dot{y} = 0$, de forma que o sistema de equações (5) apresenta um ponto de equilíbrio em $x = y = 0$, ou seja, o ponto P(0,0). Introduzindo-se novas variáveis, na vizinhança do ponto de equilíbrio, definidas como $\tilde{x} = x - 0 = x$ e, $\tilde{y} = y - 0 = y$ e linearizando-se, através da expansão de cada uma das equações em série de Taylor, obtém-se, nas novas variáveis, o seguinte sistema linearizado:

$$\begin{aligned} \dot{\tilde{x}} &\approx \tilde{y} \\ \dot{\tilde{y}} &\approx -\tilde{x} + \lambda\tilde{y} \end{aligned} \quad (6)$$

Adotando-se soluções do tipo $\tilde{x}(t) = e^{\kappa t}\tilde{x}_0$ e $\tilde{y}(t) = e^{\kappa t}\tilde{y}_0$, obtém-se, os seguintes auto-valores:

$$\kappa = \frac{\lambda \pm \sqrt{\lambda^2 - 4}}{2} \quad (7)$$

No que se refere ao ponto de equilíbrio, considerando-se o valor assumido pelo parâmetro λ , tem-se que:

Para $\lambda = 0$, o ponto de equilíbrio é um centro e o sistema corresponde ao já bem conhecido caso de um oscilador harmônico simples não-amortecido, no qual as grandezas x e y oscilam, fora de fase, entre valores máximos e mínimos. No espaço de fase, que tem como coordenadas as grandezas x e y , as trajetórias são representadas por circunferências, tendo o ponto de equilíbrio no seu centro, cujo raio depende das condições iniciais adotadas.

Para $0 < \lambda < 2$, tem-se um foco instável; cuja trajetória no espaço de fases corresponde a uma espiral cuja orientação é a de afastamento do ponto de equilíbrio;

Para $2 < \lambda < 0$, tem-se um foco assintoticamente estável. Neste caso, as trajetórias também têm a forma de uma espiral, entretanto, elas tem sentido contrário ao do caso anterior, ou seja, o seu sentido é o de aproximação do ponto de equilíbrio;

Para $\lambda \geq 2$, tem-se um nó instável, no qual a trajetória no espaço de fases também tem o sentido de afastamento do ponto de equilíbrio, não se tratando, porém, de uma trajetória espiralada;

Finalmente, para $\lambda < -2$, tem-se um nó assintoticamente estável.

Deve-se ressaltar, entretanto, que apenas nos casos em que $\lambda > 0$ o modelo corresponde ao oscilador de van der Pol. Neste caso, tem-se, de acordo com o exposto nos itens acima, que o ponto de equilíbrio será um foco instável ou um nó instável. Isto significa que para qualquer ponto situado, inicialmente, na vizinhança do ponto de equilíbrio se afastará do mesmo. Entretanto, nos sistemas físicos instáveis, ao invés de um crescimento sem limites das instabilidades, geralmente, o sistema evolui no sentido de outras soluções, qualitativamente diferentes. Estas novas soluções, ou atratores, no entanto, não podem ser obtidas pela análise de estabilidade linear, uma vez que esta só é válida para a vizinhança imediata do ponto de equilíbrio. A identificação de novas soluções é, geralmente, realizada, através de uma análise não-linear ou da solução numérica das equações de evolução. A solução numérica do sistema é o objeto da próxima seção.

4 - SOLUÇÃO NUMÉRICA

A Eq. (4) foi solucionada numericamente, através de dois métodos numéricos distintos, usando-se, nos dois casos, o programa Matlab. Num primeiro momento, obtivemos o diagrama de fases através da solução do sistema de equações (5), usando um arquivo '.m', denominado *ode45*, do Matlab, o qual foi desenvolvido para resolver equações diferenciais ordinárias, através do método de Runge-Kutta de 4ª ordem. Alternativamente, desenvolvemos um código em Matlab para solução do problema na forma da Eq. (4), adotando o método de Euler. As duas soluções mostraram-se igualmente estáveis e concordam com os resultados analíticos. Na descrição a seguir, as simulações que mostram o diagrama de fases foram realizadas com o método de Runge-Kutta, enquanto que as simulações que mostram a evolução temporal da grandeza x foram desenvolvidas com o método de Euler.

Os resultados da análise linear podem ser, agora, comparados com os resultados da solução numérica. A figura 1 mostra o diagrama de fases, y versus x , para $\lambda = 2$, partindo-se de uma condição inicial próxima do ponto de equilíbrio. Este diagrama de fases mostra que a trajetória do sistema evolui para um ciclo limite (atrator representado por uma linha fechada).

Na, figura mostra-se a evolução temporal da grandeza, nas mesmas condições da simulação mostrada na figura 2, onde pode-se ver, também, que x oscila inicialmente com pequena amplitude até atingir uma amplitude máxima constante no ciclo limite.

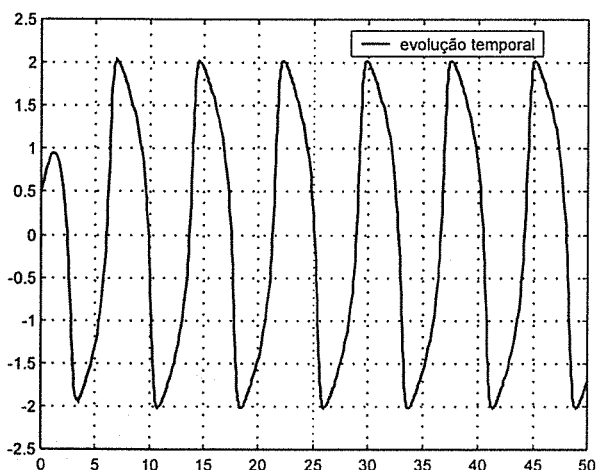


Figura 1: x (ordenada) em função de t (abscissa) para $\lambda=2$ e mesma condição inicial da Fig. 1.

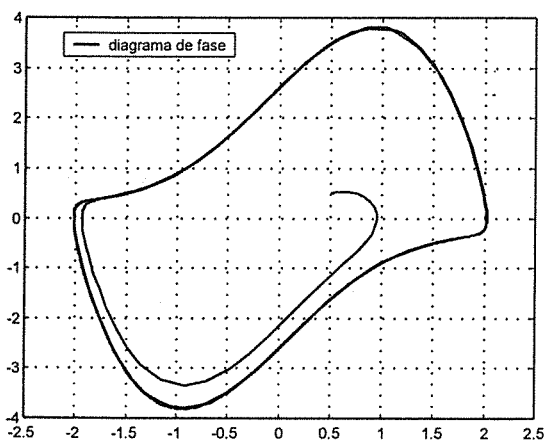


Figura 2: Diagrama de fase da equação de van der Pol para a condição inicial $(0.5, 0.5)$ e parâmetro $\lambda = 2$. O sistema evolui no sentido das setas até um ciclo limite.

Considerando-se, ainda, $\lambda = 2$, porém para uma condição inicial distante do ponto de equilíbrio, mostra-se, na figura 3, que o mesmo ciclo limite é obtido, o que significa que a nova solução não depende das condições iniciais adotadas. A figura 4 mostra a evolução temporal de x para a mesma situação apresentada na figura 3.

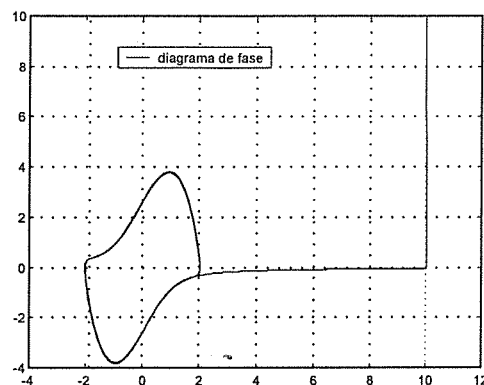


Figura 3: Diagrama de fase para $\lambda = 2$ e condição inicial distante do ponto de equilíbrio há amortecimento e o sistema retorna para o ciclo limite.

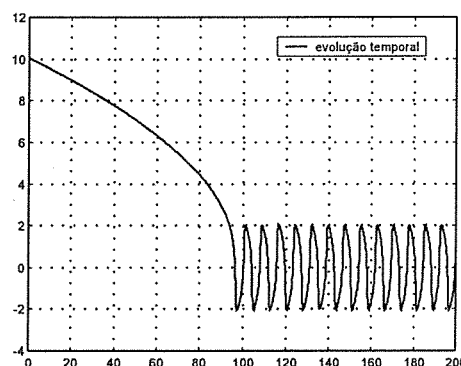


Figura 4: Evolução temporal de x (ordenada) em função de t (abscissa) para $\lambda = 2$ e condição inicial distante do ponto de equilíbrio.

5 - APLICAÇÕES

Desde a sua proposição, o oscilador de van der Pol tem sido utilizado como modelo em diversas aplicações de interesse científico e tecnológico. Tais osciladores, ou variantes do mesmo, aparecem naturalmente em uma grande quantidade de sistemas físicos, tais como mecânica, biologia, química e engenharia. O próprio van der Pol sugeriu que este oscilador poderia ser usado para modelar batimentos cardíacos e, desde então, ele tem sido largamente usado na modelagem de fenômenos biológicos. Mais recentemente, uma variante da equação de van der Pol, conhecida como equação de FitzHugh-Nagumo, tem sido usada para descrever o comportamento de neurônios acoplados através de sinapses. Na área médica, ele tem sido usado no desenvolvimento de ferramentas didáticas através de modelos que simulam o funcionamento do coração. O oscilador de van der Pol tem sido, também, extensivamente usado na área de engenharia (PELEŠ, WIESENFELD, 2004). Nesta seção, discutiremos a sua aplicação no desenvolvimento de circuitos elétricos não-lineares.

A figura 5 mostra um circuito RLC (HAYT, KEMMERLY, 1975), contendo uma fonte de tensão constante E , uma resistência linear R , uma indutância L e uma capacitância C .

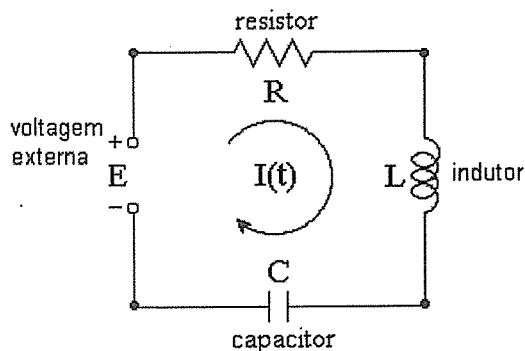


Figura 5: Circuito RLC com um resistor linear.

De acordo com a lei das malhas de Kirchoff, tem-se:

$$L \frac{dI}{dt} + RI + \frac{1}{C}Q = E \quad (8)$$

Onde $I=I(t)$ é a corrente elétrica e $Q = Q(t)$ é a carga elétrica no capacitor.

Derivando ambos os lados desta equação, em relação ao tempo, tem-se a equação diferencial linear de segunda ordem:

$$L \frac{d^2I}{dt^2} + R \frac{dI}{dt} + \frac{1}{C}I = 0 \quad (9)$$

Esta equação é idêntica à equação de evolução de um oscilador harmônico amortecido, se trocarmos $I(t)$ pela amplitude da oscilação $x(t)$, R por um coeficiente de amortecimento e $1/C$ por K/m onde K é a constante da mola e m a massa.

É bem conhecido que os resistores lineares constituem um tipo de resistor que responde linearmente a uma corrente aplicada, ou seja, a sua curva característica $V \times I$ é uma reta cuja inclinação corresponde à resistência elétrica. Entretanto, muitos resistores respondem de maneira não-linear a uma corrente aplicada. Como exemplo, tem-se o circuito proposto por van der Pol, no qual o elemento passivo, o resistor, é substituído por um elemento ativo, o semicondutor, como mostra a Figura 6.

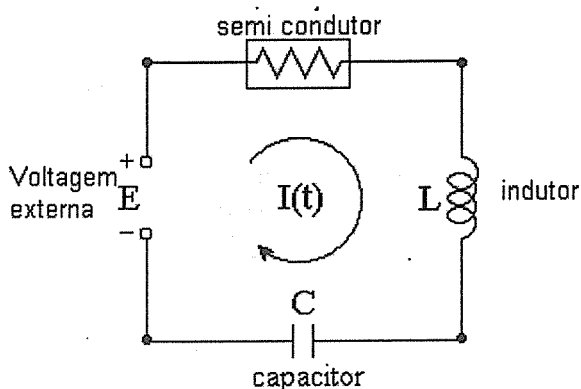


Figura 6: Circuito RLC com um resistor não-linear (semicondutor).

Pode-se notar que o sistema pode ser descrito pela equação de van der Pol, no caso em que a resistência do semicondutor varia com a corrente elétrica de acordo com a equação:

$$R = \lambda \left(\frac{I^2}{3} - a \right) \quad (10)$$

Onde λ e a são parâmetros positivos, de forma que a Eq. (9) passa a ser:

$$L \frac{dI}{dt} + \lambda I \left(\frac{I^2}{3} - a \right) + \frac{1}{C}Q = E \quad (11)$$

Derivando-se em relação a t e, fazendo-se $L = C = a = 1$, tem-se:

$$\frac{d^2I}{dt^2} + \lambda(I^2 - 1) \frac{dI}{dt} + I = 0 \quad (12)$$

que corresponde à Eq. (4), para $x = I$, ou seja, conforme o exemplo aqui discutido, o oscilador de van der Pol pode ser viabilizado em circuitos elétricos cujos resistores satisfaçam às condições expressas nas Eqs. (2).

6- CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

O oscilador de van der Pol constitui a primeira observação de oscilações de relaxação e tem sido aplicado extensivamente utilizado em diversas áreas do conhecimento. Neste trabalho, desenvolvemos um estudo analítico e numérico das equações que descrevem este oscilador e discutimos algumas aplicações que têm sido realizadas. Em particular, discutimos a sua aplicação em circuitos elétricos não-lineares. O trabalho até aqui desenvolvido continua em andamento, objetivando o desenvolvimento de circuitos para serem utilizados como protocolos experimentais didáticos no ensino de engenharia, particularmente no estudo de circuitos elétricos não-lineares e de análogos elétricos de sistemas biológicos.

REFERÊNCIAS

ANGELONI, M. N. M.; KREUTZ, L. S.; BARRETO, J. M. Técnicas de simulação e hipermídia aplicadas ao ensino da área médica. Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, 2000.

CARTWRIGHT, J. H. E. Emergent global oscillations in heterogeneous excitable media; The exemple of pncareotic cells. Phys. Rev. E, 62, 1149 1154, 2000.

FIEDLER-FERRARA, N., DO PRADO, C. P. C. Caos: Uma Introdução. São Paulo: Ed. Edgard Blucher Ltda, 1994.

HAYT, W. J., KEMMERLY, J. E. Análise de Circuitos em Engenharia, São Paulo: Ed. Mc Graw Hill Ltda, 1975.

NICOLIS, G. Introduction to Nonlinear Science. Cambridge University Press, 1995;
PELEŠ, S., WIESENFELD, K. Synchronization law for a van der Pol array. Phys. Rev. E 68, 026220, 2003.

WANG, D. Relaxation Oscillators and Networks. In J. G. WEBSTER (ed.), Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering. Wiley & Sons, vol. 18, 3956405, 1999.

Biagio M. Avena

Professor dos Cursos Técnicos na área de Turismo e Hospitalidade do CEFET-BA
Doutorando e Mestre em Educação pela UFBA
E-mail: bmavena@cefetba.br
(71) 3371-7749 / 9985-90 41

Pedro Laurentino Pinheiro dos Santos

Estudante do Curso de Bacharelado em Administração com ênfase em Hotelaria do
CEFET-BA, cursando o 6º semestre.
E-mail: pedrolaurentino@cefetba.br
(71) 3341-4500 / 8108-27 98

RESUMO

Este artigo tem por objetivo apresentar os resultados obtidos após dez meses de pesquisa do Projeto Hotel-Escola CEFET-BA. Inicialmente, faz-se uma abordagem da discussão em torno do conceito de Acolhimento e suas implicações. Em seguida, aborda-se o Sistema de Turismo, avaliando a importância do Hotel-Escola para a expansão da oferta de Educação Profissional. São relatados os contatos realizados junto aos Hotéis Escola do SENAC. Finalmente, apresenta-se uma discussão acerca dos resultados obtidos e suas implicações.

PALAVRAS-CHAVE

Hotéis Escola. Acolhimento. Sistema de Turismo. Educação Profissional

INTRODUÇÃO

O turismo é uma atividade econômica em crescimento, para a qual a existência de uma mão-de-obra qualificada é fundamental. O aumento da mobilidade humana e o ganho crescente de tempo livre para o lazer fazem com que as viagens sejam cada vez mais uma opção para o lazer (KRIPPENDORF, 2000). Nesse sentido, o papel do profissional do turismo ganha uma importância acentuada, uma vez que ele irá acolher o homem que veio buscar descanso em sua terra (AVENA, 2002). Mediante a necessidade de aprofundar os esforços para o desenvolvimento de estratégias e metodologias na Gestão da Hospitalidade, uma das linhas de pesquisa do Núcleo de Estudos em trabalho e Tecnologias de Gestão do Cefet-BA e da necessidade de aprimorar a formação do profissional do Turismo, oferecendo ferramentas práticas que solidifiquem competências e habilidades tanto técnicas quanto comportamentais, O CEFET-BA busca criar o primeiro Hotel-Escola do estado da Bahia. O Projeto Hotel-Escola é uma iniciativa para a expansão da Educação Profissional na área de Turismo e Hospitalidade do CEFET-BA. Esta ação visa ampliar a oferta de Educação Profissional para o Turismo e Hospitalidade baseada no conceito de acolhimento e fomentar nos estudantes a possibilidade do desenvolvimento de outras formas de gestão da Hotelaria, ampliando os horizontes da Educação Profissional (Básica, Técnica e Superior), oferecendo aos estudantes a oportunidade de aprenderem com a prática.

APRESENTAÇÃO

O presente artigo descreve as atividades efetuadas durante os dez meses de pesquisa do Projeto Hotel-Escola e os resultados alcançados até aquele momento. Inicialmente, serão delimitados o objeto de estudo e os objetivos buscados ao pesquisá-lo. Em seguida, os métodos e a estratégia de trabalho traçada para o projeto serão apresentados.

Em um segundo momento, serão descritos os resultados obtidos e as implicações que têm para a pesquisa. Em face da escassez de dados sobre a atividade dos hotéis-escola no Brasil e considerando a dificuldade em buscá-los junto às instituições, procurou-se relatar cada informação obtida de maneira a compor uma idéia clara de como funcionam os hotéis-escola e que dificuldades encontram na sua operacionalização.

Foram objeto do estudo realizado os Hotéis Escola em atividade no Brasil com atuação voltada para o público em geral, que ofereçam Formação Profissional em suas diversas modalidades, de uma maneira permanente e sistematizada, bem como a concepção de Acolhimento no Turismo e suas implicações na Formação Profissional.

Foi objetivo geral do projeto a elaboração de material necessário ao trabalho de criação, implantação e divulgação do Hotel-Escola do CEFET-BA. Além disso, como objetivos específicos, buscou-se aprofundar a investigação sobre o conceito de Acolhimento e suas implicações; Conhecer e avaliar a atividade dos hotéis escola no Brasil e desenvolver uma estratégia de trabalho em observação aos resultados positivos e dificuldades encontradas na experiência dos hotéis-escola no Brasil.

METODOLOGIA

A revisão de literatura revelou elementos importantes a serem analisados para a compreensão da atividade dos hotéis-escola no Brasil e, sobretudo, na compreensão do conceito de Acolhimento e sua conseqüente implicação na área de Turismo e Hospitalidade. Buscou-se aprofundar a discussão em torno do Acolhimento encontrada em Avena (2002), na qual se questiona a opção, corrente na literatura, de considerar o Acolhimento um componente da Hospitalidade.

Foi utilizada a ferramenta da Internet, mediante a qual se iniciou um levantamento dos hotéis-escola em

operação. Para aprofundar os dados obtidos no levantamento, foi feita uma visita à biblioteca do SENAC, na Casa do Comércio, onde pouco se pôde encontrar a respeito dos hotéis-escola sob gestão daquela instituição. Da mesma forma, deu-se a busca de informações sobre os demais hotéis-escola identificados no levantamento. Em nenhum caso pôde-se definir a abrangência, a responsabilidade ou um histórico para as instituições externas ao SENAC, motivo pelo qual mantiveram-se os hotéis-escola do SENAC como principal objeto de estudo da pesquisa científica.

O contato com os hotéis-escola foi feito inicialmente por correspondência eletrônica na qual eram apresentados o CEFET-BA, os pesquisadores e o objeto da pesquisa, além de um questionário cuja finalidade foi classificar os hotéis-escola quanto ao número de estudantes atendidos e conhecer as principais dificuldades que cada um deles encontra em sua operacionalização.

RESULTADOS

Durante o levantamento bibliográfico, buscou-se identificar as razões para uma opção pelo Acolhimento e sua concepção como um conceito mais amplo que a Hospitalidade. Camargo (apud DIAS, 2002) concebe a denominação Hospitalidade mais adequada para designar os cursos com formação voltada para o turismo, por oferecer maiores possibilidades de estudo e desenvolvimento teórico, ao invés de simplesmente Hotelaria, uma denominação que se tornou corrente na Educação Superior.

Grinover (apud DIAS, 2002) define Hospitalidade como o ato de acolher e prestar serviços, enquanto Cruz (apud DIAS, 2002) define Hospitalidade como o ato de acolher em toda a sua amplitude. Pierre Gouirand (apud AVENA, 2002), entretanto, define Hospitalidade como um dos componentes do Acolhimento, juntamente com o Reconhecimento e o Cuidado.

A definição de Gouirand coloca o Acolhimento como um fato social, um ato involuntário que introduz um recém-chegado ou estrangeiro em uma comunidade, dando-lhe autorização para beneficiar-se de todas ou parte das prerrogativas do seu novo status, ainda que provisoriamente, enquanto a Hospitalidade se caracteriza como o atendimento a um desejo de pertencer à comunidade, sobretudo do hotel, que, como lar temporário, provisoriamente coloca os seus sujeitos como a família do viajante.

Avena (2002) ressalta que o viajante deseja ser reconhecido como ser humano, ou seja, respeitado enquanto ser. O viajante, por conseguinte, deseja ser reconhecido pelo status que ele mesmo se atribuiu: ele espera receber atenção de uma maneira natural e jamais precisar pedir por ela, uma vez que é parte do serviço obtido. Assim, se caracteriza o Reconhecimento, uma esfera do Acolhimento, assim como o Cuidado e a Hospitalidade.

O Cuidado se caracteriza por todo o auxílio que o viajante necessita, desde a compreensão de sua língua à segurança que lhe é oferecida. Avena (2002) o define como "guiar aquele que chega para facilitar sua instalação, dar-lhe todas as informações e oferecer os serviços necessários."

Assim, nos cabe conceber a hotelaria e a empresa hoteleira com vistas à sua função de Acolhimento, prevendo as implicações presentes nessa noção no que se refere à qualidade e finalidade dos serviços prestados. Avena (2002) coloca o hotel como um lugar

onde se pode naturalmente exigir ser bem acolhido, por ser o acolhimento parte do serviço que lhe foi vendido.

O hotel é, por certo tempo, 'o lar ideal' do sujeito, que o acolherá e o guardará em clima agradável e seguro. É esta a troca que se espera, um ambiente acolhedor pelo qual se paga. (AVENA, 2002).

Para Beni (2002), o tratamento pessoal e o calor humano fazem parte essencial da prestação dos serviços hoteleiros, o que diminui a propensão à automação da empresa hoteleira, uma vez que há pessoas em praticamente todas as atividades e em todos os setores. Beni concebe a atividade turística como um sistema aberto, utilizando as atribuições da Teoria Geral dos Sistemas para descrever o seu funcionamento. Estabelece o conjunto das relações ambientais do Sistema de Turismo (Sistur), a sua organização estrutural e os seus sistemas.

De uma maneira análoga, Acerenza (2000) aborda o Turismo em sua organização como sistema, analisando o seu funcionamento, as maneiras de alimentá-lo e os efeitos decorrentes de suas atividades. Considera o Turismo um fator de desenvolvimento capaz de promover, aliado aos fatores que compõem a sua infra-estrutura, o crescimento da economia e a diminuição das desigualdades sociais.

Beni (2002) enfatiza a necessidade de que o Sistur represente uma efetiva oportunidade e emprego e desenvolvimento social para a comunidade, impedindo a marginalização social dos residentes e represente uma abertura cultural caracterizada pela troca de valores sociais ao invés da colonização dos hábitos e costumes incentivada em função dos resultados financeiros.

A respeito dessa colonização, Krippendorf (2000) alerta para a proximidade de um limite de tolerância em relação aos danos ecológicos, econômicos e culturais que têm sido causados pelo crescimento da mobilidade e o aumento das viagens, associados à crise da sociedade voltada para o trabalho. Krippendorf aponta a necessidade de humanização das viagens mediante a diminuição do ritmo da mobilidade e do contato aberto e respeitoso com o autóctone.

Nesse sentido, o hotel-escola insere-se como um estímulo aos subsistemas social, cultural, econômico e ecológico, fomentando o aprendizado mediante a prática consciente de uma atividade econômica, a valorização do profissional por meio da qualificação permanente, a implementação da competitividade baseada na versatilidade e qualidade da mão-de-obra e a busca dos meios alternativos de utilização dos recursos turísticos naturais (BENI, 2002).

O Senac (2004) apresenta uma metodologia na qual os Hotéis-Escola, assim como outros empreendimentos ligados à educação profissional da instituição, são denominados Empresas Pedagógicas, uma vez que a prática pedagógica do ensino de um ofício acontece no próprio ambiente de trabalho. As Empresas Pedagógicas do Senac são unidades de ensino que mantêm uma função comercial permanente, da qual o aluno faz parte durante sua formação.

Buscou-se conhecer melhor a estrutura e o funcionamento dos Hotéis Escola Senac, com o intuito de compreender o conceito de empresa pedagógica e aprofundar o conhecimento sobre a experiência dos

hotéis-escola no país. Desse modo, foram feitos contatos por correio eletrônico e telefone com todos os hotéis escola ligados ao Senac. Um questionário foi enviado aos hotéis-escola contendo perguntas sobre os hotéis e o seu funcionamento.

Embora o envio das mensagens tenha sido feito mediante o conhecimento dos destinatários e após os contatos feitos por telefone, foram recebidas apenas duas respostas às mensagens enviadas aos hotéis-escola. Este fato não constitui uma surpresa, pois durante as etapas anteriores da pesquisa, poucas foram as informações encontradas a respeito dos hotéis-escola, mesmo junto ao SENAC.

As respostas obtidas vieram do Hotel-Escola Ilha do Boi, no Espírito Santo, e do Hotel-Escola Barreira Roxa, no Rio Grande do Norte. Ambos se caracterizaram como empresas de gestão privada em resposta à primeira pergunta do questionário, embora o Barreira Roxa tenha sido criado por iniciativa do estado do Rio Grande do Norte e só depois tenha passado às mãos do SENAC, numa parceria entre o Instituto de Formação e Gestão em Turismo do Rio Grande do Norte, a Secretaria de Trabalho, Habitação e Assistência Social do Rio Grande do Norte e o Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial (SENAC), enquanto o Ilha do Boi foi criado pelo Próprio SENAC, em 1979 (HOTEL ILHADO BOI, 2004).

Os hotéis-escola oferecem cursos de formação profissional exclusivamente presenciais nos níveis básico, técnico e superior. Os cursos de Nível Básico compreendem a qualificação básica, programas de desenvolvimento sócio-profissionais e o aperfeiçoamento e atualização de profissionais. No Nível Técnico, são oferecidas habilitações em áreas diversas. No Nível Superior, o Hotel-Escola Ilha do Boi é o único a oferecer possibilidade de formação, uma Especialização em Administração Hoteleira em parceria com a Universidade Federal do Espírito Santo. Anualmente, entre 800 e 1000 profissionais se formam no Hotel-Escola Barreira Roxa, enquanto aproximadamente 2000 pessoas concluem formação no Hotel-Escola Ilha do Boi. O acompanhamento dos egressos feito pelos hotéis-escola indica que entre 40 e 60% dos profissionais formados no Barreira Roxa são absorvidos pelo mercado, enquanto 60 a 80% dos profissionais formados no Ilha do Boi encontram emprego após a conclusão do curso.

Segundo os hotéis-escola, a principal dificuldade encontrada pelos alunos para realizar os cursos é de ordem financeira. Ambos citaram a dificuldade para arcar com as despesas, inclusive a de transporte.

As instituições afirmam realizar os seus planejamentos estratégicos e pedagógicos, integrando necessidades pedagógicas e mercadológicas e que as maiores dificuldades encontradas na administração dos hotéis escola são a baixa renda dos alunos e o alto custo operacional.

A ocorrência de pesquisa científica proporcionada pelos hotéis-escola é pouca ou nenhuma. Na maioria das vezes, as instituições permitem que pesquisadores externos façam as suas pesquisas no hotel escola. Entretanto, ambos indicaram realizar pesquisas de mercado para auxiliar na administração do hotel escola.

Os hotéis-escola foram convidados a se pronunciar livremente, indicando um ponto importante não contemplado pelo questionário, ao que o Hotel Escola Ilha do Boi salientou a importância da fundamental integração da equipe operacional com a equipe pedagógica, uma vez que em um hotel-escola o aluno

aprende em situação real de trabalho, o que coloca a todos os funcionários no papel de educadores.

DISCUSSÃO

Os resultados obtidos apontam a possibilidade de empreender a criação de um Hotel-Escola pelo CEFET-BA, embora não sejam suficientes para fundamentá-la passo a passo. Considerando o modo como foram criados os Hotéis-Escola do Senac e a sua operacionalização, não há empecilhos que se façam definitivos para a implementação de tal projeto pelo CEFET-BA.

As dificuldades encontradas pelos hotéis-escola demonstram a baixa renda dos alunos contrastando com o alto custo decorrente da operacionalização da instituição. Sobre esse aspecto, é preciso reiterar a necessidade de criação de uma mão-de-obra qualificada para atuar na atividade turística, convertendo-a num ganho social, assim como a busca de novas formas de Gestão do Acolhimento, possibilitando que o crescimento do turismo ocorra de forma integrada e sustentável.

Campos (2003) destaca as expectativas de crescimento para a atividade turística e a necessidade de organização e eficiência dos projetos hoteleiros. Esses pressupostos de mercado e projeto justificam a necessidade de preparo de mão-de-obra capaz e diferenciada e, assim, a existência de um hotel-escola que, com esse propósito, contribua para a melhoria das condições existentes para o exercício das atividades.

Acerenza (2000) ressalta a capacidade de geração de emprego e renda trazida pela atividade econômica do Turismo e a conseqüente expansão do mercado econômico do país. Entretanto, o mesmo autor relembra que sem um planejamento adequado, a atividade pode contribuir para a desestruturação da sociedade e para o desemprego.

A opção de desenvolvimento do conceito de Acolhimento como uma das categorias no bojo do Projeto de implantação do Hotel-Escola do CEFET-BA se faz com vistas a sua abrangência teórica e, sobretudo, à sua concepção da forma de receber o turista. O Acolhimento abarca a Hospitalidade, o Cuidado e o Reconhecimento numa tríade que representa as expectativas do homem temporariamente fora de sua casa que é recebido em outra comunidade. Dessa forma, as possibilidades de pesquisa e desenvolvimento se colocam de maneira abrangente, possibilitando ampliar o referencial teórico em estudo.

Camargo (apud DIAS, 2002) salienta que as ciências aplicadas ao Turismo devem perceber a riqueza de um recorte do conhecimento moldado sobre o fato social associado ao gesto de receber. Dessa forma, se faz necessário conscientizar estudantes e profissionais do Acolhimento sobre a necessidade de desenvolver os saberes conceituais, técnicos e humanos, para que estes papéis sejam assumidos de maneira a garantir o sucesso das organizações.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Finalizando esta etapa do Projeto Hotel-Escola CEFET-BA, considera-se de fundamental importância a concentração dos esforços para promover a difusão dos conceitos apresentados neste artigo, visando avaliar os resultados obtidos e promover uma reflexão em busca dos melhores meios que levem à criação do Hotel-Escola do CEFET-BA.

Ressalta-se a necessidade de evidenciar o caráter

humano e social da prestação de serviços, para o que o conceito do Acolhimento se coloca como melhor alternativa na abordagem do Turismo, uma vez que considera todos os aspectos psicológicos daquele que requisita o serviço, sem, entretanto, levar ao servilismo.

A criação do Hotel-Escola do CEFET-BA irá proporcionar a qualificação de mão-de-obra e a atuação na sociedade no sentido de melhorar a qualidade do emprego por meio de uma formação humanista que propicie a reflexão e a consciência na prestação de serviços, a busca por novas formas de gestão do Acolhimento e o aumento da oferta de Educação Profissional para o Turismo.

REFERÊNCIAS

ACERENZA, Miguel Angel. Administração do Turismo. Bauru: EDUSC, 2002. 348 p.

AVENA, Biagio M. Turismo, educação e acolhimento de qualidade: transformação de hostis a hospes em Ilhéus, Bahia. 2002. 367f. Dissertação (Mestrado em Educação), UFBA/UESC, Ilhéus: 2002.

BENI, Mario Carlos. Análise Estrutural do Turismo. 3. ed. São Paulo: Senac, 2000. 517p.

CAMARGO, Luiz Octávio de Lima. Turismo, hotelaria e hospitalidade. In: DIAS, Célia Maria de Moraes (Org.). Hospitalidade: Reflexões e perspectivas. São Paulo: Manole, 2002. p. 1-23.

CAMPOS, José Ruy Veloso; ROSÉS, Claudia F.; BAUMGARTNER, Ricardo R. Estudo de viabilidade para projeto hoteleiro. Campinas: Papirus, 2003. 110 p.

CRUZ, Rita de Cássia Ariza da. Hospitalidade turística e fenômeno urbano no Brasil: Considerações gerais. In: DIAS, Célia Maria de Moraes (Org.). Hospitalidade: Reflexões e perspectivas. São Paulo: Manole, 2002. p. 39-56.

DIAS, Célia Maria de Moraes (Org.) . Hospitalidade: reflexões e perspectivas. São Paulo: Manole, 2002. 164 p.

GRINOVER, Lúcio. Hospitalidade: um tema a ser reestudado e pesquisado. In: DIAS, Célia Maria de Moraes (Org.). Hospitalidade: Reflexões e perspectivas. São Paulo: Manole, 2002. p. 25-38.

HOTEL ILHA DO BOI. Histórico. Disponível em: <http://www.hotelilhadoboi.com.br/hotel_ilha_boi/historico/index.html> Acesso em: 03 jun. 2004.

KRIPPENDORF, Jost. Sociologia do turismo: Para uma nova compreensão do lazer e das viagens. São Paulo: Aleph, 2000. 186 p.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM COMERCIAL. Conheça o Senac. Ambientes educacionais. Disponível em: <<http://www.senac.br/conheca/ambeduc.html>> . Acesso em: 03 jun. 2004.

UM “QUADRO-NEGRO ANIMADO” PARA FACILITAR O ENSINO DE FÍSICA

Prof. Dr. Niels Fontes Lima

Professor do CEFET-BA-Departamento de Ciências Aplicadas
nielsfl@cefetba.br

Msc. Elinoel Júlio dos Santos Valverde

Professor do CEFET-BA-Departamento de Ciências Aplicadas
Valverde@cefetba.br

RESUMO

O objetivo do presente projeto é a produção de material didático interativo dedicado ao ensino do tema “Oscilações, ondas e som”. O material deverá atender o nível de um curso universitário de física básica, como a disciplina Física Geral e Experimental II do CEFET-BA, mas poderá ser usado, também, pelos cursos técnicos e médio. O projeto prevê a produção de um hipertexto que irá reunir, estender e organizar material didático interativo sobre o tema, já existente ou a ser desenvolvido. As conexões entre os diversos elementos do hipertexto serão feitas com base num mapa conceitual que será levantado pela equipe responsável pelo projeto. O módulo proposto deverá conter material em extensão e profundidade variadas, para poder ser usado por diferentes professores e classes em diferentes disciplinas, ou usos, cobrindo os temas e, nas respectivas profundidades, das disciplinas de graduação e de ensino médio e técnico.

PALAVRAS-CHAVE

Hipertexto. Material didático interativo. Mapa conceitual.

1-INTRODUÇÃO

O “Quadro-Negro Animado” é a reunião de diversos materiais sobre temas de física em diversos meios - texto, figuras, animações ou vídeos, som, programas interativos, simuladores, para citar os mais importantes - com o objetivo de facilitar e ampliar as possibilidades do professor em explicar e demonstrar o assunto em estudo. O projeto pretende dar facilidades ao professor para o uso de gráficos e animações, incorporando recursos de simulação e representação de fenômenos, fornecendo ferramentas para a demonstração e interpretação gráfica dos resultados de deduções matemáticas, como um meio de incrementar o entendimento dos fenômenos físicos e sua descrição matemática.

As representações visuais dirigem a atenção e a motivação dos estudantes, e apóiam a imaginação, ajudando a construir modelos mentais. Para Issing, as apresentações visuais proporcionam “a deixa externa que o estudante necessita para executar as operações cognitivas necessárias naquela instância” (Issing, 1994).

A representação visual de equações e relações matemáticas cria significados para entes conceituais distantes da realidade do dia-a-dia e do senso comum; ela cria uma realidade pictórica, sobre a qual os alunos e professores podem falar, descrever ou apontar detalhes. Esta realidade visual pode fazer o contato entre o fenômeno físico, representado por um modelo definido, e sua descrição matemática, que ganha significado visual facilmente associado ao fenômeno representado, facilitando o aprendizado significativo.

O projeto, entretanto, vai além da simples demonstração visual, ao propor atividades e materiais, explorando as possibilidades didáticas da interatividade. A forma de se dispor e indexar os diversos componentes do material é essencial para a sua navegabilidade, e por isso as conexões entre as unidades do hipertexto serão baseadas num mapa conceitual do tema do módulo, a ser desenvolvido no projeto.

2-“QUADRO-NEGRO” ANIMADO: UMA PROPOSTA DE MATERIAL DIDÁTICO INTERATIVO PARA FACILITAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA

As chamadas novas tecnologias de informação e comunicação, TIC, podem ter um efeito muito importante sobre a educação. Sem querer esgotar o tema, podemos dizer que seu impacto se dá, principalmente, em três aspectos: comunicação, apresentação e interação. O uso das TIC pode ajudar ou mesmo possibilitar várias modalidades de ensino e educação, em particular o ensino à distância, e aprofundar o processo de ensino-aprendizagem em cursos presenciais. Os aspectos mais explorados, entretanto, são os da comunicação e apresentação, e a exploração das capacidades de interação e criação de simulações e realidades virtuais, com as quais se pode interagir, é, muitas vezes, deixada de lado, talvez em função dos resultados espetaculares nos dois outros aspectos. É a esse último aspecto que o trabalho do grupo tem mais se dedicado.

Quando falamos de interatividade, devemos distinguir duas instâncias de interação que o material desenvolvido pelo grupo busca promover:

(1) Interação usuário - material, através da escolha de parâmetros e condições das animações e simulações. O comportamento do modelo como resultado das escolhas feitas pode ser previsto e a previsão pode ser testada. Isso auxilia a construção do conhecimento pelo usuário, facilitando o aprendizado significativo. A interatividade usuário material pode ter vários níveis de determinação, da escolha de parâmetros a decisões sobre características do modelo. No caso deste projeto, trabalharemos basicamente com gráficos e animações interativas e simulações. Também há interação quando se escolhe um caminho ou outro, ao se navegar em um hipertexto.

(2) Interação intersubjetiva entre os participantes da aula, alunos e professores. Os sistemas interativos, no sentido (1), são propiciadores da interação intersubjetiva, quando utilizados em grupos, criando situações onde discussões surgem quase que naturalmente. No caso do ensino de física, essa possibilidade é muito relevante, pois o professor pode provocar o evidenciamento das concepções pré-existentes e sua superação, através da compreensão, num contexto social da sala de aula, dos princípios físicos não trivialmente intuitivos.

Assim, além das possibilidades trazidas pela função de apresentação visual animada e pela interatividade, no sentido (1), o material proposto permitirá ampliar a interação entre os sujeitos da aula, alunos e professores, cuja troca de idéias e impressões possibilita o aprendizado.

Os mapas conceituais possibilitam uma representação visual das conexões entre conceitos, estruturas de conhecimento e formas de argumentação e são uma alternativa complementar à linguagem natural como um meio de comunicar conhecimento. Para Flores-Mendéz, os mapas conceituais permitem representar e organizar argumentos e pensamentos, e podem ser usados de diversas maneiras em grupos de trabalho colaborativo em muitas disciplinas. São adequados como organizadores de hipermídia para navegação em informação, permitindo a distribuição da informação de forma encapsulada em diferentes níveis de abstração que podem ser expandidos, na medida em que se aprofunde neles; também se prestam bem para o planejamento de apresentações de conteúdo em forma não linear. Gaynes e Shaw também defendem o uso de mapas conceituais para a indexação e a recuperação de material hipermídia, por proporcionarem uma interface atraente, significativa e fácil de usar.

O material será distribuído em unidades representadas por documentos HTML, contendo o material textual, figurativo, interativo e multimídia relacionado a cada conceito do mapa. A disposição gráfica dos elementos do mapa conceitual e das suas ligações, representando o conteúdo do módulo e sua estrutura de "links", fornecerá um mapa de navegação intuitivo, permitindo ao usuário localizar-se no material e estabelecer seus próprios roteiros de navegação, baseado nas relações entre os conceitos explicitadas no mapa.

3-O GRUPO DE PESQUISA "NOVAS TECNOLOGIAS NO ENSINO DE FÍSICA"

O grupo "Novas Tecnologias no Ensino de Física" desenvolve uma linha de trabalho de produção de

material didático interativo para cursos de física no Cefet-Ba, envolvendo produção de software e hipertexto, em andamento desde o ano de 1997. O grupo é formado atualmente por três professores e dois alunos de iniciação científica e está inscrito no diretório de grupos de pesquisa do CNPq.

O grupo já produziu uma certa quantidade de material e a parte mais relevante está disponível "online" nas páginas das disciplinas no "site" da Coordenação de Física e tem sido utilizado nos cursos ministrados pelo coordenador do projeto. Foram desenvolvidos programas de simulação e animação interativa, num primeiro momento, em Visual Basic e, posteriormente, em Java, hipertextos interativos com experimentos simulados e exercícios em HTML e Javascript, para uso em aulas práticas ou teóricas e atividades de casa. Um sumário do trabalho executado, com links para os programas e outros materiais, pode ser visto abaixo:

www.cefetba.br/fisica/NFL/exercicios/indice.html

"Exercícios Instantâneos". (2003). Páginas em HTML e Javascript com exercícios simples sobre variados tópicos da física. O usuário deve responder numericamente à questão apresentada com dados gerados aleatoriamente a cada vez que a página é carregada e o programa corrige a resposta dada. Todas seguem o mesmo padrão visual e estrutura, contendo o texto da pergunta e os dados gerados aleatoriamente, uma figura, um campo para as respostas e uma calculadora.

<http://www.cefetba.br/fisica/NFL/exercicios/indice.html>

Física Geral e Experimental II. (2002). Roteiro de curso de física em hipertexto, usado na disciplina Física Geral e Experimental II dos cursos de Engenharia Industrial Mecânica e Engenharia Industrial Elétrica do Cefet-Bahia.

<http://www.cefetba.br/fisica/FIS002/PlanoBase.html>

"Applets" em Java para o ensino de física e outras disciplinas. (2001). Desenvolvimento de programa-mestre em Java para a produção de aplicativos educacionais e sua aplicação no ensino de tópicos de física, desenvolvido em cooperação com a Fachhochschule Aachen.

<http://www.cefetba.br/fisica/NFL/PBCN/java/index2.htm>

Práticas Básicas em Medidas Elétricas. (2001). Roteiros de experimentos básicos em medidas elétricas, contendo experiências simuladas em Javascript usados na disciplina Física Geral e Experimental III do Cefet-Bahia, desenvolvidos em colaboração com o CEPA-IFUSP.

<http://www.cefetba.br/fisica/NFL/medeletr.html>

Gerador Fotovoltaico. (2000). Hipertexto didático bilingüe (português e inglês) desenvolvido dentro do projeto de cooperação internacional com a Fachhochschule Aachen.

<http://www.cefetba.br/fisica/NFL/PBCN/solar/solarpor.html>

Página da Coordenação de Física do Cefet-Bahia. (1999).

[Http://www.cefetba.br/fisica](http://www.cefetba.br/fisica)

Softwares para o Ensino de Física e Matemática. Aplicativos em VisualBasic para ensino de tópicos de física e matemática desenvolvidos em colaboração com o CEPA-IFUSP (1999).

Uma coletânea dos programas escritos em Visual Basic, Javascript e Java, desde 1999 até a presente data (2004), é apresentada, com descrição em inglês

dos programas, na página

<http://www.cefetba.br/fisica/NFL/programming.html>.

Com base na produção resumida nessa página, o coordenador do projeto foi selecionado, em 2003 e 2004, para participação nos workshops do projeto "Open Source Physics", nos EUA.

Além do "Quadro-Negro Animado", o grupo está desenvolvendo também um subprojeto chamado "Experimentos com Som num Computador Multimídia"

(<Http://www.cefetba.br/NFL/NTEF/ExpSom.html>). O objetivo desse trabalho é o desenvolvimento e a implementação de experimentos com som, usando os recursos de um computador PC multimídia, incluindo adaptações e pequenas modificações do sistema de som padrão. Os dois subprojetos são independentes, porém relacionados. O módulo do "Quadro-Negro Animado", que está sendo desenvolvido, deverá incorporar o resultado do projeto "Experimentos com Som..." como sua parte experimental, realçando muito a potencialidade didática do material.

REFERÊNCIAS

FLORES-MENDÉZ, R. A.. Java Concept Maps for the Learning Web. Knowledge Science Institute, University of Calgary, Canadá. (<http://ksi.cpsc.ucalgary.ca/articles>)

ISSING, Ludwig J.. Conceitos básicos de didática para multimídia. Traduzido de "Basic concepts of multimedia-didactics". In S. Märkle & S. Rebenburg (Eds.), Scientific Workshop on Computer Aided Teaching - Teleteaching and mediafication (pp.6-20)., Berlin: Technische Universität Berlin, Prozeßrechnerverbund-Zentrale/ FSP-PV, 1994.
<Http://penta.ufrgs.br/edu/teleduc/tdidmult.html>

GAINES, B. R.; SHAW, M. L. G.. Concept Maps as Hypermedia Components. Knowledge Science Institute, University of Calgary, Canadá. (<http://ksi.cpsc.ucalgary.ca/articles>)

MOREIRA, M. A.. Aprendizagem significativa. A teoria de David Ausubel. São Paulo: Editora Moraes, 1992.

NOGUEIRA, J. S. et al. Computadores como instrumentos de ensino: uma perspectiva de aprendizagem significativa. In: Brasileira de Ensino de Física, v.22, nº.4, dez. 2000.

NOVAK, J. D.; GOWIN, D. B.. Learning how to Learn. Cambridge, England: Cambridge University Press, 1984.

ONTORIA, A.. Mapas Conceptuales. Uma Técnica para Aprender. Madrid: Narcea S. A. de Ediciones, 1997.

Antonio Luiz Mattos de Souza Cardoso
 Professor de Informática do CEFET-BA
 Mestre em Informática (UFES 2003)
 e-mail: acardoso@cefetba.br

RESUMO

Críticas aos produtos e serviços de software são freqüentes entre os seus usuários. Aparentemente, nada tem sido feito para mudar esta realidade. Este artigo analisa o nível de qualidade no desenvolvimento de software no Brasil e o que pode ser feito para melhorá-lo.

PALAVRAS-CHAVE

Desenvolvimento de software. Qualidade. CMM.

INTRODUÇÃO

Atualmente, qualidade é uma característica inerente a quaisquer produtos ou serviços ofertados ao mercado. Isto não era uma realidade até há alguns anos atrás.

A competição, avanços tecnológicos, consciência dos consumidores, novas legislações tornaram isto possível. Assim, clientes e consumidores naturalmente esperam obtê-la das empresas e organizações no instante da aquisição de seus produtos ou na utilização de seus serviços.

Contudo, o significado de qualidade é muito subjetivo e varia a cada momento para os consumidores. Por exemplo, num supermercado é esperado que ele seja limpo, bem iluminado, tenha bom atendimento e, é claro, bons preços. Para um produto alimentício, espera-se que ele tenha o peso correto, embalagem bonita e segura, seja fresco e limpo, entre outras características.

O mesmo pode-se dizer quanto a produtos e serviços de software. Os consumidores esperam obter neles a qualidade necessária para atender aos seus requerimentos de negócio. Neste caso, os consumidores esperam obter produtos sem defeitos, fáceis de usar, com boa performance, seguros, confiáveis, com suporte adequado, entre outras características.

Porém, em termos de qualidade, o que realmente se tem obtido dos produtos e serviços de software? Qual é a realidade da indústria de software?

CRISE NO DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE

Em 1987, um relatório emitido pelo Departamento de

Defesa (DoD) do governo dos EUA sobre a indústria de software americana afirmava que “[...] poucas áreas têm tão grande diferença entre as melhores práticas e as práticas efetivamente utilizadas em produção [...]”.

Esta afirmação ainda é muito atual. Apesar do aparecimento de novas metodologias, ferramentas e tecnologias de engenharia de software, pode-se observar que a indústria de software não tem conseguido atender satisfatoriamente os clientes e consumidores com seus produtos e serviços.

Infelizmente, a situação atual da indústria de software brasileira não difere muito do conteúdo do relatório do Departamento de Defesa. Isto é preocupante, pois o mundo, em especial a área de Tecnologia da Informação, vive uma grande oportunidade.

As grandes corporações americanas estão transferindo milhares de postos de trabalho para países que têm provado competência e qualidade nesta área. Aí, a Índia é o grande expoente internacional. Ela tem conseguido grande parte destes empregos e mudado de alguma forma a sua realidade nacional. O Brasil também é um grande candidato a trazer esses empregos, pois possui uma indústria similar à existente na Índia. Todavia a realidade não tem sido esta.

O Brasil tem potencial para trazer investimentos internacionais porque possui uma das maiores indústrias de software do mundo, a preços extremamente competitivos. Para comprovar, a Tabela 1 apresenta uma comparação entre as maiores indústria de software do mundo.

Tabela 1
As maiores indústrias de software do mundo

Pais	Receita Bilhões US\$	Exportação Bilhões US\$	Empregados
EUA	200.0	n.d.	1.042.000
Japão	85.0	> 0.1	534.000
Alemanha	39.0	n.d.	300.000
R. Unido	15.0	n.d.	n.d.
Índia	8.2	6.2	350.000
Brasil	7.7	0.1	158.000

Fonte: MCT, set. 2003.

As informações na Tabela 1 mostram que a Índia possui 2,2 vezes mais empregados que o Brasil e exporta 60 vezes mais na área de software, apesar de suas indústrias terem tamanho similar. Grande parte das exportações indianas são decorrentes dos novos investimentos que as grandes corporações americanas estão realizando na indústria de software daquele país.

O que faz com que a Índia seja mais atrativa ao capital internacional do que o Brasil? Com certeza, uma das respostas a pergunta anterior é a capacidade de provar a qualidade dos produtos e serviços de software produzidos naquele país.

O ESTÁGIO DO SOFTWARE BRASILEIRO

Qual seria então o estágio do software produzido no Brasil? Algumas pesquisas realizadas pela Secretaria de Política de Informática do Ministério da Ciência e Tecnologia (SEPIN/MCT) do governo brasileiro têm tentado analisar a indústria de software para responder a esta questão.

A pesquisa "Qualidade e Produtividade no Setor de Software Brasileiro" é realizada a cada dois anos pelo SEPIN desde 1993. Segundo seus autores, "[...] é no momento, o documento mais abrangente que dispomos sobre o estágio de evolução dessa indústria em nosso país [...]".

A pesquisa mostra que há uma preocupação das empresas brasileiras quanto à qualidade de software e que algo já está sendo feito com alguns resultados positivos sendo obtidos. Entretanto uma leitura mais minuciosa mostra claramente que ainda há muito o que fazer nas empresas brasileiras.

Algumas informações sobre procedimentos de qualidade podem ser extraídas da pesquisa realizada em 2001. Por exemplo, a Tabela 2 apresenta as práticas de engenharia de software adotadas pelas empresas na avaliação da qualidade do produto.

Tabela 2
Práticas para avaliação da qualidade do produto

Tabela 2 – Práticas para avaliação da qualidade do produto	
Categorias	%
Auditorias	22,6
Revisão de Pares	16,3
Julgamento de especialistas	20,5
Levantamento de requisitos de qualidade	18,1
Medições de Qualidade (Métricas)	17,4
Prova formal de programas	19,1
Não adota tais práticas	11,6

Fonte: MCT, set. 2003

Estes dados coletados pela pesquisa não são muito animadores. Por exemplo, a prática "Revisão de Pares" é realizada por apenas 16,3% das organizações segundo a pesquisa. Sabe-se que esta prática é considerada uma das mais eficientes e menos custosas para a detecção de defeitos nos projetos de desenvolvimento de software por ser realizada nas fases iniciais e por quem está

efetivamente construindo o artefato avaliado.

Na mesma tabela, outros números também corroboram com a afirmativa acima. Por exemplo, somente 18,1% das organizações fazem "Levantamento de Requisitos de Qualidade" e apenas 17,4% fazem "Medições de Qualidade".

A Tabela 3 apresenta outros números relativos à execução de testes para avaliar a qualidade do produto. Verifica-se que somente 34,7% das organizações fazem "Testes de Unidade". Estes testes são os primeiros a serem feitos à medida que o software está sendo elaborado. Em contrapartida, observa-se que a maioria das organizações faz "Testes do Sistema Integrado", "Testes de Campo" ou "Testes de Aceitação". Ao contrário da situação anterior, estes testes são os últimos a serem realizados num projeto de software, quando o produto está praticamente construído. Eles são os menos eficientes, pois qualquer correção é mais custosa à empresa e dolorosa ao artefato.

Tabela 3
Testes para avaliação da qualidade do produto

Categorias	%
Testes de Unidade	34,7
Testes do Sistema Integrado	51,6
Testes Estruturais	24,9
Testes Funcionais	59,3
Testes de Integração	54,0
Testes de Campo	56,5
Testes de Aceitação	57,2

Fonte: MCT, set. 2003

O baixo nível de execução de "Revisão de Pares" e "Testes de Unidade" e um maior nível de execução de "Testes de Aceitação" e "Testes de Campo" levam à conclusão de que as organizações estão entregando soluções aos clientes com baixo número de testes e corrigindo os defeitos no próprio ambiente deles. Isto quando testes são realizados.

Esta situação pode levar as organizações à seguinte posição:

- Perda de credibilidade;
- Perda de mercado;
- Baixa qualidade;
- Maiores custos e prazos de desenvolvimento; e
- Encerramento das atividades.

Outros dados semelhantes são também extraídos da pesquisa: 81,4% das organizações não utilizam métricas para medir a qualidade dos processos de software e 70% não utilizam métricas para medir a produtividade. Estas duas métricas são importantes para medir como uma organização se encontra no momento atual a fim de que ela possa tomar ações corretivas para melhorar o seu processo de software. No instante que estas medições não são realizadas, qualquer ação corretiva pode, não necessariamente, melhorar o processo de software da organização. Portanto, não há garantias de evolução no futuro para estas organizações.

Contudo há alguns dados acalentadores obtidos pela pesquisa. Um deles informava que “[...] 21% das organizações conhecem e usam sistematicamente ou conhecem e começam a usar o SW-CMM [...]”. Um salto expressivo em relação à pesquisa anterior realizada 1999 onde se lê que somente 9,9% das organizações se enquadravam nesta situação.

Outro dado informava que 43,5% das empresas capacitaram sua força de trabalho em melhoria de qualidade. Para confrontar com outra informação da mesma pesquisa, 49,3% das empresas capacitaram em Engenharia/Tecnologia de software. Ou seja, a capacitação da força de trabalho em qualidade foi praticamente a mesma que em ferramentas e técnicas de engenharia de software, denotando um grande interesse das empresas no treinamento em qualidade.

Não se pode afirmar apenas com estes dados apresentados qual é o estágio efetivo do software brasileiro. Somente com uma leitura completa das pesquisas anteriores e futuras pode-se chegar a uma conclusão mais precisa.

O mais importante sobre este assunto é saber qual é o estágio em que cada empresa ou organização se encontra atualmente e, após esta descoberta, saber qual o rumo a seguir e qual meta a alcançar. Há uma sentença popular muito interessante que diz “Se não se sabe onde está e nem onde quer chegar, qualquer direção é válida”.

Assim, antes de mais nada, as empresas de software brasileiras deveriam fazer um diagnóstico para responder às seguintes perguntas:

- Qual é o nível de qualidade do software que está sendo entregue ao meu cliente?
- Que nível de qualidade desejo para o meu software? e
- O que deve ser feito para alcançar este nível?

A SOLUÇÃO PARA A QUALIDADE

A principal conclusão do relatório do Departamento de Defesa foi que “[...] após anos de muitas promessas não cumpridas sobre ganhos de produtividade e qualidade aplicando metodologias e tecnologias novas, as organizações notam que o problema fundamental é a inabilidade de gerenciar o processo de desenvolvimento de software e não o uso de novas ferramentas [...]”. Em muitas organizações, projetos estão freqüentemente atrasados com orçamentos ‘estourados’ e os benefícios de melhores métodos e ferramentas podem não ser alcançados num ambiente de um projeto caótico e indisciplinado.

Em outras palavras, esta conclusão não afirma que o problema está na má utilização de ferramentas nem na baixa qualidade dos profissionais envolvidos no desenvolvimento de software. Ela afirma que o problema está no gerenciamento do processo de desenvolvimento.

Esta conclusão é fundamental, pois muitas empresas, na ânsia de melhorar a qualidade do software produzido, investem muito na capacitação de seus funcionários em novas ferramentas e metodologias e, esquecem de investir na melhoria do processo de desenvolvimento de software.

O Software Engineering Institute da Carnegie Mellon University captou muito bem a mensagem do relatório e elaborou uma metodologia que descreve os elementos-chaves de um efetivo processo de software, que pode ser aplicado pelas empresas interessadas em melhorar seu processo. Esta metodologia é chamada de Capability Maturity Model (SW-CMM).

O SW-CMM focaliza capacidade das organizações de software em produzir produtos de alta qualidade de modo consistente e previsível. A capacidade do processo de software é a habilidade inerente de produzir resultados planejados.

Mas, o que é efetivamente um processo de software?

Ele é definido como um conjunto de atividades, métodos e práticas que pessoas empregam para desenvolver e manter software e os artefatos associados, tais como planos, documentos de desenho, código fonte, casos de testes e manuais de usuário.

Processo é também definido na língua portuguesa como uma maneira de operar, resolver ou ensinar. Para o SW-CMM, processo é uma seqüência de passos executados para um determinado propósito, integrando pessoas, ferramentas e procedimentos. Um processo de software efetivo une pessoas, ferramentas e métodos num todo integrado. O SW-CMM reforça que Processo é o que as pessoas fazem, usando procedimentos, métodos, ferramentas e equipamentos para transformar a entrada (input) num produto (output) que tenha valor para os clientes.

Portanto, o SW-CMM é um conjunto de padrões e procedimentos que, se utilizados de maneira consistente, permite a uma organização desenvolver soluções de software de alta qualidade. Este é o caminho que milhares de organizações no mundo inteiro adotaram para alcançar níveis mais altos de qualidade. IBM, DELL, HP, Motorola, NEC e Xerox são alguns exemplos de organizações de expressão global que adotaram o SW-CMM como modelo para atingir novos níveis de qualidade.

É importante lembrar que padrões e procedimentos, que não são usados pelas pessoas nos projetos de modo consistente, é meramente papel descartável, além de perda de tempo, dinheiro e esforço na sua concepção e manutenção. Esta situação somente reforça a imaturidade de uma organização.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério de Ciência e Tecnologia. Panorama do Setor de Informática - Principais Resultados. Brasília, 1999. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/Temas/info/Dsi/panorama/panorama.htm>>. Acesso em: 01 abr. 2004.

BRASIL. Ministério de Ciência e Tecnologia. Secretaria de Política de Informática. Qualidade e Produtividade no Setor de Software Brasileiro 2001. Brasília: 2002.

CARNEGIE MELLON UNIVERSITY. Software Engineering Institute. Process Maturity Profile: Software CMM CBA IPI and SPA Appraisal Results 2003 Mid-Year Update. Disponível em: <<http://www.sei.cmu.edu/sema/pdf/SW-CMM/2003sepSwCMM.pdf>>. Acesso em: 01 abr. 2004.

_____ Compiled list of Organizations who have Publicly Announced their Maturity Levels after having an Appraisal Performed. Disponível em: <[Http://seir.sei.cmu.edu/pml/index.asp](http://seir.sei.cmu.edu/pml/index.asp)>. Acesso em: 01 abr. 2004.

PAULK, Mark et al. The Capability Maturity Model: Guidelines for Improving the Software Process. 7th Edition, Addison-Wesley Longman, July, 1997.

UNITED STATES. Department of Defense. Office of the Under Secretary of Defense for Acquisition. Report of the Defense Science Board Task Force on Military Software. Washington, D.C.: Sept. 1987.

ANÁLISE DE ESTABILIDADE LINEAR DAS EQUAÇÕES DE EVOLUÇÃO DE FILMES LÍQUIDOS FINOS

Mallan de Araújo Neris

Aluno do Curso de Engenharia Industrial Elétrica do CEFET-BA

Dr. Elias Ramos de Souza

Professor do CEFET-BA e Líder

do Grupo de Pesquisa em Biofísica Teórica e Computacional

RESUMO

No presente trabalho, nós estudamos a dinâmica e estabilidade de um filme líquido fino limitado por um substrato sólido e uma interface móvel, modelado por uma equação diferencial não-linear que governa a evolução espaço-temporal da espessura do filme, o qual está sujeito à ação de forças atrativas de van der Waals e de forças repulsivas de hidratação. A partir da análise de estabilidade linear da equação de evolução, analisamos o efeito de parâmetros relevantes (constante de Hamaker, tensão superficial, força de hidratação) na estabilidade de tais filmes.

PALAVRAS-CHAVE

Filmes líquidos finos; Fenômenos não-lineares; Análise de estabilidade linear, Fenômenos capilares.

1-INTRODUÇÃO

Filmes líquidos finos (FLF) são estreitas camadas líquidas delimitadas por interfaces de separação entre duas fases distintas (RAMOS DE SOUZA, 1999) e que estão presentes em uma ampla gama de fenômenos industriais e biológicos. O estudo da dinâmica e estabilidade de tais filmes apresenta grande interesse científico e tecnológico. Eles aparecem em muitas aplicações da engenharia química (dinâmica de espumas, pintura de superfícies, fenômenos de umedecimento) e da biologia (cobertura das paredes pulmonares, filmes de lágrimas, instabilidade de membranas biológicas, região de contato entre células e entre células e substrato, estudo da biocompatibilidade de biomateriais e biossensores) (RAMOS DE SOUZA; GALLEZ, 1998).

Estes filmes exibem uma grande variedade de instabilidades espaço-temporais que podem levar à ruptura do filme ou à formação de padrões estacionários (RAMOS DE SOUZA; GALLEZ, 1998). Apresentamos aqui resultados parciais de um trabalho em andamento, no qual estamos desenvolvendo um estudo detalhado sobre a dinâmica e estabilidade de um filme aquoso, delimitado por um substrato fixo e uma interface móvel, o qual é denominado de filme assimétrico, sujeito à ação de forças intermoleculares atrativas e repulsivas. A evolução do modelo é governada por uma equação diferencial não-linear a derivadas parciais, que descreve a variação da espessura do filme no tempo e no espaço. Uma vez que a equação de evolução é fortemente não-linear,

apresentamos aqui informações preliminares obtidas sobre o comportamento do sistema, através do desenvolvimento de uma análise de estabilidade linear, na qual a equação de evolução é linearizada em torno do estado de referência (filme de espessura constante), e estuda-se, analiticamente, o comportamento das soluções admitidas pela equação simplificada (RAMOS DE SOUZA, 1999). Na continuidade do trabalho, as equações de evolução será resolvida numericamente, visando ao estudo das condições que levam à ruptura do filme ou à formação de padrões morfológicos (filme de espessura variável).

2-MODELO

No estudo da dinâmica de FLF, uma das configurações básicas, denominada filme assimétrico (Figura1), é modelada como uma estreita camada de água delimitada, de um lado, por uma interface móvel, e, do outro lado, por uma interface fixa. O filme assimétrico tem espessura $h(x,t)$, onde x é a abscissa e t é o tempo.

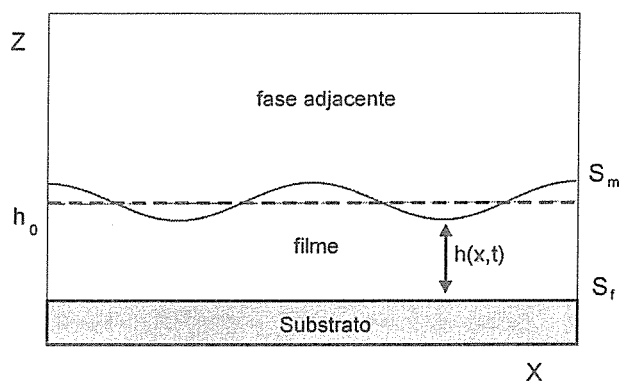


Figura 1: Modelo de um filme líquido fino assimétrico.

O modelo considerado é de um filme com tensão superficial constante sob a ação de forças atrativas de van der Waals e forças repulsivas de hidratação. O filme é assumido como sendo constituído de um fluido newtoniano viscoso e incompressível e as equações de movimento são complementadas por condições de contorno móveis, na interface móvel, enquanto que a velocidade do fluido é considerada nula no substrato (RAMOS DE SOUZA, 1999).

As equações e condições de contorno podem ser simplificadas, sem se perderem as informações mais

relevantes do sistema, considerando-se que as deformações superficiais têm comprimentos de onda muito maiores do que a espessura média do filme. Tal aproximação, denominada de aproximação de longo comprimento de onda (RAMOS DE SOUZA, 1999), resulta em uma equação diferencial parcial não-linear para a espessura do filme, a qual, embora ainda fortemente não-linear, tem tratamento mais simples do que as equações originais.

Em forma adimensional, a equação de evolução para a espessura do filme $h(x,t)$ é dada por:

$$h_t = -T \left(\frac{1}{3} h^3 h_{xxx} \right)_x - \left(\frac{h^3 \phi_x}{3} \right)_x, \quad (1)$$

Onde os sub-índices t e x representam, respectivamente, derivadas parciais em relação ao tempo e à coordenada espacial x , T é a tensão superficial e $\phi = \phi(h)$ é a pressão de disjunção, definida por:

$$\phi(h) = -\frac{A}{h^3} + P \exp\left(-\left(\frac{h-d}{L}\right)\right). \quad (2)$$

O primeiro termo à direita da expressão anterior representa a parte da pressão de disjunção associada à força de van der Waals e $A > 0$ é a constante de Hamaker; o segundo termo corresponde à parte da pressão de disjunção associada à força de hidratação, $P > 0$ é a sua amplitude, d é um comprimento de corte e L é o alcance. A espessura média (adimensional) do filme é $h = 1$ (ERNEUX; GALLEZ, 1997).

A dependência da pressão de disjunção ϕ com a espessura h do filme é mostrada na Figura 2, onde pode-se observar, em separado, as influências das forças de atração (van der Waals), de repulsão (hidratação), além da soma das duas, isto é, ϕ . Do ponto de vista físico, a Eq. (2) indica que a força de van der Waals diminui a pressão de disjunção e, conseqüentemente, favorece o estreitamento do filme; por outro lado, a força de hidratação aumenta a pressão de disjunção e contribui para o alargamento do filme. Neste modelo, portanto, as superfícies são hidrofílicas e o estreitamento do filme demanda a realização de trabalho suficiente para que as moléculas de água sejam afastadas na região de interação entre as duas interfaces. Note que, dependendo da espessura do filme, a pressão de disjunção pode ser negativa ou positiva.

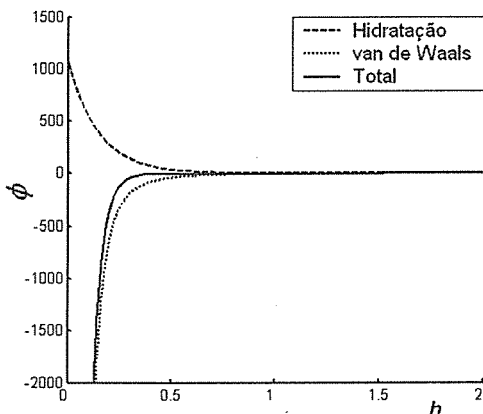


Figura 2. Pressão de disjunção ϕ versus espessura h do filme, para $P = 280; A = 5; T = 30; L = 0,15; d = 0,2$.

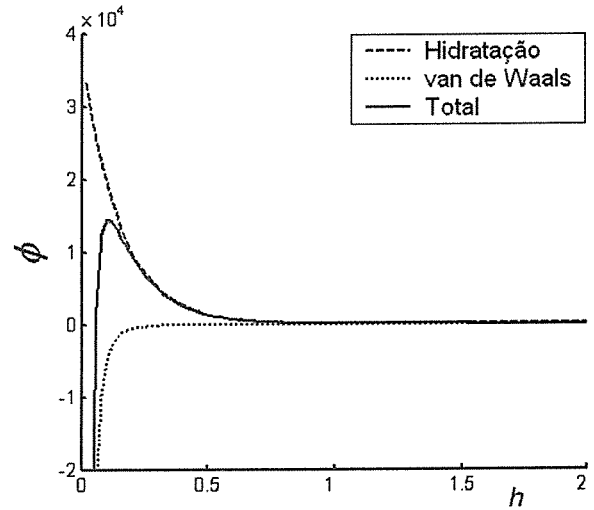


Figura 3. Pressão de disjunção ϕ versus espessura h do filme, para $P = 10000; A = 5; T = 30; L = 0,15; d = 0,2$.

Visando obter informações preliminares sobre o comportamento dinâmico do sistema, realizamos uma análise de estabilidade da equação de evolução, Eq. (1), cujos resultados serão mostrados na seção a seguir.

3-ANÁLISE LINEAR

Numa primeira análise linear, nós introduzimos um pequeno desvio H , onde $H = H(x,t)$, definido por $h = 1 + H$. Substituindo esta expressão na equação de evolução, Eq (1) e linearizando na nova variável H , chegamos à seguinte equação linearizada:

$$H_t = -\frac{1}{3} (TH_{xxx} + \phi' H_{xx}) \quad (3)$$

Onde ϕ' corresponde à derivada de ϕ em relação a h , calculada no estado de referência, ou seja, para $h = 1$. A Eq.(3) tem solução na forma:

$$H = \exp(\omega t + i q x) \quad (4)$$

Onde ω é a taxa de crescimento/decaimento e q é o número de onda da perturbação. Note que a expressão acima pode ser escrita como $H = e^{\omega t} e^{i q x}$, de forma que, para longos intervalos de tempo t , o seu comportamento vai depender do sinal de ω , ou seja, assintoticamente no tempo, a perturbação cresce para $\omega > 0$ e decresce para $\omega < 0$. Neste sentido, o sistema poderá ser instável ($\omega > 0$) ou estável ($\omega < 0$). Para $\omega = 0$, a perturbação não cresce nem decresce e o estado de referência tem estabilidade neutra (ou marginal).

A substituição da solução, Eq.(4), na equação linearizada, Eq (3), fornece:

$$\omega = -\frac{1}{3} q^2 (T q^2 - \phi') \quad (5)$$

Que é chamada de *equação de dispersão*. No ponto crítico $\omega = 0$ (estabilidade marginal), encontramos o

número de onda crítico:

$$q_c^2 = \frac{\phi'}{T} \quad (6)$$

Curvas de ω em função de q , para três valores distintos da constante de Hamaker, A , são mostradas na Figura. Note que, em cada caso, há uma faixa de valores de q para os quais $\omega > 0$ e, portanto, o sistema é instável. A comparação das três curvas mostra que quanto maior o valor de A , maior será o valor de q_c , indicando que amplia-se a faixa de valores de q para os quais o sistema é instável ou, dito de outra maneira, há um aumento do número de modos instáveis. Além disso, o aumento de A leva a um aumento do valor máximo de ω ($\omega_{m\acute{a}x}$), indicando que as perturbações crescem mais rapidamente.

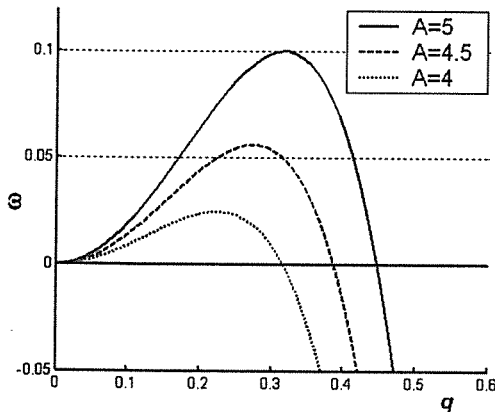


Figura 4. Taxa de crescimento ω versus número de onda q para valores crescentes de A , com $P = 280$; $T = 30$; $L = 0,15$; $d = 0,2$. O aumento de A aumenta os valores de q_c e de $\omega_{m\acute{a}x}$.

Se aumentarmos a tensão T (Figura 5), o número de onda crítico q_c decresce, o que também pode ser visto pela Eq (6). Ao mesmo tempo, $\omega_{m\acute{a}x}$ também decresce, o que concorda com o dado experimental de que filmes com maiores tensões superficiais são mais estáveis.

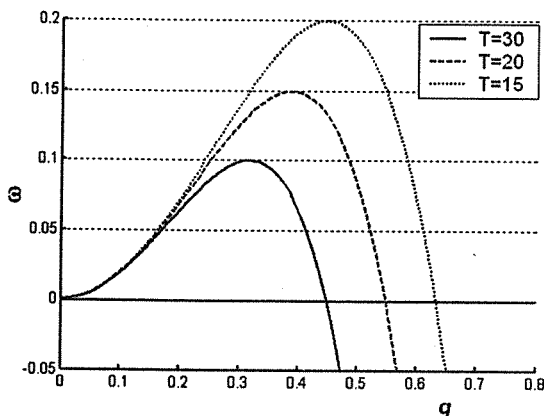


Figura 5. Taxa de crescimento ω versus seu número de onda para valores crescentes de T , com $A = 5$; $P = 280$; $L = 0,15$; $d = 0,2$. O aumento de T diminui os valores de q_c e de $\omega_{m\acute{a}x}$.

Finalmente, como a força de hidratação é uma força repulsiva, o aumento de P tem efeito contrário ao efeito

do aumento de A , isto é, maiores valores de P levam a uma diminuição dos valores de q_c e de $\omega_{m\acute{a}x}$ (Figura 6).

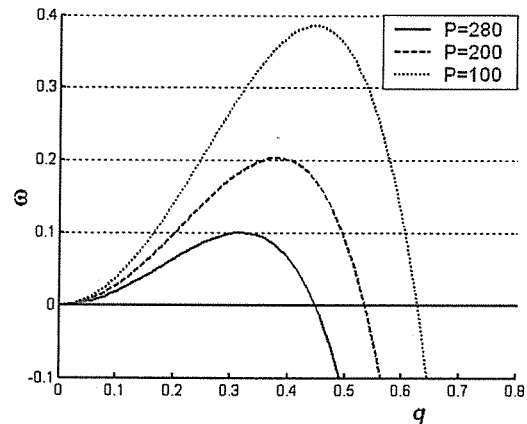


Figura 6. Taxa de crescimento ω versus seu número de onda para valores crescentes de P , com $A = 5$; $T = 30$; $L = 0,15$; $d = 0,2$. Quando P aumenta, diminuem os valores de q_c e de $\omega_{m\acute{a}x}$.

Da análise aqui realizada, pode-se notar que a dinâmica do filme é influenciada por uma competição entre forças atrativas e repulsivas. Uma vez que, de acordo com a análise de estabilidade linear o filme apresenta faixas de instabilidade, o seu crescimento pode levar à ruptura ou à formação de padrões estacionários.

CONCLUSÕES

A estabilidade hidrodinâmica de FLF tem sido largamente estudada nas últimas décadas, permitindo muitas aplicações em engenharia química e biomédica (DE WIT; GALLEZ, 1994). Por se tratarem de estruturas que possuem grande variedade de instabilidades, muitos esforços têm sido empregados na descrição completa da dinâmica de tais sistemas.

A análise de estabilidade linear, aqui realizada, mostra que a resposta do sistema em relação a perturbações infinitesimais depende, em particular, da intensidade da atração de van der Waals, da repulsão de hidratação e da tensão superficial. A pressão de disjunção pode ser melhor compreendida, fazendo-se uma analogia da interação entre dois pólos magnéticos. Para a manutenção de dois pólos magnéticos iguais a uma certa distância um do outro, seria necessária a aplicação de uma força no sentido da aproximação do mesmo, o que corresponderia ao caso em que a pressão de disjunção é positiva. Entretanto, para se manter pólos magnéticos distintos a uma certa distância, a força deveria ser aplicada em sentido contrário, isto é, no sentido do afastamento dos ímãs, o que corresponderia à situação em que a pressão de disjunção é negativa. Além das influências das partes negativa e positiva da pressão de disjunção, a dinâmica do sistema depende, também, fortemente da tensão superficial do filme, a qual, de acordo com a análise, desempenha um papel estabilizante.

O trabalho até aqui realizado restringiu-se à análise linear, a qual é válida apenas para perturbações de amplitude muito pequena. À medida que a amplitude da perturbação cresce, a análise linear deixa de ser válida e um estudo dos efeitos das não-linearidades deve ser realizado. No prosseguimento deste trabalho, tais não-linearidades serão consideradas, através da

solução numérica (simulação computacional) da Eq. (1).

REFERÊNCIAS

DE WIT, A. GALLEZ, D. Nonlinear evolution equations for thin liquid films with insoluble surfactants. *Phys. Fluids*, v. 6, n. 10, p. 3256-3266, 1994.

ERNEUX, T. GALLEZ, D. Can repulsive forces lead to stable patterns in thin liquid films? *Phys. Fluids*, v. 9, n. 4, p. 1194-1196, 1997.

RAMOS DE SOUZA, E. Estudo da adesão de células e vesículas através da teoria eletro-hidrodinâmica. 1999. 158 p. Tese Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Rio de Janeiro, 19 de março de 1999. Orientador: Dr Paulo Mascarello Bisch.

_____ ; GALLEZ, D. Pattern formation in thin liquid films with insoluble surfactants. *Phys. Fluids*, v. 10, n. 8, p. 1804-1814, 1998.