

volume 20 - número 2

ISSN 0101-5001

dezembro de 2001

REVISTA DE ENSINO DE ENGENHARIA

DIRETRIZES CURRICULARES PARA OS CURSOS DE ENGENHARIA E DISCIPLINAS MATEMÁTICAS: OPCÕES METODOLÓGICAS Helena Noronha Cury

UM SISTEMA GRÁFICO INTERATIVO PARA O ENSINO E PROJETO DO EFEITO DO VENTO SOBRE O COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE TORRES DE AÇO José Guilherme Santos da Silva & Janina Schmidt de Andrade Lima

CONCEITOS, SENTIDO E COMPETÊNCIAS: APLICANDO O

15 ENSINO COERENTE Marcos Azevedo da Silveira

PROPOSTA PARA REDUCÃO DA EVASÃO DE ALUNOS E PARA A MELHORIA DA RELAÇÃO ALUNO/PROFESSOR

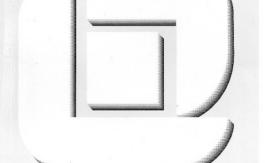
27 DOS CURSOS DE ENGENHARIA DAS INSTITUIÇÕES FEDERAIS DE ENSINO SUPERIOR Rômulo Feitosa Navarro

SIMULAÇÃO MATEMÁTICA DE PROBLEMAS DE ENGENHARIA: SOBRE A ARTE DA FORMULAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS Marcius F. Giorgetti

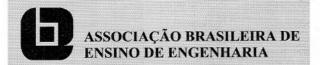
CURRÍCULO PARA CURSOS DE ENGENHARIA: O TEXTO E O CONTEXTO DE SUA CONSTRUÇÃO Flávio Macedo Cunha & Mário Neto Borges

APRENDIZADO COOPERATIVO E APRENDIZADO BASEADO EM SITUAÇÕES-PROBLEMAS: APLICAÇÃO DO

TRASCAD® NO ENSINO DE PLANEJAMENTO DE COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS Bruno Milanez & Viviana M. Z. Baldochi



Associação Brasileira de Ensino de Engenharia



Presidente
Pedro Lopes de Queirós, UFRN

Vice-Presidente Maria José Gazzi Salum, UFMG

Vice-Presidente
José Alberto dos Reis Parise, PUC-Rio

Diretor-Secretário
Nilza Luiza Venturini Zampieri, UFSM

Diretor-Financeiro
João Sérgio Cordeiro, UFSCar

REVISTA DE ENSINO DE ENGENHARIA PUBLICAÇÃO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSINO DE ENGENHARIA

Vol. 20, n°2, dezembro de 2000 ISSN 0101-5001

Editor Benedito Guimarães Aguiar Neto, UFCG

Conselho Editorial Benedito Aguiar Neto - UFCG Benedito Antônio Luciano - UFCG Cícero Onofre de Andrade Neto - UFRN Eduardo Giugliani - PUCRS Enilson Medeiros dos Santos - UFRN Ernesto A. Urquieta Gonzalez - UFSCar Fernando Tadeu Bóçon - UFPR Hélcio R. B. Orlande - UFRJ João Bosco da Silva - UFRN José Alberto dos Reis Parise - PUC-Rio Luiz Paulo Mendonça Brandão - IME Marcius F. Giorgetti - UFSCar Marcos Azevedo da Silveira - PUC-Rio Maria José Gazzi Salum - UFMG Mário de Souza Araújo - UFCG Mário Neto Borges - FUNREI Milton Vieira Júnior - UNIMEP Nival Nunes de Almeida - UERJ Silvia Costa Dutra - UNISINOS Vanderli Fava de Oliveira - UFJF Walter Antônio Bazzo - UFSC

> Design gráfico Uchôa Design

Editoração Eletrônica Walter Luiz Oliveira do Vale

> Impressão Natal Gráfica

INFORMAÇÕES GERAIS

A Revista de Ensino de Engenharia é uma publicação semestral da Associação Brasileira de Ensino de Engenharia - ABENGE, destinada à divulgação de trabalhos abordando aspectos didático-pedagógicos, científicos, tecnológicos, profissionais, políticos e administrativos concernentes à educação em engenharia

Os assuntos publicados nesta revista são de inteira responsabilidade dos seus autores. A menção eventual de marcas ou produtos comerciais não significa recomendação da revista.

GENERAL INFORMATION

Revista de Ensino de Engenharia is published every semester by the Brazilian Association of Engineering Education and is devoted to the dissemination of articles on education. It is concerned with various aspects of education, including pedagogical, scientific, technological, professional, political and administrative issues.

The articles published in this Journal are the sole responsibility of their authors. Mention, on an eventual basis, of brands and products does not indicate any form of endorsement by the Journal.

Associação Brasileira de Ensino de Engenharia ABENGE

Av. W-3 Norte Quadra 516 70770-515 Brasília - DF Fone: (0xx61) 347.0773 Fax: (0xx61) 272.2661 abenge@tba.com.br

Revista de Ensino de Engenharia

Envio de trabalhos para o endereço: rabenge@cct.ufpb.br

Tiragem 2.000 exemplares

Distribuição

Enviada a todos os associados da ABENGE e demais órgãos vinculados ao Ensino de Engenharia.



volume 20 - número 2

ISSN 0101 - 5001

dezembro de 2001

REVISTA DE ENSINO DE ENGENHARIA

Helena Noronha Cury

DIRETRIZES CURRICULARES PARA OS CURSOS DE ENGENHARIA E DISCIPLINAS MATEMÁTICAS: OPÇÕES METODOLÓGICAS

José Guilherme Santos da Silva & Janina Schmidt de Andrade Lima

UM SISTEMA GRÁFICO INTERATIVO PARA
O ENSINO E PROJETO DO EFEITO DO
VENTO SOBRE O COMPORTAMENTO
ESTRUTURAL DE TORRES DE AÇO

Marcos Azevedo da Silveira

15 CONCEITOS, SENTIDO E COMPETÊNCIAS: APLICANDO O ENSINO COERENTE

Rômulo Feitosa Navarro

PROPOSTA PARA REDUÇÃO DA EVASÃO DE ALUNOS E PARA A MELHORIA DA

27 RELAÇÃO ALUNO/PROFESSOR DOS CURSOS DE ENGENHARIA DAS INSTITUIÇÕES FEDERAIS DE ENSINO SUPERIOR

Marcius F. Giorgetti

33 SIMULAÇÃO MATEMÁTICA DE PROBLEMAS DE ENGENHARIA: SOBRE A ARTE DA FORMULAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS

Flávio Macedo Cunha & Mário Neto Borges

41 CURRÍCULO PARA CURSOS DE ENGENHARIA: O TEXTO E O CONTEXTO DE SUA CONSTRUÇÃO

Bruno Milanez & Viviana M. Z. Baldoch

APRENDIZADO COOPERATIVO E

APRENDIZADO BASEADO EM SITUAÇÕESPROBLEMAS: APLICAÇÃO DO TRASCAD®
NO ENSINO DE PLANEJAMENTO DE
COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS

DIRETRIZES CURRICULARES PARA OS CURSOS DE ENGENHARIA E DISCIPLINAS MATEMÁTICAS: OPÇÕES METODOLÓGICAS

Helena Noronha Cury¹

RESUMO

O presente artigo apresenta considerações sobre as diretrizes curriculares para os cursos de engenharia e as possibilidades de utilizar a modelagem, aliada a novas tecnologias, para trabalhar com disciplinas matemáticas, de forma a contribuir para uma formação crítica e responsável dos futuros engenheiros.

Palavras-chave: Diretrizes curriculares. Modelagem matemática. Novas tecnologias.

ABSTRACT

This paper presents considerations about curriculum changes in engineering courses and possibilities of using modeling and new technologies to work with math subjects, contributing to critical and responsible formation of future engineers.

Keywords: Curriculum guidelines. Mathematics modeling. New technologies

INTRODUÇÃO

As novas diretrizes curriculares para os cursos de graduação em engenharia, aprovadas recentemente pelo Conselho Nacional de Educação (CNE) através da Resolução CNE/CES Nº 11-2002 (CNE, 2002), trarão modificações profundas nesses cursos, não só em termos de conteúdos, grades curriculares ou carga horária total, mas também em relação às metodologias de ensino e aos processos de avaliação da aprendizagem.

As disciplinas matemáticas, em geral agrupadas nos primeiros níveis dos currículos de engenharia, estão entre as mais responsabilizadas pelo elevado número de reprovações e evasões nesses cursos. É necessário encontrar novas maneiras de trabalhar com essas disciplinas, de forma que as sugestões apresentadas nas diretrizes curriculares sejam atendidas. Novas tendências pedagógicas do ensino de matemática podem servir de base para essas mudanças curriculares, fazendo com que os futuros engenheiros venham a desenvolver as competências e habilidades necessárias para o bom desempenho de suas funções e, ao mesmo tempo, tenham uma formação crítica que lhes possibilite enfrentar os desafios que estão surgindo neste início do século XXI.

Neste artigo, discutimos algumas questões gerais relacionadas com as modificações curriculares nas engenharias

e apresentamos considerações sobre o ensino de disciplinas matemáticas em tais cursos, propondo o uso da modelagem matemática como metodologia adequada ao desenvolvimento da habilidade de formular e resolver problemas.

AS NOVAS DIRETRIZES CURRICULARES: ALGUNS PONTOS A DESTACAR

As novas diretrizes curriculares para os cursos de engenharia apontam competências e habilidades que deverão ser desenvolvidas pelos alunos. A idéia de enfatizar características que são entendidas como desejáveis para os futuros engenheiros é apresentada em vários documentos. Nos Estados Unidos, a Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET), nos seus Criteria for Accrediting Engineering Programs, aponta habilidades que os graduados por cursos de Engenharia devem demonstrar. Entre esses, podemos mencionar: "aplicar conhecimento de Matemática, Ciência e Engenharia; atuar em equipes multidisciplinares; identificar, formular e resolver problemas de Engenharia; comunicar-se efetivamente; usar técnicas, habilidades e modernas ferramentas necessárias para a prática de Engenharia" (Criteria, 2001:1).

Professora, Doutora, Faculdade de Matemática, PUCRS, Avenida Ipiranga, 6681, CEP 90619-900, Porto Alegre, RS. Fone: (051) 3320-3531, ramal 207. E-mail: curyhn@pucrs.br

Wilkinson et al. (2001:15), referindo-se à experiência na Escócia, citam objetivos de aprendizagem, comuns à maioria dos cursos de matemática para a engenharia no Reino Unido, como por exemplo: "selecionar e usar software para realizar cálculos; aplicar matemática na solução de problemas da engenharia; explicar o significado de expressões matemáticas (...) em uma forma clara e lógica, tanto por escrito como oralmente; trabalhar com colegas (...), compartilhar informações e idéias".

Nas diretrizes curriculares, aprovadas pelo MEC, salientamse, como competências e habilidades desejadas: "aplicar conhecimentos matemáticos, científicos, tecnológicos e instrumentais à engenharia; projetar e conduzir experimentos e interpretar resultados; identificar, formular e resolver problemas de engenharia; comunicar-se eficientemente nas formas escrita, oral e gráfica; atuar em equipes multidisciplinares; avaliar o impacto das atividades de engenharia no contexto social e ambiental." (Brasil, 2001).

Na proposta elaborada pela Associação Brasileira de Ensino de Engenharia (ABENGE) para as diretrizes curriculares, tais competências e habilidades também são citadas, mas, enquanto o Artigo 2º do documento do MEC aponta a avaliação do impacto das atividades da engenharia no contexto social e ambiental, a ABENGE amplia essa idéia, indicando a capacidade de "considerar nas atividades de engenharia questões relacionadas com aspectos sociais, culturais, legais, ambientais e de viabilidade econômica." (ABENGE, 1999:4).

Entre as recomendações da ABET, os objetivos anglosaxões e as diretrizes curriculares brasileiras (tanto no documento do MEC quanto no da ABENGE), vemos características consensuais que, para serem desenvolvidas, exigem mudanças profundas nos currículos atuais. De uma maneira geral, a formação dos engenheiros ainda é muito tradicional, preocupada com a reprodução de conhecimentos, ao invés de levar em consideração a criação ou aplicação dos mesmos e o trabalho em equipe.

Nas propostas brasileiras, tanto do MEC quanto da ABENGE, lemos, quase com as mesmas palavras, que os currículos dos cursos de engenharia devem dar uma sólida formação técnico-científica aos egressos, "estimulando a sua atuação crítica e criativa na identificação e resolução de problemas, considerando seus aspectos político-econômicos, sociais, ambientais e culturais, com visão ética e humanística em atendimento às demandas da sociedade." (ABENGE, 1999:3). É necessário, em nosso entender, que esse perfil do egresso seja discutido por todos os envolvidos no processo de ensino-aprendizagem nos cursos de engenharia, pois há que considerar o significado de "estimular a atuação crítica" e como fazer isso em cada disciplina do curso.

Borges e Aguiar Neto (2000:04), ao compararem as propostas da ABENGE e do MEC, deixam claro que dos novos engenheiros será exigido menos domínio de conteúdos e mais capacidade de resolver problemas, tomar decisões, trabalhar em equipe e comunicar-se. Segundo eles, "isso é o que se entende por uma abordagem baseada na competência, formando na graduação profissionais capazes de enfrentar os desafios que o cenário atual a eles impõe e que, portanto, tem

na sua natureza intrínsica de profissional competente as características de ser: flexível, adaptável, criativo e crítico".

Skovsmose (2001) cita os principais pontos da educação crítica. Em primeiro lugar, a relação professor-aluno não pode ser autoritária, os estudantes devem estar envolvidos no controle do processo educacional, bem como em uma relação dialógica e democrática com o professor e os colegas. Na educação crítica, aos estudantes e professores é atribuída uma competência crítica, ancorada, especialmente, na idéia de que os alunos têm experiências prévias que lhes permitem identificar assuntos relevantes para o processo educacional, que atendam aos seus interesses imediatos e aos mais gerais, do próprio processo.

Em segundo lugar, é importante considerar o que o autor chama de *distância crítica* em relação ao conteúdo e que envolve, por exemplo, a avaliação da aplicabilidade do conteúdo estudado, dos interesses e pressupostos por trás do assunto abordado, da função social e das limitações do tema.

Por último, o mesmo autor aponta a relação do processo educacional com os problemas existentes fora do contexto escolar. Dessa forma, abordando questões relevantes para os alunos e ligadas a problemas sociais existentes, estaremos levando em conta o *engajamento crítico*.

Skovsmose (2001:101) salienta com muita propriedade a idéia geral e unificadora para entender a educação crítica: "para que a educação, tanto como prática quanto como pesquisa, seja crítica, ela deve discutir condições básicas para a obtenção do conhecimento, deve estar a par dos problemas sociais, das desigualdades, da supressão, etc., e deve tentar fazer da educação uma força social progressivamente ativa".

Com base em suas idéias, podemos esclarecer o sentido no qual vamos usar a expressão "formação crítica". Consideramos que uma disciplina, um currículo, um curso, promovem a formação crítica do aluno quando, através das atividades desenvolvidas - em aulas expositivas ou de laboratório, em projetos, em ações extra-classe - são estimulados o diálogo entre professores e alunos, a aceitação das idéias do outro, das críticas bem fundamentadas, das necessidades e interesses dos futuros profissionais que estão sendo formados.

Além disso, os conteúdos curriculares devem ser escolhidos entre aqueles que podem, de alguma forma, estar relacionados com os problemas da sociedade na qual os estudantes (e os professores) estão inseridos. Ao abordar esses conteúdos, no entanto, não basta discorrer sobre eles, apresentando-os dissociados do contexto. É importante questionar (e estimular o questionamento por parte dos alunos) as relações do assunto com a realidade, a sua aplicabilidade, as conseqüências dessas aplicações e das simplificações que são feitas para "recortar" o real e submetê-lo aos modelos da disciplina em questão. Se essa postura for assumida pelos professores e pelos alunos de um determinado curso, julgamos que vai ser desenvolvida a capacidade crítica que permitirá ao futuro profissional tomar posições sobre qualquer assunto e avaliar as conseqüências de suas ações.

As mudanças propostas para os currículos de engenharia de muitas Universidades brasileiras mostram idéias em consonância com as novas tendências pedagógicas e com resultados de experiências realizadas por muitos educadores da área de ciências exatas. Entre os itens inovadores, podemos destacar: emprego da modelagem matemática para solução de problemas específicos da área; uso de computadores no ensino; disciplinas ministradas em conjunto por professores de Unidades diversas; distribuição de disciplinas introdutórias ao curso em questão desde os primeiros semestres; turmas únicas para as disciplinas específicas de cada curso; diminuição do número de alunos por disciplina.

Na situação atual dos cursos de engenharia de algumas Universidades - privadas e mesmo públicas - o número de alunos ingressantes diminui a cada semestre. Sabemos que as razões são variadas, mas uma delas, com certeza, é o elevado número de horas desses cursos, que impede o acesso ao mercado de trabalho e torna muito caro o sustento do aluno até a formatura. Assim, também em consonância com as novas diretrizes curriculares, é necessário diminuir a duração dos cursos, mas essa redução de carga horária não pode colocar em risco a qualificação do ensino.

Muitos professores consideram inviável essa "mistura" de qualidade com número reduzido de horas e recusam-se a aceitar as mudanças propostas. Porém, em uma época em que o excesso de informação é a tônica e que qualquer assunto pode ser acessado rapidamente através da Internet, não há sentido em acumular conhecimentos. O futuro profissional precisa saber onde encontrar os dados de que necessita mas, principalmente, precisa ter habilidades para trabalhar com os conhecimentos, para aplicá-los a situações novas, para criar soluções para problemas novos.

Apesar da redução do número de alunos calouros, especialmente em alguns cursos de engenharia, as turmas de disciplinas básicas como Cálculo Diferencial e Integral apresentam, às vezes, 60, 70 ou até mais alunos. A razão dessa incoerência é o elevado número de reprovações, cujas causas já foram exaustivamente debatidas em várias IES brasileiras, com algumas medidas sugeridas para diminuir o problema, em trabalhos apresentados em Encontros da área.

Passos et al (2001) consideram que os cursos com elevado índice de reprovação são também aqueles em que os alunos ingressantes apresentaram as menores pontuações nos vestibulares. Dessa forma, se temos vagas ociosas, com certeza estamos recebendo alunos com pouca base em disciplinas da área de exatas, que assim terão aumentadas suas dificuldades nas disciplinas básicas e engrossarão as fileiras dos reprovados. Os autores relatam experiência com tutoria em Português e Matemática para aqueles estudantes que têm as piores notas no vestibular, indicando a criação de grupos de 20 a 24 alunos, trabalhando em ambiente interativo.

Silveira et al. (2001) fazem menção a estudos internacionais que indicam serem as atividades de debate e prática aquelas que possibilitam maior retenção do conhecimento pelos alunos. Da mesma forma, parece haver um consenso de que a forma de trabalho em sala de aula exige turmas de 15 a 32 alunos e que um número maior do que este é compatível apenas

com as atividades de auditório, bastante frequentes em universidades européias.

Wilkinson et al. (2001), comentando dados de universidades inglesas, consideram que, com conferências e material disponível para aprendizagem auxiliada pelo computador (computer-aided learning packages), é possível trabalhar com turmas de 100 alunos, mas as atividades que exigem habilidades críticas e reflexivas só podem ser desenvolvidas em pequenos grupos, em que um tutor ajuda os alunos a resolverem problemas e há um professor, estudante de pós-graduação ou auxiliar de pesquisa, cujo papel é ajudar na transição entre o ensino básico e a universidade.

O ensino de engenharia em universidades brasileiras não tem, em geral, essas aulas que servem apenas para que os estudantes tenham uma idéia do tema que vai ser aprofundado por eles, em estudos individuais ou com auxílio de professores auxiliares. Dessa forma, colocar 60, 70 ou mais alunos para assistir uma aula tradicional, cujo conteúdo não será revisado ou trabalhado em pequenos grupos, produz resultados questionáveis, que se refletem em baixo rendimento.

Parece-nos, portanto, que há uma série de pontos a discutir nas novas propostas e que as disciplinas matemáticas, presentes em qualquer curso de engenharia, independentemente do número de horas a elas destinadas, têm um papel importante nesses debates.

MODELAGEM MATEMÁTICA E COMPUTADORES: OPÇÕES PARA O ENSINO DE DISCIPLINAS MATEMÁTICAS

Tributários da tradição positivista, os professores de matemática, muitas vezes, consideram ser fundamental o acúmulo de conteúdos, o cumprimento rígido de programas e cronogramas, a seqüência tradicional de apresentação dos itens programáticos. Como apontam Felder et al. (2001:02), no caso referindo-se a professores de engenharia, eles relutam em "se afastar dos métodos de ensino familiares e confortáveis pelos quais foram ensinados, especialmente se acreditam que a mudança de métodos requer substancial dispêndio de tempo". Dessa forma, em discussões sobre mudanças curriculares, esses professores não vêem a possibilidade de enfocar os conteúdos matemáticos sob novas formas.

Fernandes (2001:122) entrevistou professores de matemática de uma universidade federal que trabalham em cursos de matemática ou de engenharia e constatou que "a sala de aula de Matemática é um espaço para se discutir 'somente' as coisas da Matemática". Dessa forma, esses docentes e seus alunos perdem a oportunidade de desenvolver o raciocínio lógico, a formulação de hipóteses e a crítica de soluções alternativas relacionadas com problemas reais, ficando absolutamente restritos aos problemas-padrão dos livros-texto de matemática.

Se o futuro engenheiro deve aplicar conhecimentos matemáticos, cientícos e tecnológicos à engenharia, trabalhar em equipes multidisciplinares e avaliar o impacto de suas atividades no contexto social e ambiental, parece-nos que todas as disciplinas da grade curricular deveriam enfocar essas exigências. Assim, não se pode mais pensar em trabalhar o Cálculo, a Álgebra Linear, a Geometria Analítica, as Equações Diferenciais, etc, de forma compartimentada, como se os conteúdos pudessem ficar "guardados" na mente do aluno esperando a hora em que alguma outra disciplina deles necessite.

Um exemplo de experiência que visa a formação humanista dos futuros engenheiros a partir das próprias disciplinas específicas do currículo foi realizada na UFMG, com o "Programa de internato curricular". Alunos do curso de engenharia civil, através de convênio com o Plano Municipal de Meio Ambiente do município de Pirapora, MG, trabalharam em três sub-projetos: caracterização físico-química do lixo; implantação da coleta seletiva do mesmo; planejamento e otimização da rota de coleta. (Gazolla e Silva, 2001).

Pela descrição da experiência, vê-se que foram envolvidos conhecimentos das disciplinas básicas, como matemática, física e química, além de outros, específicos das matérias da engenharia. Porém, mais do que utilizar informações, os alunos tiveram que desenvolver a habilidade de relacionar os conhecimentos de uma forma criativa, formular e resolver problemas, bem como interagir com a realidade social, administrativa, política, cultural e econômica da região.

Experiências didático-pedagógicas que aproximam alunos e professores de disciplinas variadas já têm o potencial de despertar o pensamento crítico, face às diversas opções metodológicas que se apresentam para os estudantes. Kiaer et al. (apud Cury, 2000:5-6), descrevendo atividades multidisciplinares realizadas com computadores, consideram que:

Se cientistas da computação assistem à introdução do Maple em aulas de Matemática ou se os matemáticos assistem um laboratório de Física ou Química envolvendo modelagem e ajustamento de curvas, as ferramentas computacionais que eles compartilham facilitarão a exposição e as conexões interdisciplinares. E a presença do computador em qualquer currículo levará o estudante a adotar de forma natural um estilo mais exploratório de resolução de problemas.

Uma das maneiras de envolver os alunos em trabalhos em equipe, ao mesmo tempo em que identificam, formulam e resolvem problemas de engenharia, é utilizar a modelagem matemática, associada ou não ao uso de calculadoras ou computadores. O entendimento sobre o que caracteriza a modelagem matemática não é consensual, pois envolve, dentre outros aspectos, a definição dessa abordagem, a forma como vai ser utilizada e as concepções de ensino-aprendizagem do professor/pesquisador que a emprega.

Bassanezi (1989:64) considera que o processo chamado Modelagem Matemática envolve o "estudo de problemas e situações reais usando a Matemática como linguagem para sua compreensão, simplificação e resolução para uma possível previsão ou modificação do objeto estudado". Dessa forma, é possível aprender conteúdos matemáticos interligados aos de outras ciências.

De maneira geral, nesse processo há uma série de passos para modelar uma situação, que podem ser resumidamente indicados: escolha do tema, levantamento de dados, formulação do problema, seleção de variáveis e formulação de hipóteses, elaboração do modelo, resolução, interpretação e validação. (Bassanezi, 1989; Biembengut e Hein, 2000).

Em termos de ensino superior de matemática, a modelagem se apresenta tanto nas disciplinas tradicionais, como Matemática Aplicada, como nas disciplinas específicas dos diversos cursos em que problemas-padrão recebem um tratamento matemático, com apelo a equações diferenciais, por exemplo, apresentando soluções analíticas e numéricas.

Uma amostra desse tipo de trabalho encontra-se em Domingos e Bordeira (2001), que descrevem uma experiência realizada com alunos de engenharia que freqüentam aulas de equações diferenciais. Escolhidos problemas clássicos de algumas disciplinas - Mecânica dos Fluidos, Transferência de Calor, Circuitos e Vibrações -, os alunos se organizam em grupos, selecionam um problema sob orientação do professor da disciplina específica, buscam as soluções analítica e numérica das equações diferenciais (com o apoio de *software* como o Maple V ou MatLab) e realizam a experiência correspondente em laboratório, para comprovar os resultados.

A "atitude" de matemática aplicada no aprendizado da matemática, nas próprias palavras de Bassanezi (1989), não é garantia de que alunos e professores estejam engajados em propostas inovadoras ou de que a competência crítica esteja sendo desenvolvida. Barbosa (1999:69), mesmo constatando que a modelagem matemática é um método da matemática aplicada, usado em vários ramos do conhecimento, enfatiza que ele "foi apreendido e transposto para o terreno do ensino-aprendizagem como uma das formas de utilizar a realidade nas aulas de matemática".

O mesmo autor, em outro texto (Barbosa, 2001) aponta três formas de trabalhar com modelagem em currículos de qualquer nível de ensino:

- a) o professor descreve a situação-problema e os alunos, com as ferramentas oferecidas por ele, constroem o modelo matemático;
- b) o professor traz uma sugestão de problema, para a solução do qual os alunos necessitam buscar dados, levantar hipóteses, fazer modificações e criar o modelo;
- c) a partir de um tema do interesse do grupo, os alunos engajam-se em um projeto, responsabilizando-se por todas as etapas, desde a formulação do problema até a validação da solução encontrada.

Mesmo entendendo que há um aumento de dificuldades de uma forma de trabalho para outra, acreditamos ser possível realizar experiências interessantes em qualquer uma delas, pois a escolha do tipo de abordagem vai depender dos conteúdos envolvidos, do nível de maturidade dos alunos e da experiência do professor com o uso da modelagem.

Quando a modelagem matemática é utilizada na investigação de uma situação concreta de outra área ou quando

é pensada como uma forma de introduzir conceitos matemáticos, a ênfase não está, necessariamente, na crítica. Porém, trabalhar com essa metodologia na perspectiva da educação matemática crítica envolve especialmente o aproveitamento dos problemas - trazidos pelo professor ou pelos alunos - para levar os estudantes a refletir sobre todos os aspectos envolvidos na situação modelada, aspectos matemáticos, científicos, tecnológicos, sociais, ambientais, políticos, econômicos.

Por exemplo, se alunos de engenharia enfrentam o problema de otimizar a rota de coleta de lixo, como foi citado por Gazolla e Silva (2001), além dos passos necessários para a solução do problema e da discussão sobre as simplificações feitas para a obtenção do modelo, também podem ser debatidas as diferenças entre o lixo recolhido em bairros pobres e ricos, o desperdício, a reciclagem, os problemas de saúde sofridos pelos que trabalham nos depósitos de lixo, a exploração do trabalho infantil nesses locais, entre muitos outros tópicos relacionados com o tema e que se configuram em problemas culturais, sociais, ambientais ou legais.

Em qualquer modalidade, um elemento que vem trazer facilidades para a criação do modelo e a solução do problema é o uso de calculadoras ou computadores. Sabemos que muitas IES estão se instrumentalizando para o trabalho com recursos tecnológicos, até mesmo como forma de qualificar os cursos face às avaliações do MEC. Dessa forma, é importante aproveitar os *software* existentes e desenvolver soluções analíticas, gráficas ou numéricas, que mostrem aos futuros engenheiros como projetar e conduzir experimentos e interpretar resultados, segundo as competências indicadas nas diretrizes curriculares.

Giorgetti (2000) relata experiência desenvolvida em disciplina optativa oferecida no curso de Engenharia Civil da USP-São Carlos e em outros projetos de cursos de engenharia de IES brasileiras. A partir de experimentos realizados em sala de aula, com participação dos alunos na observação dos fenômenos e na modelagem dos mesmos, são desenvolvidos conteúdos de Cálculo Diferencial e Integral, Álgebra Linear ou Cálculo Numérico. A motivação para o trabalho é aumentada quando é incorporado um sistema de aquisição de dados em tempo real, composto de calculadoras gráficas, sensores, sondas e cabos de conexão.

Em qualquer das abordagens metodológicas aqui citadas, a saber, a modelagem matemática e o uso de novas tecnologias no ensino de matemática, consideramos que há um obstáculo inicial a ser superado: a postura do professor como centro do saber. Sabemos que ainda é difícil, para muitos docentes da área de ciências exatas, acostumar-se com a idéia de que o conhecimento não é propriedade sua e que não pode ser "depositado" na cabeça do aluno, na acepção que Paulo Freire chamou de "educação bancária". Os estudantes chegam à universidade com um conjunto de saberes, concepções, opiniões, algumas vezes equivocados, outras vezes assimilados acriticamente, mas essa rede de conexões já está estabelecida e não pode ser simplesmente substituída por outra. É importante que os professores oportunizem aos alunos a desestabilização de suas crenças ou a comprovação de seus

conhecimentos, através de experiências, de debates, de reelaborações de idéias.

Biembengut e Hein (2000:12), ao considerarem que "modelagem matemática é o processo que envolve a obtenção de um modelo", acrescentam que, "sob certa ótica, pode ser considerado um processo artístico, visto que, para se elaborar um modelo, além de conhecimento matemático o modelador precisa ter uma dose significativa de intuição e criatividade para interpretar o contexto".

Efetivamente, se queremos formar engenheiros capazes de criar ao invés de copiar soluções alheias, temos que proporcionar-lhes ambientes de aprendizagem nos quais eles se sintam motivados a exercer essa criatividade.

Premidos pelas direções dos cursos ou pelo exemplo de colegas que se arriscaram a utilizar computadores, muitos professores de disciplinas matemáticas começam a freqüentar com seus alunos os laboratórios de informática, sem uma preparação adequada para trabalhar em tais ambientes.

Laudares e Lachini (2001:84) relatam observações de aulas em laboratórios que são exemplos dos equívocos que podem ocorrer na utilização acrítica dos computadores: a) o conteúdo matemático é apresentado inicialmente pelo professor e a seguir os alunos devem executar uma série de exercícios no computador, digitando comandos e observando na tela as respostas; b) nesse caso, se não entenderam a explicação do professor, os estudantes não conseguem, também, saber se o resultado obtido está certo e procuram conferir as respostas com as dos outros colegas; c) os alunos não percebem o objetivo do trabalho e limitam-se, portanto, a se desencumbir da tarefa; d) as intervenções do monitor e do professor são, em geral, no sentido de esclarecer dúvidas sobre o uso do software e não sobre o conteúdo. Dessa forma, conforme os autores, as atividades de laboratório transformam-se em "treinamento para manuseio do computador", não representando "inovação no processo de ensinoaprendizagem".

Muitos professores de disciplinas matemáticas em cursos da área de exatas não têm mais dúvidas sobre a importância do computador no ensino, assim como também não questionam mais o uso de calculadoras. No entanto, é necessário discutir os objetivos desse uso, investigar as formas de trabalhar nos laboratórios de informática, realizar pesquisas sobre os resultados obtidos, avaliar o desempenho dos alunos que participam das experiências. Como afirmam Borba e Penteado (2001:11), o computador é apresentado como solução para os problemas educacionais mas nem sempre é colocada a questão: "qual é o problema para o qual o computador é a resposta?"

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As diretrizes curriculares citam a capacidade de avaliar o impacto das atividades de engenharia no contexto social e ambiental como uma das características desejáveis para os futuros engenheiros e a discussão sobre as possíveis consequências das ações desencadeadas pelos mesmos é, em nosso entender, a primeira etapa da formação de um profissional crítico e responsável. No entanto, se julgarmos

que esses debates devem se restringir às disciplinas humanísticas do currículo ou às que tratam especificamente de questões ambientais, estaremos evitando a orientação do documento das diretrizes, que aponta a necessidade de trabalhar em equipe e desenvolver atividades em ambientes de aprendizagem multidisciplinares.

Não é mais possível pensar em reformas curriculares sem levar em conta a situação real na qual estarão inseridos os futuros profissionais. Como aponta Bazzo (1998:202), "a contextualização sempre se faz necessária para as possíveis soluções científicas e tecnológicas de qualquer país do mundo, e muito mais para os países em desenvolvimento".

Assim, deveria ser estimulado o contato dos alunos com a realidade, em atuações junto a órgãos municipais, estaduais, federais ou mesmo não governamentais, de forma que as atividades universitárias não sejam vividas em uma redoma de vidro, que isole os estudantes de todos os problemas do mundo, como se fosse possível prepará-los para a vida sem viver.

Voltando às formas de trabalhar com modelagem, apontadas por Barbosa (2001), e às considerações sobre a necessidade de formar um engenheiro crítico, inserido no contexto em que vai vivenciar sua prática, acreditamos que devemos investir na busca de problemas da vida real, trazidos pelo professor ou pelos estudantes, e que lhes permitam fazer frente às necessidades de criar modelos para formulação e solução dos mesmos.

Os problemas apresentados em livros-texto ou criados pelo professor são importantes, evidentemente, em alguns momentos em que o aluno vai se deparar pela primeira vez com certas disciplinas matemáticas, como equações diferenciais, ou com itens específicos, como otimização, em Cálculo Diferencial e Integral. No entanto, os problemas teóricos sempre têm solução, os dados são escolhidos convenientemente para que o aluno não perca tempo com cálculos "inúteis", para que as funções modeladoras sejam aquelas já estudadas, e assim por diante.

Mas, não é essa a situação com a qual o futuro profissional vai se deparar na vida real e muitas críticas de engenheiros atuantes no mercado de trabalho, desvalorizando o ensino de disciplinas matemáticas, podem ter origem nesse distanciamento entre a teoria comodamente apresentada e a prática exigente e desconcertante.

Os software de computação algébrica ou simbólica são recursos muito importantes para a modelagem matemática, porque permitem que alunos e professores trabalhem com dados reais de uma forma mais simples, estabeleçam o nível de precisão de que vão necessitar, discutam os problemas que surgem quando as funções não se comportam conforme o esperado, criem estratégias para superar as dificuldades, façam apelo a métodos numéricos quando os analíticos não são capazes de fornecer as soluções, etc.

Acreditamos, portanto, que a modelagem associada ao uso de novas tecnologias pode ser uma forma de introduzir, nas reformas curriculares, metodologias que ajudem a desenvolver competências e habilidades necessárias ao futuro engenheiro, contribuindo para formar um profissional crítico, consciente

dos problemas da realidade brasileira, capaz de apresentar suas próprias idéias e formular possíveis soluções.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABENGE. Relatório da Comissão Nacional de Diretrizes Curriculares para os Cursos de Engenharia. Brasília, 1999.
- BARBOSA, J. C. O que pensam os professores sobre a modelagem matemática? Zetetiké, v.7, n.11, pp.67-85, jan./jun. 1999.
- BARBOSA, J. C. Modelagem na educação matemática: contribuições para o debate teórico. In: REUNIÃO ANUAL DA ANPED, 24., Caxambu, 2001. Anais...Rio de Janeiro: ANPED, 2001. CD.
- BASSANEZI, R. Modelagem como metodologia de ensino de matemática: parte I. Boletim da SBMAC, v.1, n.2, pp. 61-69, set. 1989.
- BAZZO, W. A. Ciência, tecnologia e sociedade: e o contexto da educação tecnológica. Florianópolis: Ed. da USFC, 1998.
- BIEMBENGUT, M. S.; HEIN, N. Modelagem matemática no ensino. São Paulo: Contexto, 2000.
- BORBA, M. de C.; PENTEADO, M. G. Informática e educação matemática. Belo Horizonte: Autêntica, 2001.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Superior. Diretrizes curriculares. Disponível em http://www.mec.gov.br/Sesu/diretriz.shtm#diretrizes. Acesso em: 25 mar. 2001.
- BORGES, M. N.; AGUIAR NETO, B. G. Diretrizes curriculares para os cursos de engenharia: análise comparativa das propostas da ABENGE e do MEC. Revista de Ensino de Engenharia, v.19, n.2, pp.1-7, dez. 2000.
- CRITERIA for accrediting engineering programs. Disponivel em http://www.abet.org/ images/eac_criteria_b.pdf >. Acesso em: 27 out. 2001.
- CURY, H. N. Criação de ambientes de aprendizagem para o cálculo diferencial e integral. In: CONGRESSO SUL-BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO-ÁREA EXATAS, 1., 2000, Florianópolis. Anais... Florianópolis: UNISUL, 2000. CD.
- DOMINGOS, J. R. V.; BORDEIRA, J. A. S. Novas abordagens para o ensino de equações diferenciais em cursos básicos de engenharia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 29., 2001, Porto Alegre. Anais...Porto Alegre: PUCRS, 2001. CD.
- FELDER, R. M.; STICE, J. E.; RUGARCIA, A. The future of engineering education VI: making reform happen. Disponível em http://www2.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/Papers/ Quartet6.pdf > . Aceso em: 07 out. 2001.
- FERNANDES, Déa N. Concepções dos professores de matemática: uma contra-doutrina para nortear a prática. 2001. Dissertação (Mestrado em Educação Matemática) Instituto de Geografia e Ciências Exatas, Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro.

7

- GAZOLLA, D. A.; SILVA, R. M. Aplicações da disciplina "Programa de internato curricular" do ensino de engenharia civil da UFMG: caracterização física de resíduos sólidos e roteamento da coleta de lixo urbano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 29., 2001, Porto Alegre. Anais...Porto Alegre: PUCRS, 2001. CD.
- GIORGETTI, M. F. Formulação e solução de problemas em engenharia através de estratégias de integração com disciplinas de formação básica. In: ENCONTRO REGIONAL DE ENSINO DE ESTATÍSTICA E MATEMÁTICA, 1., 2000, Porto Alegre. Texto digitado. Porto Alegre: PUCRS, 2000.
- LAUDARES, J. B.; LACHINI, J. O uso do computador no ensino de matemática na graduação. In: ENCONTRO REGIONAL DE ENSINO DE ESTATÍSTICA E MATEMÁTICA. (Org.). Educação matemática: a prática educativa sob o olhar de professores de cálculo. Belo Horizonte: FUMARC, 2001. pp.68-88.
- PASSOS, F. J. V. et al. Programa de tutoria: uma esperança. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 29., 2001, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: PUCRS, 2001. CD.
- SILVEIRA, M. H. et al. Aprendizagem e currículo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 29., 2001, Porto Alegre. Anais...Porto Alegre: PUCRS, 2001. CD.
- SKOVSMOSE, O. Educação matemática crítica: a questão da democracia. São Paulo: Papirus, 2001.
- WILKINSON, J.; MATTHEW, B.; EARNSHAW, H. Engineers need mathematics but can we make it interesting? In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING EDUCATION, 2001, Oslo. Proceedings...Oslo, Noruega, Aug. 2001. CD.

DADOS BIOGRÁFICOS DA AUTORA



Helena Noronha Cury

Licenciada em Matemática, 1969, Faculdade de Filosofia, UFRGS; Bacharel em Matemática, 1972, Instituto de Matemática, UFRGS; Especialista em Fundamentos da Matemática e Análise, 1985, Instituto de Matemática, PUCRS; Mestre em Educação, 1989, Faculdade

de Educação, UFRGS; Doutora em Ciências Humanas-Educação, 1995, Faculdade de Educação, UFRGS. Local de Trabalho: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Função: Professora Titular. Área de Atuação: Ensino de Cálculo Diferencial e Integral. Assuntos de interesse atual na educação em engenharia: Ensino de Cálculo Diferencial e Integral; Uso de computadores no ensino de Cálculo.

UM SISTEMA GRÁFICO INTERATIVO PARA O ENSINO E PROJETO DO EFEITO DO VENTO SOBRE O COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE TORRES DE AÇO

José Guilherme Santos da Silva¹ & Janina Schmidt de Andrade Lima²

RESUMO

Este trabalho apresenta como objetivo principal o desenvolvimento de um software didático, com base na plataforma Windows, de forma a incluir os efeitos devidos à ação estática das cargas translacionais horizontais, cargas de vento, sobre torres metálicas de telecomunicações e de transmissão de energia elétrica. A implementação de ferramentas computacionais gráficas é de importância indiscutível no sentido de permitir aos alunos de graduação da Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, FEN/UERJ, visualizar com maior clareza e compreender todos os fenômenos físicos envolvidos com o comportamento e a análise estrutural e, em particular, a avaliação do efeito do vento em estruturas. Essa foi a principal motivação para o desenvolvimento de ferramentas gráficas nos Laboratórios Computacionais da Faculdade de Engenharia da UERJ, de modo a estimular e motivar os alunos de graduação minorando possíveis deficiências associadas ao estudo e análise desse tipo de problema.

Palavras-chave: Ensino de engenharia, Softwares educacionais, Torres de aço

ABSTRACT

The main purpose of this paper is the development of a structural engineering didactic software, based on the Windows platform, to evaluate the effects of wind loads static action on steel telecommunication and transmission towers. The implementation of computational graphic tools is important in way to stimulate and enable the undergraduate students of the Faculty of Engineering of the State University of Rio de Janeiro, FEN/UERJ, to visualize and to understand all the physical phenomena involved, in particular, the evaluation of the wind loads actions in structures. This was the main motivation for the creation and implementation of computational graphic tools in the engineering courses of the Faculty of Engineering of the Sate University of Rio de Janeiro, in order to motivate the undergraduate students lessening possible deficiencies associated to the study and analysis of that problem type.

Keywords: Engineering education, Educational softwares, Steel towers

INTRODUÇÃO

Em todas as áreas de conhecimento, tecnológicas ou não, um impacto cada vez maior dos mais recentes desenvolvimentos da informática vem sendo observado. Um dos instrumentos mais efetivos para acelerar este processo de desenvolvimento se dá através do treinamento e esclarecimento dos novos profissionais que irão entrar no mercado de trabalho.

As Universidades, como instituições de ensino/pesquisa, devem, portanto, assumir esta responsabilidade e treinar

adequadamente estes novos profissionais alertando-os para os aspectos positivos e negativos destas mudanças, sem esquecer de continuamente ensinar os aspectos básicos e fundamentais de cada profissão.

A utilização de programas computacionais para análise e dimensionamento de estruturas deve ser acompanhada de uma supervisão adequada. A maioria destes programas funciona como um sistema fechado (do tipo "caixa preta") fornecendo resultados consistentes ou não dependendo de como foram fornecidos os dados de entrada do problema a ser resolvido. Alguns dos erros mais freqüentes se dão por

¹ Professor Adjunto/Procientista, D.Sc., Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, Faculdade de Engenharia, FEN, Departamento de Engenharia Mecânica, MECAN, Rua São Francisco Xavier, № 524, Bloco A, Sala 5016-A, CEP: 20559-900, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, E-mail: jgss@uerj.br

² Aluna de Graduação, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, Faculdade de Engenharia, FEN, Departamento de Estruturas e Fundações, ESTR, Rua São Francisco Xavier, № 524, Bloco A, Sala 5016-A, CEP: 20559-900, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, E-mail: janinas@momentus.com.br

uso incorreto de unidades, definição incorreta das condições de suporte entre outros. Cabe a cada engenheiro ter a capacidade de analisar os resultados advindos do programa e decidir se os mesmos são coerentes ou não.

Este trabalho apresenta, de forma resumida, o desenvolvimento de um programa didático, gráfico interativo, intitulado THOR, concebido para avaliação do efeito do vento sobre o comportamento estrutural de torres de aço de telecomunicações e de transmissão de energia.

A idéia do desenvolvimento deste software didático se encontra calcada em trabalhos anteriores (Almeida *et al*, 1997; Almeida *et al*, 1998; Vellasco *et al*, 1999). A implementação desse tipo de programa é um dos principais elementos de motivação para o desenvolvimento de novos aplicativos para o ensino de engenharia na graduação por parte de alunos e professores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, FEN/UERJ.

EFEITO DAS CARGAS DE VENTO

Atualmente, com base no crescente desenvolvimento da tecnologia das construções e na elaboração de projetos arquitetônicos cada vez mais arrojados, faz-se necessário que os profissionais ligados à engenharia, arquitetos e engenheiros civis, possuam absoluto domínio sobre a influência dos mais variados tipos de carregamentos atuantes em uma estrutura.

Os diversos tipos de carregamentos, estáticos e/ou dinâmicos, devem ser considerados e modelados adequadamente pelo projetista quando das etapas de cálculo e dimensionamento de uma estrutura. Assim sendo, a consideração das forças devido à ação estática e dinâmica do vento apresenta importância singular em situações correntes da engenharia civil como, por exemplo, a avaliação dessas cargas de vento sobre o comportamento estrutural de torres metálicas.

Deste modo, este trabalho de pesquisa apresenta como objetivo principal o desenvolvimento de um software didático, programa THOR, de forma a incluir em sua versão final os efeitos devidos à ação estática das cargas de vento, sobre torres de aço de telecomunicações e de transmissão de energia.

Segundo Vellasco *et al.* (1999), apesar de todo esforço despendido por grande parte dos cursos de engenharia civil no sentido de ensinar como se avalia corretamente o efeito do vento em estruturas, desastres continuam a acontecer, como mostram as Fig. 1 e Fig. 2.

A principal razão para isto, vem do fato de que em estruturas de concreto armado convencionais, que possuem peso próprio e rigidez consideráveis, o efeito do vento, geralmente, não controla o dimensionamento estrutural. Tal fato não é verdade para estruturas mais leves e esbeltas tais como as estruturas de aço. Nessas estruturas, as ações provenientes do vento podem gerar uma reversão nos esforços e, conseqüentemente, induzir o colapso das mesmas.

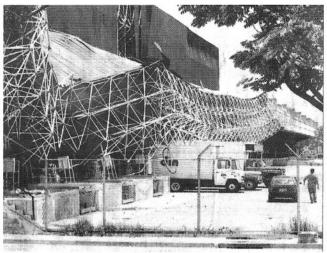


Figura 1. Colapso da cobertura do estacionamento do aeroporto de Cumbica, Guarulhos, 06/02/1999



Figura 2. Desabamento das torres de sustentação de um painel de propaganda em Osasco, 23/01/1999

Objetivando motivar estudantes e profissionais de engenharia a entenderem e se familiarizarem com o processo de avaliação das ações estáticas provenientes do vento sobre o comportamento estrutural de torres de aço de telecomunicações e de transmissão de energia elétrica, foi concebido um programa didático, intitulado THOR, que será mais bem descrito na seqüência do texto.

PROGRAMA THOR

O programa THOR foi desenvolvido em linguagem DELPHI (Santos e Reis, 1998), a partir de uma arquitetura baseada em janelas sucessivas, com base na plataforma Windows.

Cada janela gerada pelo programa permite a aquisição de valores numéricos, associados ao cálculo das cargas de vento. Esses valores são fornecidos previamente pelo usuário e devem ser colocados nos espaços em branco a serem preenchidos, correspondentes a cada janela do programa THOR.

De acordo com a utilização sequencial do programa THOR, procede-se ao cálculo das ações estáticas devidas ao efeito do vento sobre o comportamento estrutural de torres de aço, com base na Norma Brasileira de Vento, NBR-6123, (ABNT, 1988) e na Norma Brasileira de Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica, NBR-5422, (ABNT, 1985).

O software desenvolvido permite, ainda, com base na criação de janelas explicativas, inúmeras possibilidades de consulta às normas de vento vigentes no país, NBR-6123 (ABNT, 1988) e NBR-5422, (ABNT, 1985), ao longo do processo de análise da estrutura.

O programa THOR foi concebido para ser utilizado, principalmente, no ensino de disciplinas da graduação da Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, FEN/UERJ, como, por exemplo, Estruturas de Aço e Estruturas Hiperestáticas. O desenvolvimento do presente trabalho de pesquisa compreendeu as seguintes etapas:

- 1ª. Revisão bibliográfica sobre o assunto em questão, ação do vento em estruturas;
- 2^a. Estudo detalhado sobre todos os aspectos associados às Normas Brasileiras de Vento (ABNT, 1988) e (ABNT, 1985);
- 3ª. Estudo da linguagem de programação DELPHI (Santos e Reis, 1998);
- 4ª. Elaboração, implementação e execução de testes no programa THOR;
- 5ª. Conclusão do trabalho com base em exemplos rodados no programa desenvolvido.

Ressalta-se que, ao longo do trabalho, devido às limitações de espaço, é considerado apenas um exemplo associado a uma torre de aço do tipo reticulada com base quadrada. A estrutura é constituída por perfis laminados de aço do tipo cantoneiras, conectadas por meio de parafusos.

O primeiro passo para a execução do programa THOR está associado à determinação da velocidade básica do vento, V₀. Desta forma, o usuário pode determinar tal velocidade de acordo com a região do país em que a estrutura se encontra localizada, como mostra a Fig. 3. Na seqüência, o usuário deve fornecer as características geométricas básicas da torre em estudo, referentes às suas dimensões, tais como: altura, largura da base e a altura de cada seção, como mostra a Fig. 4.

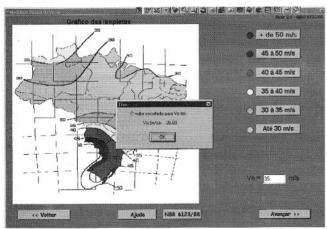


Figura 3. Definição da velocidade básica do vento, V_o

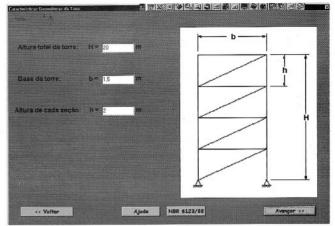


Figura 4. Definição das características geométricas da torre

Em prosseguimento, segue-se com a escolha do fator topográfico, S1, o qual é definido com base nas características do terreno onde a estrutura se encontra, como é apresentado na Fig. 5.

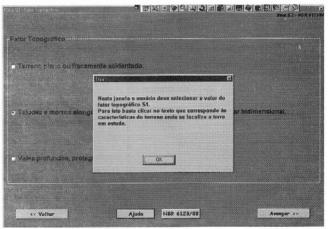


Figura 5. Obtenção do fator topográfico, S1

Caso a estrutura em estudo esteja situada em um talude ou morro, o usuário deve fornecer as características do terreno a partir de uma janela específica, como é mostrado na Fig. 6.

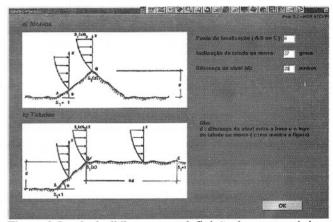


Figura 6. Janela de diálogo para a definição das características dos taludes ou morros

Em caso contrário, basta que o usuário selecione na janela anterior, apresentada na Fig. 5, a alternativa desejada e o programa THOR mostrará automaticamente a próxima etapa do cálculo das cargas de vento.

O próximo passo na execução do programa está associado à obtenção do fator de rugosidade, S2, de acordo com a seleção da categoria do terreno e da classe da edificação, ambas associadas à rugosidade do terreno e as dimensões da estrutura em estudo, respectivamente. Esta seqüência de diálogo, para obtenção do fator S2, encontra-se bem ilustrada pelas Fig. 7 e Fig. 8.

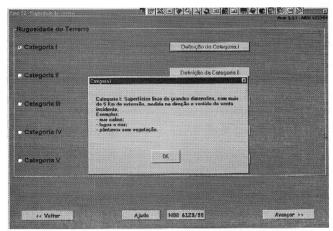


Figura 7. Definição das categorias de rugosidade do terreno, fator S2

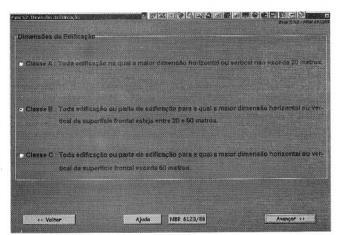


Figura 8. Definição das dimensões da edificação, fator S2

O valor do fator estatístico, S3, para os casos analisados no programa THOR é igual a 1,10, já que o software em questão se destina ao cálculo das cargas de vento em torres de aço de telecomunicações e de transmissão de energia elétrica. Este fator é baseado em conceitos estatísticos, considerando o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação em estudo, como é mostrado na Fig. 9.

Com base em todas as informações fornecidas pelo usuário do programa até esta etapa, o software procede aos cálculos do fator topográfico, S1, do fator de rugosidade, S2, da velocidade característica do vento, Vk, e da pressão

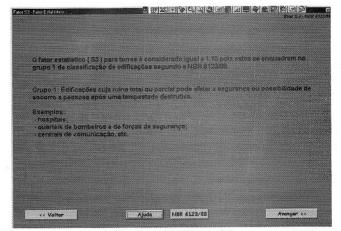


Figura 9. Definição do fator estatístico, S3

dinâmica, q, em cada seção da torre metálica. Essas grandezas são exibidas para o usuário através de uma tabela, contendo todos os valores numéricos, como é apresentado na Fig. 10.

	eção.	S (m)	S1	52	Vk (m/e)	q (N/m2)	(a)
		20	1,407	1,138	61,647	2329,649	
	ž	18	1,434	1,138	62,408	2387,464	
	3	16	1,461	1,122	63,104	2441,017	
		14	1.489	1,112	63,720	2488,949	
	,	12	1,516	1,101	64,235	2529,346	
	i	10	1,543	1,088	64,615	2559,361	
	,	8	1,578	1.072	64,805	2574,438	
	3	6	1,597	1,852	64,704	2566,417	
	8	4	1,624	1,025	64,092	2518,098	
unit topog Ingestetet Interidada Pravião dia	do tarry Carazilo	ne. Álica do ve	isto.				
64	7300 0 0	att de mone	licis da tacran				

Figura 10. Cálculo da velocidade característica do vento, Vk, e pressão dinâmica, q

Como prosseguimento, o usuário tem acesso a uma janela de diálogo onde devem ser fornecidas as características geométricas dos perfis metálicos que compõem a estrutura da torre em estudo.

Nesta seção do programa, é solicitado ao usuário que as dimensões referentes aos perfis sejam dadas em milímetros, de acordo com a prática corrente de projeto. O comprimento de cada barra é calculado pelo próprio programa THOR, com base na geometria da torre em estudo, como apresentado na Fig. 11.

As dimensões dos perfis metálicos são empregadas no cálculo da área frontal efetiva, $A_{\rm e}$, da área bruta, $A_{\rm b}$, do índice de área exposta, $I_{\rm a}$, e coeficiente de arrasto, $C_{\rm a}$. O cálculo dessas grandezas é absolutamente necessário para obtenção das cargas de vento.

A norma brasileira de vento, NBR-6123 (ABNT, 1988), define a área frontal efetiva, A_e, como a área da projeção ortogonal das barras de uma das faces da torre reticulada sobre um plano paralelo a esta face, e a área bruta, A_b, como a

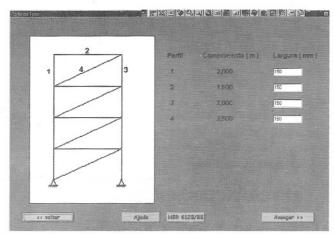


Figura 11. Definição das características geométricas dos perfis do tipo cantoneiras da torre de aço

área frontal da superfície limitada pelo contorno do reticulado. O índice de área exposta, I_a , é dado pela razão entre a área frontal efetiva, A_e , e a área bruta, A_b , de acordo com a NBR-6123 (ABNT, 1988).

O coeficiente de arrasto, C_a, para torres reticuladas com base quadrada constituídas por barras prismáticas de faces planas associadas, por exemplo, a torre mostrada nas janelas de diálogo do programa, é determinada a partir do índice de área exposta, Ia (ABNT, 1988).

Finalmente, as Fig. 12 e Fig. 13 apresentam, respectivamente, as janelas do programa THOR, nas quais o software fornece ao usuário as forças de arrasto, Fa, obtidas para cada seção da torre e as cargas de vento associadas às direções perpendicular e diagonal a base da estrutura.

DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

No estágio atual de desenvolvimento, o programa THOR apresenta uma limitação associada à geometria das torres a serem analisadas. O software desenvolvido procede a todas as rotinas de cálculo, de acordo com a NBR-6123 (ABNT, 1988), necessárias para a obtenção das cargas de vento aplicadas aos nós da estrutura, e posterior análise do efeito dessas sobre o comportamento estrutural de torres reticuladas com base quadrada constituídas por barras de faces planas, a partir de uma definição prévia de sua geometria.

Pretende-se dar continuidade a este projeto de pesquisa de forma a tornar o programa THOR mais geral. Deste modo, se faz necessária à implementação de novas rotinas de cálculo que incorporem torres metálicas associadas aos mais variados tipos de geometria, como, por exemplo, aquelas onde a seção transversal varia ao longo da altura.

Em etapas subsequentes desta linha de pesquisa objetivase, também, incluir no programa THOR a possibilidade de se considerar torres que apresentem em sua geometria outros tipos de perfis como, por exemplo, os de seção circular.

APLICAÇÃO DO PROGRAMA

O programa THOR foi desenvolvido no Laboratório de Computação do Ciclo Básico, LCB, da Faculdade de

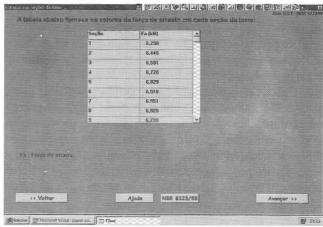


Figura 12. Cálculo da forca de arrasto, Fa, nas diversas seções da torre de aço

1 a 4 0,786 0,512 5 a 8 1,592 1,847 9 a 12 1,590 1,691 13 a 16 1,584 1,590 17 a 20 1,894 3,585 21 a 24 1,717 1,592 25 a 28 1,735 2,010 27 9 a 32 1,795 2,013 33 a 36 1,716 1,991 4 discreased by the second leading approximate a face (a mins (Fy-0)). 10 or a valence of by one of gase second leading approximate a face (a mins (Fy-0)). 10 or a valence of by one of gase second leading approximate a face (a mins (Fy-0)). 10 or a valence of by one of gase second leading approximate a face (a mins (Fy-0)).		Nós da Torre	Diseção Perpend	Sicular Direção Diagonal	<u> </u>
9 a 12 1,630 1,691 13 a 16 1,664 1,330 17 a 20 1,594 1,565 21 a 24 1,717 1,592 25 a 28 1,733 2,010 27 9 a 32 1,755 2,013 33 a 36 1,716 1,991		1 a 4	0,786	0,912	
13 a 16 1.564 1,930 17 a 20 1.594 1,965 21 a 24 1,717 1.595 25 a 29 1,733 2,010 29 a 32 1.795 2,013 33 a 36 1,716 1,991 •		5 a 8	1,592	1,847	
17 a 20 1,594 1,565 21 a 24 1,717 1,582 25 a 26 1,733 2,010 29 a 32 1,726 2,013 33 a 36 1,716 1,991 • Usa "Diorpho Perpendiciala"), observa velores de Fx ess Mit gases velores (accidinate perpondicelarmente a Face, de terre (Fy-6).		9 a 12	1,630	1,091	
21 a 24 1,717 1,592 25 a 28 1,733 2,010 27 a 32 1,775 2,013 33 a 35 1,716 1,991 * USA "Diorpio Pergendicala" ; this ou valores de Fx eus Migues vacies inclificado purposálicelarmente a face, de terre (Fy-Q).		13 a 16	1,664	1,930	
25 a 28 1,733 2,010 28 a 32 1,795 2,013 33 a 34 1,716 1,991 a DAY "Uterpia Pargendicala") this on valores de Fx sus Mi para vecis: lacifloda purpusárcalarmente a face de nore (Fy=0).		17 a 20	1,694	1,965	
25 o 32 1,755 2,013 33 o 36 1,716 1,991 • Discribio Pergendicular*) dus o a valores de Fx sus Migues vonire lacidindo purposdicelarmento a face de nors (Fy-G).		21 a 24	1,717	1,992	
33 a 36 1,716 1,991 • 10.4 "Dicepto Perpendicular") 10.5 to x-silvas de Fx sus bil gasa sonio inclidado purpondicelarmento a face de terre (Fy-0).		25 a 28	1,733	2,810	
una "Dicepho Pergendicular"). dus su valores de Fx sus Mignes vecto (acidiodo perpondicelarmente a face de terro (Fy-G).		29 a 32	1,735	2,013	
dus ou valeres de Fx eus Migues vento incluiedo perpondice arreente a face de terre (Fy-3).		33 a 36	1,716	1,991	•
	edok ew.	33 a 34 ugão Perpondicolar"; solores de Ex em M. paus	1,716	1,991	

Figura 13. Cálculo das cargas de vento nas direções perpendicular e diagonal a base da torre

Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, FEN/UERJ. O referido programa vem sendo utilizado desde o segundo período letivo do ano de 2000, 2000/2, em disciplinas distintas do currículo da graduação em engenharia da FEN/UERJ, tais como: Tópicos Especiais em Estruturas, Estruturas Hiperestáticas e Estruturas de Madeira.

O programa THOR é utilizado nas disciplinas de graduação, citadas anteriormente, como um aplicativo gráfico interativo para o cálculo das cargas translacionais horizontais, atuantes sobre os modelos estruturais correntemente estudados em sala de aula, provenientes da ação do vento.

Em termos de material didático empregado, o próprio programa THOR fornece aos usuários todos os aspectos teóricos referentes às Normas Brasileiras de Vento (ABNT, 1988) e (ABNT, 1985).

Além disso, percebe-se, em uma primeira etapa do aprendizado, que os alunos se sentem muito mais motivados para executar os procedimentos de cálculo da Norma Brasileira, (ABNT, 1988), comparando os resultados fornecidos pelo programa, em cada etapa do cálculo, com aqueles calculados manualmente.

Após uma etapa inicial de aprendizado do programa, percebe-se que os trabalhos realizados em sala de aula, ao longo dos cursos, e bem como os conceitos referentes à análise estrutural são mais bem entendidos pelos alunos.

O emprego do programa THOR vem sendo difundido e aplicado no ensino de disciplinas da graduação da Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, FEN/UERJ. Considerando-se essa experiência didática inicial, verifica-se claramente que a utilização desse aplicativo gráfico em conjunto com disciplinas específicas, principalmente aquelas associadas a projetos, não só motiva e estimula os alunos de graduação, como também facilita a visualização e compreensão por parte dos mesmos com respeito a inúmeros aspectos relevantes associados ao efeito da ação do vento sobre sistemas estruturais de engenharia.

CONCLUSÕES

Este trabalho de pesquisa apresenta uma primeira iniciativa de desenvolvimento e utilização de uma ferramenta gráfica educacional, programa THOR, de forma a incluir em sua versão final os efeitos devidos à ação estática das cargas de vento, sobre torres metálicas de telecomunicações e transmissão de energia elétrica.

A implementação de programas dessa natureza está associada a um dos principais elementos motivadores no desenvolvimento de novos aplicativos para o ensino de Engenharia por parte de alunos e professores da Faculdade de Engenharia da UERJ, FEN/UERJ.

O desenvolvimento desta linha de pesquisa ressalta a importância singular referente ao emprego de ferramentas gráficas nos cursos de engenharia e, conseqüentemente, permite um aproveitamento mais eficiente dos alunos de graduação, visto que estes passam a visualizar e compreender com mais clareza o comportamento de sistemas estruturais de engenharia, como também dos fenômenos físicos envolvidos.

Respaldado por essa experiência didática, pode-se afirmar que, sem sombra de dúvida, o emprego dessas ferramentas computacionais, com base em interfaces gráficas bastante amigáveis, faz com que os alunos se sintam mais motivados para estudar e discutir conceitos e assuntos referentes às disciplinas de graduação, o que torna o aprendizado mais dinâmico, interativo e eficiente.

AGRADECIMENTOS

Os autores do trabalho agradecem a Faculdade de Engenharia, FEN, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, e ao Laboratório de Computação das Ciências do Ciclo Básico, Labbas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, "Forças Devidas ao Vento em Edificações", NBR-6123, 1988.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, "Projeto de Linhas Aéreas e Transmissão de Energia Elétrica", NBR-5422, 1985.

SANTOS, L. N. L.; REIS, R; "Programação de Computadores. Linguagem DELPHI", Diretoria de Informática, DINFO, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, Rio de Janeiro, 1998.

ALMEIDA, M. T.; VELLASCO, P. C. G. S.; ANDRADE, S. A. L.; "Ferramentas Gráficas para Ensino de Comportamento Estrutural", Terceiro Encontro de Professores da Faculdade de Engenharia da UERJ, Rio de Janeiro, Volume I, p. 51-70, 1997.

ALMEIDA, N. N.; GOUVÊA, M. E. M.; VELLASCO, P. C. G. S.; GERSCOVICH, D. M. S.; SOEIRO, F. J. C. P.; SILVA FILHO, B. S.; "The Computer in Engineering Education: An Experience", International Conference in Engineering Education, ICEE, CD-ROM, Rio de Janeiro, 1998

VELLASCO, P. C. G. S.; SILVA, J. G. S.; TAKEY, T. H.; ROSA, Y. S.; ALMEIDA, N. N.; FILHO, M. C., "Um Sistema Gráfico para o Ensino e Projeto do Efeito do Vento em Estruturas", XXVII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, CD-ROM, Natal, 1999.

DADOS BIOGRÁFICOS DOS AUTORES



José Guilherme Santos da Silva

Graduação em Engenharia Civil, Eng. Civil, Universidade Federal do Pará, Ano de obtenção: 1988, Mestrado em Engenharia Civil, M.Sc., Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Ano de obtenção: 1991, Doutorado em Engenharia Civil, D.Sc.,

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Ano de obtenção: 1996, Local de Trabalho: Professor Adjunto/ Procientista do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Áreas de Atuação Profissional: Mecânica das Estruturas, Mecânica dos Sólidos, Probabilidade e Estatística

Aplicada, Estruturas de Concreto e Estruturas Metálicas. Áreas da Educação em Engenharia: Educação em Engenharia e Desenvolvimento de Softwares Educacionais.



Janina Schmidt de Andrade Lima

Graduação em Engenharia Civil, Eng. Civil, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Ano de obtenção: Conclusão em 2001, Bolsista de Iniciação Científica. Áreas de Atuação Profissional: Estruturas de Concreto e Estruturas Metálicas. Áreas da Educação em

Engenharia: Educação em Engenharia e Desenvolvimento de Softwares Educacionais.

CONCEITOS, SENTIDO E COMPETÊNCIAS: APLICANDO O ENSINO CONCORRENTE

Marcos Azevedo da Silveira†

RESUMO

Neste trabalho aborda-se a construção de conceitos pelos alunos de engenharia a partir de experiências que lhes façam sentido, isto é, referidas a seus universos de significados. As noções de "sentido" e "universo de significados" são definidas. Para balizar a ação do professor rumo ao aprendizado significativo e à construção conceitual elas são relaciónadas às competências e ao ensino por problemas (ensino concorrente). Descreve-se a aplicação da metodologia indicada à disciplina de Controles e Servomecanismos na PUC-Rio, avaliando-se os resultados obtidos.

Palavras-chave: Educação em engenharia, educação em automação, metodologia didática, psicologia da educação, controles e servomecanismos

ABSTRACT

This work considers the construction of concepts by engineering students through meaningfull experiences, i.e. experiences refeered to theirs universe of meanings. The notions of "meaning" and "universe of meanings" are defined. To mark teacher's activity in direction to the meaningfull learning and conceptual construction these concepts are related to the notions of competences and learning by problems (concurrent learning). The application of this methodology to the Control and Servomecanism course in PUC-Rio is described and assessed.

Key words: Engineering education, automation education, didatic methodology, psycology of education, control and servomecanisms

INTRODUÇÃO

Um professor que dividia as disciplinas de Controles e Servomecanismos comigo, há alguns anos, dizia-se espantado porque os alunos tinham esquecido no segundo semestre tudo que ele havia ensinado no primeiro. E, no entanto, esses alunos tinham sido aprovados no semestre anterior, com boas notas obtidas pela resolução de todo um conjunto de testes que ele considerava rigorosos e profundos, cobrindo toda a matéria.

Esta situação não é estranha, principalmente para alunos do Curso Secundário ou do início do Curso Universitário. Em uma pesquisa realizada, junto com mais dois colegas (Luís Meirelles, da UFRJ, e Isabel Paes e Silva, da PUC-Rio), acompanhei uma turma de calouros do Curso de Engenharia da PUC-Rio no seu dia-a-dia, por todo um semestre do ano de 1996. Questionados sobre o sentido da palavra "conhecimento" os alunos forneceram duas respostas complementares:

- "o conhecimento dura dois meses";
- "o conhecimento é o que resta depois que esquecemos o que o professor disse em sala de aula".

As frases são textuais. "Conhecimento", na Escola, é a fala do professor, é o que é exigido em testes, provas e trabalhos. Este só precisa durar dois meses. O segundo sentido assinalado é, na opinião dos alunos, o verdadeiro conhecimento adquirido, para além daquele trabalhado na Escola.

Os calouros questionados também falaram do "sofrimento" que representavam as aulas de Física que recebiam na Universidade. Alguns disseram que o professor parecia falar grego ou outra língua desconhecida¹. Outros disseram que seria melhor que o professor falasse grego, pois aí ao menos não teriam a obrigação de entender e não ficariam tão angustiados. O professor usava os mesmos termos que foram usados no Curso Secundário, como "partícula", "massa", "posição", "velocidade", "força", "atrito", etc. Mas, o discurso não fazia sentido, e eles não percebiam a relação

¹ No Brasil fala-se português, a expressão "falar grego" sendo usada para dizer que a fala é incompreensível, da mesma forma que os gregos históricos falavam da língua dos bárbaros

[†] Professor, Docteur d'État. Departamento de Engenharia Elétrica, PUC-Rio. Rua Marquês de São Vicente, 225, CEP 22453-900, Rio de Janeiro, RJ. Fone: (21) 2529-9429, Fax: (21) 2511-5154. E-mail: marcos@ele.puc-rio.br.

entre o que era falado na sala de aula e o que era exigido nos testes. As palavras pareciam mentir. O professor parecia estar estendendo armadilhas. Os alunos sentiam-se em um campo minado.

A expressão "sofrimento" associada ao aprendizado também aparece nas obras de Stella Baruk (1985) analisando o ensino de Matemática no Curso Primário. Por exemplo, "sofrimento" é a palavra usada pelas crianças diante de expressões como "seja um conjunto não vazio", sempre presente nos manuais de Matemática. As crianças explicam que um conjunto se define por seus elementos, donde "conjunto vazio" não faz sentido! Na análise de Baruk, a língua da Matemática trai o sentido da língua usada em casa, as palavras perdem sua confiabilidade, o mundo torna-se confuso. O resultado é sofrimento, redobrado com angústia quando o professor propõe um problema cuja solução é exatamente o conjunto vazio!

O aluno de Controles e Servomecanismos de que tratamos acima já está "escolado". Já aprendeu a não se sentir angustiado com a falta de sentido do discurso que lhe é apresentado. Pragmaticamente, busca responder o que o professor deseja, repetir *verbatim* seu discurso. Aceita com resignação as críticas do professor sobre respostas "absurdas", inevitáveis quando o sentido escorrega pelo ralo das frases formais e dos discursos repetidos. Os alunos citados acima reagem como autômatos sem terem aprendido a projetar automatismos. Aprendem, de fato, como se posicionar diante do professor para ter sucesso na disciplina, não o que o professor conscientemente espera.

Estamos falando de perda de sentido. E de professores repetindo discursos, esperando que a repetição de exemplos e exercícios poderá ir além de um treinamento superficial. Treinamento doloroso para os alunos, esquecido tão logo que possível.

Estamos falando de professores concluindo que os alunos não são bons o suficiente, que não possuem capacidade de concentração, que não "compreendem". E, à medida que o professor torna mais precisa sua fala, torna mais douta sua linguagem (reação natural de especialistas e pesquisadores), mais se afasta do universo de significados dos alunos, mais absconso fica seu discurso (do ponto de vista dos alunos), e o professor conclui que os alunos estão cada vez piores.

Neste artigo, será discutida a formação do sentido para alunos do Curso Universitário e proposta uma metodologia didática permitindo integrar o conteúdo (conceitos, protocolos e algoritmos) a seu universo de significados. Esta metodologia usará o desenvolvimento de projetos pelos alunos, projetos estes expostos em termos relacionados ao universo de significados pré-existente. São organizados, necessariamente, de acordo com as competências a serem desenvolvidas pela disciplina. Os projetos, que motivam e estabelecem as atividades dos alunos, serão as linhas temáticas que articularão os diversos quadros conceituais necessários ao desenvolvimento das competências desejadas e à motivação possível. De uma certa forma, este artigo revê o conteúdo de (da Silveira e Scavarda do Carmo, 1999), mas começando da noção de "universo de significados", obscura naquele artigo,

passando pela noção de "competências a serem adquiridas", hoje em dia presentes nos objetivos das disciplinas e dos currículos, e chegando, naturalmente, ao aprendizado por projetos. O artigo citado começava do princípio "aprender por projetos", seguindo uma trajetória inversa a do presente trabalho. Desta forma, ficará mais clara a articulação citada acima, o processo de escolha de projetos e o sistema de avaliação embutido.

O exemplo e experimento principal será a disciplina de Controles e Servomecanismos, como ministrada atualmente na PUC-Rio. Em particular, será usada uma experiência "radical" realizada no primeiro semestre de 2001, onde a avaliação dos alunos usou exclusivamente projetos. Esta experiência permitiu estabelecer os limites da metodologia e os compromissos (ou parte deles) que terão de ser realizados (ou gerenciados) pelo professor para um bom aprendizado, ao menos em disciplinas profissionalizantes do curso de engenharia.. Cabe dizer aqui, que o autor não propõe o uso da metodologia radical, mas, sim, o uso de formas atenuadas. A metodologia radical serviu apenas como ferramenta de pesquisa para melhor compreender o alcance e os limites dos princípios aqui estabelecidos.

ANÁLISE DO PROBLEMA

Voltando à disciplina Controles e Servomecanismos, os alunos explicavam que o professor falava de "f(s) e de g(s)" (sic) e aplicava um teste semanal de meia hora sobre o conteúdo da semana. O que simplicava a tarefa de memorização dos algoritmos exigidos. Perguntei o que eram os símbolos utilizados. Ouvi que eram funções racionais. Nenhuma referência a seu significado no contexto da automação ou em algum outro contexto de engenharia. A idéia de que as técnicas ensinadas (mas não aprendidas) resolviam problemas concretos de engenharia sequer lhes aflorava à mente.

Perguntei ao professor se modelava as plantas a serem controladas. Ouvi que "modelagem era com os físicos". O professor limitava-se a dar algumas conferências gerais no início do semestre, passando depois a expor a teoria e os algoritmos de forma sequencial, seguindo a lógica interna do conteúdo, passando das definições e propriedades matemáticas à resolução de problemas abstratos, para terminar, se houvesse tempo, com aplicações. Indicava livros (Fortmann & Hitz, 1997), mas seguia suas próprias notas, que considerava mais precisas (entenda-se "mais formais"). Os testes de meia hora, naturalmente, só podiam exigir cálculos rápidos, descontextualizados, vistos como "ferramentas indispensáveis para os problemas mais complexos". Estes nunca chegavam a ser tratados.

Torna-se claro o que ocorria. Para este professor conhecer é memorizar os termos e saber operar (mecanicamente) a linguagem da disciplina. Situação a ser aferida em testes simples exigindo treinamento em cálculos padronizados, salvo alguma questão mais difícil, usada para descobrir os "gênios". A avaliação só considerava os resultados, não o raciocínio empregado. Os alunos eram defrontados a uma grande "álgebra" sem relação com problemas conhecidos e cujos conceitos não lhes pareciam necessários: um sistema de símbolos e um código sem sentido aparente. Nada estranho que esquecessem tudo o mais rápido possível.

Neste exemplo, conhecer é repetir o discurso do professor dentro de regras estabelecidas (os raciocínios paradigmáticos citados acima), sem referências à linguagem usual na qual o universo de significados do aluno está representado. O sofrimento relatado origina-se na obrigação de operar um código que parece sem sentido, sem relação com a vida pregressa ou com a vida projetada do aluno (um futuro engenheiro). Entre críticas sarcásticas a respostas consideradas absurdas pelo professor, o aluno defende-se desenvolvendo um pragmatismo auto-limitante, indagando primeiro: "O que você quer que eu responda?"

A realimentação da informação ocorre tarde demais e as concepções prévias dos alunos (sempre existentes) são ignoradas. O professor percebe o erro do aluno somente nos testes, dando notas. Todo erro é definitivo. Não é possível tentar, ensaiar, corrigir. Estamos muito distantes da conceituação de Bachelard (1998: 16): "Conhece-se contra um conhecimento anterior. Conhecer é precisar, retificar, diversificar." Cabe notar que este é o conceito fundamental em Controles e Servomecanismos: a realimentação do erro deve corrigir a trajetória.

. Em Baruk (1985), estudando crianças no início do Curso Primário, é assinalado o choque entre os sistemas semânticos do professor e dos alunos. Entre a língua materna, razoavelmente compartilhada pelo grupo social e na qual se expressa o universo de significados do aluno, a língua da Escola, veicular e oficial, e a língua dos saberes, formal e complexamente articulada. As mesmas palavras assumem sentidos diferentes, aparecem ambiguidades e choques/perdas de sentido, códigos diferentes se superpõem sem que haja domínio dos contextos a que pertencem. As palavras parecem mentir, o sofrimento e as atitudes reativas se estabelecem.

O aluno de engenharia é um pós-adolescente ou um adulto. Sente cada vez mais a pressão dos fatos (a vida, a necessidade de um emprego no futuro, as limitações de tempo e espaço, a consciência de seus desejos). Seu universo de significados é mais rico: já domina diferentes contextos comunicativos, mudando a atitude de acordo com o interlocutor. Sua capacidade de abstração é inegável, mesmo que a Escola a tenha negligenciado. Tende a aprender diante de objetivos definidos (esta é uma característica do adulto), cedendo cada vez menos à curiosidade gratuita e ao jogo ocupacional. Já construiu atitudes de defesa diante da Escola, isto é, está "escolado".

Como evitar os problemas mostrados acima, ampliando o universo de significados dos alunos de forma a garantir que ele aprenda conteúdos e métodos, que os saiba utilizar em novos problemas, e que possa prosseguir com sua autoformação? Como dar sentido às línguas dos saberes, e tornálas instrumentos para resolver problemas concretos na atuação social do futuro engenheiro?

Para dar uma resposta a estas questões será necessário, primeiro, precisar os termos "sentido" e "universo de significados do aluno". Depois, estudar os processos de construção do sentido e dos conceitos. Este é o assunto da próxima seção.

A CONSTRUÇÃO DO SENTIDO

Começarei esta discussão definindo, com alguma precisão, o que entendo por "sentido", palavra fácil de usar, mas um tanto ambígua nos seus significados. Para isso, convém retornar à noção de "produção e interpretação sígnica" (Umberto Eco, 1997). Na nomenclatura deste autor, os signos percebidos pertencem a códigos de expressão e os significados pertencem a sistemas de significados (ou sistemas semânticos), estruturados por oposição, complementaridade, etc. A estrutura dos códigos expressivos e a dos sistemas de representação é considerada com cuidado em (Eco, 1997). Aqui nos interessa o fato de que a um signo associamos, inicialmente, e sem prévia mediação, um significado, chamado de "significado denotado". Este ainda possui uma grande ambigüidade. Marcas conotativas, dependendo de contexto, lugar, momento, locutores eventuais, interlocutores, etc. poderão retirar esta ambigüidade, tornando o significado preciso. A este significado preciso obtido em uma situação particular chamamos de "sentido", seguindo Prieto (Baruk, 1985).

Um exemplo tradicional é o signo da caveira com as duas tíbias cruzadas embaixo. Primariamente, denota a idéia de morte. Se presente em uma bandeira no alto de um navio, entendemos que são piratas. Se presente em um frasco contendo um líquido, entendemos que o líquido é venenoso. Se presente em uma caixa de metal onde chegam fios elétricos, entendemos haver perigo pela alta tensão elétrica. Se presente na camisa preta de um rapaz, entendemos que é um "metaleiro", adepto do *hard rock*. Se a situação apresenta risco ou não, depende de outras informações e das crenças e situação social de quem interpreta.

Em Umberto Eco (1997) é chamada de "função sígnica" a função que associa um signo a um sentido determinado, e de "produção ou de interpretação sígnica" o estabelecimento desta função, de acordo com a direção (páginas 84, 85). Baruk (1985: 119,120) chama de "entendimento" a faculdade do sujeito de receber ou de produzir sentido em função do que ele percebe, levando em consideração contexto, lugar, momento, locutores eventuais, interlocutores, etc.

O "universo de significados" para um determinado sujeito é o conjunto de sistemas de significados por ele dominados e dentro dos quais ele entende. Isto é, o conjunto estruturado de sentidos que pode atribuir a signos, de acordo com as marcas denotativas e conotativas. Podemos também falar de universo de significados de uma cultura, representando o conjunto de sistemas semânticos presentes nesta cultura e suas articulações, resolvidos no formato de uma enciclopédia.

Na situação de aprendizagem, o aluno deve aumentar seu universo de significados de maneira a incluir os sentidos correspondendo aos conceitos e signos de interesse no curso, de forma a poder usá-los com competência para resolver os problemas previstos nos objetivos do aprendizado, isto é, enriquecer seu entendimento. O professor, por sua vez, deve ter sempre em mente que conceitos e signos que lhe parecem de fácil uso podem não possuir significado para o aluno, ou possuir outro significado, deslocado em relação aquele pretendido pelo professor. De um lado, porque as palavras são ambíguas: seu sentido depende dos sistemas semânticos utilizados. De outro lado, porque conceitos tomam seus sentidos dentro de estruturas (sistemas, teorias), e estas são aprendidas aos poucos, por retoques sucessivos, em camadas.

De fato, diante de um problema que tenha de ser resolvido, a primeira atitude de um bom solucionador de problemas (nossos filhos, o mecânico improvisado, nossos alunos em seu dia-a-dia, o pesquisador em seu trabalho de pesquisa) é buscar entre os meios à disposição uma solução provisória. É o que os franceses chamam de *bricolage*, palavra inicialmente utilizada para "reparações com meios de fortuna, trabalho rápido e mal feito" (Le Larousse de Poche), mas que passou a ser essencial para a explicação da forma de construção de relatos e teorias desde os trabalhos seminais do antropólogo Levi-Strauss.

Um novo conceito costuma aparecer como solução de fortuna para um problema a ser resolvido, por bricolage. O problema fornece o sentido inicial ao conceito, digamos um sentido \mathbf{S}_0 , meramente operacional. O sentido \mathbf{S}_0 é "válido" porque funciona, isto é, porque permite resolver aquele problema específico. Estando à disposição, será usado por bricolage para resolver outros problemas, o que modificará a compreensão do conceito, que passa a ter novos sentidos \mathbf{S}_1 , $\mathbf{S}_2,...\mathbf{S}_n$, cada vez mais precisos ou de aplicação mais abrangente.

A necessidade de relacioná-lo com o universo de significados do sujeito (se isto for solicitado, por exemplo, pelo professor ou pelos colegas), integrando-o a seus relatos e a suas explicações anteriores, acaba por reestruturar todo o universo de significados, por agregação do novo conceito e, eventualmente, por reorganização das relações entre significados. É a etapa de abstração reflexiva (Piaget, 1995), ver também (da Silveira e Scavarda do Carmo, 1999). O conceito ganha uma representação significativa para além do pragmático significado inicial S₀, dentro de uma teoria mais estruturada, digamos T₁. À medida que o conceito passa a ser "operado" com outros conceitos no contexto de novos problemas e de novas explicações, as teorias que o contém são modificadas para T₂, ... T_n. O conceito passa a ser visto como necessário, não mais como solução de fortuna.

Retomando a questão em outra linguagem, a "significação" (a função sígnica acima) se estabelece no contexto dos esforços do sujeito para solucionar um problema, criando ligações temporárias e dando sentido a estímulos até então neutros (Vigotski, 1999: 99). O instrumento, o protocolo, o algoritmo têm por função modificar o objeto da atividade, é orientado externamente. Já o signo não modifica em nada o objeto da atividade. É uma atividade interna para representação e controle do sujeito, é orientado internamente (ibd., páginas 72,73). O significado avança a ação (a partir da adolescência), sua geração (a "adaptação", para Piaget) é

dirigida pelas necessidades – a serem criadas pelos problemas e situações propostas (ibd., páginas 131 e 26). Por isso, o assunto deve tornar-se relevante à vida. Em nossa aplicação, o aprendizado deve ser conduzido não pela nota a ser obtida pelo aluno, mas, pela conexão do tema a problemas de interesse do aluno.

PROBLEMAS E COMPETÊNCIAS

Uma das artes do professor é propor problemas que façam sentido aos alunos (o que depende do sistema semântico e da vida dos alunos) deixando os novos conceitos à disposição, na proximidade, para uso por bricolage ou por imitação (mimesis). A proximidade é o que Vigotski (1999: 112) chama de "zona proximal de aprendizagem". Adaptando sua definição a nosso contexto, a zona proximal de aprendizagem é determinada pelo conjunto de problemas que podem ser resolvidos sob orientação de um professor ou de colegas, sem que possam ainda ser resolvidos de forma madura e independente pelo aluno. O professor não pode esperar que os novos conceitos sejam absorvidos completamente apenas por efeito do discurso lógico-formal. Ao contrário, há todo um percurso a ser realizado de forma a dotar de algum sentido o novo conceito, relacionando-o pouco a pouco com conceitos já conhecidos e outros novos conceitos. E este percurso começa pela imitação, passa pelo uso, para só então alcançar a compreensão (Vigotski, 1999). E esta compreensão será modificada ao longo da vida do aluno (como profissional, professor ou pesquisador), passando por diferentes teorias T_n ou níveis mais abstratos de explicação, digamos T_n', T_n", etc. A passagem de um nível de abstração a outro pode ser facilitada pela discussão do processo de aprendizado em si, colocando em questão o sujeito, o que Piaget chama de "abstração reflexionante" (Piaget, 1995).

O caminho mais simples para escolher os problemas a serem tratados passa pelas competências a serem desenvolvidas pela disciplina. Defendemos a definição dos objetivos de uma disciplina por uma lista de competências, como será visto adiante. Porém, antes, convém entender este conceito e sua relação com os quadros conceituais e os problemas.

O conceito de "competência" merece uma construção cuidadosa, de forma a conter o *know-how* articulado com o *know-why*, não se restringindo ao resultado de mero treinamento, quando poderia se aplicar a crítica de Doll (1997). Aqui citamos Perrenoud (1997): "Só há competência estabilizada quando a mobilização dos conhecimentos supera o tatear reflexivo ao alcance de cada um e aciona esquemas constituídos."

Uma "competência" é a capacidade de acionar e adaptar esquemas, de forma consciente, para enfrentar uma dada situação concreta. Em particular, saber procurar e encontrar os conhecimentos devidos para resolver um problema. Integra o know how com o know why, ao menos em um determinado nível de compreensão. Perrenoud (1997) apresenta uma discussão deste conceito e de seu histórico nas obras de pedagogia. Assim, toda competência está relacionada a

situações ou problemas (mais particulares ou mais gerais) a serem resolvidos de forma consciente e adaptada. Isto é, competências são objetivos de aprendizado, e estão estreitamente relacionadas com problemas. Porém, em geral, acionam conhecimentos e conceitos pertencentes a quadros conceituais diferentes, articulando-os em torno do problema a ser resolvido. É o problema da interligação de disciplinas diferentes, via pré-requisitos ou co-requisitos. Não basta possuí-los, é preciso saber encontrá-los, adaptá-los, instanciálos à situação sob análise.

A tendência atual, subscrita pelo autor, é definir os objetivos da disciplina (e do curso) como capacitações de ações sobre o mundo, isto é, por competências, como definidas acima. Muito já foi dito sobre a escolha de objetivos de ensino, sendo habitual a defesa do uso de verbos de ação, buscando excluir palavras como "estudar" ou "conhecer", que reduzem o conhecimento a listagens de conteúdo problema crônico na estruturação curricular (da Silveira et al., 1998). Uma forma mais eficaz é escolher como objetivo de ensino a capacitação do aluno a agir sobre o mundo, a realizar ações que o modifiquem, como sujeito, cidadão, técnico ou engenheiro. "Ser capaz de projetar interfaces entre microprocessadores e equipamentos diversos de forma a controlá-los, realizar medidas ou dotá-los de inteligência computacional" é um exemplo de competência técnica exigida no curso de Engenharia Elétrica da PUC-Rio, por exemplo. A definição é fluida, pois não fixa completamente o contexto. De fato, novos equipamentos e novos microprocessadores estão sempre surgindo, e a noção de "equipamento" não está claramente fixada.

Dito de outra forma, as competências restringem a generalidade aos quadros conceituais pela escolha de direções para sua utilização. Em contrapartida fornecem os contatos com o contexto de forma a orientar a formação de conceitos — com sentido. Depois, se necessário, ou por interesse do aluno, os quadros conceituais poderão ser estudados em maior profundidade e generalidade.

Não é possível fazer os alunos percorrerem todas as hipóteses possíveis, reconstruindo a história da técnica e da ciência. Alguma direção deve ser dada (ou cortada), sem cair no treinamento de hábitos. Contextos explicitando todos os dados, com a apresentação prévia dos esquemas, geram a formação de hábitos e esquemas rígidos, não ao desenvolvimento de competências ou ao aprendizado no sentido pleno que aqui defendemos. No entanto, esta foi a atitude defendida por Bobbit e Tyler, gerando o "aprendizado por repetição de exemplos", tão presente na literatura didática norte-americana, resultante de uma visão instrumentalista e funcionalista do ensino. Para uma excelente crítica desta vertente da Teoria da Educação, comparando-a com as idéias de Dewey, ler o Capítulo 2 de (Doll, 1997). A crítica de Doll, que subscrevo, poupa-nos de uma seção de revisão da literatura.

Antes de passar ao exemplo, será importante lembrar duas concepções de "conhecimento" antagônicas que apareceram nos casos citados acima e que são discutidas em (da Silveira, Scavarda do Carmo, 1999).

Nos casos criticados na Introdução, o conhecimento era definido como a lista de teorias e algoritmos usados para resolver um problema de determinada maneira. O procedimento para apresentar este conhecimento segue exatamente a estrutura lógico-formal de desenvolvimento da teoria, das definições definitivas às conclusões. Este procedimento foi denominado de "ensino seqüencial". A lógica do aprendizado é subsumida à lógica do conteúdo. Observe que o ensino seqüencial aparece tanto no ensino técnico quanto, e principalmente, no ensino de teorias científicas formalizadas.

Outra definição de conhecimento é a habilidade em identificar problemas e buscar ou desenvolver métodos para resolvê-los. Para isso, é necessária uma visão geral do assunto, com conceitos organizados em função dos problemas. O procedimento de desenvolver este conhecimento a partir da resolução de problemas, passando pela construção dos conceitos e teorias por retoques sucessivos, foi denominado "ensino concorrente" em (da Silveira e Scavarda do Carmo, 1999). A lógica do aprendizado é a lógica da necessidade e da descoberta. A técnica a ser empregada deve levar em conta o aluno e seu grupo, o que a torna mais complexa e trabalhosa, principalmente se lembrarmos que um mesmo conceito será tratado diversas vezes, até chegar à forma definitiva, ou melhor, à última forma provisória pretendida.

Evidentemente, é utópico esperar que todo o aprendizado seja regido pelo ensino concorrente em sua forma pura. Etapas "reflexionantes" ou de estruturação da linguagem precisam seguir a estrutura seqüencial, sob pena de nunca chegarmos aos objetivos do aprendizado. Mas devem ser sucedidas de momentos, onde a conceituação deve ganhar sentido através de problemas ancorados no universo de significados dos alunos – esta é uma das teses deste trabalho.

Uma descrição mais completa dos princípios e do experimento didático pode ser encontrada em (da Silveira, 2001).

EXEMPLO: A DISCIPLINA DE CONTROLES E SERVOMECANISMOS

Aqui usaremos, como exemplo, a disciplina de Controles e Servomecanismos na PUC-Rio, em especial a forma como foi ministrada nos últimos semestres. Uma descrição mais completa pode ser encontrada em da Silveira (2001).

O objetivo original da disciplina Controles e Servomecanismos era levar o aluno a conhecer as principais técnicas e conceitos da Teoria de Controle, fase que era seguida por uma lista de conteúdos onde eram citados, inclusive, "análise e síntese de sistemas de controle". Os objetivos atuais são: (a) a capacitação do aluno a projetar e simular sistemas de controles simples de forma a resolver os problemas mais habituais na área (servomecanismos e reguladores) sobre sistemas eletro-mecânicos e térmicos, usando controladores analógicos ou amostrados, (b) a capacitação do aluno a ler e estudar a literatura da área de forma a aprender por si mesmo novas técnicas de projeto e

ampliar seu conhecimento, (c) conhecer algumas técnicas usuais (lugar das raízes, controladores PID) de forma a poder entender as aplicações industriais mais usuais atualmente, analisar projetos mais antigos e conversar com os técnicos em atuação.

Cada objetivo está relacionado a uma ação que pode ser usada para avaliação do aprendizado, além de ser orientadora do aprendizado em si. Isto é, o aluno deverá projetar controladores para resolver problemas concretos, aprender por conta própria algoritmos e técnicas não ensinadas em sala de aula, em vista da resolução de problemas propostos (o que inclui a busca do material adequado), e analisar projetos industriais que lhe forem apresentados (usando controladores PID ou exigindo análises via lugar das raízes).

Podemos expressar estes objetivos na forma de "competências" um pouco mais específicas. Naturalmente, esta lista de competências pressupõe o domínio de outras competências mais básicas, como o uso da linguagem gráfica, o cálculo com números complexos, a representação de ondas por exponenciais complexas ou o uso do computador. Cabe lembrar que o aluno da PUC-Rio, ao cursar esta disciplina, já conhece bem Álgebra Linear, Cálculo e suas aplicações, já cursou Modelagem de Sistemas Dinâmicos (uso de grafos de ligação) e, parte deles, cursou Sinais e Sistemas (séries e transformada de Fourier, transformada de Laplace, contínuas e discretas, FFT). Parte da conceituação a ser construída é descrita a seguir, na forma de "quadros conceituais":

- 1. Sequência principal: realimentações, especificações estacionárias e transitórias, princípio do erro, princípio do modelo interno, pólos e zeros, filtragem, robustez, análise de projetos.
- 2. Representações e estrutura de sistemas lineares (equações dinâmicas no tempo, representação freqüencial, diagramas de blocos, diagramas de Bode e de Nyquist, sistemas amostrados), sistemas a tempo contínuo e a tempo discreto, controlabilidade e observabilidade, decomposição canônica de Kalman, realizações mínimas e formas canônicas.
- 3. Tipos de controladores (um e dois graus de liberdade, regulador de estado, regulador geral de Wolovich, P, PI e PID teórico e real, controladores amostrados) e seu uso,
- Técnicas particulares (critérios de Routh-Hurwitz, Jury, resolução de equações diofantinas, etc.), simulação digital (MATLAB, problemas numéricos),
- Modelagem e identificação (resposta a um degrau e resposta em frequência, uso de qualquer figura de mérito),

De fato, temos cinco "quadros conceituais" articulados, cada um podendo dar sentido a uma disciplina mais aprofundada, cujos conceitos, na presente disciplina, devem aparecer articulados em torno do projeto de controladores. Daí o quadro (1) ser a "seqüência principal".

No curso atual de Controles e Servomecanismos, as primeiras aulas são dedicadas à apresentação geral da disciplina, seus objetivos, métodos e conteúdos, e à resolução de um primeiro projeto de controle: o controle de posição de um grau de liberdade (movimento horizontal) de um braço articulado. O aluno é apresentado, de forma coloquial, ao núcleo conceitual da teoria (princípios do erro e do modelo

interno, escolha da classe de controladores, ajuste de parâmetros) sem perceber a generalidade da discussão. Entende o que é feito, sem ter formado o conceito. Seguem-se algumas aulas convencionais discutindo descrições e soluções de sistemas lineares, relações entre elas e simulações.

O primeiro teste (na terceira semana de aula) versou sobre o controle de oscilação de uma plataforma marítima para exploração de petróleo, considerando a possibilidade de medir a freqüência de oscilação das ondas que chegam. A notar que a plataforma P-36, da Petrobrás, vinha de afundar na costa do Estado do Rio de Janeiro. O teste exige a modelagem da plataforma (indicando que se move como um pêndulo de cabeça para baixo) a partir de medidas experimentais de respostas a oscilações e o projeto do estabilizador de oscilações, com simulações. A etapa de simulação gerou numerosos problemas numéricos (os dados foram escolhidos para isso).

O primeiro teste já operou com a cadeia de conceitos da sequência principal, além de outros conceitos e representações tratados na disciplina. Porém, os conceitos são vistos pelos alunos como conceitos operacionais, truques convenientes resolvendo os problemas. Apenas o princípio do erro aparece em posição mais importante, pois é o elemento principal da argumentação desenvolvida. As primeiras classes de controladores e um controlador parametrizado (pela frequência das ondas) foram introduzidos para enfrentar as diferentes questões que apareceram, isto é, por necessidade. O conceito de "controlador" começou a se desenvolver em um nível mais abstrato. Conceito este que se articula com os demais conceitos do diagrama conceitual e com os objetivos do problema de controle e da disciplina: os controladores são as soluções procuradas². Parte das competências assinaladas começaram a ser exercitadas.

Terminado o teste, o professor formalizou as especificações transitórias e apresentou rapidamente (sobre exemplos de sabor aplicado) outras estruturas de controle e a resolução das equações polinomiais. A frequência às conferências teóricas foi muito baixa. Elas serviram mais para treinar os futuros "alunos explicadores" – estruturando os grupos de estudo.

O segundo teste versou sobre o controle amostrado da velocidade de um carro de metrô. Foi aplicado pouco depois de um acidente no metrô do Rio de Janeiro. A primeira aula do teste foi gasta mais com histórias sobre o metrô (o autor já prestou consultoria à companhia) que com o tema do teste. O controlador sendo naturalmente amostrado, o professor foi obrigado a explicar os procedimentos de amostragem e suas conseqüências. Exigiu, no teste, que comparassem duas estruturas de controle a tempo contínuo (uma delas o regulador geral de Wolovich), que as discretizassem, e que também

Não resisto a comentar a inversão da ordem dedutiva, que permite induzir sua descoberta de forma controlada. Este artifício didático, essencial no ensino concorrente, remonta ao menos a Bachelard (1998: 236), mas acaba sendo desconsiderado pelos professores, pela facilidade em expor teorias dedutivas, transformando a descoberta em "lições" (Bachelard, 1998: 247)

projetassem dois controladores com estruturas diferentes para o sistema discretizado. Exigiu, também, que fossem usadas duas técnicas diferentes de discretização, uma delas, obrigatoriamente, a invariância ao degrau. Esta última deveria ser verificada, no caso em apreço, via funções de transferência e via equações de estado. As simulações deveriam comparar os 6 controladores assim obtidos. As especificações transitórias incluíam a constante de tempo (τ≤1/8 u.t.) e ultrapassagem nula, facilmente justificáveis de um ponto de vista físico.

O teste ocupou duas semanas de trabalho dos alunos. De fato, o trabalho foi excessivo, o que obscureceu parte dos conceitos. Mas o conceito de controlador evoluiu, passando a classes de controladores, suas relações e vantagens relativas. A planta já possuía um pólo na origem, donde bastava a estabilidade da malha para que fosse obtido o rastreamento assintótico. Mas, uma perturbação foi localizada de tal forma que o controlador também precisava ter um pólo na origem. Em conseqüência, a transformada de Laplace do erro para o controlador com um grau de liberdade, o mais simples conceitualmente falando, tinha dois zeros na origem: não era possível ultrapassagem nula na resposta a um degrau.

Podemos ver a lenta construção dos conceitos, movidos pelo conceito de classe de controladores, isto é, pelas soluções dos problemas propostos. Conceitos abstratos formados por retoques e correções a partir de soluções por bricolage ou por mimesis para problemas fazendo sentido aos alunos. Retoques necessários para as novas dificuldades presentes no novo problema, levando à reestruturação conceitual. Novas representações sendo dominadas e utilizadas como ferramentas poderosas na resolução dos problemas.

A atitude do professor é completamente diferente da atitude clássica. Não espera a compreensão a partir do discurso teórico. Corrige e responde sem pressionar pela nota.

O terceiro teste considerou o controle de tensão de um gerador da usina hidroelétrica de Estreito (do grupo Furnas), onde a realimentação de estado aparece naturalmente e permite soluções muito mais econômicas. A técnica do lugar das raízes foi sugerida para ajustar os parâmetros de projeto, observando que, por razões práticas, há interesse em ultrapassagem nula e ganhos de realimentação (de estado) de módulo inferior à unidade. O problema é todo a tempo contínuo. Foi ainda exigida a análise do sistema a perturbações na carga em freqüências de 60 Hz e seus harmônicos. Pediu-se sugestão de como filtrá-las³.

Este problema exigiu o projeto de um controlador de estado, com análise de controlabilidade e observabilidade, ajustando os pólos de forma a que os ganhos fossem pequenos (via fórmula de Ackerman) e verificando a possibilidade de ultrapassagem nula. O lugar das raízes permite delimitar faixas de ganhos onde a ultrapassagem pode ser nula, situação a ser verificada por simulações. A maior

parte dos alunos testou o sistema para diferentes ganhos, verificando, empiricamente, limites para a ultrapassagem nula, principalmente depois que descobriram o comando ritools, do MATLAB. Finalmente, o diagrama de Bode da carga à saída mostrava que o sistema não filtrava as perturbações de interesse, por ser um filtro passa-alta. A estrutura do sistema impõe esta propriedade: nada a fazer, a não ser colocar pólos no controlador nas freqüências indesejáveis.

O quarto teste considerou uma situação de "engenharia inversa". Foi fornecido o projeto de um controlador para um laminador de aço a quente, com todos os parâmetros explicitados numericamente. Informou-se que, ao colocar em funcionamento a máquina, a lâmina de aço saía ondulada regularmente. Pediu-se a explicação do fenômeno (qual parâmetro havia sido alterado), um projeto corretivo e a análise da margem de estabilidade e do efeito de distúrbios e perturbações no projeto nominal e no corrigido. Observou-se que seria mais barato alterar o "filtro", de fato o controlador nominal. Naturalmente, foi exigida argumentação completa.

Com este trabalho, orientado da mesma forma que os anteriores, a técnica do lugar das raízes foi utilizada para resolver um problema inverso, forçando a sua compreensão para além de um simples algoritmo. O domínio conceitual dos alunos permitiu que não houvesse problemas na análise, os fatores determinantes do comportamento do sistema e influenciando o projeto do controlador estando bem compreendidos. Aqui, as últimas competências foram utilizadas e verificadas.

O curso terminou com uma prova final, em sala de aula, com perguntas conceituais (sem cálculos) sobre os trabalhos realizados. Os alunos tiveram dificuldade em explicar rapidamente o que fizeram, via grandes princípios. Sabiam resolver os problemas, passo a passo, usar as ferramentas, mas não fixaram nomes como o princípio do modelo interno, nem eram capazes de citá-los espontaneamente.

AVALIAÇÃO DA EXPERIÊNCIA

Começaremos pelos resultados do questionário de avaliação preenchido pelos alunos logo após a prova final, no primeiro semestre de 2001.

Caracterizando os alunos, seu coeficiente de rendimento (CR) acumulado segue uma distribuição normal com média 7,2 (a média habitual na Engenharia Elétrica é 7,5) e variância 0,85. 13% não responderam este quesito. A média do coeficiente de rendimento no último período é dois décimos mais alta. Observe-se que esta turma possui alunos vindos de formações diferentes, incluindo Engenharia de Produção Elétrica e Engenharia de Controle e Automação, que não seguem o currículo básico pleno da Engenharia Elétrica. Nenhum dos alunos seguia (nos semestres examinados) o currículo mais recentemente implantado para esta habilitação, tendo alguns cursado Sinais e Sistemas, outros Métodos Matemáticos da Física, e alguns outros nenhuma destas disciplinas. Há alunos do sétimo período de créditos a formandos (décimo período).

³ Este problema não tem solução na forma em que foi colocado. Os alunos o perceberam depois de muitos testes

2/3 dos alunos considerou ter uma idéia clara da especialidade pretendida. Esta era Engenharia de Produção ou Finanças para metade da turma, a outra metade escolhendo, quase toda, Engenharia de Telecomunicações. Apenas 6 em 46 escolheram outras opções e 2 ainda não a haviam escolhido. Havia forte correlação positiva entre os que escolheram Telecomunicações e os que não tinham idéia clara da profissão escolhida, e também com os que consideravam a disciplina inútil para sua formação. Esse resultado mostra a necessidade de disciplinas de Introdução Telecomunicações (introduzidas no currículo novo) ou ter uma das provas versando sobre o assunto. Os fatores apontados, como os que mais influenciaram a escolha da profissão, foram interesse ou vocação, em primeiro lugar, e oportunidade de bons salários ou progressão na carreira, em segundo lugar. Os demais fatores (família, influência de um profissional conhecido, facilidade em obter emprego, ou fatores mais altruistas) pouco foram citados. 3/4 dos alunos considerou escrever bem, mas só metade disse entender completamente as demonstrações da disciplina. Revelaram uma certa decepção com seu desempenho na Universidade. Enquanto 14 esperavam resultado excelente e 25 um bom resultado, só 8 consideravam ter obtido resultado excelente, 28 resultado bom e 5 resultado médio. Questionados diretamente, 19 se consideraram satisfeitos com seu resultado, 13 não e 18 não responderam. Poucos destes apontaram as razões desta última resposta, a maioria acusando a Universidade (professores, metodologia ou estrutura do curso) e apenas 6 considerando ser sua falta (desinteresse, carga horária excessiva). No entanto, a maioria absoluta considerava ter trabalhado bem na disciplina em estudo.

A maioria absoluta (mais de 85%) considerou conhecer os objetivos da disciplina e que estes foram atingidos, que a quantidade de aulas foi suficiente e os trabalhos realizados necessários, que aprendeu os principais conceitos e que a metodologia empregada foi boa. No entanto, 2/3 assinalou o trabalho ter sido excessivo e o 1/3 restante ter sido suficiente. Esta resposta tem sido encontrada cada vez mais frequentemente por todos os professores de disciplinas voltadas para projetos. Metade dos alunos considera que a disciplina mudou sua visão da engenharia e aumentou seu interesse em Controle e Automação. Solicitados a escrever a primeira palavra que lhes viesse à cabeça ao pensar na disciplina, 54% dos alunos associou palavras indicando dificuldade (trabalhosa, difícil, complexa, cansativa), 26% indicando a disciplina ser interessante ou inovadora, havendo quem associou "fácil", "profissionalizante" e 3 enigmáticos "controladora". 38% preferiu o primeiro trabalho, 39% o quarto trabalho, 17% os outros dois trabalhos, os demais não respondendo ou indicando vários trabalhos. Quase todos assinalaram ter feito esta escolha, porque o trabalho os remetia a uma situação concreta, onde sentiam o contexto da aplicação ou da vida prática. Isto é, um mesmo trabalho pode ser considerado "concreto" por um aluno e não tanto por outro. De fato, esta motivação indica que o trabalho remeteu o aluno ao que considera ser o contexto da aplicação, o que varia por aluno e depende das condições históricas - ver o naufrágio da plataforma P36 associado ao primeiro trabalho.

Dado que a metodologia foi aplicada de forma radical (essencialmente apoiada em trabalhos realizados em grupo, embora respondidos individualmente), pode aparecer o problema do comensalismo de uma parte do grupo em relação ao resto4. Alguns alunos chegaram a comentar que a situação de comensalismo difere da situação de simbiose com liberdade5, onde um grupo divide o trabalho em partes, de acordo com as capacidades de cada de um, o que corresponde ao que ocorrerá em sua futura vida profissional (no que eles tem razão). Mas, a questão de princípio posta pela valorização do trabalho exclusivamente individual (a atitude quase onipresente na Universidade) contra o trabalho em grupo é sentida como uma questão moral por parte dos alunos: a regra aceita implicitamente valoriza o esforço individual, sem ajuda externa. O fato do relatório final ser individual e, obrigatoriamente, explicitar todo o raciocínio empregado, gerou comentários sobre o controle do professor ("é melhor que a simples cópia"). Um conjunto de perguntas abordou diretamente estes temas. 52% considerou ser possível o comensalismo, contra 41% de opinião contrária. Mas, apenas um aluno assumiu ser comensal de seu grupo. A maioria considera que trabalhou bem, mas acusa a facilidade dos alunos "se esconderem atrás dos grupos", embora 33% digam que o controle do professor evitava que isto ocorresse. O autor não sabe dizer se os alunos que reclamam do comensalismo o estão confundindo com simbiose, mas leu e ouviu comentários expontâneos sobre a vantagem de um aluno explicar ao outro: "os dois aprendem mais", o colega "conhece melhor as dificuldades que o professor", "é assim que vamos trabalhar em empresas". Donde a conclusão de que está mudando a posição dos alunos frente à troca de informações - desde que, sem comensalismo, com esforço individual de compreensão. Os alunos estão se tornando mais pragmáticos e menos moralizantes6.

No espaço destinado as críticas expontâneas encontramos superpostos elogios à metodologia (20) e críticas à didática do professor em sala de aula (19) e ao trabalho gerado pela disciplina (9). De fato, diante da baixa freqüência às aulas teóricas no meio do semestre, o professor perdeu a paciência, tornando-se irônico. Três outros comentários merecem ser citados: dois alunos assinalaram ser possível passar sem saber, o que consideram "injusto". Um aluno disse que "o importante é motivar o aluno interessado" e outro aluno assinalou não terem sido "tratados de forma infantil".

⁴ Comensalismo é quando uma parte faz o trabalho e outra se aproveita, mas sem que alguém seja prejudicado. No parasitismo, os que vivem às expensas dos outros ainda os prejudicam. É o caso de argüições ao grupo, com escolha do aluno a ser argüido ao acaso, quando o escolhido apenas copiou o trabalho

Neste tipo de simbiose, os alunos podem se reagrupar em outros grupos ou trabalhar sozinhos. Ao agir "simbioticamente" estão apenas procurando a condição de máxima produtividade. Diferente é a simbiose completa, onde os participantes do grupo não conseguem trabalhar em separado ou como membros de outro grupo. Não estão associados, mas dependentes

O autor agradece a Manuel R. Freitas, seu co-autor em [20], ter lhe chamado a atenção para a classificação dos grupos simbiontes neste uso particular

Estes alunos revelam uma questão de princípio subjacente à metodologia: o importante é motivar o aluno interessado (ao custo de deixar passar o comensal) e induzí-lo (exigindo) a uma atitude profissional e madura ou o importante é ser "justo" nas avaliações, buscando cortar quem não trabalha ou não aprende? O autor considera que um compromisso deva ser atingido, mas que este problema deva ser tratado seriamente pelo curso como um todo, não apenas pelas disciplinas, individualmente. As considerações habituais nos textos que tratam do assunto escorregam pelas "habilidades mínimas necessárias" para o profissional a ser formado, esquecendo que estas são desenvolvidas ao longo do curso, por exigências sucessivas e superpostas, não sendo verificáveis em provas rápidas a menos que se reduzam a simples aplicação de procedimentos padronizados.

No dizer de um dos alunos deveria haver "mais matérias e professores que realmente nos fazem pensar e não copiar técnicas matemáticas". Ora, é mais fácil selecionar os alunos que repetem o discurso correto ou aplicam corretamente as fórmulas ensinadas a problemas padronizados em provas individuais, que levar alunos a pensar diante de problemas não completamente definidos, como os usados nesta metodologia. Esta abordagem faz aparecer a incerteza inerente à resposta humana (alunos bons nem sempre descobrem o caminho a tempo) e à enorme capacidade de adaptação dos alunos às situações escolares (falseando o planejamento da avaliação). Afinal, os alunos estão em situação de risco imediato, não os professores. A adaptação é condição de sucesso em uma Universidade meritocrática como a PUC-Rio.

Aqui reaparece a questão ética. A "cola" é produto da escola e de suas exigências artificiais, mas a maioria dos alunos conserva uma visão ética estrita (defendida, mas, nem sempre seguida). O comensalismo discutido acima pode ser um problema ético e/ou uma atitude de defesa ao excesso de trabalho. Principalmente se este trabalho não é visto como necessário por uma parte que se sente oprimida. O professor discutiu estes temas em sala de aula, assinalando não abdicar do poder do professor, essencial para gerar a pressão necessária para levar ao trabalho em meio às outras disciplinas, mas estar também buscando uma relação mais madura, onde o aluno trabalharia por estar convencido da importância dos desafios propostos. Busca um formação ideológica, sabendo que esta se bate contra as dificuldades e pressões concretas sentidas pelos alunos. Afinal, não há garantia de sucesso para ninguém, e os alunos serão sempre os mais penalizados.

Vários alunos deram sugestões para melhorar a metodologia, mostrando uma aguda perspicácia. Resumindo:

- (a) Realizar provas individuais em sala de aula, versando sobre conceitos (sem cálculos ou simulações).
- (b) Evitar trabalhos muito difíceis ou complexos, talvez aumentando o número de trabalhos de forma a que a dificuldade aumentasse progressivamente. Trabalhos mais fáceis chamam mais a atenção dos alunos, trabalhos muito difíceis os desesperam.
- (c) Um último trabalho deveria levar à comparação dos diversos controladores considerados na disciplina.

- (d) O professor deveria apresentar mais exemplos em suas aulas.
- (e) Os trabalhos deveriam ser realizados apenas durante o horário de aula (eventualmente nos laboratórios), com a avaliação sendo realizada computando o trabalho realizado dia a dia.

Comentaremos adiante as sugestões, após uma avaliação da metodologia considerando o resultado dos trabalhos e as perguntas dos alunos ao longo dos quatro semestres em que a metodologia foi parcialmente aplicada.

Podemos afirmar que o quadro conceitual foi construído, como pode ser verificado pelas perguntas ao longo do semestre, pelas entrevistas individuais, pela prova final e pelos resultados obtidos nas disciplinas seguintes. Nestas disciplinas temos usado as técnicas e conceitos aprendidos em Controle e Servomecanismo sem grandes problemas e sem necessidade de repetições: os alunos parecem ter aprendido, de fato, o esperado na disciplina anterior. Os conceitos do diagrama conceitual tem sido aplicados (e ampliados) a Controle Ótimo, Controle Não-Linear e Controle Digital aplicado, continuando a transformação do conhecimento do aluno. O efeito "esquecimento" não foi observado, a menos de técnicas menores - às quais recomenda-se o aluno voltar a estudar por conta própria. Afinal, não nos lembramos de tudo o que já estudamos. Por outro lado, o re-estudo é mais rápido se o estudo anterior foi significativo.

As representações próprias à disciplina foram absorvidas, o que foi verificado pela mesma argumentação do item anterior.

A competência de projetar e de simular controladores foi verificada diretamente, dentro dos limites da disciplina, assim como a capacidade de analisar projetos dados (engenharia inversa). Quem trabalhou corretamente projetou controladores e enfrentou problemas que exigiram a adaptação do que fora tratado em aula, sem possibilidade de cópia ou aplicação mecânica de algoritmos.

A consulta à literatura na área foi exigida e utilizada com êxito, ao menos quanto aos temas próprios à disciplina. Notese que os problemas tratados não se enquadram exatamente na linha que podiam encontrar nos livros didáticos norteamericanos que compõem a maior parte das referências, todos baseadas no ensino/treinamento de técnicas particulares. O uso da bibliografia exigia a adaptação do que era lido ao novo tipo de problema, isto é, compreensão do assunto.

O resultado foi uma reprovação baixa: 2 a 3 alunos por semeste, com turmas de 30 a 40 alunos. Os alunos ficaram cansados (com razão e mérito), mas, entusiasmados, se levarmos em consideração seus interesses profissionais. Temos tido alunos para as disciplinas seguintes, optativas, de Controle Avançado, Controle de Processos e Identificação & Estimação, o que não ocorria em períodos anteriores. Observo que a concorrência de outras áreas, na PUC-Rio, é grande, e o mercado de trabalho no Rio de Janeiro é mais orientado para o setor de serviços, com um aumento esperado (e anunciado) no setor de Telecomunicações.

DIFICULDADES E SUGESTÕES

A seguir serão discutidas as principais dificuldades encontradas, apresentando-se sugestões para enfrentá-las.

A principal dificuldade é a escolha dos trabalhos de forma a criar os problemas de interpretação e resolução sem gerar dificuldade excessiva, de forma contextualizada. O autor confessa que, apesar da organização conceitual, esta escolha ainda está no estado de arte, não de técnica. Ao longo do texto foram apresentados alguns princípios para esta escolha, onde o incremento de dificuldade – nunca exigir exatamente o que foi ensinado – é essencial.

A sugestão (b) dos alunos – trabalhos mais fáceis e mais numerosos – é interessante, mas leva ao problema de controle do tempo de execução dos trabalhos. A realimentação de informação exige tempo, com muitas idas e voltas, o que limita bastante o número de trabalhos – e os alunos ainda não criaram a disciplina necessária para otimizar o emprego de tempo nesta atividade. A sugestão (c), por exemplo, é um trabalho longo e demorado, pois exige muitas simulações e considerações sobre diferentes tipos de sistemas lineares. É um trabalho complexo, que chegou a ser realizado no primeiro semestre de 2001 ao longo do período, sem que os alunos o percebessem claramente.

De fato, ao radicalizar o uso da metodologia (usando apenas trabalhos de média duração), o professor não foi feliz em levar os alunos a terminar a construção dos conceitos. Faltou a etapa de abstração reflexionante, quando o aluno toma consciência plena do que realizou no trabalho e nomeia princípios e conceitos. As aulas teóricas reservadas para este fim foram pouco freqüentadas, pois os alunos perceberam que não afetavam diretamente a nota, e as usaram para estudar outras disciplinas. Em conseqüência, poucos alunos chegaram a citar o "princípio do modelo interno", apesar da presença exaustiva destá expressão nos textos colocados na Web. Este fato dificulta a referência futura ou mesmo a leitura de textos mais avançados pelos alunos.

Uma solução seria controlar a freqüência dos alunos de forma clássica. Mais interessante é usar a sugestão (a) realizando provas conceituais em sala de aula, individuais, versando sobre os conceitos tratados no trabalho anterior, após sua entrega e discussão em sala de aula. Desta forma os teoremas principais e a nomenclatura tradicional seriam revistos de forma refletida, corrigindo o problema. Evidentemente, esta estratégia aumentará o trabalho dos alunos e o do professor, mas há espaço e tempo para tal, se o professor dividir bem o tempo entre os diversos trabalhos.

Resumindo, as aulas presenciais são importantes para a apresentação e discussão dos problemas, para a motivação em torno deles, para a troca de informações e comentários & explicações & sínteses por parte do professor, e são o local privilegiado para a abstração reflexionante. Os trabalhos, executados, parte em sala, parte em laboratório, parte em espaços para discussão em grupo (biblioteca, por exemplo), fornecem a motivação central e estruturam perguntas e questionamentos, de forma a fazer o aluno pensar e construir conceitos, relacioná-los e aplicá-los. Os trabalhos sobre temas contextualizados e o controle do discurso referido ao vocabulário já dominado permitem a criação e correção de

sentido, junto com as diversas estratégias de realimentação da informação.

O espaço e o tempo utilizados nesta metodologia se alteram. O laboratório deve estar sempre disponível, o professor deve possuir horários extendidos de atendimento, só parte do trabalho é realizado em sala de aula. As aulas presenciais nem sempre são convencionais, havendo conferências, demonstrações, discussões, "aulas de dúvidas" e, seguindo a sugestão acima, algumas provas.

Como críticas negativas específicas, as técnicas de projeto na freqüência aparecem apenas subsidiariamente, não sendo claramente fixadas. Temas como "loop recovering" não chegam a ser tratados, pois exigem, para ganhar potência resolutiva e sentido, o domínio de técnicas H∞ (alunos neste nível reagem a metodologias por tentativa e êrro, como as usadas nas técnicas clássicas). Estes são assuntos para outra disciplina, se houver interesse por parte dos alunos. Esta crítica expõe a quantidade de trabalho exigida dos alunos pela nova metodologia, limitando o que pode ser aprendido (em média) por semestre. Mas, talvez, a construção de conceitos sempre exija muito trabalho por parte do aluno, e o sonho de, com pouco trabalho e sem esta atividade própria do aluno, "ensinar" grandes massas de conteúdo, seja uma falácia. A não ser para os alunos que não precisam de professor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARUK, S. L'Âge du Capitaine. Paris: Éditions du Seuil, 1985.
DA SILVEIRA, M. A.; SCAVARDA-DO-CARMO, L. C.
Sequential and Concurrent Teaching: Structuring Hand's-On Methodology. IEEE Trans. Education, Vol. 42, n. 2, pp. 103-108, May 1999.

FORTMANN, T. E.; HITZ, K. L. An Introduction to Linear Control Systems. New York: Marcel Dekker, 1977.

BACHELARD, G. La Formation de l'Esprit Scientifique. Paris: Librairie Philosophique J. Vrin, 1998.

ECO, U. Tratado Geral de Semiótica. São Paulo: Ed. Perspectiva, 1997.

PIAGET, J. Abstração Reflexionante. Porto Alegre, Brasil: Ed. Artes Médicas, 1995.

VIGOTSKI, L. A Formação Social da Mente. São Paulo: Ed. Martins Fontes, 1999.

DOLL Jr., W. E. Currículo: Uma Perspectiva Pós-Moderna. Porto Alegre: Ed. Artes Médicas, 1997.

PERRENOUD, P. Construire des Compétences dès l'École. Paris: ESF Ed., 1997.

DA SILVEIRA, M. A., SCAVARDA-DO CARMO, L. C.; PARISE, J. A.; DA COSTA, T. S. Changes in the Enginnering Curriculum: the PUC-Rio's Experience. *In* Proceedings of the ICEE99, Ostrava, CDROM. Rep. Tcheca: Technical University of Ostrava, 1999.

DA SILVEIRA, M. A.; DA SILVA, M. S.; DE FREITAS, M. R.; KELBER, C. R. Hand's-On Teaching and Entrepreneurship Formation: An Example on Electrical Circuits Courses. In: Proceedings of the ICEE98, CDRom. Rio de Janeiro, Brasil: CTC/PUC-Rio, 1998

DA SILVEIRA, M. A. Relatório de Pesquisa DEE-03/01. Rio de Janeiro: DEE/PUC-Rio, 2001. Pode ser encontrado em http://www.dee.puc-rio.br.

DADOS BIOGRÁFICOS DO AUTOR



Marcos Azevedo da Silveira

Bacharel em Matemática, PUC-Rio, 1974; Mestre Em Engenharia Elétrica, PUC-Rio, 1976; Docteur d'État ès Sciences (Automation), UPS (Toulouse), 1981. Professor Associado do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC-Rio. Dirigiu o DEE de 1995 a 1999. Atua nas

áreas de Teoria de Controle, Projeto de Servomecanismos e Educação em Engenharia. É professor de disciplinas teóricas nas áreas de Controle e Automação, Processos Estocásticos e Métodos Matemáticos.

PROPOSTAS PARA A REDUÇÃO DA EVASÃO DE ALUNOS E PARA MELHORIA DA RELAÇÃO ALUNO/PROFESSOR DOS CURSOS DE ENGENHARIA DAS INSTITUIÇÕES FEDERAIS DE ENSINO SUPERIOR

Rômulo Feitosa Navarro

1

RESUMO

A evasão de alunos e a relação aluno/professor dos cursos de graduação em engenharia das universidades públicas federais do Brasil são assuntos discutidos em vários trabalhos. A maioria destes trabalhos relaciona estas questões com a qualidade e especialização dos professores assumindo que estas não são adequadas. Neste trabalho, parte-se do pressuposto de que uma das principais causas da evasão de alunos e da baixa relação aluno/professor é a qualidade dos alunos que são classificados no vestibular. Como forma de diminuir a evasão é proposta uma nova forma de vestibular que favorece e classifica os melhores candidatos respeitando a opção feita por estes. Um outro procedimento é proposto com o objetivo de aumentar a relação aluno/professor a partir da permissão para que graduandos possam cursar disciplinas específicas dos cursos de graduação em engenharia das universidades públicas federais.

Palavras-chave: evasão de alunos, relação aluno/professor, cursos de engenharia

ABSTRACT

Student evasion and student/professor ratio of engineering graduation courses at public federal universities in Brazil are questions discussed in several papers. In the majority of them, the focus is centered on the quality and specialization of the professor with the assumption that these are not adequate. In this paper it is assumed that one of the main causes of student evasion, and consequently the low student/professor ratio, is the quality of the students that are classified by university's admission exam. In order to overcome student evasion a new admission procedure, which favors and classifies the best candidates with respect to their course option, is proposed. Another procedure is proposed to increase student/professor ratio by allowing professionals to enroll in specific disciplines at engineering graduation courses of public federal universities.

Keywords: student evasion, student/professor ratio, engineering courses

INTRODUÇÃO

Quando as autoridades federais responsáveis pelo ensino superior no Brasil querem diminuir a importância das instituições federais de ensino superior (IFES) frente às instituições particulares de ensino superior (IPES), dentre os vários argumentos, fazem incisiva menção à baixa relação aluno/professor (RAP) daquelas tecendo elogios à relação apresentada por estas. Embora seja inegável que a RAP das IFES não seja, em média, elevada, ela está longe de ser inadequada; a apresentada pelas IPES, além de não ser viável do ponto de vista acadêmico, é, por vezes, absurdamente elevada.

Deixando de lado as possíveis e factíveis explicações para a necessidade de uma RAP mais elevada do que a preconizada pelo Ministério da Educação (MEC) por parte das IFES, é preciso ter em mente que esta relação poderia ser mais elevada não fossem os elevados índices de evasão verificados em muitos cursos de graduação oferecidos pelas IFES. Em muitos casos, esta evasão tem como causa o desestímulo de alunos aprovados em vestibular para cursos menos tradicionais que gostariam de estar cursando aqueles mais tradicionais. Embora haja migração de alunos na direção dos cursos mais tradicionais, gerando uma evasão localizada, esta não é a causa da evasão global se a migração ocorrer na própria instituição. Todavia, o desestímulo leva a freqüentes

¹ Professor Adjunto II, Doutorando em Engenharia de Processos, Departamento de Engenharia de Materiais/CCT/UFCG, Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, CEP 58.101-970, Campina Grande, PB. Fone: (83) 310-1182. E-mail: romulo@dema.ufpb.br

Tabela 1. Dados sobre vagas oferecidas e disponíveis por semestre para disciplinas de responsabilidade de alguns departamentos de engenharia do CCT/UFPB

Período	99		99		00		00	
Vagas	OFER	DISP	OFER	DISP	OFER	DISP	OFER	DISP
Departamento/Disciplinas								
DEAg						_		
Drenagem de Terras Agrícolas	10	9	10	9	10	7	10	3
Impactos Ambientais	35	23	35	28	35	9	35	31
Sistemas de Produção Vegetal	30	26	30	15	30	25	30	25
Projeto de Irrigaçã	10	9	10	8	10	7	10	7
Materiais de Construção e Estruturas	20	17	20	11	20	18	20	17
Sistemas de Irrigaçã	10	9	10	6	10	7	10	5
Processamento e Armazenagem Agrícola	10	9	10	8	10	8	10	7 9
Manejo de Água e Solo	10	9	10	,	10	8	10	4
Culturas Irrigadas	10	9	10	6	10	8	10 10	9
Mecanização Agrícola	10	8		***	10	8	10	9
DEC	40	21	40	20			20	6
Pontes	40	31	40	38	40	20	40	17
Estruturas Metálicas e de Madeira	40	9	40	16 15	40 50	29 20	50	33
Fundação e Empuxo de Terra	50 25	27 6	50 40	27	40	28	40	34
Barragem de Terra					30	24	30	25
Tratamento de Água e Esgoto	30	25	30	26		12	20	11
Saneamento Ambiental	20	11 22	30 35	25	20 35	14	35	23
Sistema de Drenagem Urbana	35 40		35 40	17 29	35 40	31	35 40	23
Elementos de Arquitetur	30	19 20	30	27	30	28	30	24
Gerenciamento de Construções		30	40	28	40	8	40	21
Planejamento de Transportes DEE	40	30	40	28	40	0	40	21
Controle Digital	30	28	30	26	30	27	32	12
Análise de Sistemas e Sinais	50	42	50	21	50	24	50	22
Princípios de Comunicaçã	45	19	48	42	48	24	48	28
Gerenciamento de Energia	30	26	20	18	16	15	20	18
Técnicas de Mediçã	15	11	20	15	16	14	20	17
Proteção de Sistemas Elétricos	15	7	20	18	16	12		
Instrumentação Eletrônica	20	18	16	13	16	9	16	10
Processamento Digital de Sinais	20	18	20	19	20	9	20	11
Telefonia Digital	40	18	40	10	40	38		
Redes de Computadores	40	34	30	27	30	20	30	19
DEM For the de Tourse of Marines to	15	9	20	11	15	11	15	7
Estudo de Tempos e Movimentos	15 45	24	50	11 19	50	22	20	15
Desenho de Máquinas	20	17	20	17	30	22	20	13
Custos Industriais	15	14	15	13	15	6	15	11
Tubulações Industriais	30	15	30	4	24	5	31	8
Metrologia Ensaios de Materiais	20	13	15	5	20	16	15	3
	20	16	25	13	15	13	15	9
Fratura em Metais	20	6	22	10	20	14	. 20	16
Solidificaçã	. 25	11	25	16	25	8	25	7
Usinagem Máquinas Hidráulicas e Pneumáticas	. 23	11	25	14	25	8	25	12
DEMa			23	14	23	0	23	12
Aditivação de Polímeros	20	10					15	3
Ensaios de Materiais	20	12	20	14	15	8	15	4
Estrutura e P opriedades de Polímeros	20	11	35	12	15	6	15	7
Introdução a Polímeros	20	8			15	6	15	4
Matérias-Primas Cerâmicas	20	7	20	16	15	8		
Processamento de Materiais Cerâmicos	20	7	20	13	10	7	15	8
Processamento de Materiais Metálicos	20	9	20	12	15	5	15	4
Processamento de Polímeros	20	9			15	5		
DMG		150						
Recursos Minerais do Brasil	20	9	20	17	20	16	20	16
Fotointerpretaçã	20	13	20	17	20	12	20	17
Lavra de Minas Subterrâneas	20	19	20	15	20	14	20	17
Pesquisa Mineral	20	16	20	18	20	15	20	17
Controle Ambiental de Mineraçã	20	12	20	17	20	19	20	17
Metalurgia Extrativa	20	13	20	15	20	16	20	16
Avaliação Econômica. de Projetos Mineiros	20	17	20	15	20	14	20	18
Segurança e Ventilação em Mina	20	17	20	18	20	15	20	16
Projetos de Mineraçã	20	19	20	15	20	18	20	16
3	20	14	-20	16	20	15	20	16

Fonte: Relatório sobre oferta de disciplinas pelos departamentos do CCT/UFPB, Junho de 2001 (CSG, 2001)

Revista de Ensino de Engenharia, v.20, n.2, p.27-32, 2001.

reprovações que, muitas vezes, levam ao abandono do curso por parte do aluno. Além disto, as reprovações sucessivas ocorrem mesmo entre aqueles que pretendem concluir o curso para o qual foi aprovado em vestibular e, da mesma forma, concorre para o abandono do curso. Questões de ordem sócioeconômica, por certo, também contribuem para os elevados índices de evasão nas IFES, mas, por não fazerem parte do escopo deste trabalho, não serão aqui discutidas.

Independentemente das causas, duas das principais conseqüências da evasão é a crescente redução na RAP e a existência de vagas ociosas nas disciplinas específicas de cada curso das IFES. Esta última tem ainda como causa a retenção de alunos nas disciplinas introdutórias obrigatórias de formação geral (básicas), a qual tem como uma das causas o desestímulo anteriormente mencionado. A título de exemplo, na Tabela 1 são mostrados dados referentes a 4 períodos de disciplinas oferecidas por alguns departamentos de engenharia do Centro de Ciências e Tecnologia (CCT) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

A Lei de Diretrizes e Base (LDB) para a Educação em vigor permitiu o surgimento de vários artifícios (cursos sequenciais; de curta duração; de complementação individual ou coletiva; cursos a distância etc.) que têm servido tanto para melhorar a RAP quanto para reduzir o número de vagas ociosas nas várias disciplinas oferecidas pelas instituições de ensino superior (IES). Como sempre acontece nestas ocasiões, as IPES atuaram de forma incisiva e rápida, muitas vezes sem maiores preocupações com a qualidade do ensino e mais com a redução nos prejuízos causados pelas vagas ociosas, com algumas delas chegando a criar mais de 40 cursos novos num único dia. Este é o caso da Universidade de Caxias do Sul (RS) que criou 49 cursos seqüenciais, com duração máxima de 18 meses e currículos com 5 a 10 disciplinas (Segenreich, 2000). Estes números, que já são altos, têm crescido de forma assustadora: é só verificar as páginas na Internet e anúncios em jornais e televisão patrocinados por algumas IPES. Entretanto, aos poucos, esta tendência tem ocorrido em algumas IFES mesmo que não na área de cursos sequenciais ou de curta duração. Conforme material de divulgação da Universidade Federal de Larvas (UFLA, 1999), esta universidade quase 7.500 alunos e 315 professores, o que produz uma RAP de quase 24. Uma observação mais atenta dos números revela que do universo de 7.500 alunos, 5.640 são alunos de cursos de pós-graduação, e destes 5.024 o são de cursos a distância. Considerando-se apenas os alunos de cursos presenciais, a RAP da UFLA seria apenas 7,76.

Embora os dois casos apresentados possam se caracterizar como exceções à regra, o mais provável é que o caso da UFLA realmente não espelhe o que de fato acontece. Ao contrário das IPES, as IFES, por excesso de zelo; baixa mobilidade na adequação às novas realidades ou normas na área educacional, muitas vezes devido as questões de ordem ideológica da maioria dos integrantes de seus conselhos superiores, não têm conseguido produzir respostas nesta área. Como resultado, o número de alunos matriculados em cursos oferecidos pelas IPES tem crescido ano a ano, atingindo um total que supera os 75% das matrículas em cursos superiores.

Estes números impensáveis até em países ultracapitalista como os EEUU onde apenas 21% de seus 14 milhões de alunos encontram-se matriculados em instituições privadas (Ristoff, 1999), levam também a RAP's proibitivas mesmo considerando-se a necessidade de lucro, antes tolerado e hoje permitido, por parte da IPES.

Aumentar o número de "novos" cursos, por si só, não é uma garantia de manutenção dos alunos até a conclusão destes cursos. É preciso, antes de tudo e ao lado da qualidade destes cursos, garantir uma forma coerente de seleção dos candidatos às vagas oferecidas por meio dos processos seletivos. Várias alternativas têm sido apresentadas, como forma adicional ao vestibular tradicional, visando a mais adequada seleção de candidatos. Algumas IES têm se valido dos resultados obtidos pelos candidatos no Exame Nacional do Ensino Médio patrocinado pelo MEC; outras, como a UFPB, introduziram o processo seletivo seriado (PSS) onde os alunos são "testados" desde o primeiro ano do ensino médio fazendo, ao final do ano letivo, provas relativas aos conteúdos vistos naquele mesmo ano. Ao final dos 3 anos, o aluno tem uma média global que irá ou não habilitá-lo à vaga pretendida.

Oualquer que seja a forma de seleção, se a mesma for baseada na disputa por vagas mediante a opção feita pelo candidato, esta pode levar a distorções e injustiças considerando-se o contingente e a média de alunos que não logram classificação nos cursos mais tradicionais e aqueles referentes aos aprovados em cursos menos tradicionais, mas igualmente importantes, da mesma área. Veja o caso mostrado na Tabela 2. Considerando-se que os cursos A, B, C e D sejam cursos de igual importância e de mesma área, mas que, por várias razões, têm concorrências, Ci, diferenciadas no vestibular (CA > CB > CC > CD), os mesmos irão apresentar médias relativas ao último candidato classificado, Mi*, também diferentes. Embora não seja necessariamente uma regra universal, em geral, as Mi* seguem a mesma seqüência verificada para as concorrências Ci, de forma que MA > MB > MC > MD como mostrado na Tabela 2.

Tabela 2. Simulação de resultado de um vestibular padrão

Candidato	Opçã	M*	Mi* do Curso Pretendido	Situação+
1	A	75	80	R
2	D	50	30	A
3	C	60	65	R
4	В	- 70	70	A
5	D	40	30	A
6	C	65	65	A

+ R e A referem-se a reprovado e aprovado, respectivamente e M* é a média obtida pelo candidato

Pela simulação mostrada na Tabela 2, os candidatos 1 e 3, mesmo tendo obtido duas das maiores média entre os candidatos considerados, ainda, assim, não lograriam êxito no concurso vestibular. Em situação diversa se encontrariam os candidatos 2 e 5 que obtiveram as menores médias. Salvo honrosas exceções, o quadro mostrado na Tabela 2 é quase que universal no âmbito da IFES.

No presente trabalho são apresentadas propostas, para de um lado enfrentar uma das causas da evasão, que é a seleção de candidatos inaptos, que devido às repetidas reprovações irão se sentir desmotivados e abandonar os cursos e de outro melhorar a RAP sem a necessidade de criação de novos cursos.

PROPOSTAS

Iniciando pela forma de seleção dos candidatos que prestam vestibular baseada na única opção feita por estes, como mostrado na Tabela 2, este método se mostra injusto, *a priori*, por permitir a aprovação de candidatos cujas médias não os capacitariam para tal frente a outros candidatos que obtiveram média mais elevada, mas que escolheram outros cursos como primeira, e, às vezes, única opção. A médio e longo prazos, este tipo de seleção, ao permitir o ingresso de alunos inaptos, é uma das principais causas da retenção destes mesmos alunos nas disciplinas iniciais obrigatórias de caráter geral, gerando uma quantidade enorme de vagas ociosas nas disciplinas de caráter específico, conforme mostrado ao longo da Tabela 1.

Em algumas IFES, como a UFCG, é permitida ao candidato uma segunda opção, mas, ainda assim, o candidato só terá chance de fazer valer esta sua segunda opção se sobrarem vagas após a seleção daqueles que escolheram aquele curso como primeira opção. Na prática, isto quase nunca acontece, salvo quando a concorrência para o curso escolhido como segunda opção é menor do que 1, ou seja, quando antes mesmo do concurso há menos candidatos do que vagas.

Como solução, apresentamos como proposta uma ampliação de uma modalidade já posta em prática, e inexplicavelmente abandonada, pela UFCG em meado da década de 1990. Especificamente para a área de Engenharia, que é do nosso interesse, propõe-se um alargamento do número de opções, o qual poderá atingir o limite de cursos de engenharia oferecidos por determinada Escola ou Centro, de forma que a concorrência para um dado curso seria aquela derivada do número total de optantes, seja qual for a ordem de opção, por um dado curso dividido pelo número de vagas oferecidas. Os classificados seriam aqueles que obtivessem maiores médias, independentemente da ordem de opção. Para tornar mais clara a proposta, considere-se o caso apresentado na Tabela 2 supondo que em lugar de uma única opção os 6 candidatos tivessem a chance de fazer 4 opções conforme mostrado na Tabela 3.

Tabela 3. Simulação do resultado do vestibular considerando-se a proposta aqui apresentada

Candidato	Seqüência de Opções	Média	Situaçã
1	ABCD	75	A
2	DABC	50	R
3	CDAB	60	A
4	BCDA .	70	A
5	DCBA	40	R
6	CABD	65	A

Pelo sistema ora proposto, o candidato 1, antes reprovado, assumiria a vaga do candidato 4 que, mesmo obtendo média suficiente para classificar-se no curso de sua primeira opção, segundo o método tradicional, obteve média inferior à do candidato 1 (70 e 75, respectivamente) que colocou o curso B como segunda opção. Seqüencialmente, o candidato 4 ocuparia a vaga do candidato 6 que teria sido classificado para uma vaga no curso C. Segundo o mesmo princípio, os candidatos 6 (M = 65) e 3 (M = 60) iriam ser os classificados para as duas vagas do curso D mesmo tendo optado por ele em 4^a e 2^a opções, respectivamente, em lugar dos candidatos 2 (M = 50) e 5 (M = 40) que obteriam as vagas pelo método tradicional.

Embora este método garanta a escolha dos melhores candidatos dentre aqueles que concorreram às vagas oferecidas no vestibular para os cursos de uma dada área por uma IES em particular, ele não garante que os selecionados irão concluir seus cursos, dado que nem sempre o candidato se classificará para o curso de sua 1ª opção. Mas, o método tradicional, além de injusto pelos motivos já apresentados, também não garante. A forma como um candidato, recém saído da adolescência na sua grande maioria, é levado a escolha de um curso que lhe proporcionará uma profissão é uma questão complexa e envolve vários fatores. Mas, de uma forma geral, ela se baseia muito mais em questões subjetivas (tradição e fama do curso ou profissão) do que objetivas (qualificação da escola e do corpo docente). Não raro estas escolhas têm se mostrado equivocadas. Por meio da disciplina Introdução a Engenharia específica, inicialmente, e das demais disciplinas específicas ou profissionalizantes a que o aluno terá acesso além das ações no âmbito do ensino e da pesquisa desenvolvidas pelos professores de cada curso, estes mesmos professores terão oportunidades excelentes para fixar estes alunos em seus cursos, mesmo que estes não os tenham escolhido como primeira opção. Isto será, sem dúvidas, mais fácil, sobretudo, para aqueles cursos novos ou ainda não tão conhecidos como os tradicionais, mas, volto a frisar, igualmente importantes. Pois, tendo a chance de ter em suas fileiras alunos melhor preparados do que teriam pelo sistema convencional, admitindo-se que aqueles que obtêm melhores médias no vestibular possuem esta característica, teriam igualmente maiores oportunidades de apresentar as diferenças e vantagens de seus cursos para estes candidatos e convencêlos a prosseguir até a conclusão do curso. Melhores alunos, menores os índices de reprovação e retenção. Por consequência, menor a evasão por abandono e maiores garantias de manutenção de uma RAP mais aceitável, mesmo que neste último caso possa demandar um certo tempo.

Enquanto não se estabiliza a nova RAP como fruto de um novo processo de seleção dos candidatos às vagas por vestibular, as IFES podem adotar uma segunda medida que será descrita a seguir.

Os dados constantes da Tabela 2, embora se refiram a algumas disciplinas específicas de alguns cursos de engenharia e ministradas por professores de alguns departamentos de uma instituição em particular, no caso o

CCT/UFCG, com pequenas alterações, reflete um caso geral verificado em várias IFES. Isto é válido não só para os cursos/departamentos de engenharia, mas para todas as áreas do conhecimento.

Vários são os motivos que levam à existência de vagas ociosas em disciplinas específicas de um dado curso, até mesmo um dimensionamento inadequado (para mais) do número total de vagas, o qual, desta forma, jamais será atingido em seu total. Entretanto, quando o universo dos alunos que deveriam estar cursando estas disciplinas não é dos melhores, grande parte de seus integrantes fica retida nas disciplinas introdutórias e intermediárias. Dentre aqueles que conseguem sobreviver a esta situação ainda existem alunos que não conseguem lograr êxito em algumas disciplinas específicas. Com isto se tem um afunilamento muito acentuado nos últimos períodos de um dado curso de engenharia, o que leva aos elevados índices de vagas ociosas nas disciplinas destes mesmos períodos. Salvo raríssimas exceções, é difícil para um professor preparar uma aula e ministrá-la com satisfação para muito poucos alunos, às vezes para um aluno apenas.

Indubitavelmente, uma sala contendo um número aceitável de alunos preparados e interessados estimula o professor a ministrar os conteúdos da disciplina com mais intensidade e qualidade. Resta ainda definir o que seria um número aceitável e quantificar o preparo e o interesse do aluno. Números semelhantes aos de algumas disciplinas constantes da Tabela 2, por certo, não se enquadram na faixa do que seria aceitável. Por outro lado, salas superlotadas, como verificado em algumas IPES, também estão fora deste padrão. O interesse e o preparo dos alunos pode ser auferido analisando-se o desempenho destes ao longo do curso. Índices como coeficiente de rendimento escolar e relação entre o número de créditos (ou carga horária) solicitados e integralizados ajudam na composição deste perfil.

No campo da engenharia, há muito tempo que o controle do exercício profissional passou a ser uma atividade secundária. O que antes era considerado exercício ilegal da profissão passou a ser considerado como versatilidade. Embora no âmbito das Engenharias Civil e Elétrica isto seja difícil de se configurar, nas engenharias de modalidade industrial como Engenharia Mecânica, Química, Metalúrgica e de Materiais a regra é a "versatilidade" e o desrespeito à regulamentação profissional. Agindo de forma pragmática, tem-se que considerar esta como sendo uma situação que precisa ser minorada em seus efeitos negativos, ou seja, é preciso proporcionar condições para que estes engenheiros "versáteis" exerçam com mais propriedade esta sua característica. Se um engenheiro mecânico, por exemplo, está atuando profissionalmente numa indústria de processamento de materiais poliméricos e, de acordo com a maioria dos currículos para esta modalidade, tem apenas vagas noções de como este material se comporta. É natural que o mesmo precise se aprofundar no estudo deste material. Normalmente, profissionais que se encontram em situações semelhantes têm como única opção, caso desejem um aperfeiçoamento, cursos de pós-graduação. Neste caso, latu senso, dado o menor tempo que irá despender. Várias IES, como a UFLA, atentaram para isto e criaram seus cursos de especialização a distância.

Para atender a estes casos e para situações em que o profissional sente necessidade de rever determinados assuntos ou estudar novos tópicos na sua própria área de formação, se propõe a utilização das vagas ociosas nas disciplinas específicas para atendimento às necessidades de profissionais que já se encontram no mercado de trabalho.

Além da diminuição das vagas ociosas e elevação da RAP – na pior das hipóteses, manutenção desta relação considerando-se a evasão – a permissão institucional para que profissionais engenheiros possam cursar determinadas disciplinas específicas da sua ou de outra modalidade traz consigo várias outras vantagens.

Em primeiro lugar, como estes novos alunos teriam escolhido espontaneamente uma determinada disciplina para cursar, eles o fariam com o máximo de interesse ao contrário daqueles que, muitas vezes, são obrigados a cursar esta mesma disciplina para integralizar os créditos do curso. Secundariamente, mas não menos importante, a presença de um aluno que na verdade já é um profissional traria várias vantagens para os futuros profissionais. Isto é verdade tanto no aspecto da proposição de questões ligadas à parte prática (solução de casos reais) quanto pela apresentação de experiências vivenciadas por este novo aluno em sua atividade profissional. Este intercâmbio pode ainda proporcionar estímulos adicionais para que os futuros profissionais tenham cada vez mais interesse em concluir seus cursos. Tudo isto será ainda mais intenso quando este contato entre os alunos de um dado curso de engenharia com alunos profissionais de engenharia se der ainda nos períodos iniciais deste curso.

A questão que se apresenta é como regulamentar e implementar esta proposta. A regulamentação é simples e não demanda maiores esforços para aprovação nos conselhos superiores. Como a medida visa ao preenchimento de vagas ociosas, ou seja, que já existem mas não foram preenchidas, não é necessária a criação de nenhum novo órgão ou instância burocrática. Já que não se trata da criação de um novo curso, não há que se esperar por autorização dos órgãos reguladores e nem reconhecimento por parte do MEC. É preciso apenas a divulgação, via edital, da existência de um número determinado de vagas para uma ou mais disciplinas que estariam disponíveis para profissionais que estivessem interessados em ampliar ou reciclar seus conhecimentos.

A determinação *a priori* do número de vagas que ficariam ociosas, longe de parecer um exercício de futurologia, deve ser calcada no levantamento de uma série histórica do comportamento da relação vagas oferecidas versus vagas disponíveis para cada disciplina. Esta avaliação produzirá uma média que, escudada num coeficiente de segurança, irá garantir que não haja excessos ou frustração de perspectivas tanto dos alunos regulares como dos alunos profissionais que ficariam privados da vaga pleiteada.

Como extensão para a série histórica, 4 semestres letivos parecem ser suficientes. Se a média aritmética de vagas disponíveis for menor ou igual ao número de vagas oferecido no semestre imediatamente anterior ao que as vagas serão oferecidas ao público externo, N_{US} , (isto é particularmente válido para disciplinas que tiveram o número de vagas

oferecidas semestralmente alterado) a esta média será aplicado um fator de 0,7, e o número inteiro mais próximo deste resultado seria o número de vagas colocadas à disposição dos alunos profissionais. Se a média for maior, para esta disciplina só serão oferecidas vagas para os alunos regulares. A equação 1 sintetiza estas informações.

$$N_{VD} = 0.7D$$

$$D = \frac{\sum_{i=1}^{n} (Vi - Mi)}{n}$$

onde:

 D - média aritmética do número de vagas disponíveis para uma dada disciplina no intervalo considerado

M - número de vagas oferecidas no semestre;

Mi - número de vagas preenchidas no semestre;

n - número de semestres considerados;

 $N_{
m VD}^{}$ - número de vagas disponíveis para oferecimento ao público externo para o semestre seguinte.

A Tabela 4 mostra o resultado da aplicação da equação 1 a algumas disciplinas, cujos dados se encontram na Tabela 1.

Tabela 4. Aplicação da equação 1 a alguns dados constantes da Tabela 1

Disciplina	N _{US}	D	N_{VD}
Drenagem de Terras Agrícolas	10	7	5
Pontes	20	25	-
Controle Digital	32	23,27	16
Estudo de Tempos e Movimento	15	9,5	7
Desenho de Máquinas	20	20	14

A aplicação do fator 0,7 sobre a média *D* tem por objetivo dar uma certa longevidade à aplicação desta modalidade de utilização de vagas. De outra forma, em pouco tempo se chegará à saturação.

CONCLUSÕES

Partindo do pressuposto que a seleção inadequada de candidatos às vagas oferecidas nos concursos vestibulares

é uma das causas da retenção dos alunos nas disciplinas introdutórias de formação geral dos cursos de engenharia e que esta é, por seu turno, uma das causas da evasão que leva a uma diminuição da relação aluno/professor, sobretudo, nas IFES; e considerando-se que o grau de ociosidade de vagas nas disciplinas específicas se constitui numa distorção que precisa ser adequadamente tratada, foram propostas neste artigo duas soluções para atacar diretamente estes dois problemas. Por um lado, propondo alterar a forma de seleção de maneira a classificar os melhores dentre aqueles que concorrem a uma vaga nos vários cursos de engenharia oferecidos por uma dada IES, e, por outro, acenando com a possibilidade do oferecimento de parte das vagas ociosas nas disciplinas de formação específicas destes mesmos cursos para graduados, os aqui chamados alunos profissionais, como uma possível forma de melhorar o nível dos alunos e de elevação ou manutenção (considerando-se a evasão) da relação aluno/professor. Enquanto a partir da primeira proposta tenciona-se, pela escolha dos melhores candidatos, fazer com que estes prossigam motivados e de forma eficaz até a conclusão do curso, pela segunda proposta busca-se não só o preenchimento de vagas ociosas ou a melhoria da relação aluno/professor, sem maiores entraves ou complicações, mas um acréscimo na qualidade dos alunos pelo intercâmbio positivo e motivador com novos alunos com experiência profissional e com intenções de continuar ou ampliar sua formação acadêmica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CSG. Relatório sobre oferta de disciplinas pelos departamentos do CCT/UFPB, Junho de 2001.

RISTOFF, D. I. Privatização não faz escola; in: Universidade em Ruínas, Trindade, H. (org.), p.57-60, Editora Vozes, Petrópolis, 2000.

SERENREICH, S. C. D. O papel dos cursos seqüenciais e diferenciação do ensino superior; in: Educação Superior: Novos e Velhos Desafios, Sguissard, V. (org.), p.131-153, Xamã Editora, São Paulo, 2000.

UFLÅ. Os números da UFLA (material de divulgação), Lavras, 1999.

DADOS BIOGRÁFICOS DO AUTOR



Rômulo Feitosa Navarro

Engenheiro de Materiais (1985), Mestre em Engenharia Química (1989) e Doutorando em Engenharia de Processos (1999) pela UFPB. É professor Adjunto do Departamento de Engenharia de Materiais do Centro de Ciências e Tecnologia da UFCG. Ex-Diretor Técnico da

FAPESQ e da Fundação Parque Tecnológico da Paraíba, Ex-

Coordenador de Planejamento e Pró-Reitor Adjunto da PRAI/ UFPB. É autor dos livros Fundamentos de Reologia de Polímeros (EDUCS) e Materiais e Ambiente (Ed. Universitária – UFPB). Áreas de Interesse: Reologia, Fotodegradação de Polímeros e Mecânica dos Fluidos Não-Newtonianos.

SIMULAÇÃO MATEMÁTICA DE PROBLEMAS DE ENGENHARIA: SOBRE A ARTE DA FORMULAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS¹

Marcius F. Giorgetti²

RESUMO

Descrevem-se a estrutura, os objetivos e a metodologia de uma nova disciplina para cursos de engenharia. A disciplina é concebida como um degrau facilitador ligando a parte básica de um curso de engenharia com as ciências da engenharia. O principal papel adotado pelo docente é o de um treinador dos estudantes para a arte da formulação de problemas ou modelagem, desenvolvida com forte apelo ao uso de leis de conservação. Ênfase é dada à divisão do processo em duas fases, o uso de uma lei fundamental, seguido pelo uso de uma lei particular ou uma relação constitutiva. Dois informes parciais já foram apresentados pelo autor no FIE-97 e no FIE-99. O projeto avançou consideravelmente com a inclusão de sistemas de aquisição de dados, e análise, baseados na calculadora gráfica TI-89 e periféricos, como o *CBL – Calculator Based Laboratory*, da Texas Instruments, e sensores compatíveis. No artigo, a metodologia geral é exposta e exemplificada com três experimentos diferentes envolvendo a conservação da massa.

Palavras-chave: Formulação matemática; modelagem e simulação; teoria e laboratório; TI-89, CBL

ABSTRACT

The structure, the objectives, and the methodology of a new engineering course are described. The course is intended as a facilitating step connecting the basic portions of an engineering program to the engineering sciences. The main objective of the course is the coaching of students for the art of problem formulation or modeling, approached with a strong appeal to the use of laws of conservation; emphasis is given to the splitting of the process into two steps, the use of a fundamental law, followed by the use of a subsidiary law or a constitutive relation. Two preliminary reports were given by the author at FIE-97 and FIE-99. The project has been developed further with the inclusion of systems for data acquisition and analysis based on Texas Instruments' graphing calculator TI-89 and accessories, such as the TI Calculator Based Laboratory – CBL, and compatible instrumentation. In the paper, the general methodology is explained and exemplified with modeling for three different experiments of mass conservation.

Keywords: Mathematical formulation, modeling and simulation; theory and laboratory; TI-89, CBL

INTRODUÇÃO

O artigo descreve os objetivos e a metodologia de uma disciplina optativa que tem sido oferecida para os estudantes de Engenharia Civil da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, nos últimos seis anos. A mesma proposta foi incluída como disciplina semestral, regular, em diversos cursos brasileiros de engenharia, particularmente nos que serão oferecidos pela FADISC – Faculdades Integradas de São Carlos, sob a supervisão direta do autor.

O projeto começou sob forte influência do texto *Numerical Methods for Engineers*, de Steven Chapra e Raymond Canale (Chapra, S. C. and Canale, R. P., 1985), mas sofreu profundas revisões ao longo de seis anos de experiência, em função da realidade local que demandava uma abordagem original. Dois informes preliminares foram apresentados pelo autor nos FIE-97 (Giorgetti, M. F., 1997) e FIE-99 (Giorgetti, M. F., 1999).

A disciplina havia sido proposta com o objetivo de sintetizar tópicos essenciais da matemática, e desenvolver a habilidade considerada por muitos como fundamental para o

¹ Tradução para o português do trabalho Mathematical Simulation of Engineering Problems: On the Art of Formulation of Mathematical Models, submetido ao FIE-2001, Frontiers in Education Conference, Reno, Nevada, U.S.A., Outubro de 2001

² Universidade de São Paulo, Caixa Postal 359, CEP 13560-970 São Carlos, SP, Brasil. E-mail: marciusg@sc.usp.br, e Faculdades Integradas de São Carlos, Caixa Postal 195, CEP 13560-970, São Carlos, SP, Brasil. E-mail: mfgiorgetti@linkway.com.br

engenheiro, qual seja, a da formulação de problemas. Depois da primeira experiência, em 1993, identificaram-se diversos pontos que exigiam mudanças. Uma questão que precisou ser considerada foi a da relativamente pobre integração entre as chamadas "disciplinas teóricas" e as "disciplinas de laboratório", uma anomalia em algumas estruturas curriculares.

Considerando-se a prática observada em muitas escolas brasileiras, dois problemas foram identificados: Em alguns casos, muito pouca atividade de laboratório ou de campo; em outros, uma organização sistemática e deliberada que fazia com que disciplinas teóricas precedessem, em até um ou dois semestres, as atividades correspondentes de laboratório. No segundo caso, muito embora existissem atividades de laboratório, elas não contribuíam para a preparação dos estudantes, para a solução de problemas originais, para a pesquisa, redescoberta e desenvolvimento.

Neste projeto, buscou-se uma abordagem diferente, optando-se, sempre que possível, por uma metodologia ao mesmo tempo indutiva e construtivista. Experimentos foram planejados para serem executados facilmente na sala de aula com a participação intensa dos estudantes na sequência fundamental da observação de fatos ou fenômenos, escolha de parâmetros para a quantificação dos mesmos, medição e aquisição de dados, e, finalmente, modelagem (formulação) e simulação.

Um fator limitante para a efetiva utilização dessa abordagem era a falta de um sistema de aquisição de dados suficientemente flexível, preciso e de custo relativamente baixo, para ser operado por estudantes no ambiente de sala de aulas. Esta restrição foi praticamente eliminada com a adoção da tecnologia oferecida por uma combinação da calculadora gráfica TI-89 e do CBL – Calculator Based Laboratory, produzidos pela Texas Instruments, com sensores de mesma origem ou produzidos pela firma Vernier Software & Technology, de Beaverton, Oregon, U.S.A. Créditos pela adoção desta tecnologia vão para o mini-curso inspirador apresentado pelo Dr. José R. Lopez, da Universidade de Porto Rico, campus de Mayaguez, durante o FIE-99, em San Juan, Porto Rico.

A metodologia da modelagem ou formulação é estabelecida com um forte apelo ao uso de leis de conservação. Ênfase é dada à separação do processo em duas etapas, o uso de uma lei fundamental, seguido do uso de uma lei particular ou de uma relação constitutiva. Os problemas abordados são não-permanentes e discretos na primeira parte do curso; em seguida, são permanentes e contínuos; e, finalmente, são não-permanentes e contínuos. Os três exemplos apresentados a seguir ilustram atividades típicas da primeira parte do curso.

TRÊS CASOS DE CONSERVAÇÃO DA MASSA

Caso 1

O primeiro caso trata o esvaziamento de um tanque prismático de água através de um pequeno orifício circular com borda fina, com 0,424cm de diâmetro, localizado no fundo do recipiente. O esboço da Figura 1 ilustra as principais características do experimento. O tanque tem base retangular com 13,9cm por 32,0cm de dimensões internas, e profundidade máxima de 25,0cm. A contagem do tempo se inicia quando o nível da água está em h_o; o nível final é h_f; h é o nível da água no instante genérico t e m é a massa correspondente de água contida no reservatório; A, uma constante neste caso, é a área da superfície livre da água.

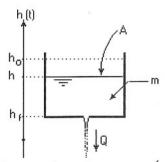


Figura 1. Esvaziamento de um Tanque com Água

A posição h é registrada com intervalos de tempo de 25s usando-se uma combinação TI-89/CBL com um CBR (Calculator Based Ranger, um sonar analisador de ondas ultrasônicas refletidas pelo objeto móvel) posicionado verticalmente sobre o tanque. Para evitar a interferência de sinais refletidos pela borda do tanque, usou-se, como alvo para o CBR, um flutuador sobre a água, alto o suficiente para ultrapassar as bordas do reservatório.

O modelo é desenvolvido a partir do balanço da massa de água contida no reservatório, pela aplicação de uma lei geral, a lei da conservação de massa.

Considera-se um instante genérico t e um pequeno intervalo de tempo Δt a partir do mesmo. No instante t a massa de água contida no tanque é m; esse valor sofre uma redução Δm durante o intervalo Δt , pois uma pequena quantidade de água abandona o reservatório. Seu valor é $\rho_a Q \Delta t$, em que ρ_a é a massa específica da água e Q a vazão de efluxo. Portanto, $\Delta m = -\rho_a Q \Delta t$. Dividindo-se por Δt , chega-se a $\Delta m/\Delta t = -\rho_a Q$, ou, no limite, com Δt tendendo a zero,

$$\frac{dm}{dt} = -\rho_a Q \tag{1}$$

Substituindo-se m pelo produto $\rho A(h-h_f)$, obtêm-se a equação diferencial seguinte:

$$\frac{d(h-h_f)}{dt} = -\frac{Q}{A} \tag{2}$$

com a condição inicial, h=h_o quando t=0.

A primeira etapa na formulação ou modelagem, qual seja, o uso de uma lei geral, termina neste ponto. A solução da equação 2 exige o conhecimento de como a vazão Q depende da diferença de potencial (h-h_f), isto é, demanda o conhecimento adicional de uma lei particular. A análise que se segue adota a estratégia de Russell and Denn (Russell, T. W. E. and Denn, M. M, 1972).

a) Supõe-se inicialmente, apesar da provável suspeita de inadequação, que a vazão seja constante, igual a Q_o, o valor observado quando t=0. Um valor numérico para Q_o/A pode ser estimado usando-se os valores da Tabela 1, considerando-se a informação fornecida pela equação 2, pois Q_o/A resulta igual a –dh/dt|_o. Neste exemplo dh/dt|_o pode ser estimado em 0,0856cm/sec.

Tabela 1. Dados para o Esvaziamento do Tanque

t	h-h _f	t	h-h _f
(s)	(cm)	(s)	(cm)
0	19,10	225	4,61
25	17,01	250	3,62
50	15,04	275	2,63
75	13,17	300	1,98
100	11,53	325	1,32
125	9,88	350	0,88
150	8,34	375	0,44
175	7,03	400	0,11
200	5,71	425	0,00

A solução da equação 2, com esta condição, produz a resposta linear seguinte, ilustrada na Figura 2.

$$h = h_o - \frac{Q_o}{A}t = h_o + dh/dt|_o t$$
 (3)

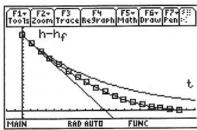


Figura 2. Dados e Modelos com n≅1 (Superior), n=0 (Inferior) e n=0,488

Pode-se observar que, exceto para um pequeno intervalo de tempo começando no início do processo, o modelo não descreve adequadamente o experimento.

A fonte para esta discrepância só pode estar na lei particular utilizada. Fica claro neste ponto para o estudante-pesquisador que Q deve depender de (h-h_f). A hipótese seguinte emerge naturalmente.

b) Supõe-se que Q seja linearmente proporcional ao potencial (h-h_r), ou seja,

$$Q = C_b (h - h_f)$$
 (4)

em que C_b é uma constante. Substituindo-se este valor de Q na equação 2 resulta uma nova equação diferencial, também

facilmente integrável. O valor de C_b pode ser estimado a partir da condição inicial, como foi feito com Q_o/A no caso anterior. O resultado final é:

$$h = h_f + (h_o - h_f) \exp(-\frac{Q_o t}{A(h_o - h_f)})$$
 (5)

O resultado do novo modelo também está na Figura 2. Como no caso anterior, a aderência aos dados é muito boa durante um pequeno intervalo de tempo no início do processo, mas é claramente um modelo inadequado para o experimento sob análise.

De uma maneira geral, o primeiro modelo subestima, enquanto que o segundo modelo superestima as predições dos valores de h. A vazão deve depender do potencial, mas não tão fortemente quanto no segundo modelo. Comparandose as duas hipóteses, nota-se que na segunda Q foi feito proporcional a (h-h_f) elevado à potência um, enquanto que na primeira a potência era zero. Isto sugere um terceiro modelo com o potencial elevado a uma potência genérica n, e que n deve pertencer ao intervalo 0–1.

c) Adota-se, então a seguinte lei particular:

$$Q = C_c (h - h_f)^n$$
 (6)

Repetindo-se o procedimento anterior, obtêm-se

$$h = h_f + (h_o - h_f) \left[1 + \frac{1 - n}{(h_o - h_f)} \frac{dh}{dt} \right]_0 t \right]^{1/(1 - n)}$$
 (7)

A equação 7 pode ser calibrada pela seu ajuste aos resultados do experimento, produzindo um valor ótimo para o parâmetro n. Para os dados da Tabela 1 a melhor correlação é conseguida com n≅0,488, também mostrada na Figura 2.

O procedimento para chegar-se a este resultado foi o uso direto do método dos mínimos quadrados aplicado à somatória dos desvios entre os valores experimentais e as correspondentes predições do modelo analítico dado pela equação 7. As Figuras 3 e 4 mostram a parte superior de duas telas consecutivas da planilha eletrônica da TI-89, ilustrando o procedimento de cálculo descrito acima.

A Figura 5 ilustra a variação da somatória dos desvios quadrados para diferentes valores do parâmetro n em função

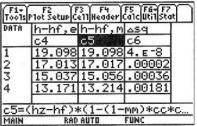


Figura 3. Colunas com Dados (c4), Modelo (c5), e Desvios Quadrados (c6)

DATA	Σ(Δsq)	n	Σ(Δsq)
	c7	c8	c9
1	.05561	.48	.05186
2 3 4		.482	.03972
3		.484	.03118
4		.486	.02623

Figura 4. Colunas com Soma dos Desvios Quadrados (c7 e c9) e n (c8)

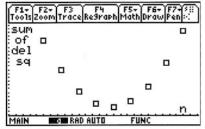


Figura 5. Gráfico da Soma dos Desvios Quadrados versus n

de n. O valor mínimo $\Sigma(\Delta sq)$ corresponde aproximadamente a n=0.488.

A Figura 2 também ilustra a excelente aderência aos dados alcançada pelo modelo descrito pela equação 7 com este valor de n

Este resultado é muito interessante, pois o valor predito para n com as hipóteses de escoamento permanente, incompressível e não viscoso (condições para a aplicação da equação de Bernoulli) é n=0,5. Mais adiante no curso esta comparação pode ser explorada com um impacto pedagógico muito forte.

Caso 2

No segundo exemplo o fluido armazenado é compressível, e seu volume no interior do reservatório é constante.

Ar, comprimido no interior de uma garrafa de água mineral com 2 litros de capacidade, é liberado através da passagem estreita oferecida por uma válvula de câmara de ar de bicicleta totalmente aberta. A pressão e a temperatura no interior da garrafa são medidas através de acessos providos na sua tampa, onde também está localizada a válvula de descarga.

As variáveis são medidas em função do tempo e registradas utilizando-se um CBL e uma calculadora TI-89, da Texas Instruments, e sondas da Vernier, o sensor de pressão PS-DIN e o amplificador de voltagem INA-BTA acoplado a um termopar Fe-Cu, com fios muito finos, manufaturado localmente.

A massa específica do ar, ρ , é calculada com o uso da equação de estado para um gás ideal, $p/\rho=RT$, na qual R é a constante para o ar e T a temperatura absoluta. Os valores de ρ são mostrados na Tabela 2 para os valores correspondentes de ρ e T.

A modelagem matemática para este problema é idêntica à do primeiro caso até à equação 1, rescrita aqui como

$$\frac{\mathrm{dm}}{\mathrm{dt}} = -G \tag{8}$$

Tabela 2. Dados para o Esvaziamento de Tanque com Ar Sob

t	p	· T	ρ
(s)	(kPa)	(K)	(kg/m^3)
0	183,621	300,08	2,134
0,51172	159,887	299,01	1,865
1,02344	143,649	297,93	1,682
1,53516	131,157	296,85	1,541
2,04688	119,915	295,78	1,414
2,5586	111,171	294,7	1,316
3,07032	104,926	293,62	1,246
3,58204	98,680	292,54	1,177
4,09376	96,182	291,47	1,151
4,60548	93,684	290,39	1,125
5,1172	92,435	290,39	1,110
5,62892	91,186	289,31	1,099

Na equação 8, G é a taxa temporal de fuga de massa através do orifício, como é usual na literatura de fluidodinâmica dos escoamentos compressíveis. No primeiro exemplo, o armazenamento de massa estava associado à profundidade h, pois o fluido era incompressível e seu volume variável. Neste caso o volume V é constante e o fluido é compressível; o parâmetro capaz de descrever o armazenamento de massa de ar é a massa específica ρ, uma função da pressão e da temperatura.

Substituindo-se m pelo produto ρV na equação 8, obtémse a equação diferencial seguinte:

$$\frac{d(\rho - \rho_f)}{dt} = -\frac{G}{V} \tag{9}$$

com a condição inicial, $\rho=\rho_o$ quando t=0; ρ_f é a massa específica final, uma constante.

De maneira semelhante à do primeiro exemplo, a primeira etapa na formulação ou modelagem, qual seja, a da utilização de uma lei geral, termina neste ponto. Para se resolver a equação 8 é necessário saber a interdependência entre a descarga de massa G e o potencial $(\rho-\rho_r)$. Supondo-se G proporcional a $(\rho-\rho_r)^n$, chega-se à solução análoga à do primeiro caso,

$$\rho = \rho_f + (\rho_o - \rho_f) \left[1 + \frac{1 - n}{(\rho_o - \rho_f)} \frac{d\rho}{dt} \right]_o t^{-1/(1 - n)}$$
 (10)

O valor de —dp/dt|_o é estimado, como antes, resultando igual a 0,53kg/m³s. As Figuras 6 e 7 ilustram o procedimento usado para a determinação de um valor ótimo de n, em conformidade com o critério dos mínimos quadrados. O valor resultante de n foi 0,75; a conseqüente ótima aderência aos dados pode ser observada na Figura 8.

Caso 3

No terceiro exemplo, explora-se uma situação envolvendo a conservação da massa em uma mistura binária. Um bécher de 500ml é posicionado sob uma torneira e alimentado com uma vazão constante de água Q = 33cm³/s (Figura 9).

F1- Tools	F2 Plot Setup C	3 F4 e11 Header	F5 F6+ F7 Calc Util Stat	
DATA	p-pf,e	p-pf,m	<u> AS</u> q	
	c6	c7	c8	
1	1.035	1.035	2.4E-9	
2	.76578	.7893	.00055	
2	.58241	.59018	.00006	
4	.44174	.43134	.00011	
c7=(pz-pf)*	*<1-<1 -	mm)*dd*c	:
MAIN	RAD	AUTO	FUNC	

Figura 6. Colunas com Dados (c6), Modelo (c7), e Desvios Quadrados (c8)

F1+ T001s	F2 P1ot Setup C	3 F4 e11 Header	F5 F6+F7 Ca1c Uti1 Stat	
DATA	Σ(ΔSq)	n	Σ(Δsq)	
	c9	c10	c11	
3		.73	.00129	
4		.74	.0011	
4 5 6		.75	.00105	
6		.76	.00113	
l				_
	1=.0010			
MAIN	RAD	AUTO	FUNC	

Figura 7. Somatória dos Quadrados dos Desvios (c9 e c11) e n (c10)

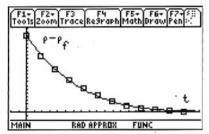


Figura 8. Dados e Modelo para (ρ-ρ_s) vs. τ com n=0,75

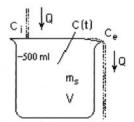


Figura 9. Diluição de uma Solução Salina

Um pequeno volume de solução saturada de cloreto de sódio é injetada no frasco e a concentração resultante de sal é medida a partir de então. Um sistema de aquisição de dados TI-89/CBL é usado em conjunto com uma sonda condutivimétrica da Vernier CON-DIN para a medição e registro em função do tempo da concentração da solução salina (Tabela 3).

O volume de água contido no reservatório durante o experimento é estimado em $V \cong 650 \text{cm}^3$. A concentração salina da água de torneira usada é $C_i = 44 \text{ mg/l}$; a concentração da água no vertedor de saída do bécher é $C_e(t)$; C(t) será usado para simbolizar a concentração média instantânea no interior do recipiente.

Na literatura, a modelagem deste problema é baseada, usualmente, na condição de mistura completa no interior do reator (Chapra, S. C., 1997), (Morley, D. A., 1979). No presente

Tabela 3. Dados para a Diluição de Solução Salina em Reservatório

t	C-C _f	t	C-C _f
(s)	(mg/l)	(s)	(mg/l)
0	963,039	36	153,413
4	783,103	40	131,531
8	634,811	44	109,649
12	525,403	48	87,7679
16	437,874	52	78,6776
20	350,346	56	65,8859
24	284,702	60	52,8859
28	240,938	64	44,004
32	197,174	68	44,004

experimento, a agitação que promove a mistura é provida exclusivamente pela quantidade de movimento introduzida pelo jato de água da torneira. Portanto, uma certa dose de segregação deve ser esperada para a distribuição do sal no interior do frasco. Dependendo da posição relativa do jato de água, C_e poderia ser um pouco maior ou um pouco menor do que C.

Por outro lado, dependendo da posição da sonda condutivimétrica, a leitura da mesma poderia ser um pouco maior ou um pouco menor do que a concentração média no interior do tanque. Com a condição de mistura completa, esses três valores, possivelmente diferentes, coincidem.

O modelo para o experimento é desenvolvido a partir do balanço de massa de cloreto de sódio contido no recipiente, com o uso, mais uma vez, de uma lei geral de conservação, a lei da conservação da massa.

Considera-se um instante genérico t e um curto intervalo de tempo Δt a partir dele. No instante t a massa de sal no recipiente é m_s ; esse valor sofre uma variação Δm_s durante o Δt , pois pequenas quantidades de sal entram e saem do recipiente transportadas, para dentro e para fora, pela água em escoamento. O valor de Δm_s é, portanto, $C_i Q \Delta t - C_e Q \Delta t$. Ou, $\Delta m_s = (C_i - C_e) Q \Delta t$ Dividindo-se toda a equação por Δt , obtémse $\Delta m_s / \Delta t = -(C_c - C_i) Q$, ou, no limite, com Δt tendendo a zero,

$$\frac{dm_s}{dt} = -(C_e - C_i)Q \tag{11}$$

Substituindo-se m_s pelo produto CV, chega-se à equação diferencial seguinte:

$$\frac{d(C - C_i)}{dt} = -\frac{Q}{V}(C_e - C_i)$$
 (12)

com a condição inicial, C=C_o quando t=0.

Para a condição de mistura completa, C_e pode ser substituído por C e a equação 12 pode ser integrada, produzindo uma resposta exponencial de primeira ordem semelhante à da equação 5. A hipótese C_e =C é a lei particular necessária para completar a integração.

No entanto, pode-se ser um pouco mais inquisitivo seguindo a mesma orientação usada nos exemplos anteriores. Neste caso, se poderia tentar uma caracterização do grau de mistura fazendo-se $(C_e-C_i) = (C-C_i)^n$ na equação 12. O valor

do expoente n para uma solução otimizada daria uma indicação sobre o grau de mistura no tanque; mistura completa corresponde a n≈1.

A solução final análoga é a seguinte:

$$C = C_{i} + (C_{o} - C_{i}) \left[1 + \frac{1 - n}{(C_{o} - C_{i})} \frac{dC}{dt} \right]_{o} t^{-1/(1 - n)}$$
 (13)

c4 1 919.039	:5	c6	
1 919.039			
	919.03	2.3E-5	
2 739.1 7 3 590.816	46.94	61.498	
3 590.816	03.6	163.64	
4 481.4 4	84.81	11.656	
c5=(cz-cf)*			

Figura 10. Colunas com Dados (c4), Modelo (c5), e Desvios Quadrados (c6)

F1+ Tools	F2 P1ot Setup C	3 F4 e11 Heade	F5 F6+ F7 r Ca1c Uti1 Stat
DATA	Σ(Δsq)	n	Σ(ΔSq)
	c7	c8	c9
4		.85	981.58
4 5 6 7		.86	816.55
6		.87	791.46
7		.88	906.2
<u>r6c9</u>	9=791.46)5291
MAIN	RAD	APPROX	FUNC

Figura 11. Somatória dos Quadrados dos Desvios (c9 and c11) e n (c10)

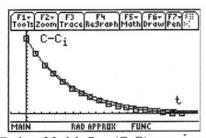


Figura 12. Dados e Modelo Para $(C-C_i)$ vs. $\tau com n \cong 1$ (Cima) and 0,87 (Baixo)

O valor de -dC/dt| o é estimado, como anteriormente, resultando igual a 47mg/l s. As Figuras 10 e 11 mostram o procedimento usado para a determinação do valor otimizado de n segundo o critério dos mínimos quadrados. O valor resultante para n é 0,87; a ótima aderência aos dados conseguida com este valor é vista na Figura 12.

AGRADECIMENTOS

O apoio recebido do escritório brasileiro da Texas Instruments tem sido fundamental para o desenvolvimento deste projeto. A instrumentação da Texas Instruments e da Vernier, disponibilizada através de um contrato de empréstimo de longa duração, e o envolvimento intelectual pessoal do Sr. Daniel Storch fizeram uma grande diferença.

O apoio dado pela FADISC para a construção das bancadas experimentais e a competência do técnico Sr. Luiz A. Pepino tiveram grande importância e são aqui reconhecidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chapra, S. C. and Canale, R. P., *Numerical Methods for Engineers*, McGraw-Hill, New York, 1985.
- Chapra, S. C., Surface Water-Quality Modeling, McGraw-Hill, New York, 1997.
- Giorgetti, M. F., Formulation and Development of Mathematical Models for Engineering Problems: An Experience on the Integration of Theory and the Laboratory, Proceedings, FIE-97, Frontiers in Education Conference, 1997.
- Giorgetti, M. F., Formulation and Development of Mathematical Models for Engineering Problems: An Active Inductive Approach, Proceedings, FIE-99, Frontiers in Education Conference, 1999.
- Morley, D. A., *Mathematical Modelling in Water and Wastewater Treatment*, Applied Science Publishers, London, 1979.
- Russell, T. W. E. and Denn, M. M., *Introduction to Chemical Engineering Analysis*, John Wiley, 1972.

DADOS BIOGRÁFICOS DO AUTOR



Marcius F. Giorgetti

Atividades Acadêmicas: Professor Titular na USP – São Carlos, aposentado em 1993. Professor Voluntário de pós-graduação e graduação, desde então, no Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos. Vinculado, em

regime de TP, à Faculdades Integradas de São Carlos - FADISC, desde abril de 1998, como professor e coordenador do curso de Engenharia Civil, e à Escola de Engenharia de Piracicaba, na implantação da disciplina Modelagem Matemática de Processos Ambientais, no curso de Engenharia Ambiental da EEP.

Principais Qualificações Acadêmicas: Engenheiro Mecânico em 1960 pela EESC-USP; M.Sc. em *Mechanical Engineering*

em 1968 pela *The Ohio State University*; Doutor em Engenharia Civil, Área Hidráulica e Saneamento, em 1971 pela EESC-USP; Livre Docente em Engenharia Civil, Área Hidráulica e Saneamento, em 1975 pela EESC-USP; Programa de Pós-Doutoramento em Engenharia Ambiental no *Department of Environmental Engineering Sciences* da *University of Florida*, Estados Unidos, de 1976 a 1977; Programa de Pós-Doutoramento em Engenharia Ambiental na *University of Newcastle upon Tyne*, Inglaterra, em 1986.

Principais Atividades e Experiências Externas no Ensino de Engenharia: Associação Brasileira de Ensino de Engenharia - ABENGE, Diretor Secretário de 1982 a 1984 e de 1988 a 1990, e Segundo Vice Presidente de 1984 a 1988. MEC/SESu, Membro da CEEEng de 1984 a 1988 e a partir de 1993, Presidente da CEEEng de 1996 a 1998.

CURRÍCULO PARA CURSOS DE ENGENHARIA: O TEXTO E O CONTEXTO DE SUA CONSTRUÇÃO

Flávio Macedo Cunha¹ & Mario Neto Borges²

RESUMO

No momento em que as Diretrizes Curriculares estão sendo aprovadas e discutidas e que novos currículos de engenharia irão resultar destas diretrizes é importante que se reflita não apenas sobre os aspectos da implementação curricular, mas também e principalmente sobre a base filosófica e social do currículo. Este trabalho se propõe a aprofundar a discussão da elaboração curricular considerando elementos presentes na composição dos currículos de engenharia, tais como, os princípios que direcionam sua construção, os significados que produz e os fins aos quais atende tendo em vista o contexto histórico e social no qual o currículo é estruturado. A discussão apresentada se sustenta nas teorias Crítica e Pós-Crítica como modelos alternativos ao tradicional que vem predominando ao longo das últimas décadas. O modelo alternativo permite questionar e contestar conceitos e verdades estabelecidas que têm engessado negativamente os currículos de engenharia. Dentro desta perspectiva, um novo conceito em currículo, denominado Campo de Força é apresentado e se torna um instrumento importante no entendimento do conflito de modelos. O Campo de Força passa a ser também o instrumento importante no entendimento do conflito de modelos. O Campo de Força passa a ser também o instrumento de definição da ênfase dada ao tipo conhecimento a ser incorporado no currículo. Isso garante aos projetistas curriculares um elemento com o qual o equilíbrio e a consistência do projeto educacional possam ser alcançados. Neste trabalho fica demonstrada a necessidade de que os currículos dos cursos de engenharia sejam repensados e reestruturados dentro de uma nova ótica. No entanto, não se tem a pretensão de apresentar uma receita acabada.

Palavras-Chaves: Ensino de Engenharia, Currículo, Teoria Crítica, Campo de Força

ABSTRACT

Given that the Curriculum Guidelines are being approved and discussed and, therefore new curricula for engineering courses will be designed, it is important to analyze not only the practical implementation but also, and more importantly, the philosophical and social bases of the curricula. This paper intends to deepen the discussion about the influence caused by the humanistic and social components on the curriculum design. It is argued that an alternative model based on the Critical and Pos-Critical Theories can be built as opposed to the traditional model which has been prevailed in the last decades. The proposed alternative model allows questioning concepts and truths which have negatively influenced engineering curricula. In this perspective a brand new concept in curriculum design named Power Field is presented and becomes an important instrument to define the emphases to be given to the type of knowledge embodied in the curriculum. This assures curriculum designers that balance and consistency of the educational project can be achieved. Although the paper does not intent to be a ready made recipe, the needs for engineering curricula to be rethought and restructured taking into account this new point of view has been demonstrated.

Keywords: Engineering Education, Curriculum, Critical Theory, Power Field

INTRODUÇÃO

A rapidez com que a ciência e a tecnologia são transformadas e transformam o mundo contemporâneo bem como o cenário político, econômico e social envolvidos nesta dinâmica, representam desafios constantes para as instituições que trabalham com ensino de engenharia dada as dimensões deste cenário e a sua relação com um projeto social do qual o currículo se constitui numa das peças. No contexto atual em que predomina a lógica do mercado como sendo uma forma superior e legítima de interpretação do real, com ênfase nos valores puramente econômicos, na exploração abstrata do trabalho humano, na

¹ Professor, MSc. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET MG - Departamento de Engenharia Elétrica. Av Amazonas, 7675, Tel. (31) 3319 5234. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC MG, Av. Dom José Gaspar 500, Coração Eucarístico, CEP 30.535.610, Belo Horizonte, MG. Fone: (31) 3319-4959. E-mail: flamac@dee.pucminas.br

² Professor, PhD. Depto. de Engenharia Elétrica, Fundação de Ensino Superior de São João del Rei - FUNREI, Pr. Frei Orlando 170, CEP 36.307-352, São João Del Rei, MG. Fone: (32) 3379-2341, Fax: (32)3379-2525. E-mail: marionb@funrei.br

posição que a ciência e a tecnologia ocupam como agentes do processo de acumulação do capital, podemos constatar com Oliveira (1995:16) que: "Todo o processo de produção vira, assim, um processo autotélico, inteiramente desvinculado dos fins das pessoas e, neste contexto, o princípio econômico se faz o critério fundante da existência histórica". É a partir destas premissas que pretendemos pensar o currículo no ensino de engenharia. A tendência atual, em nossas escolas, é de realizar os projetos novos e as reformas curriculares tomando-se como base modelos educacionais delineados previamente por determinados setores que atribuem validade exclusiva ao sistema produtor de mercadorias. Isto dificulta o aparecimento de questionamentos que, dentro destas concepções, podem tomar a aparência de inconsistentes e destituídos de senso prático. No processo de construção curricular, questões relacionadas aos valores, ao homem e ao conhecimento não podem ser negligenciadas como se ultrapassassem o espaço do currículo, uma vez que é a partir delas que se abrem as possibilidades para a revisão dos pressupostos que irão moldar os projetos educacionais. Ao ampliar o debate em torno desses pressupostos pode-se vislumbrar a relação que o currículo apresenta com um projeto social mais amplo, uma vez que a construção curricular trata-se de um processo que toma uma situação no presente, mas que deve ter a visão de um mundo que se abre para o amanhã.

Compreendido a partir deste ponto de vista, considera-se que o currículo no ensino de engenharia não pode ficar restrito a uma visão tecnicista, de caráter eminentemente instrumental, uma vez que o currículo deve estar condizente com a realidade - humana, política, social e tecnológica - que envolvem o mundo no qual o profissional irá atuar. Assim sendo, pensar o currículo significa retomar seu significado, implicando, neste sentido, fazer com que os atores sociais responsáveis por esta construção busquem os fundamentos e as bases que darão sustentação a este projeto. Elaborar um projeto curricular não implica em responder, de imediato, quais competências e habilidades devem ser desenvolvidas pelo profissional, quais conteúdos e métodos devem ser validados, quais modelos de avaliação devem ser enfatizados. Tampouco, planejar um currículo consiste unicamente em montar grades e preencher espaços com conteúdos disciplinares visando atingir objetivos previamente elaborados. Considera-se que estas etapas devam ser efetivadas, porém como consequência e a partir de uma etapa anterior, em que os atores sociais envolvidos no processo de construção curricular, estariam procurando compreender os significados que o currículo produz e as finalidades deste no contexto histórico e social no qual está sendo estruturado (Moreira & Silva, 1995). Estas questões tomam como princípio o potencial que o currículo apresenta no sentido de construir conceitos, de produzir valores, de validar conhecimentos, de estabelecer verdades, de influir nas visões de mundo das pessoas e de formar identidades. Portanto, a construção curricular envolve um conjunto de significados que se encontram ocultos e, desta forma, não aparecem com nitidez no esboço final do currículo como produto acabado.

Este trabalho propõe discutir o currículo buscando encontrar os significados que estão por trás de seu processo

de produção, ultrapassando, desta forma, a concepção normalmente aceita de que o currículo pode ser tratado como uma questão essencialmente técnica. Para trilhar este caminho são apresentadas, inicialmente, as teorias sobre currículo, destacando como as visões foram sendo aprimoradas no sentido de compreender seu significado no contexto das transformações sociais. Na sequência essas questões são tratadas no contexto do ensino de engenharia enfatizando a dinâmica da construção curricular como um espaço de poder, de interesses e de disputas que podem ser amplamente exploradas no sentido de se obter um resultado positivo para o ensino de engenharia.

TEORIAS SOBRE O CURRÍCULO: DOS MODELOS TRADICIONAIS AOS CRÍTICOS E PÓS-CRÍTICOS

O currículo como campo especializado de estudos surgiu nos Estados Unidos no início do século XX, visando discutir as finalidades da escolarização de massas, tais como educação geral versus especializada, ensino de habilidades básicas de ler e escrever versus habilidades profissionais, ênfase nas disciplinas científicas versus disciplinas acadêmicas humanísticas. Silva (2000), apresenta um histórico destas visões, citando Bobbitt, um dos precursores destes estudos, que, influenciado pelo taylorismo, defendia a aplicação do modelo empresarial para as escolas, enfatizando a definição das habilidades necessárias para a formação do trabalhador especializado. Para este estudioso, o currículo emergiria destas definições, uma vez que as finalidades últimas da educação já estariam definidas pelas exigências profissionais. Essa visão técnica do currículo foi consolidada por Tyler, para quem, ao organizar um currículo, quatro elementos deveriam estar sendo considerados, quais sejam:

- 1. os objetivos educacionais,
- as experiências educacionais visando atingir esses objetivos,
 - 3. a forma como organizar essas experiências e,
 - 4. a forma como avaliar o alcance desses objetivos.

Esses estudos, segundo Silva (2000), reforçaram uma tendência eminentemente tecnicista na educação, influenciando o modelo educacional no Brasil após 1960.

Os modelos tradicionais de currículo, que surgiram no início do século XX, restringiram-se às questões de "como" elaborar o currículo, partindo do princípio de que as formas de conhecimento e os fins para os quais a educação deveria estar voltada já estariam definidos e legitimados pelo modelo social dominante, não precisando ser questionados. Nestes modelos as finalidades últimas da educação estariam definidas pelas exigências profissionais e, desta forma, a educação passou a ser organizada nos moldes empresariais. A partir da segunda metade do século XX, começaram a emergir as teorizações críticas sobre o currículo, com diversos estudiosos e teóricos educacionais que passaram a questionar os arranjos educacionais e sociais existentes trazendo

questionamentos em relação às teorias tradicionais sobre currículo. Os estudos nesta linha focalizaram o currículo sob diversos pontos de vista, destacando-se, tanto os aspectos ideológicos, políticos e sociológicos que se encontravam na base da construção curricular, bem como os temas relacionados à pedagogia e ao conhecimento veiculados nos projetos curriculares. Neste sentido, passaram a surgir questões relacionadas aos pressupostos que davam sustentação à elaboração curricular, aos valores e aos interesses aos quais o currículo atendia e os produtos sociais resultantes de sua aplicação. Silva (2000) destaca uma relação de estudiosos desta linha, onde é discutido o papel da escola como aparelho ideológico de estado (Althusser), o conceito de correspondência no qual a escola incorpora na psique do estudante atitudes que reforçam as relações sociais de produção (Bowles e Gintis), os estudos de dominação e reprodução cultural (Bourdieu e Pasșeron).

Para os teóricos críticos, o currículo não pode ser considerado um campo neutro e desinteressado de conhecimento, uma vez que este está ligado a relações de poder. Desta forma, a definição de qual conhecimento deve ser corporificado no currículo se dá num espaço de disputa de poder. A escolha de um conhecimento em detrimento de outro na composição curricular não é uma questão de verdade e de legitimidade, mas de escolha entre o que é considerado verdadeiro e legítimo. Nesta perspectiva, conforme destaca Cortella (1999), o conhecimento não pode ser entendido sem conexão com sua produção histórica, isto é, o conhecimento é fruto de uma convenção.

A teoria crítica educacional identificou a influência da racionalidade técnico-instrumental sobre o modo de organização curricular produzindo uma visão de currículo que não levava em consideração os aspectos históricos e sociais de sua construção. Assim sendo, as possibilidades de transformação social tornavam-se restritas, uma vez que neste modelo de racionalidade as estruturas de poder e de controle não eram desveladas. Neste caso, a educação passa a cumprir o papel de moldar pessoas e induzi-las a agir e pensar em termos do sistema de produção o que representa uma limitação do próprio processo educacional. Conforme destaca Freire (1998), aprender implica não apenas em adaptar, mas, sobretudo, em transformar a realidade, para poder nela intervir e recriá-la. Neste sentido, um modelo educacional crítico deve possibilitar a compreensão da "estrutura que está presente na racionalidade do mundo moderno..." (Prestes, 1994:99) e permitir formar o sujeito reflexivo em relação à realidade social na qual se insere uma vez que considera as relações de poder com a qual o conhecimento se constitui.

A reflexão crítica promove uma ação transformadora em dois sentidos: serve para esclarecer "os mecanismos de alienação e manipulação ideológica presentes no sistema" e revela "verdades não intencionais que poderiam conter 'imagens fugidias' de uma sociedade diferente" (Pucci, 1994:48). Neste sentido, conceitos usuais atualmente tratados com naturalidade no interior do currículo como produtividade, competitividade, eficiência, bem como as concepções de progresso e desenvolvimento tecnológico, herdadas do

positivismo, passam a ser encaradas com uma certa dúvida quanto ao significado que lhes é atribuído. Uma posição educacional crítica irá abordar esses elementos perguntando pelo processo histórico de sua construção, pelos significados sociais de sua aplicação, pelos interesses e ideologias que se encontram na base de sua elaboração. Neste espaço de discussão, os elementos representantes da racionalidade instrumental bem como a pretensa neutralidade científica, perdem seu poder de ocultação da realidade. A postura crítica em relação ao processo educacional permite colocar em dúvida os arranjos sociais e educacionais existentes abrindo espaço para que a educação exerça seu papel transformador.

No centro das teorizações curriculares emergiu, a partir da segunda metade do século XX, as teorias pós-críticas, cujo núcleo analítico passou a se fundamentar nas formas discursivas e nas construções textuais, de influência pósestruturalista e pós-modernista. Estas correntes colocaram em dúvida as pretensões transformadoras das grandes narrativas (cristianismo, socialismo, entre outros), que pensavam encontrar soluções para os problemas do homem e da sociedade e que, neste caso, acabaram sendo interpretadas como sistemas de dominação e poder. As teorias pós-críticas, conquanto tenham, de certa forma, negligenciado o foco dos mecanismos de dominação e poder, preconizados pela teoria crítica, podem, paralelamente a esta, possibilitar uma nova leitura na compreensão dos processos por trás dos quais estes mecanismos se encontram presentes. As teorias críticas e pós-críticas possibilitam, segundo Silva (2000), relacionar o currículo a questões de saber, de identidade e de poder, de diferentes formas.

As teorias críticas identificaram a contribuição do currículo no sentido de reproduzir as estruturas sociais reforçando, assim, a ideologia dominante do sistema de produção mediante a formação da consciência do indivíduo. As teorias pós-críticas rejeitam a noção da consciência no sentido cartesiano - uma consciência do sujeito - colocando em dúvida a possibilidade de uma libertação e de uma emancipação do sujeito livre e autônomo, tal como entendida pela pedagogia crítica.

O currículo foi identificado, no olhar da teoria crítica, como uma invenção social, isto é, o currículo não é algo dado, que traduz conhecimentos e verdades os quais já se encontravam prontos esperando para serem descobertos em algum lugar. Neste sentido, o currículo é, antes, uma construção histórica, envolvendo, deste modo, disputas de interesses e veiculando conhecimentos e métodos resultantes de escolhas dentre possibilidades diversas. A noção de que seria possível a emancipação e a libertação da ideologia presente no currículo, possibilitando abrir espaço para um conhecimento genuíno, passa a ser colocada em dúvida na perspectiva das teorias pós-críticas. Estas trabalham em torno dos processos de significação e das relações de poder nos quais o conhecimento está intricado. Isto implica dizer que não há como separar um conhecimento que seja objetivo, isto é, independente de disputas e de interesses, de outro conhecimento que seja sujeito à interpretação e passível de divergências. Diferentemente das expectativas da teoria crítica, na visão pós-crítica não é possível tratar o currículo de uma posição privilegiada e livre das relações de poder, no sentido de identificá-lo e isolá-lo do seu centro (o poder do Estado, por exemplo). Conforme afirma Silva (2000:146): "Parece, pois, inquestionável que, depois das teorias pós-críticas, a teoria educacional crítica não pode voltar a ser simplesmente 'crítica'".

CONSTRUINDO CURRÍCULO, QUESTIONANDO VERDADES

A partir das análises oferecidas pelas teorias críticas e pós-críticas, considera-se que o currículo não deve ser tratado como um elemento isolado do seu contexto social de produção, isto é, o currículo é resultado da interação de forças e, assim sendo, acaba por reproduzir valores, ideologias e princípios que constituem os pilares de um grupo social dominante. Um projeto curricular, para atingir estas questões, deve partir do questionamento das 'verdades' que estão colocadas em relação ao currículo, ao conhecimento, à educação. 'Verdade', neste contexto, remete ao sentido dogmático do modelo tradicional que não questiona as bases sobre as quais são erguidos os conceitos e estruturados os modelos de currículo. Para construir o currículo é preciso desconstruir esses conceitos, retomar suas bases, evitar saltar etapas no seu processo de elaboração e não cair nos imediatismos de sua produção, é preciso compreender que "o currículo é, em suma, um território político" (Silva, 2000, p. 148).

O currículo tem relação com um modelo de sociedade, na medida em que, através do currículo, difundem-se conhecimentos, valores, conceitos, interpretações dos fatos sociais, visões de mundo. Neste sentido, as propostas em torno do modelo neoliberal de educação, que têm exercido grande influência nos projetos curriculares na atualidade, precisam ser revistos no espaço das discussões sobre o currículo. Oliveira Jr (2000) faz um alerta, destacando os rumos que a sociedade neoliberal e globalizante vem tentando impor à nossa sociedade e, neste sentido, critica a forma como modelos políticos, econômicos e educacionais vão sendo importados pelo Brasil sem considerar, com profundidade, as reais necessidades e condições deste país. Uma breve descrição do modelo de sociedade que, não raramente, tem impregnado os discursos sobre currículo na atualidade pode ser sintetizado na citação seguinte:

> "O projeto hegemônico, neste momento, é um projeto social centrado na primazia do mercado, nos valores puramente econômicos, nos interesses dos grandes grupos industriais e financeiros. Os significados privilegiados desse discurso são: competitividade, flexibilização, ajuste, globalização, privatização, desregulamentação, consumidor, mercado. Nesse projeto, a educação é vista como simplesmente instrumental à obtenção de metas econômicas que sejam compatíveis com esses interesses" (Silva, 1999:28).

Nesta mesma linha, o Fórum de Pró-Reitores de Graduação das Universidades Brasileiras (ForGrad, 1999) chama a atenção para a crise imposta pelo processo de globalização, alterando as relações no mundo do trabalho, no qual a "dimensão tecnológica do conhecimento tem predominado sobre as demais dimensões, tais como a filosófica, a ética, a do compromisso social" (p.8). Neste Fórum é enfatizada tanto a importância da ênfase no conhecimento tecnológico quanto na formação da competência política, social, ética, humanista. A universidade deve estar atenta a estas questões, de modo a não perder de vista seu compromisso social, ampliando, ao máximo, os diversos campos de conhecimento, visando:

"ao estudo e a pesquisa científica que preparem profissionais competentes para a política de ciência e tecnologia do país, para a crítica de teorias explicativas da realidade, para a crítica de modelos e projetos de desenvolvimento, para a formação da consciência social" (Wanderley, 1986:77).

Demo (2000) destaca que, atualmente, na universidade a primazia tem sido dada ao aspecto técnico do conhecimento e alerta para o fato de que a aprendizagem é um fenômeno essencialmente político, isto é, o fim precípuo da aprendizagem é adquirir uma competência política, é dotar uma pessoa capaz de comandar a própria história, de saber definir e construir uma sociedade melhor. Para este autor, a função da escola é levar à emancipação, à construção da cidadania, o que implica em desconstruir verdades e instabilizar certezas para encontrar novos caminhos.

As discussões em torno do ensino de engenharia, ao trabalhar o currículo, diga-se, seu projeto, reformulação e implementação, de um modo geral, considera pontos tais como, a definição do perfil do profissional desejado, a descrição das competências e habilidades requeridas, a elaboração dos conteúdos e saberes que atendam a esses requisitos, a estruturação dos métodos a serem desenvolvidos. Dentro desse contexto são elaboradas as estruturas curriculares, os conhecimentos são divididos por áreas, são definidos os instrumentos e os meios de sua implantação e avaliação, amparados pela estrutura da escola organizada, cada vez mais, no modelo empresarial. A ênfase encontra-se na forma como o conhecimento, a ser veiculado através do currículo, deve ser estruturado de modo a atender os objetivos pretendidos. Esta forma de trabalhar o currículo, apesar de sua eficácia para o sistema produtivo, requer algumas reflexões quanto ao seu resultado no contexto social ao qual este se aplica.

Uma abordagem curricular que permanece submissa à primazia do mercado pode reduzir o projeto educacional a um sistema para treinamento de pessoas. Ao não perguntar pelo significado social, ético e cultural do modelo de produção, ao se restringir a aceitar os ditames do sistema dominante e ao prontificar-se a reforçá-lo, o currículo fica restrito a um repertório técnico e o processo educacional em vez de surgir como uma possibilidade de transformação de determinadas

estruturas, ainda que dentro de certos limites, acaba por reforçar a lógica do mercado, da produção, da competição desenfreada. Um dos desafios principais das escolas de engenharia, ao exercerem seu papel de formadoras de pessoas para atuarem na sociedade, consiste em levar em conta uma lógica de mercado que se apresenta cada vez mais competitivo em termos de ocupação profissional e desumanizante ao reforçar as regras que ampliam as desigualdades sociais.

Inserida na "sociedade do trabalho" a concepção mais comum considera que à escola de engenharia cabe preparar uma força de trabalho competente que atenda às demandas da sociedade. Neste processo as áreas técnico-científicas são priorizadas, ficando normalmente, em um plano secundário, as áreas de conhecimento relacionadas às ciências sociais. Mesmo quando inseridas no currículo, observa Rouanet (1987), as ciências sociais acabam por desempenhar uma função objetivante, assim como ocorre com as ciências empíricas, ao serem deformadas pelo interesse técnico e apropriadas por estratégias de poder.

Antes mesmo da elaboração prévia do perfil do profissional e da definição das competências e habilidades requeridas para o engenheiro, isto é, antes de ser tratado no seu aspecto técnico, o currículo deve ser considerado tendo em vista os fins da educação e o porquê de sua organização enquanto conhecimento escolar. Isto significa dizer que, antes de definir o currículo por competências, deveríamos perguntar pelas competências do currículo. Esta postura procura partir de questões que buscam compreender o currículo em função dos fatores que o determinam social e culturalmente. Portanto, o currículo passa a ser problematizado tendo em vista o contexto de sua produção e as relações de poder que envolvem seu processo de construção, não permanecendo subjugado aos fatores externos, pelo menos sem que se possa ter uma perspectiva de mudá-los.

Por conseguinte, levar em conta esses aspectos em nossa prática como educadores, pode possibilitar uma abertura de espaço para a reflexão em torno do papel e do significado da ciência e da tecnologia em nossa sociedade, onde se encontram a geração dos instrumentos e dos elementos com os quais o engenheiro atua. Conforme já colocado por Adorno (1995), o currículo acaba se defrontando com uma expressiva ambigüidade nessa área. Por um lado é preciso formar o profissional para adaptá-lo ao mundo do trabalho e da tecnologia, provendo-o de elementos que lhe der competência técnica e eficiência, nos moldes do sistema de produção onde este irá atuar. Por outro lado, urge investir no preparo de um ser humano ético, equilibrado, com visão social e humana, que seja capaz de julgar suas opções e de decidir sua forma de atuação ciente do seu significado no mundo do trabalho e da produção. Longe de considerar que essas funções se conciliam harmoniosamente, partimos do princípio de que esses elementos encontram-se em conflito. Consideramos, também, que a forma mais eficaz de lidar com esta realidade é buscar explicitá-la, explorando-a no processo educativo, criando oportunidades para que essas contradições venham à tona. O caminho seria, portanto, buscar a compreensão desta dialeticidade, de forma a trabalhar estes dois aspectos no ensino de engenharia (Cunha, 2000).

Com a aprovação das novas diretrizes curriculares para o ensino de engenharia algumas questões poderiam ser colocadas para discussão nas escolas de engenharia. Que modelo de sociedade pretendemos construir tendo no currículo de engenharia um dos pilares de sua sustentação? Que valores e que interesses estão presente nos discursos atuais em termos de modelo social e como estes têm influenciado as visões sobre o currículo? Que conhecimentos são considerados válidos para compor o currículo e que critérios são adotados para esta definição? Com a redução das cargas horárias nos cursos de engenharia, que saberes serão priorizados e em detrimentos de quais outros saberes? Ao definir competências e habilidades, que modelos sociais estão sendo validados? Quais métodos de ensinoaprendizagem discutidos atualmente serão mais adequados tendo em vista que estes trazem significados que implicam em possibilidades de controle ou de emancipação assim como de dominação ou de libertação do indivíduo? Que visões de mundo e que valores um currículo pode ocultar ou revelar?

Estas questões, colocadas no debate público possibilitam surgir visões alternativas em relação ao currículo. É, no entanto, dentro deste contexto que o processo de construção curricular deve emergir, tendo em vista que a participação dos sujeitos envolvidos na discussão refletirá em novas visões e em posicionamentos alternativos. O próximo item dará um destaque para essa dinâmica, isto é, considera o jogo de forças que envolve o processo de construção curricular e as vantagens de explorar esse processo.

O CURRÍCULO COMO UM CAMPO DE FORÇA

As diversas concepções sobre o currículo que foram produzidas nos últimos anos, fruto de um questionamento contínuo sobre suas finalidades, suas influências nos modos de produção e reprodução social e sua forma de elaboração, abrem possibilidades para explorar com mais profundidade alguns aspectos relacionados ao processo de sua implementação. A construção curricular se dá em um espaço de disputas, de interesses diversos, de confronto de idéias, indicando aí, uma luta pelo controle do currículo. É neste sentido que dizemos que o currículo se insere em um campo de força (Cunha, 1999). Neste campo de força posições são colocadas em confronto, conceitos sobre educação, ensino e aprendizagem são delineados, valores e percepções referentes à profissão e ao mundo do trabalho são moldados. Se este espaço implica na manifestação de diversos posicionamentos e na relação entre pólos opostos, compreender sua dialeticidade pode tornar-se valioso para o processo educacional.

Na dinâmica da construção curricular, o campo de força pode ser considerado desde o macrotexto, quando as diretrizes são delineadas, a proposta curricular é esboçada e o currículo é pensado como um projeto que envolve estratégias e políticas educacionais; até o microtexto, dentro da sala de aula, quando os conceitos, os temas específicos, as técnicas de ensinoaprendizagem são aplicadas. Em cada etapa desta construção, em cada fase de sua implantação, as relações de poder, os interesses e os valores vão desenhando suas marcas influindo nos tipos de conhecimentos, nos métodos e nos conteúdos que compõem o texto curricular. O currículo, desta forma, assume um modelo como resultado de um projeto socialmente construído. Este modelo irá apresentar uma determinada tendência política e ideológica dependendo do processo de sua construção e da visão dos sujeitos envolvidos neste processo. Quanto mais aberto o debate em torno desta construção, quanto mais esclarecido o significado do currículo, quanto mais compreendida a dinâmica de sua elaboração social, mais representativo se tornará o texto curricular e mais compreensivo sua implementação. Há, no entanto, o momento em que o texto adentra a sala de aula, que chega até o estudante, através dos guias, dos livros, das aulas conduzidas pelo professor. Esta é a fase em que o texto transforma-se em microtexto e no qual o papel do professor é de fundamental importância. O texto vai então depender da posição de quem o interpreta, o refaz, o reconstrói ao trabalhar os elementos de que dispõe. Ao educador cabe retomar o texto curricular, desconstruí-lo e reconstruí-lo novamente fazendo com que este tenha uma relação com sua visão de mundo. Neste espaço, os métodos propostos, os valores e as ideologias impregnadas no texto curricular poderão ser reforçadas, isto é, implementadas tais como foram concebidas no macrotexto, ou analisadas criticamente e aplicadas a partir de um outro olhar, quando o professor conduz seu trabalho junto aos estudantes.

Interpretar o currículo como um campo de força consiste em perceber que o currículo é resultado da ação de sujeitos que, conscientemente ou não, fazem escolhas e direcionam suas práticas para determinados pólos que poderão servir aos interesses de um determinado sistema, de um grupo social, de uma coletividade mais ampla. Compreender essa dinâmica no processo de construção curricular torna-se fundamental para possibilitar a efetiva participação dos sujeitos neste espaço evitando-se, neste processo, as estratégias de controle e de manipulação por determinados grupos, sejam estes internos ou externos à escola. Podemos concluir com (Silva, 1999:29): "É por isso que o currículo está no centro dos atuais projetos de reforma social e educacional". Assim, as diversas forças, os interesses e as visões, passam a ser identificadas e compreendidas como posições não neutras nem exclusivamente técnicas. Isto possibilita que as escolhas e os caminhos indicados - sabendo-se não livres de relações de poder - possam ser trabalhadas e, deste modo, torna-se possível uma leitura crítica desses elementos evitando-se cair na posição ingênua que vê no currículo elementos puramente técnicos.

CONCLUSÃO

Este trabalho procurou demonstrar que a construção curricular, antes de se tratar de um processo puramente técnico, envolve um conjunto de significados, de valores, de

interesses, nem sempre explícitos, porém efetivos na sua intencionalidade, por trás dos quais existem os atores que os representam, defendem e manobram. Neste sentido, o currículo traz, de forma velada, na maioria de suas práticas, algumas contradições centrais que refletem posições ideológicas e visões de mundo dos atores envolvidos no processo de sua produção. São veladas porque não se revelam de forma explícita, encobertas que estão nas práticas sociais existentes no interior da escola, nos discursos 'quase oficiais' que as legitimam e nas intenções nem sempre claras com que são escolhidos determinados saberes em detrimento de outros, bem como determinadas metodologias e enfoques. Desvelar estas contradições poderia tornar fundamental para essa prática, uma vez que é a partir da compreensão das diversas visões, delineadas da forma mais clara possível, que podem emergir posições alternativas ou, usando uma abordagem dialética, que se abre o espaço de uma nova síntese.

Questionar o modelo social no qual estamos inseridos, discutir sua validade para nossa sociedade e perguntar pelos contextos aos quais este modelo atende (visando a construção curricular) possibilita rever os esquemas curriculares que vão sendo delineados e aplicados em nossas instituições. Com relação ao ensino de engenharia, a busca de novos conhecimentos em tecnologia educacional, as propostas de metodologias inovadoras, as mudanças das práticas no ensino presencial e a implantação do ensino à distância, refletem as alternativas que vão sendo agregadas aos procedimentos curriculares, exigindo, cada vez mais, o olhar analítico do educador. Estas questões precisam ser tratadas à luz das teorias e dos discursos sobre o currículo, antes de serem simplesmente incorporadas às práticas educacionais.

Apesar de, via de regra, os projetos curriculares no ensino de engenharia apresentarem em seus textos propostas de contribuição para a construção social através do desenvolvimento e da aplicação da ciência e da tecnologia, o que cumprem em grande parte, por outro lado, estas contribuições podem tornarem-se limitadas na prática curricular em função do modelo instrumental de racionalidade que, normalmente incorporam, deixando pouco espaço para reflexões em torno do significado e da função social da ciência e da tecnologia, do papel social do engenheiro, das questões relacionadas à ética, dentre outros aspectos. Deste modo, se pretendemos, atualmente, trabalhar o currículo dentro de nossa área de competência, isto é, no ensino de engenharia, de modo a produzir mudanças significativas neste processo, torna-se fundamental ampliar o debate em torno do seu texto e do contexto de sua construção, tendo em vista o mundo social do qual a engenharia é parte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADORNO, T. Educação e emancipação. São Paulo: Paz e Terra, 1995.

BRUNO, L.; LAUDARES, J. B. Trabalho e formação do engenheiro. Belo Horizonte: FUMARC, 2000

os conceitos, os temas específicos, as técnicas de ensinoaprendizagem são aplicadas. Em cada etapa desta construção, em cada fase de sua implantação, as relações de poder, os interesses e os valores vão desenhando suas marcas influindo nos tipos de conhecimentos, nos métodos e nos conteúdos que compõem o texto curricular. O currículo, desta forma, assume um modelo como resultado de um projeto socialmente construído. Este modelo irá apresentar uma determinada tendência política e ideológica dependendo do processo de sua construção e da visão dos sujeitos envolvidos neste processo. Quanto mais aberto o debate em torno desta construção, quanto mais esclarecido o significado do currículo, quanto mais compreendida a dinâmica de sua elaboração social, mais representativo se tornará o texto curricular e mais compreensivo sua implementação. Há, no entanto, o momento em que o texto adentra a sala de aula, que chega até o estudante, através dos guias, dos livros, das aulas conduzidas pelo professor. Esta é a fase em que o texto transforma-se em microtexto e no qual o papel do professor é de fundamental importância. O texto vai então depender da posição de quem o interpreta, o refaz, o reconstrói ao trabalhar os elementos de que dispõe. Ao educador cabe retomar o texto curricular, desconstruí-lo e reconstruí-lo novamente fazendo com que este tenha uma relação com sua visão de mundo. Neste espaço, os métodos propostos, os valores e as ideologias impregnadas no texto curricular poderão ser reforçadas, isto é, implementadas tais como foram concebidas no macrotexto, ou analisadas criticamente e aplicadas a partir de um outro olhar, quando o professor conduz seu trabalho iunto aos estudantes.

Interpretar o currículo como um campo de força consiste em perceber que o currículo é resultado da ação de sujeitos que, conscientemente ou não, fazem escolhas e direcionam suas práticas para determinados pólos que poderão servir aos interesses de um determinado sistema, de um grupo social, de uma coletividade mais ampla. Compreender essa dinâmica no processo de construção curricular torna-se fundamental para possibilitar a efetiva participação dos sujeitos neste espaço evitando-se, neste processo, as estratégias de controle e de manipulação por determinados grupos, sejam estes internos ou externos à escola. Podemos concluir com (Silva, 1999:29): "É por isso que o currículo está no centro dos atuais projetos de reforma social e educacional". Assim, as diversas forças, os interesses e as visões, passam a ser identificadas e compreendidas como posições não neutras nem exclusivamente técnicas. Isto possibilita que as escolhas e os caminhos indicados - sabendo-se não livres de relações de poder - possam ser trabalhadas e, deste modo, torna-se possível uma leitura crítica desses elementos evitando-se cair na posição ingênua que vê no currículo elementos puramente técnicos.

CONCLUSÃO

Este trabalho procurou demonstrar que a construção curricular, antes de se tratar de um processo puramente técnico, envolve um conjunto de significados, de valores, de

interesses, nem sempre explícitos, porém efetivos na sua intencionalidade, por trás dos quais existem os atores que os representam, defendem e manobram. Neste sentido, o currículo traz, de forma velada, na maioria de suas práticas, algumas contradições centrais que refletem posições ideológicas e visões de mundo dos atores envolvidos no processo de sua produção. São veladas porque não se revelam de forma explícita, encobertas que estão nas práticas sociais existentes no interior da escola, nos discursos 'quase oficiais' que as legitimam e nas intenções nem sempre claras com que são escolhidos determinados saberes em detrimento de outros, bem como determinadas metodologias e enfoques. Desvelar estas contradições poderia tornar fundamental para essa prática, uma vez que é a partir da compreensão das diversas visões, delineadas da forma mais clara possível, que podem emergir posições alternativas ou, usando uma abordagem dialética, que se abre o espaço de uma nova síntese.

Questionar o modelo social no qual estamos inseridos, discutir sua validade para nossa sociedade e perguntar pelos contextos aos quais este modelo atende (visando a construção curricular) possibilita rever os esquemas curriculares que vão sendo delineados e aplicados em nossas instituições. Com relação ao ensino de engenharia, a busca de novos conhecimentos em tecnologia educacional, as propostas de metodologias inovadoras, as mudanças das práticas no ensino presencial e a implantação do ensino à distância, refletem as alternativas que vão sendo agregadas aos procedimentos curriculares, exigindo, cada vez mais, o olhar analítico do educador. Estas questões precisam ser tratadas à luz das teorias e dos discursos sobre o currículo, antes de serem simplesmente incorporadas às práticas educacionais.

Apesar de, via de regra, os projetos curriculares no ensino de engenharia apresentarem em seus textos propostas de contribuição para a construção social através do desenvolvimento e da aplicação da ciência e da tecnologia, o que cumprem em grande parte, por outro lado, estas contribuições podem tornarem-se limitadas na prática curricular em função do modelo instrumental de racionalidade que, normalmente incorporam, deixando pouco espaço para reflexões em torno do significado e da função social da ciência e da tecnologia, do papel social do engenheiro, das questões relacionadas à ética, dentre outros aspectos. Deste modo, se pretendemos, atualmente, trabalhar o currículo dentro de nossa área de competência, isto é, no ensino de engenharia, de modo a produzir mudanças significativas neste processo, torna-se fundamental ampliar o debate em torno do seu texto e do contexto de sua construção, tendo em vista o mundo social do qual a engenharia é parte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADORNO, T. Educação e emancipação. São Paulo: Paz e Terra, 1995.

BRUNO, L.; LAUDARES, J. B. Trabalho e formação do engenheiro. Belo Horizonte: FUMARC, 2000

- CORTELLA, M. S. A escola e o conhecimento: fundamentos epistemológicos e políticos. 2ª ed. São Paulo: Cortez/Instituto Paulo Freire, 1999. (Coleção Prospectiva; 5).
- CUNHA, F. M. A formação do engenheiro na área humana e social. In: BRUNO & LAUDARES (Orgs). Trabalho e formação do engenheiro. Belo Horizonte: FUMARC, 2000. Cap. 3, p. 267 312.
- DEMO. P. Conhecer e aprender: sabedoria dos limites e desafios. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 2000.
- FREIRE, P. Pedagogia e autonomia: saberes necessários à prática educativa. 7ª ed. São Paulo: Paz e Terra, 1998. (Coleção Leitura).
- ForGRAD (Forum de Pró-Reitores de Graduação das Universidades Brasileiras). Do pessimismo da razão para o otimismo da vontade: referências para a construção de projetos pedagógicos nas IES brasileiras. Curitiba, 1999.
- MOREIRA, A. F. & SILVA, T. T. Currículo, cultura e sociedade. São Paulo: Cortez, 1995.

- OLIVEIRA, M. A. Ética e economia. São Paulo: Ática, 1995. OLIVEIRA JR, O. Neoliberalismo, educação e emprego. Juiz de Fora: FEME. 1999.
- PRESTES, N. H. *A razão, a teoria crítica e a educação*. In: PUCCI (Org.). Teoria crítica e educação. Petrópolis: Vozes, 1994. Cap. 3, p. 83 102.
- PUCCI, B. Teoria crítica e educação. Petrópolis: Vozes, 1994. Cap. 1: Teoria crítica e educação, p. 11 – 58.
- PUCCI, B. Teoria crítica e educação. Petrópolis: Vozes, 1994. ROUANET, S. P. As raízes do iluminismo. São Paulo: Cia das Letras, 1987.
- SILVA, T. T. O currículo como fetiche: a poética e a política do texto curricular. Belo Horizonte: Autêntica, 1999.
- SILVA, T. T. Documentos de identidade: uma introdução às teorias do currículo. 2ª ed. Belo Horizonte: Autêntica, 2000.
- WANDERLEY, L. E. O que é universidade. 6ª ed. São Paulo: Brasdiliense, 1986. (Coleção Primeiros Passos).

DADOS BIOGRÁFICOS DOS AUTORES



Flávio Macedo Cunha

Engenheiro Eletricista pela Escola de Engenharia de UFMG (1980). Mestre em Educação Tecnológica pelo CEFET MG (1999). Professor Adjunto do Instituto Politécnico da PUC-MG e do Departamento de Engenharia Elétrica do CEFET-MG. Área de interesse:

educação tecnológica, ensino de engenharia, currículo.



Mario Neto Borges

Engenheiro Eletricista pela PUC-MG (1978). Mestre em Ciências pela UFMG (1985). PhD em Inteligência Artificial aplicada à Educação pela *Universidade de Huddersfield*, UK (1994). Professor Adjunto IV do Departamento de Engenharia Elétrica da FUNREI. Atualmente é

o Diretor Executivo da FUNREI. Áreas de interesse: ensino de engenharia, currículo e sistemas especialistas.

APRENDIZADO COOPERATIVO E APRENDIZADO BASEA-DO EM SITUAÇÕES-PROBLEMAS: APLICAÇÃO DO TRANSCAD® NO ENSINO DE PLANEJAMENTO DE COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Bruno Milanez¹, Viviana M. Z. Baldochi²

RESUMO

A aplicação de aprendizado baseado em situações-problema apresenta-se como uma estratégia para a implementação de aprendizado cooperativo. Ao mesmo tempo, a utilização de softwares de simulação permite uma avaliação crítica de diferentes cenários, ampliando a possibilidade de discussão entre os alunos. A exercício descrito consistiu no planejamento de um sistema de coleta seletiva baseado em Pontos de Entrega Voluntária (PEVs). Em tal exercício, os alunos deveriam dimensionar o sistema, escolher equipamentos, utilizando o TransCAD®, definir os locais para colocação dos contêineres e as rotas de coleta, e estimar o custo total do sistema.

Palavras-chave: aprendizado cooperativo, aprendizado baseado em situações-problema, roteamento de veículos, resíduos sólidos

ABSTRACT

Problem-based learning may be used as a strategy to introduce cooperative learning in classrooms. At the same time, simulation softwares may develop student criticism and stimulate discussion among them. This paper describes an exercise where students had to plan collection of recyclable materials from drop-off centers. In order to reach a solution, they had to define what kind of containers should be used, their distribution in the city, the collection routes and the system total cost. The problem had to be solved using TransCAD®.

Keywords: cooperative learning, problem-based learning, vehicle routing, solid waste

INTRODUÇÃO

Entre as atividades desenvolvidas no gerenciamento dos resíduos sólidos, a coleta e transporte do material necessitam de gastos consideráveis, tanto de investimento, quanto de operação. Apesar dessa característica, nem sempre recebem a devida atenção nas disciplinas de limpeza pública, ministradas nos cursos de graduação em Engenharia Civil.

Ao mesmo tempo, planejar tais atividades envolve a solução de problemas complexos e oferece condições para a elaboração de exercícios que favoreçam a aplicação de estratégias de aprendizado cooperativo e aprendizado baseado em situações-problemas.

O módulo de ensino descrito foi desenvolvido para aplicação na disciplina de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública

do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, tendo sido aplicado por dois anos consecutivos.

Na primeira aplicação, utilizou-se o software Logware® (MILANEZ & BALDOCHI, 2001). A partir de críticas e sugestões formuladas pelos alunos, o módulo foi alterado e novamente aplicado no ano seguinte, desta vez adaptado para o uso do TransCAD®.

ROTEAMENTO DE VEÍCULOS DE COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Aspectos gerais

O sistema de resíduos sólidos urbanos usualmente é dividido em cinco etapas: geração, acondicionamento, coleta/

¹ Mestre em Engenharia Urbana, Engenheiro de Produção. Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos Rod. Washington Luis, km 235, Caixa Postal 676, São Carlos, SP, CEP 13565-905. Fone: (16) 260-8262, Ramal 206, Fax: (16) 260-8295. E-mail: bruno.milanez@email.com.br

² Professora, doutora. Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos Rod. Washington Luis, km 235, Caixa Postal 676, São Carlos, SP, CEP 13565-905. Fone: (16) 260-8262, Ramal 240, Fax: (16) 260-8295. E-mail: viviana@power.ufscar.br

transporte, tratamento e disposição final. As duas primeiras são principalmente de responsabilidade da população, enquanto que as demais são realizadas pelo poder público, de forma direta ou indireta.

Dentro do sistema de gerenciamento, a etapa de coleta e transporte é aquela que consome a maior quantidade de recursos financeiros. Segundo pesquisa desenvolvida pela Associação de Gestão de Resíduos Sólidos da América do Norte, os custos da coleta e transporte representam algo entre 39% e 62% dos gastos totais do serviço de limpeza pública (EPA, 1999).

Existem, entretanto, algumas estratégias para a reduzir os custos nestas atividades. Entre as medidas recomendadas estão: alteração da freqüência de coleta, implantação de coleta simultânea de lixo e resíduos recicláveis, automação da coleta e otimização das rotas (EPA, 1999).

Essas soluções apresentam impactos distintos sobre o serviço de coleta e transporte.

A primeira medida pode significar uma redução no nível de serviço ofertado à população. Tal ação pode, inclusive, comprometer aspectos de saúde pública, o que não seria desejável.

A realização da coleta simultânea de lixo e resíduos recicláveis e a automação da coleta, exigem investimentos na aquisição de novos veículos ou equipamentos. Portanto, dentro da realidade de baixa financeira apresentada pela maior parte dos municípios, tais soluções não apresentar-se-iam apropriadas.

Por fim, a criação de rotas mais bem elaboradas traz a necessidade de avaliação crítica e otimização de recursos. Por esse motivo, foi a estratégia selecionada para maior detalhamento em sala de aula.

Entre os benefícios de um estudo mais detalhado das rotas de coleta estão as economias pelo redimensionamento da frota, a melhor previsão da necessidade de horas-extras e o melhor balanceamento do serviço entre as equipes de coleta.

Por exemplo, de acordo com a EPA (1999), em Norman (OK, EUA), um estudo manual de roteamento reduziu o número de funcionários, de veículos e da duração da jornada de trabalho de forma a possibilitar uma economia de cerca de US\$ 450.000,00 por ano. Resultado semelhante foi obtido em Hempstead (NY, EUA), onde o roteamento por meio de um software permitiu a eliminação de dez rotas (cujas residências foram acrescentadas a outras) e uma economia de US\$ 200.000,00 por ano.

Processos para elaboração de rotas de coleta

Nas cidades, as variações temporais e espaciais tanto de fatores demográficos quanto econômicos tornam necessária a avaliação periódica das rotinas dos serviços de coleta de resíduos. Para a otimização do uso de recursos, existem alguns aspectos que precisam ser levados em consideração, como a definição de setores e o caminho percorrido pelos veículos em cada setor (CHANG et al., 1997).

Para que a coleta de resíduos sólidos seja considerada eficaz e eficiente, todavia, alguns critérios devem ser atendidos durante a definição das rotas.

A eficácia do serviço depende da garantia do atendimento a toda população de forma sanitária e com a frequência adequada, não permitindo que o acúmulo dos resíduos possa prejudicar a saúde pública.

Além disso, para se garantir uma coleta eficiente, as rotas devem ter um mínimo de percursos improdutivos: aqueles onde o veículo passa sem realizar coleta. Deve-se ainda procurar aproveitar o máximo possível a jornada de trabalho dos coletores e motoristas (PALOMINO, 2000).

Com relação à definição dos caminhos a serem percorridos, há uma série de cuidados que devem ser tomados. Esta tarefa pode ser realizada tanto manualmente, quanto por meio de softwares específicos.

O processo não-informatizado possui maior robustez, exige dados menos precisos e necessita de um treinamento mais simples dos técnicos. Sua implantação, portanto, é mais rápida e apresenta um custo mais baixo. Apesar de eficaz, este método é, normalmente, trabalhoso e demorado, dificilmente atingindo a solução ótima.

Por esse motivo tem-se procurado desenvolver ações heurísticas e algoritmos que permitam a realização das tarefas por computadores. Softwares de roteamento apresentam um incremento na flexibilidade do planejamento. Apesar de exigirem um investimento inicial significativo, tais programas permitem, caso sua manutenção e atualização sejam garantidas, que uma série de simulações e previsões sejam feitas, facilitando a tomada de decisão em relação a futuros investimentos.

Originalmente, estes programas trabalhavam com distâncias euclidianas (distância reta entre dois pontos), o que representava apenas uma aproximação. Todavia, a incorporação dos algoritmos aos sistemas de informação geográfica e a utilização de sistemas baseados em redes viárias permitiram obtenção de soluções mais precisas.

Diferentes softwares vêm sendo desenvolvidos para atender às necessidades das pessoas que desejam elaborar rotas para veículos, não apenas para coleta de resíduos, quanto para outros serviços. Cada programa apresenta diferentes características em relação a aspectos que podem ser sistematizados da seguinte forma (adaptado de SALTORARO, 1998):

- **Função objetivo**: minimizar distância, tempo, custo total, número de veículos;
- **Restrições**: capacidade do veículo (peso e/ou volume), autonomia dos veículos, jornada de trabalho, janelas de tempo.
- Características gerais: distâncias euclidianas ou baseadas em rede, roteamento por ponto ou arco, número de pontos de parada, número de depósitos, zonas de velocidade, variação no tempo de carga dos veículos, utilização de diferentes veículos, cálculo de custo.
- **Produtos apresentados**: relatório de rota (seqüência das paradas a serem visitadas), descrição das rotas (seqüência de ruas a serem percorridas para visitar as paradas), elaboração de mapa com rota, relatório de uso de veículos, relatório de custos.

Portanto, diversos fatores, parâmetros e critérios devem ser considerados durante o planejamento da coleta de resíduos. Além disso, a riqueza e complexidade do tema apresentam um grande potencial para o desenvolvimento de atividades de aprendizado.

ALGUMAS ESTRATÉGIAS DE ENSINO-APRENDIZAGEM

Necessidade de estratégias diferenciadas

Aulas expositivas estão entre as principais estratégias de ensino em engenharia, independentemente da área de conhecimento envolvida. Apesar desse modelo ser um meio muito econômico de ensinar, uma vez que diversos alunos são alcançados simultaneamente, o uso exclusivo de tal estratégia leva a um aprendizado passivo e de baixa intensidade (SCHILLING & HAGEN, 2000).

Conforme apresentado por FELDER (1993), os alunos têm diferentes estilos de aprendizado. Este autor buscou sistematizar tais estilos em cinco diferentes dimensões:

- Percepção: sensitiva ou perceptiva;
- Apreensão: visual ou verbal;
- Organização: indutiva ou dedutiva;
- Processamento: ativo ou passivo;
- Compreensão: sequencial ou global.

A utilização de uma única estratégia de ensinoaprendizagem tem como limitação atingir apenas um grupo de alunos. Aulas expositivas, por exemplo, beneficiariam apenas os alunos perceptivos, verbais e passivos (as dimensões organização e compreensão dependeriam da estrutura das exposições). Como solução para se atingir um maior número de alunos, o autor sugeriu que fossem utilizadas ao longo das aulas diferentes estratégias de ensino-aprendizagem, entre elas, aprendizado cooperativo e o aprendizado baseado em situações-problema.

Aprendizado cooperativo

Segundo JOHNSON (1999), além de facilitar a participação de alunos ativos, estratégias de aprendizado cooperativo favorecem o desenvolvimento de diferentes habilidades: raciocínio crítico, auto-confiança, percepção dos benefícios do trabalho em equipe, escrita e comunicação interpessoal. STEEPLES & MAYES (1998) ainda afirmaram que este processo permitiria que os alunos validassem suas próprias idéias e formas de pensar, através da conversas (verbalização), perspectivas múltiplas (reestruturação cognitiva) e argumentação (solução de conflitos conceituais). Por fim, Johnson & Johnson (apud JOHNSON, 1999) ressaltaram o fato da realização de tarefas de forma cooperativa criar uma rede de relações interpessoais entre os alunos, que seria útil na vida profissional.

FELDER & BRENT (1999) ao definirem aprendizado cooperativo, colocaram-no como um subconjunto de estratégias de aprendizado ativo e de aprendizado colaborativo. O aprendizado ativo significaria qualquer

estratégia que se contrapusesse ao aprendizado passivo, no qual os alunos desempenham apenas o papel de ouvintes. O aprendizado colaborativo, por sua vez, representaria algum método que fizesse com que os alunos interagissem entre si, questionando as informações e descobrindo conjuntamente as soluções.

O aprendizado cooperativo seria uma estratégia particular do aprendizado colaborativo. Para serem classificadas como tal, as atividades deveriam possuir as seguintes características (FELDER & BRENT, 1994):

- Interdependência positiva: membros da equipe obrigatoriamente precisariam apoiar-se um nos outros para atingir o objetivo;
- Avaliação individual: todos os alunos seriam avaliados pela sua parte do trabalho realizado;
- Interação face a face: embora parte da tarefa pudesse ser realizada individualmente, algum trabalho precisaria ser realizado de forma interativa, onde os membros dos grupos discutiriam as soluções, contestariam suas conclusões e se encorajariam reciprocamente;
- Uso apropriado de habilidades colaborativas: alunos seriam auxiliados a desenvolver e praticar habilidades como liderança, conquista da confiança de outros, tomada de decisão, comunicação e gerência de conflitos;
- Pensamento de grupo: os membros da equipe definiriam metas coletivas, periodicamente avaliadas, e identificariam mudanças necessárias para que a equipe funcionasse de forma mais eficiente.

Como a base do aprendizado cooperativo é a estrutura de equipe, Hagman & Hayes (apud JOHNSON, 1999) propuseram que cada grupo deveria ter três ou quatro alunos. Os autores indicaram que quando são feitos trabalhos em dupla, há risco de um membro dominar o outro, ou então de surgirem disputas que não poderão ser resolvidas. Por outro lado, quando os grupos são compostos por cinco ou mais membros, é difícil garantir a participação e aprendizado de todos.

Os grupos poderiam ser escolhidos de duas formas: uma primeira alternativa consistiria em dar autonomia aos alunos permitindo que trabalhassem com pessoas com quem tivessem mais afinidades. Apesar desta vantagem, tal procedimento dificultaria o desenvolvimento de algumas habilidades de relacionamento interpessoal. A outra opção seria a escolha dos grupos pelo próprio professor.

Esta segunda alternativa foi defendida por KAUFMAN & FELDER (2000), que avaliaram que seria mais indicado uma escolha de forma não-aleatória. Os autores recomendaram que os grupos fossem elaborados buscando a heterogeneidade de seus componentes do ponto de vista das habilidades. Portanto, dever-se-ia equilibrar alunos fortes e fracos, para que uns aprendessem com os outros e não apenas dividissem o trabalho entre si. Outro cuidado sugerido seria buscar manter, pelo menos, duas alunas no mesmo grupo, evitando que estas fossem minoria. Os autores identificaram que quando há apenas uma aluna na equipe, há grande chance da mesma ser intimidada pela postura dos alunos.

Com relação à avaliação individual e para garantir a interdependência positiva, sugeriu-se que funções fossem definidas e explicitadas dentro de cada grupo. Uma possível composição seria:

- Coordenador: para organizar as sessões de trabalho,
- Secretário: responsável pela elaboração da versão final do exercício;
- Supervisor: que revisaria a solução e verificaria a compreensão do trabalho por parte dos membros da equipe (FELDER & BRENT, 1994).

Heller et al. (apud FELDER & BRENT, 1994) propuseram, ainda, que algum dos alunos tivesse o papel de cético, questionando as soluções encontradas, sugerindo alternativas e evitando conclusões prematuras.

Aprendizado baseado em situações-problema

O aprendizado baseado em situações-problema consiste em uma estratégia de ensino-aprendizagem que usa problemas complexos do mundo real para introduzir conceitos aos estudantes. Tal método começou a ser utilizado no ensino de medicina, passando, posteriormente, a ser adotado para ensino de outras áreas de conhecimento.

Entre os objetivos que norteiam este método estão (JOHNSON, 1999):

- Raciocínio crítico;
- Auto-orientação;
- Compreensão;
- Atitudes auto-motivadoras.

Ao se utilizar o aprendizado baseado em situaçõesproblema, os alunos precisam determinar o que é necessário aprender sobre o assunto em questão e então aplicar seus conhecimentos na solução. Neste processo, eles entendem os conceitos ao invés de apenas decorarem os padrões de problema (EGEMEN et al. 1998). Todavia, JOHNSON (1999) alertou para o fato de que para que tais objetivos sejam alcançados, o exercício deve ser complexo, não possuindo uma solução única.

O uso de estratégias de aprendizado baseado em situações-problema exige um planejamento prévio, pois é preciso que tempo seja dado aos alunos para encontrarem as soluções. Em alguns casos, torna-se necessário o redimensionamento da disciplina, ou mesmo a redução da quantidade de conteúdo a ser trabalhado. Alguns autores relatam que os alunos não aprendem mais, embora aprendam itens diferentes, e alertam para o fato de que, se a competência para assuntos técnicos parece diminuir um pouco, as habilidades de gerência de projeto aumentam significativamente (SCHILLING & HAGEN, 2000).

Todavia, a busca da melhor resposta tende a levar tempo e, em muitos casos, esse processo pode impossibilitar a execução da tarefa. Nesse sentido, o uso de softwares de simulação permite que os alunos investiguem as diferentes soluções, de forma mais rápida, auxiliando na tomada de decisão (EGEMEN et al., 1998). Outra vantagem da simulação em computadores consiste na sua eventual interface gráfica

e na abordagem do problema como um todo, que favorecem alunos que tenham uma apreensão mais visual e compreensão global.

DESCRIÇÃO DO MÓDULO DE ENSINO

Objetivos

As aulas ministradas sobre roteamento de veículos de coleta de resíduos, usualmente, são baseadas na discussão dos critérios de definição de setores e de rotas. Como forma de avaliação de aprendizado é solicitado aos alunos que, para uma determinada área de uma cidade, façam a divisão em setores e, utilizando os conceitos apreendidos, definam as rotas manualmente.

Apesar de tal estratégia reproduzir uma situação próxima da real, ela se baseia em um processo empírico (tentativa e erro) e consome muito tempo. Como consequência, os alunos concentram-se em apenas encontrar uma resposta, sem avaliála criticamente ou mesmo compará-la com outras alternativas.

Devido a essas características, o uso de softwares de roteamento apresenta-se como uma alternativa para desenvolver novas habilidades. Devido às facilidades oferecidas pelos programas, os alunos podem elaborar e testar diferentes respostas, identificando quais as vantagens e desvantagens de cada uma. O exercício pode ainda ser refinado, através da inclusão de etapas de dimensionamento, o que torna o problema mais complexo e favorece a discussão dentro dos grupos.

Seguindo essas premissas, foi criado um módulo de ensino para planejamento de coleta de resíduos, onde os principais objetivos eram:

- Possibilitar aos alunos utilizarem suas habilidades de planejamento, questionamento e avaliação crítica;
- Propor exercícios onde os conceitos relacionados à coleta fossem não só assimilados, como também aplicados;
- Permitir aos alunos tomarem contato com um software de roteamento de veículo.

Funcionalidades do software

O TransCAD® é um software baseado em redes, que permite que se minimize tanto a distância percorrida quanto o tempo de viagem, e associa velocidades de percurso a cada trecho da malha viária. Os veículos podem ser de diferentes tipos e capacidades, mas o programa apenas armazena uma informação de restrição (peso ou volume). Podem, ainda, ser criadas janelas de tempo, um período máximo para jornada de trabalho e a distinção entre o tempo fixo para carregamento dos veículos (como o tempo para manobrar e estacionar o veículo) e o variável (proporcional à quantidade de material a ser carregado).

Entre os procedimentos que podem ser utilizados estão: localização de instalações, roteamento por pontos ou por arco, e divisão da cidade em setores. O software não possui restrição ao número de depósitos ou paradas. Além de apresentar um mapa das rotas definidas, o software fornece também relatórios das rotas e descrição delas, rua a rua.

Este programa atende, inclusive, algumas especificidades da coleta de resíduos. Os setores criados são compactos, o que definiria da mesma forma as rotas de coleta. Também podem ser definidas penalidades para manobras em "U", para conversões à direita ou à esquerda, evitando que tais procedimentos sejam realizados. Além disso, ele ainda permite a escolha entre coleta em ambos os lados das ruas ao mesmo tempo, ou em um lado de cada vez.

Exercício proposto

Inicialmente, foram planejados exercícios para localização de instalações (como PEVs ou estações de transbordo), roteamento de veículos em pontos de coleta (PEVs, hospitais ou grandes geradores), setorização e roteamento em arco (para varrição ou coleta domiciliar porta a porta).

Todavia, o Departamento de Engenharia Civil e o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da UFSCar, dispunham de apenas quatro licenças para uso do software. Por estarem sendo utilizadas pelos pesquisadores em projetos de pesquisa, não puderam ser disponibilizadas para os alunos. A alternativa encontrada foi a utilização da versão demonstrativa do software. Esta versão, gratuita e de uso irrestrito, possui todas os aplicativos presentes na versão original. No entanto, permite a utilização durante apenas uma hora, sem a opção de salvar os arquivos, ou utilizar modelos que já não estejam presentes na versão de demonstração. Dessa forma, foi necessário criar um exercício compatível com estas limitações.

Dentre as opções de exercícios levantadas, descartaramse as aplicações que levavam em consideração o roteamento em arco. Este módulo exigia muito tempo para que fosse feita a setorização e o roteamento, e qualquer alteração que se fizesse necessária exigiria que todo o processo fosse repetido.

Optou-se, então, por elaborar um único exercício, que utilizasse as demais funções de logística do programa. Foi, então, usado um exemplo de coleta seletiva em PEVs, para o qual os alunos deveriam escolher os locais dos mesmos e definir as rotas de coleta.

Criou-se uma situação hipotética, a partir de um modelo de cidade existente no tutorial do TransCAD® e dados da bibliografia. As seguintes informações foram fornecidas aos alunos:

- Evolução temporal da quantidade de resíduos gerados, da composição gravimétrica dos resíduos e dos preços de material reciclável;
 - Densidade dos diferentes materiais recicláveis;
- Características e custo de aquisição e manutenção de dois modelos de caminhões;
- Características e custo de aquisição de dois modelos de PEVs;

- Índice esperado da participação da população;
- Tempo necessário para carregar caminhões.

Os alunos deveriam escolher quais informações utilizar e os procedimentos de tratamento estatístico. A partir desses dados, foi solicitado que obtivessem:

- 1. Estimativa da quantidade de resíduos que seriam recuperados pelo sistema de coleta seletiva;
- 2. Dimensionamento do sistema, definindo o tamanho e a quantidade de PEVs a serem instalados;
- 3. Utilizando o TransCAD®, distribuição dos PEVs pela cidade e escolha do local para o depósito;
- 4. Quantidade e modelo dos caminhões que seriam utilizados para a coleta;
- 5. Utilizando o TransCAD®, definição das rotas a serem percorridas;
- Agrupamento das rotas obtidas, otimização do uso dos veículos e cálculo do custo líquido do sistema de coleta seletiva.

Formação dos grupos

Para possibilitar uma maior diversidade entre os componentes dos grupos, interferiu-se na formação dos mesmos. Para orientar essa escolha, foi aplicado, previamente, um questionário onde os alunos deveriam avaliar seu conhecimento de TransCAD®, conhecimento de inglês e fornecer outros dados acadêmicos. Com base nessas informações, os grupos foram formados adotando-se como critérios que:

- 1. Cada grupo deveria ter, pelo menos, um membro que conhecesse o software;
- 2. Cada grupo deveria ter membros com um bom conhecimento de inglês (o software não é traduzido);
 - 3. Nenhum grupo deveria ter apenas uma aluna;
- Dentro dos grupos deveria haver alunos com diferentes desempenhos acadêmicos.

A fim de assegurar condições para uma participação efetiva de todos os componentes, procurou-se definir as funções específicas dentro dos grupos, de forma a possibilitar uma avaliação individual. Foram criadas quatro funções, sendo explicitadas as suas responsabilidades.

As funções estipuladas e suas respectivas atribuições foram:

- Coordenador: resolver conflitos, organizar datas e locais de reunião, controlar o cumprimento dos prazos e agendar encontros para orientação;
- **Relator**: redigir e revisar atas das reuniões e o relatório final;
- Projetista: analisar os dados fornecidos, realizar as estimativas necessárias e dimensionar o sistema de coleta a ser implantado;
- Especialista TransCAD®: alimentar o software com informações, executar o programa e obter as resultados das simulações.

No relatório, que seria entregue ao final do exercício, cada aluno deveria identificar sua função.

Processo de avaliação

Apesar das diferentes responsabilidades, os alunos deveriam interagir em todas as etapas. Para tanto, foi acertado que no dia da entrega do relatório, um aluno de cada equipe seria sorteado para apresentar, explicar e justificar a proposta de projeto.

Combinou-se, ainda, com os alunos um sistema de avaliação misto, que consideraria atividades coletivas e individuais. Buscava-se assim, verificar não só a aplicação dos conceitos aprendidos em aula, como também o envolvimento e participação no trabalho. A avaliação foi composta da seguinte forma:

- Relatório (50%) avaliaria quesitos como presença dos itens obrigatórios, redação, organização das informações, coerência da solução com pressupostos adotados, e justificativas.
- Apresentação (20%) definido a partir do grau de conhecimento do aluno sorteado sobre o processo de solução do grupo.
- Participação (30%) única componente individual da avaliação. Considerava o cumprimento das responsabilidades individuais, participação e contribuição para solução do problema (verificadas através das atas).

Soluções apresentadas

Após a resolução do problema pelos grupos, foi realizada discussão sobre as soluções encontradas, bem como a avaliação do exercício.

Nesta etapa, houve uma certa diversidade das soluções. Uma maior atenção dos alunos foi dada ao dimensionamento e planejamento da coleta, em detrimento da combinação das rotas.

Entre as soluções apresentadas, houve grupos que optaram pelo acondicionamento dos diferentes resíduos (papel, plástico, metal e vidro) em compartimentos separados e outros que escolheram o uso de um único contêiner para recebimento conjunto dos materiais.

Durante o dimensionamento, uma das variáveis que chamou a atenção dos alunos foi a baixa densidade do plástico, que indicava a necessidade de uma maior quantidade de recipientes. Como forma de enfrentar esse problema, alguns grupos optaram por superdimensionar o sistema, outros escolheram não coletar o material plástico, encaminhando-o para o aterro sanitário. Uma equipe sugeriu, ainda, a adaptação de equipamentos, como pequenas prensas ou picadores de garrafas, que fossem capazes de reduzir o volume do material. A apresentação dessas alternativas em sala de aula possibilitou uma rica discussão e análise das alternativas entre os alunos.

Com relação à elaboração das rotas, nem todos os grupos conseguiram realizar a tarefa até o final, limitando-se a distribuir os PEVs pela cidade. Ao mesmo tempo, a energia e tempo dedicados à fase de dimensionamento diminuiu a preocupação dos alunos com a etapa de elaboração dos setores.

Por causa desses dois motivos, houve menos soluções e variação com relação à composição das rotas. Todos os grupos implantaram coletas com freqüência diária, entre segunda e sexta-feira. Apenas um grupo, que apresentou três cenário de solução, sugeriu a possibilidade de se implantar a coleta em dias alternados.

Críticas e sugestões dos alunos

Quanto à avaliação do módulo de ensino, três pontos foram criticados pelos alunos: a divisão arbitrária dos grupos, a complexidade do software escolhido e o prazo estipulado para realização do exercício.

A maior parte dos alunos indicou a dificuldade de compatibilizar os horários livres dos componentes dos grupos para realização das reuniões. Como conseqüência dessa limitação, teria havido poucas chances de encontro para elaboração da solução do exercício. O dimensionamento, por sua vez teria ficado pronto muito tarde e o tempo para manuseio do software insuficiente.

Apesar dessas críticas, ao se verificar as datas das atas reuniões, pôde-se constatar que a primeira reunião do primeiro grupo ocorreu quinze dias antes do prazo final. O primeiro encontro do último grupo a se reunir foi feito seis dias antes da data de entrega.

Apesar do pouco tempo que os grupos dedicaram à realização do projeto, houve alguns que chegaram ao final do problema, e com boas soluções. Portanto acredita-se que o prazo dado originalmente, trinta dias, teria sido suficiente para que todos os grupos tivessem terminado o exercício.

Como forma de evitar que tal problema volte a se repetir, foi proposto criar metas intermediárias. Dessa forma, os alunos teriam um prazo para realizar o dimensionamento e outro para definir a localização dos PEVs e o roteamento. Outra estratégia que está sendo analisada é o uso de orientações "induzidas": toda a semana os alunos deveriam ter uma reunião com os professores, para apresentar o trabalho realizado e elucidar quaisquer dúvidas.

Um terceiro método que poderia evitar que tal atraso se repetisse seria a imposição de um limite para consulta aos professores. Poderia ser estipulado que na última semana, ou nos últimos quinze dias, os professores não estariam mais disponíveis para orientação.

Com relação ao software, especificamente, este apresentou um desempenho bastante satisfatório. O uso do programa de demonstração não apresentou restrições ao exercício. Houve grupos que afirmaram, ter sido capazes de resolver o problema em cerca de quinze minutos. Tal período permitiria a realização de simulações para escolha da opção a ser implantada.

Foi constatado, através dos relatos dos alunos, que houve um grande intercâmbio entre os grupos para o aprendizado do programa, embora apenas uma equipe tenha procurado os professores. Para tentar diminuir este afastamento entre alunos e professores, avalia-se a possibilidade de oferecer aos "especialistas TransCAD®" aulas específicas sobre o uso do programa. Outra modificação seria a integração do software às disciplinas de sistemas de transportes. Ambas alternativas foram propostas pelos próprios alunos, durante a avaliação do módulo.

De forma geral, a atribuição de papéis foi considerada positiva, tendo tal estratégia sido elogiada pelos alunos. Segundo eles, essa prática facilitou a divisão de trabalho e de responsabilidades entre eles.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação mostrou-se válida e trouxe contribuições importantes, não só para a disciplina como para a formação dos alunos de forma geral. Para as realização de novas modificações, foi de fundamental importância a avaliação feita pelos estudantes, de forma a indicar as falhas e sugerir novas estratégias a serem adotadas.

A aplicação ainda contou com o uso de um software de baixo custo de aquisição, sendo, portanto, de fácil aplicação em outras instituições, ou mesmo em outros contextos.

Apesar da reação dos alunos, contra a interferência dos professores na formação dos grupos, considera-se que os objetivos foram alcançados. Os alunos trabalharam com pessoas de perfis diferentes e tal variação não foi empecilho à realização da tarefa.

Foi ainda considerado importante o contato dos alunos com problemas de resposta aberta. Apesar das dificuldades apresentadas, por alguns grupos, pelo fato de não haver "a resposta certa", a dinâmica de apresentação e discussões sobre as soluções sempre foi bem aceita e aproveitada pelos alunos. Esse momento foi ainda de grande importância para fixação dos conceitos de roteamento.

Por fim, uma questão que se apresenta como desafio é a organização dos processos de trabalho dos alunos. Embora, eles tenham conhecimento sobre gestão de projetos, tais conceitos não são aplicados às tarefas acadêmicas. Como conseqüência do mau ordenamento de atividades (sem distinção das tarefas a serem realizadas em paralelo) e do seqüenciamento para "o mais tarde possível", muitos trabalhos tiveram sua qualidade comprometida. Para tentar evitar que tais situações se repitam, deve-se estimular a aplicação de tais conceitos sempre que problemas ou projetos sejam apresentados.

AGRADECIMENTOS

- À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pela bolsa de pesquisa concedida.
- Ao Departamento de Engenharia Civil da UFSCar, pelo apoio e cessão da infra-estrutura necessária.

Aos professores Dra. Suely da Penha Sanches (DECiv/UFSCar) e Dr. Archimedes Azevedo Raia Jr. (DECiv/UFSCar) pela disponibilização dos softwares utilizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHANG N. B.; LU, H. Y. & WEI, Y. L. GIS technology for vehicle routing and scheduling in solid waste collection systems. Journal of Environmental Engineering, v. 123, n. 9, 1997. p. 901-909.

- EGEMEN, E.; EDWARDS, F.; NIRMALAKHANDAN, N. Computer simulation models in environmental engineering education. Water Science & Technology, v. 38, n. 11, 1998. p. 295-302.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY EPA. Heuristic routing for solid waste collection vehicle. Washington: EPA, 1974. 54 p.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY EPA. Getting more from less: improving collection efficiency. Washington: EPA, 1999. 52 p.
- FELDER, R. M. Reaching the second tier: learning and teaching styles in college science education, Journal of College Science Teaching, 23(5), 1993. p.286-290. Disponível em: http://www2.ncsu.edu/unity/lockers/ users/f/felder/public/Papers/Secondtier.html. Acessado em 11/05/2001.
- FELDER, R. M.; BRENT, R. Cooperative learning in technical courses: procedures, pitfalls, and payoffs. National Science Foundation. 1994. Disponível em: http://www2.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/Papers/Coopreport.htm. Acessado em: 13/02/2001.
- FELDER, R. M.; BRENT, R. Effective teaching: a workshop. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro 1999. 191p.
- JOHNSON, P. A. Problem-based, cooperative learning in the engineering classroom. Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice v. 125 n.1, 1999. p. 8-11.
- KAUFMAN, D. B. & FELDER, R. M. Accounting for individual effort in cooperative learning teams. Journal of. Engineering Education, v. 89, n. 2, 2000, p. 133–140.
- MILANEZ, B.; BALDOCHI, V. M. Z. Otimização de rotas em serviços de coleta seletiva: o aprendizado da informática no aprendizado ativo e colaborativo. Revista de Ensino em Engenharia, V. 20 (1). Agosto, 2001. p. 25-29.
- PALOMINO, M. A. C. Diseño de rutas optimas de recoleccion de residuos solidos domesticos mediante el software mars. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XXVII, 2000, Porto Alegre, Anais..., Porto Alegre, ABES/AIDIS, 2000. CD-ROM.
- SALTORATO, P. O roteamento de veículos: uma avaliação sobre sua introdução na coleta de resíduos sólidos urbanos. 1998. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- SCHILLING W.; HAGEN, E. Project based learning in sanitary engineering- preliminary conclusion after three years' experience. Water Science and Technology v. 41 n., 2000. p. 75-81.
- STEEPLES C. & MAYES, T. A special section on computersupported collaborative learning. Computers Education v. 30, n. 3/4, 1998, p. 219-221.

DADOS BIOGRÁFICOS DOS AUTORES



Bruno Milanez

Graduado em Engenharia de Produção (UFRJ, 1999), Mestre em Engenharia Urbana pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos. Desenvolve pesquisa relacionada a indicadores de sustentabilidade e políticas

públicas para gestão de resíduos sólidos e tem como áreas de interesse educação ambiental e aprendizado cooperativo.



Profa. Dra. Viviana Maria Zanta Baldochi

Engenheira Civil (1985, UFSCar), Mestre em Engenharia, área de concentração em Hidráulica e Saneamento (EESC/USP, 1990), Doutora em Engenharia, área de concentração em Hidráulica e Saneamento (1997, EESC/USP); Recém-doutora (1999; EESC/USP).

Consultora "ad hoc" da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) do Ministério da Ciência e Tecnologia junto ao Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB, 2000). Área de atuação: docência em engenharia em nível de graduação e especialização, consultora em ensino de engenharia nas habilitações civil e ambiental e na área de gestão de Resíduos Sólidos. Atualmente, Prof. Subst. do Departamento de Engenharia Civil da UFSCar.