

abenge

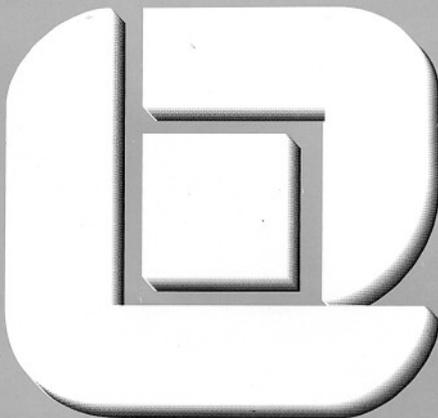
volume 22 - número 1

ISSN 0101-5001

junho de 2003

REVISTA DE ENSINO DE ENGENHARIA

- ANÁLISE SOBRE O MOMENTO DE OPÇÃO DO ALUNO POR UMA MODALIDADE DE ENGENHARIA
1 *Maria Helena C. Soares de Mello, João Carlos C. B. Soares de Mello, Fabiana Rodrigues Leta, Artur José Silva Fernandes & Marcos da Rocha Vaz*
- A TEORIA DE BOURDIEU: OS CONCEITOS UTILIZADOS NO ESTUDO DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DA PRÁTICA PEDAGÓGICA DO ENGENHEIRO-PROFESSOR
7 *Célia Mara Sales Buonicontro*
- HISTÓRIA DA EDUCAÇÃO: O QUE É, SUA UTILIDADE E APRESENTAÇÃO DA BIBLIOGRAFIA BÁSICA
15 *João José Evangelista Rabelo*
- CARNOT E A SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA
25 *Júlio César Passos*
- PLANIFICAÇÃO DE CONTEÚDOS E DE PROBLEMAS: UM ENSAIO SOBRE A DIDÁTICA DO CONCEITO DE ESTABILIDADE
33 *Marcos Azevedo da Silveira*
- GPAREDE - UMA PROPOSTA DE AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM PELA INTERNET
49 *Luciano Andreatta C. da Costa, Marcos Aurélio L. Silveira, Guilherme J. Creus & Sérgio Roberto K. Franco*
- ANÁLISE TRANSIENTE DE PROBLEMAS TÉRMICOS
57 *Washington Braga*





**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. 22, nº1, junho de 2003

ISSN 0101-5001

Editor

Benedito Guimarães Aguiar Neto, UFCG

Conselho Editorial

Ana Maria Castanheira - MACKENZIE

Arquimedes Diógenes Ciloni - UFU

Benedito Guimarães Aguiar Neto - UFCG

Benedito Antônio Luciano - UFCG

Cícero Onofre de Andrade Neto - UFRN

Edgar Nobuo Mamiya - UnB

Eduardo Giugliani - PUC-RS

Enilson Medeiros dos Santos - UFRN

Ernesto A. Urquieta Gonzalez - UFSCar

Fernando Tadeu Boçon - UFPR

Helcio R. B. Orlande - UFRJ

Helói José Fernandes Moreira - UFRJ

João Bosco da Silva - UFRN

José Alberto dos Reis Parise - PUC-Rio

Julio Alberto Nitzke - UFRS

Luiz Paulo Mendonça Brandão - IME

Marcus F. Giorgetti - UFSCar

Marcos Azevedo da Silveira - PUC-Rio

Maria José Gazzi Salum - UFMG

Mário de Souza Araújo - UFCG

Mário Neto Borges - FUNREI

Maura Corcini Lopes - UNISINOS

Milton Vieira Júnior - UNIMEP

Nival Nunes de Almeida - UERJ

Reinaldo Calixto de Campos - PUC-Rio

Sandoval Carneiro Ferreira - UFRJ

Silvia Costa Dutra - UNISINOS

Vanderli Fava de Oliveira - UFJF

Walter Antonio 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.ufcg.edu.br

Tiragem

2.000 exemplares

Distribuição

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

REVISTA DE ENSINO DE ENGENHARIA

Maria Helena C. Soares de Mello, João Carlos C.
B. Soares de Mello, Fabiana Rodrigues Leta,
Artur José Silva Fernandes & Marcos da Rocha Vaz

1 ANÁLISE SOBRE O MOMENTO DE OPÇÃO
DO ALUNO POR UMA MODALIDADE DE
ENGENHARIA

Célia Mara Sales Buonicontro

7 A TEORIA DE BOURDIEU: OS CONCEITOS
UTILIZADOS NO ESTUDO DO PROCESSO DE
CONSTRUÇÃO DA PRÁTICA PEDAGÓGICA
DO ENGENHEIRO-PROFESSOR

João José Evangelista Rabelo

15 HISTÓRIA DA EDUCAÇÃO: O QUE É, SUA
UTILIDADE E APRESENTAÇÃO DA
BIBLIOGRAFIA BÁSICA

Júlio César Passos

25 CARNOT E A SEGUNDA LEI DA
TERMODINÂMICA

Marcos Azevedo da Silveira

33 PLANIFICAÇÃO DE CONTEÚDOS E DE
PROBLEMAS: UM ENSAIO SOBRE A DIDÁTICA
DO CONCEITO DE ESTABILIDADE

Luciano Andreatta C. da Costa, Marcos Aurélio L. Silveira,
Guilherme J. Creus & Sérgio Roberto K. Franco

49 GPAREDE - UMA PROPOSTA DE AVALIAÇÃO
DA APRENDIZAGEM PELA INTERNET

Washington Braga

57 ANÁLISE TRANSIENTE DE PROBLEMAS
TÉRMICOS

ANÁLISE SOBRE O MOMENTO DE OPÇÃO DO ALUNO POR UMA MODALIDADE DE ENGENHARIA

Maria Helena C. Soares de Mello¹, João Carlos C. B. Soares de Mello², Fabiana Rodrigues Leta³,
Artur José Silva Fernandes⁴ & Marcos da Rocha Vaz⁵

RESUMO

As modalidades dos cursos de Engenharia possuem nos seus primeiros anos conteúdos semelhantes. Tal fato possibilita a existência de um modelo de ingresso para o básico de Engenharia, com posterior opção para a modalidade profissional no decorrer do curso. A comparação entre esta forma e aquela em que se pede ao aluno para fazer a sua escolha na inscrição no vestibular é motivo de constantes polêmicas. Universidades conceituadas utilizam periodicamente um ou outro processo. Este trabalho apresenta algumas reflexões a respeito das possíveis formas de ingresso e faz um estudo sobre dados referentes aos alunos que ingressaram na Universidade Federal Fluminense, antes e depois de 1999, ano em que esta Universidade passou a adotar o ingresso com opção no vestibular. Este artigo mostra ainda que esta dúvida não é privilégio dos cursos de Engenharia: ocorre com frequência em cursos com tronco comum forte, como é o caso das várias modalidades do curso de Letras. Além de apresentar uma comparação dos dados de ingresso destes dois cursos, o artigo faz considerações sobre as notas dos ingressantes e sua progressão curricular.

Palavras-chave: formas de acesso, vestibular, escolha de habilitação

ABSTRACT

The Engineering courses modalities are similar in their very first years. For that reason it is possible to realize an admission exam that select students for all the Engineering courses. In a later stage of the course, they are asked to choose their professional option. There is another way to select students: it is the one in which every student is asked to make his choice in the registration before the admission test. The comparison between these two models is a source of constant polemics. In public universities both models are changed periodically. In the Federal Fluminense University, the last swap between the two models in study has occurred in 1999. In this paper, we introduce some reflections regarding the admission models. We also compare the data of students marks obtained under the different admission criteria regimes. We show that there is another course with similar characteristics in the university: language courses. The data of these courses are compared with the Engineering course data.

Key-words: admission, engineering education, demand for courses

INTRODUÇÃO

A avaliação institucional fez com que as universidades enfrentassem os desafios da melhoria ou solução para os problemas detectados (Leite et al., 2001). Geralmente as avaliações centram-se no processo de ensino-aprendizagem e na qualificação docente. A forma como a universidade seleciona seus alunos tem sido pouco considerada, embora seja notório que a seleção inadequada de alunos pode comprometer a filosofia educacional da instituição. Nestes

casos o projeto pedagógico institucional passa a se adequar ao baixo nível cognitivo apresentado pelos alunos ingressantes. Um exemplo desta distorção pode ser observado nas frequentes mudanças de conteúdo e carga horária de algumas disciplinas básicas da Engenharia (Fernandes et al., 2001). Neste contexto, nota-se a importância da avaliação do ingresso de alunos em instituições de ensino superior. Como qualquer avaliação educacional, é desejável que sejam usadas metodologias quantitativas e comparativas (Boclim, 1999). Alguns trabalhos nesta linha podem ser encontrados na literatura tais

¹ Professor, M.Sc., Universidade Federal Fluminense, Departamento de Engenharia de Produção. E-mail: mhelenamello@netscape.net

² Professor, M.Sc., Universidade Federal Fluminense, Departamento de Engenharia de Produção. E-mail: jcsmello@producao.uff.br

³ Professor, D.Sc., Universidade Federal Fluminense, Departamento de Engenharia Mecânica. E-mail: fabiana@vm.uff.br

⁴ Professor, Universidade Federal Fluminense, Departamento de Engenharia Elétrica. E-mail: arth@predialnet.com.br

⁵ Professor, M.Sc., Universidade Federal Fluminense, Departamento de Engenharia Elétrica. E-mail: marcosvaz@alternex.com.br

como: Maciel (2000), que compara o ingresso pelo vestibular tradicional e pelo programa especial e Soares de Mello et al. (2001) que faz uma avaliação dos aspectos geográficos do vestibular.

Este artigo tem como principal tema a discussão sobre a forma de ingresso nas modalidades dos cursos de Engenharia da Universidade Federal Fluminense (UFF), que vem sofrendo mudanças periódicas. Desde a sua criação, em 1965, a UFF usou diversos modelos. Até o ano de 1970 o ingresso para as diferentes modalidades de Engenharia era comum, ou seja, os alunos eram classificados para o curso de Engenharia. Ao atingir determinada progressão curricular optavam por uma das modalidades profissionais oferecidas pela UFF. No período de 1970 a 1975 adotou-se a opção por modalidade no vestibular. De 1976 até 1998, o ingresso passou novamente a ser comum para o ciclo básico, exceto para o curso de Engenharia Química. Isto se deve ao fato de que, na UFF como em várias outras IES, este curso não possui um ciclo básico comum aos demais cursos de Engenharia. A UFF, por três anos consecutivos (1978 a 1980), chegou a incluir o curso de Engenharia Química no mesmo sistema de ingresso dos outros cursos. Esta foi uma experiência mal sucedida, pois o número de opções para este curso foi muito baixo. Cabe ressaltar que no período de 1972 até 1987, a UFF participava do vestibular unificado organizado pela Fundação CESGRANRIO, onde existiam opções excludentes entre o curso de Engenharia Química e os demais cursos de Engenharia. A partir de 1988 o vestibular da UFF assumiu a organização do seu próprio vestibular. Em 1999, a opção pela modalidade de Engenharia voltou a ser feita no momento da inscrição do vestibular.

A análise sobre o momento da opção por modalidade profissional é relevante, especialmente por não haver consenso sobre o assunto: no momento em que a UFF deixava de utilizar o modelo de ingresso com opção posterior, a USP optava por esta mesma modalidade.

Este artigo mostra as principais características de cada um dos modos de ingresso, bem como as justificativas para escolha de um destes. Para cada modo de ingresso, apresentam-se duas comparações: (1) das notas dos alunos obtidas no vestibular; e, (2) o sucesso dos alunos no decorrer do ciclo básico. É feita ainda uma análise das oscilações de demanda no vestibular pelas várias modalidades profissionais de Engenharia. Para efeito de comparação, realiza-se um estudo semelhante quanto às diferentes habilitações do curso de Letras.

MOTIVAÇÃO

A maioria das modalidades do curso de Engenharia tem um núcleo inicial comum forte, o que pressupõe que os conhecimentos anteriores necessários sejam semelhantes. Neste contexto, é uma opção natural realizar um ingresso único para esse núcleo comum, com posterior opção pela modalidade pretendida. Podem ser citadas algumas vantagens desta forma de ingresso: (1) a possibilidade de o aluno ter mais conhecimento sobre as modalidades do curso, evitando uma escolha precoce; (2) a seleção de alunos com melhores notas; (3) uma

melhor administração do ciclo básico; e (4) uma melhor adequação do número de alunos em cada curso em função das demandas do mercado de trabalho. Por outro lado, essa mesma adequação ao mercado e às tendências atuais, pode ocasionar certas distorções temporárias. Em alguns anos a modalidade de Telecomunicações possuía poucos alunos. Em outros isso acontecia com Mecânica e, mais recentemente, a mesma situação tem sido observada em Agrícola e Elétrica. Por outro lado, começou a haver um excesso crônico de demanda na modalidade Produção, o que gerou alguns problemas de ordem administrativa. A ocorrência dessas distorções foi o principal argumento usado para a mudança ocorrida em 1999, argumentando-se que se os alunos já ingressassem na modalidade escolhida, o fluxo seria regularizado. Outro argumento a favor da separação, não explicitado na época, foi a perspectiva de cada modalidade incluir disciplinas específicas desde o primeiro período.

A OSCILAÇÃO DA PROCURA

Para ilustrar a consequência do momento de opção na oscilação da demanda, apresenta-se a situação de um curso que possui características semelhantes. No curso de Letras verifica-se também a existência de um tronco comum forte. Na UFF, este curso possui as modalidades: Literaturas, Alemão, Espanhol, Francês, Grego, Inglês, Italiano e Latim. Apesar de o tronco comum ser forte, todas as modalidades têm a particularidade de serem centradas em uma língua básica diferente. Devido a esta característica, o ingresso pelo vestibular já é realizado para uma modalidade específica. Atualmente, três das habilitações, devido a sua grande procura, são consideradas nobres: Literaturas, Inglês e Espanhol. As demais têm-se mostrado menos atraentes ao público.

A Tabela 1 (COSEAC, 2002) apresenta dados relativos às relações candidato/vaga de algumas das modalidades menos procuradas no curso de Letras. A Figura 1 apresenta os mesmos dados na forma gráfica.

Tabela 1. Relações candidato/vaga para alguns cursos de Letras

Cursos	1998	1999	2000	2001	2002
Port./Alemão	1,4	7,7	3,3	5,1	3,7
Port./Francês	2,4	1,7	2,5	5,4	1,3
Port./Grego	3,1	1,6	10,9	3,0	2,95
Port./Italiano	4,4	2,8	14,7	1,8	9,7
Port./Latim	1,1	6,6	1,9	13,2	4,7

Pode-se observar uma forte oscilação entre as relações candidato/vaga ao longo dos anos. Isto levanta a hipótese de que os candidatos escolhem o curso baseando-se na relação candidato/vaga do ano anterior. Além disto, nota-se também que no ano em que a relação candidato/vaga de Grego é alta, a relação de Latim tem comportamento inverso é baixa, e vice-versa.

A Tabela 2 e a Figura 2 (COSEAC, 2002) apresentam os dados relativos às relações candidato/vaga das habilitações de Engenharia. Não foram incluídos os dados de 2002 em

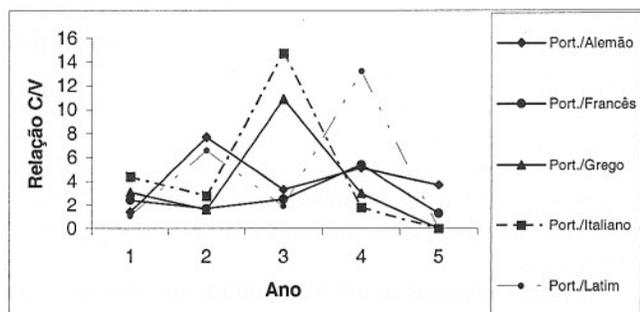


Figura 1. Oscilação da procura em alguns cursos de Letras

Tabela 2. Relações candidato/vaga para os cursos de Engenharia

Curso	1999	2000	2001
Telecomunicações	30,8	16,7	24,9
Agrícola	1,6	13,3	1,4
Civil	10,8	9,4	8,9
Elétrica	6,2	11,6	8,5
Mecânica	8,4	8,7	8,6
Produção	13,5	14,0	11,4

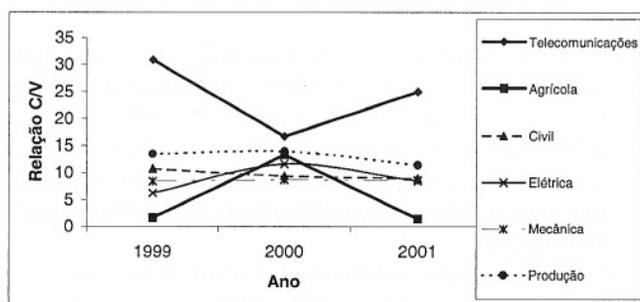


Figura 2. Oscilação da procura nas habilitações de Engenharia da UFF

virtude de nova mudança no modelo de ingresso, que passou a admitir a alternativa de uma segunda opção pelo candidato. Esta circunstância faz com que os dados não sejam homogêneos com relação ao conjunto de dados dos anos anteriores.

A análise destes dados mostra um fenômeno semelhante ao ocorrido com as habilitações do curso de Letras. Como se observa na Figura 2, a habilitação de Telecomunicações tem uma forte oscilação de procura, com picos de amplitude defasados com a de Agrícola. As habilitações de Engenharia Elétrica e Produção tendem a acompanhar, de forma amortecida, a oscilação de Agrícola. Ou seja, aparentemente a grande procura por Telecomunicações inibe a procura pelos candidatos no ano seguinte, enquanto a baixa procura por Agrícola estimula os vestibulandos no ano posterior. A redução da procura pela habilitação de Telecomunicações provoca o aumento de procura pelas habilitações de Agrícola, Elétrica e Produção, que oscilam juntas. Já Mecânica aparenta manter uma certa regularidade na procura, enquanto Civil apresenta um suave decréscimo. Como a procura pelo total das engenharias mantém-se em níveis quase constantes, a escolha entre as diversas modalidades é um jogo de soma zero (Osborne e Rubinstein, 1999).

Na primeira vez em que a escolha da habilitação foi feita no vestibular, a procura por Engenharia de Telecomunicações foi surpreendentemente alta. No ano seguinte esta procura diminuiu, em contrapartida houve um aumento na escolha por Engenharia Elétrica. Na mesma ocasião houve um forte aumento na procura do curso de Engenharia Agrícola. Uma possível interpretação para estes fatos é que o aluno de ensino médio procura uma forma mais fácil de ingressar na Universidade, mesmo que com isso tenha que abdicar do curso pelo qual se sente mais atraído. Por outro lado, os demais cursos não tiveram muita alteração, mantendo uma relação candidato/vaga pouco inferior à verificada enquanto o vestibular era unificado.

QUALIDADE DOS INGRESSANTES

É sempre difícil quantificar a qualidade de um conjunto de alunos, ainda mais tão heterogêneo. Assim, pode-se utilizar como medida desta qualidade a nota que os alunos obtiveram no vestibular e o sucesso obtido durante o curso. Para este último, ainda não é possível fazer uma avaliação, e, para o primeiro, poder-se-ia tomar como parâmetro a nota média dos ingressantes. O uso de tal parâmetro é justificado pelas correlações existentes entre as notas obtidas no vestibular e o desempenho acadêmico nas disciplinas cursadas no primeiro semestre (Soares de Mello et al., 2002; Soares de Mello, 2002). No entanto, devido às conhecidas desvantagens do uso da média aritmética e à forte tendência das turmas serem niveladas por baixo, será considerada a nota obtida pelo último colocado que ingressou (Tabela 3).

Tabela 3. Mínimo de pontos necessários para o ingresso nos cursos de Engenharia (COSEAC, 2002)

Curso	1997	1998	1999	2000
Agrícola	-	-	24,4	38,3
Civil	-	-	57,4	50,1
Elétrica	-	-	49,6	51,5
Mecânica	-	-	58,9	51,0
Produção	-	-	71,1	62,4
Telecomunicações	-	-	73,2	65,5
Engenharia	52,0	50,6	-	-

Observa-se nesta tabela que, ao contrário da época em que o vestibular era comum, quando os alunos ingressantes tinham praticamente o mesmo padrão (nota mínima quase constante), passou a haver grande oscilação das notas. Verifica-se também que a nota mínima para o ingresso, ao considerar-se o conjunto de todas as Engenharias, é agora muito inferior. Por outro lado, como o mínimo para algumas modalidades passou a ser muito alto, é notório que excelentes alunos estão perdendo a oportunidade de ingressar na Escola de Engenharia, em favor de alunos com notas muito baixas. Estes alunos pelo sistema antigo não ingressariam nos cursos de Engenharia. Devido às suas notas baixas, é esperado que eles tenham dificuldade em progredir no curso.

PROGRESSÃO DOS ALUNOS NO CURSO

Um dos objetivos declarados para a mudança realizada foi a expectativa do aumento do número de alunos no Ciclo Profissional da Escola de Engenharia. Anteriormente, após aprovação nas disciplinas dos três primeiros períodos, os alunos faziam a sua opção pelo curso profissional desejado. A Tabela 4 apresenta uma comparação do número de alunos que chegam ao ciclo profissional nas duas formas de ingresso. Na segunda coluna tem-se o número de alunos que ingressaram no primeiro semestre de 1999 e que no primeiro semestre de 2000 estavam cursando as disciplinas do terceiro período letivo. Na terceira coluna observa-se o número de alunos que ingressaram no primeiro semestre de 1998 e fizeram a sua opção no primeiro semestre de 1999, isto é, quando estavam cursando as disciplinas do terceiro período.

Tabela 4. Comparação de progressão curricular para alunos ingressantes nos dois sistemas

Curso	nº de alunos	
	1/1999	1/1998
Agrícola	2	0
Civil	6	3
Elétrica	6	0
Mecânica	7	7
Produção	18	23
Telecomunicações	10	43
Total	49	76

Fonte: SIAD/UFF

Observa-se que, ao considerar-se o conjunto de todas as Engenharias, o sistema de ingresso unificado propicia que um maior número de alunos atinja o ciclo profissional no tempo pré-estabelecido.

CONCLUSÕES

De acordo com os dados apresentados, observou-se uma diminuição geral do número de alunos que chegam ao ciclo profissional da Escola de Engenharia. Esta diminuição é especialmente acentuada nos cursos de Telecomunicações e de Produção. Apenas as modalidades de Agrícola, Civil e Elétrica tiveram aumento do número de alunos no ciclo profissional. Para a modalidade de Mecânica a mudança foi irrelevante. O objetivo declarado para realizar a mudança na forma de ingresso nos cursos de Engenharia não foi atingido.

Por outro lado, como o número de alunos que ingressaram nos cursos de Engenharia permaneceu o mesmo, aumentou consideravelmente a quantidade de alunos que frequenta disciplinas nos primeiros períodos. Este fato dificulta a promoção de qualquer política de aumento do número de vagas para os cursos de Engenharia desta Universidade.

A opção da habilitação na inscrição do vestibular obriga a uma escolha precoce da carreira pelo aluno. Esta escolha nem sempre está de acordo com a sua vocação, como se depreende a partir da análise da oscilação da procura (item 3). Esta questão poderia ser melhor analisada a partir das mudanças de curso

efetuadas após o ingresso dos alunos. No entanto, as regras para esta mudança têm sofrido várias alterações, o que impossibilita qualquer análise quantitativa.

Há que acrescentar ainda, que o ingresso com opção posterior possibilita a existência de uma coordenação única para o ciclo básico, com as vantagens daí decorrentes. Entre elas podem ser citadas: o melhor aproveitamento de vagas nas turmas das disciplinas comuns e o melhor gerenciamento de horários.

As razões relativas ao nível dos alunos que ingressam, ao número de alunos que consegue chegar no ciclo profissional, à precocidade da opção e às vantagens administrativas justificam a preferência dos autores pelo ingresso conjunto com escolha posterior.

Para o ingresso em 2002 houve uma nova alteração dando a possibilidade de escolha de uma segunda opção da modalidade de Engenharia. Ainda não há dados suficientes para analisar esta mudança. No entanto, esta mudança não interfere nas razões relativas às vantagens administrativas e à precocidade da escolha de carreira por parte dos alunos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOCLIN, R. Indicadores de Desempenho: Novas Estratégias da Educação Superior. Ensaio - Avaliação e Políticas Públicas em Educação, Vol. 7, pp.299-308, 1999.
- FERNANDES, A.J.S.; MELLO, J.C.C.B.S. de, MELLO, M.H.C.S. de. Ensino de Cálculo I: Evolução na UFF. In: VII EEE - Encontro de Educação em Engenharia, Petrópolis & Iguaba Grande, 2001.
- COSEAC. Evolução do Número de Cursos, Vagas, Inscritos e Relação Candidato/Vaga - 1988 - 2000, Niterói, RJ, 2000.
- COSEAC. Página de Estatísticas do Vestibular, capturada em www.coseac.uff.br, 2002.
- LEITE, D.; BRAGA, A.M.; FERNANDES, C.; GENRO, M.E.; FERLA, A. Avaliação Institucional e os Desafios da Formação do Docente na Universidade Pós-Moderna. In Mazzeto, M. Docência na Universidade, Ed. Papirus, Campinas, pp. 39-56, 2001.
- MACIEL, H.M. PEIES-Programa Experimental de Ingresso ao Ensino Superior-Avaliação dos Ingressos no Curso de Engenharia Civil da UFSM⁹. In: XXVIII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Ouro Preto, 2000.
- MELLO, J.C.C.B.S. de; GOMES, E.G.; LINS, M.P.E.; VIEIRA, L.A.M. Um caso de estudo de integração SIG-DEA-MCDA: a influência de uma instituição de ensino superior em vários municípios do Estado do Rio de Janeiro. Investigação Operacional. Lisboa, Vol. 21, n.2, p.171 - 190, 2001.
- MELLO, J.C.C.B.S. de; LINS, M.P.E.; MELLO, M.H.C.S. de; GOMES, E.G. Evaluating the Performance of Calculus Classes Using Operational Research Tools. European Journal of Engineering Education. Inglaterra, Vol. 27, n.2, p.209 - 218, 2002.
- MELLO, M.H.C.S. de. Avaliação de Desempenho nas Engenharias: Estudo de Caso UFF, Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, UFF, 2002.
- OSBORNE, M.J.; RUBINSTEIN, A. A Course in Game Theory, The MIT Press, Boston, US, 1999.

DADOS BIOGRÁFICOS DOS AUTORES**Maria Helena C. Soares de Mello**

Engenheira Mecânica (1981), Mestre em Engenharia de Produção (2002) ambos pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Professora do Departamento de Engenharia de Produção, Coordenadora do Ciclo Básico das Engenharias. Foi Assessora de Ensino do Centro Tecnológico da UFF. Atua em Pesquisa Operacional e Cálculo. Desenvolve pesquisa em Educação em Engenharia, nas áreas de Ciências Básicas, Formação de Professores, Formas de Ingresso e Avaliação.

**João Carlos C. B. Soares de Mello**

Engenheiro Mecânico (1981), Mestre em Matemática (1987) ambos pela UFF. Doutor em Pesquisa Operacional pela UFRJ. Professor do Departamento de Engenharia de Produção. Foi Coordenador do Ciclo Básico das Engenharias, Chefe do Departamento de Matemática Aplicada e Coordenador Operacional do Vestibular da UFF. Atua em Pesquisa Operacional e Cálculo. Desenvolve pesquisa em Educação em Engenharia, nas áreas de Ciências Básicas, Formas de Ingresso e Avaliação.

**Fabiana Rodrigues Leta**

Engenheira Mecânica (1989) pela UFF. Mestre em Ciências da Engenharia Mecânica (1992) e Doutora em Ciências da Engenharia Mecânica (1998) ambos pela PUC-Rio. Professora do Departamento de Engenharia de Mecânica, e Vice-Coordenadora do Curso de Engenharia Mecânica da UFF. Foi Assessora de Pesquisa e Pós-Graduação do Centro Tecnológico. Atua em Visão Computacional e Metrologia. Desenvolve pesquisa em Educação em Engenharia, nas áreas de Formação de Professores, Avaliação e Metodologias de Ensino.

**Artur José Silva Fernandes**

Engenheiro Eletricista (1981) pela UFF. Professor do Departamento de Engenharia Elétrica. Presidente da Comissão de Concursos. Foi Coordenador do Ciclo Básico das Engenharias e Sub-Chefe do Departamento de Matemática Aplicada. Atua em Servomecanismos, Circuitos Elétricos e Cálculo. Desenvolve pesquisa em Educação em Engenharia, nas áreas de Ciências Básicas, Formas de Ingresso e Avaliação.

**Marcos da Rocha Vaz**

Engenheiro Eletricista (1971) pela UFF. Mestre em Engenharia Elétrica (1978) pela Universidade Federal de Itajubá. Professor do Departamento de Engenharia Elétrica. É Vice-Coordenador do curso de Engenharia Elétrica e Sub-Chefe do Departamento de Engenharia Elétrica. Foi Assessor Especial do CTC, Coordenador Geral do Vestibular, Diretor de Administração Escolar, Coordenador do curso de Engenharia Elétrica e Coordenador Geral dos cursos de Engenharias da UFF. Atua em Eletrotécnica e Máquinas Elétricas. Desenvolve pesquisa em Educação em Engenharia, nas áreas de Formação de Professores, Formas de Ingresso e Avaliação.

A TEORIA DE BOURDIEU: OS CONCEITOS UTILIZADOS NO ESTUDO DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DA PRÁTICA PEDAGÓGICA DO ENGENHEIRO-PROFESSOR

Célia Mara Sales Buonicontro¹

RESUMO

A presença dos conceitos da teoria de Bourdieu tem se tornado cada vez mais freqüente em pesquisas na área da educação, para as mais diversas análises, destacando-se, principalmente, estudos de trajetórias ou aspectos relativos a práticas educacionais. Neste trabalho, procurou-se abordar os conceitos bourdieunianos: *habitus*, prática, capital cultural e campo, que serviram de suporte teórico na dissertação de mestrado, onde foi analisado o processo de construção da prática pedagógica do engenheiro-professor.

Palavras-chave: Bourdieu, ensino de engenharia, engenheiro-professor, prática pedagógica

ABSTRACT

The Bourdieu's theory concepts have been increasingly applied on educational investigations in several analysis, specially on trajectory studies and educational practices aspects. The *boudienians* concepts are presently applied on analysis concerned about *habitus*, practice, cultural capital and field, for studying the construction process of construction of the Engineer-lecturer's pedagogy practice.

Key-words: Bourdieu, engineering education, engineer-lecturer, pedagogic practice

INTRODUÇÃO

A presença dos conceitos da teoria de Bourdieu tem se tornado cada vez mais freqüente em pesquisas na área da educação, para as mais diversas análises, destacando-se, principalmente, estudos de trajetórias ou aspectos relativos a práticas educacionais. O presente artigo faz uma breve apresentação do sociólogo Pierre Bourdieu, sua epistemologia e seus conceitos utilizados na análise de uma pesquisa realizada no curso de Engenharia Mecatrônica da PUC Minas, no segundo semestre de 2000. O objetivo da investigação foi o de compreender e discutir os principais aspectos que envolvem a construção da prática pedagógica do engenheiro-professor do curso de engenharia. Os resultados do trabalho constituíram a base da dissertação de mestrado defendida pela autora em dezembro de 2001.

A investigação foi realizada no primeiro semestre de 2000 junto a oito engenheiros-professores que, naquele semestre, lecionavam disciplinas profissionalizantes no Curso de Engenharia Mecatrônica e que apresentavam características determinantes a serem explorados no processo de investigação: experiência acadêmica no ensino da engenharia;

experiência profissional na atividade de engenharia; níveis diferenciados na formação acadêmica.

Procurou-se, durante a pesquisa, reconstruir a trajetória acadêmica e profissional do engenheiro-professor, de forma a identificar de que maneira o *habitus* do engenheiro, o *habitus* acadêmico e as percepções que os engenheiros-professores fazem sobre o profissional de engenharia interferem na sua prática pedagógica. A análise dos resultados remeteu a uma reflexão sobre a teoria de Bourdieu, principalmente no que se refere aos seus conceitos de campo, capital cultural e *habitus* e sua relação com a prática pedagógica. Partiu-se do pressuposto de que os professores, ao transitarem nos campos acadêmico e profissional de engenharia, ao interagirem com seus pares e com seus alunos, ao definirem seu trabalho cotidiano, constroem conhecimentos incorporados ao seu capital cultural revelado através de seu *habitus*, que formam e transformam sua prática pedagógica.

APRESENTANDO BOURDIEU

Pierre Bourdieu, sociólogo francês, nasceu em 1º de agosto de 1930, em Denguin, e faleceu em 24 de janeiro de

¹ Engenheira Mecânica, Mestre em Educação, Professora dos Cursos de Engenharia Mecânica e Mecatrônica da PUC-Minas. Av. Dom José Gaspar 500, Coração Eucarístico, Belo Horizonte. CEP 30.535-610. E-mail: celiasales@pucminas.br

2002, na França. Estudou na *École Normale Supérieure*, graduando-se em Filosofia. Foi Diretor de estudos na *École des Hautes Études en Sciences Sociales*, diretor do Centro de Sociologia da Educação e da Cultura, coordenador de cursos da *École Normale Supérieure*.

Fundador da revista *Actes de la Recherche en Sciences Sociales* e professor de sociologia do *Collège de France*, de 1982 a 2002, foi o sociólogo de sua geração mais conhecido do público, pelo seu método próprio de investigação e análise envolvendo seus pressupostos filosóficos onde estabeleceu um confronto entre o homem, ser social e a ciência.

Pierre Bourdieu, na década de 70 iniciou uma intensa atividade no exterior, trabalhando em inúmeras instituições de renome, como as universidades de Chicago e de Harvard e o Instituto Max Plank de Berlim. A partir dessa época, utilizando-se da sua sólida formação em antropologia e sociologia realizou inúmeras investigações nas mais diversas áreas, como seus estudos sobre a Argélia e seus trabalhos sobre o campo cultural. Há uma identificação muito grande do seu trabalho com a educação e com a análise educacional, principalmente porque ele próprio concede um papel central à educação em suas pesquisas empíricas e em sua construção teórica.

Conforme relata Silva (1996) a entrada de Bourdieu no Brasil se deu de forma bastante peculiar e foi feita através da crítica do filósofo Georges Snyders que tinha Demerval Saviani como interprete. A princípio, Bourdieu foi bastante rejeitado por apresentar críticas a um discurso humanista e otimista no qual se caracterizava o pensamento pedagógico da época. Além disso, sua pedagogia era classificada como reprodutivista e “demasiadamente pessimista” muito em função de uma das suas principais obras, “A reprodução”, escrita juntamente com seu parceiro de outras publicações, Jean-Claude Passeron, que foi traduzida para o português e muito divulgada na área educacional brasileira. Silva acrescenta, ainda, que só o declínio do prestígio das metafísicas educacionais otimistas, ocorrido recentemente, e a divulgação de outras obras é que Bourdieu passou a ser considerado como um teórico social cuja contribuição tem sido muito importante na análise educacional e até mesmo na teoria educacional desenvolvida em nosso país. São muitos os pesquisadores que encontram suporte teórico em Bourdieu quando se propõem a fazer o estudo de trajetórias ou aspectos relativos a práticas educacionais.

A EPISTEMOLOGIA DE BOURDIEU

Ao analisar a contribuição da teoria de Bourdieu para a sociologia da educação, Martins (1990) afirma que Bourdieu, em seus trabalhos, principalmente em sua fase inicial, embora tenha se preocupado com o sistema de ensino, não teve intenção de construir uma pedagogia do sistema escolar, mas sim de elucidar os mecanismos de funcionamento dos diferentes espaços sociais tais como Estado, Igreja, esporte, moda, linguagem, literatura, sistema de ensino e outros. Ele procurou analisar, de uma forma mais concreta, as inter-relações entre indivíduo e sociedade, entre estrutura e ator,

ou seja, a lógica, as lutas internas, as hierarquias, as estruturas mentais e as condutas dos agentes situados nesses diferentes espaços sociais.

Martins (1990) comenta, também, que a teoria de Bourdieu é marcada por alguns traços constitutivos do pensamento sociológico francês que, por ter sido desenvolvido no campo universitário, apresenta uma feição acadêmica mais voltada para uma busca de “legitimidade científica”. Isso foi importante porque, ao adquirir o status científico da filosofia, os agentes universitários puderam contar com o apoio institucional dado pelos dirigentes da “Terceira República”, de modo que as pesquisas sociológicas pudessem ser financiadas por organismos mantidos por fundos públicos franceses. Desta forma, ao desenvolver sua teoria no interior do campo acadêmico, sob a proteção institucional, Bourdieu procurou imprimir ao seu trabalho de pesquisa uma conduta controlada por padrões científicos e se opôs ao saber sociológico a partir de um corte epistemológico entre as representações do senso comum e a elaboração do discurso científico.

Ortiz (1983) apresenta uma análise sobre a teoria sociológica da prática de Bourdieu. Para ele, a problemática desta teoria está centralizada essencialmente na questão da mediação entre agente social e a sociedade, sendo que seus métodos epistemológicos estão voltados para uma discussão que oscila entre dois tipos de conhecimento considerados polares e antagônicos: ou seja, o objetivismo e a fenomenologia. Enquanto a fenomenologia parte da experiência primeira do indivíduo e não consegue ir além de uma simples descrição do que caracteriza a experiência vivida no mundo social, o objetivismo constrói as relações subjetivas que estruturam as práticas individuais e o ator social se apresenta necessariamente como simples executor da estrutura. “*O agente social aparece, portanto, como mero executante de algo que se encontra objetivamente programado e que lhe é exterior*”. (Ortiz, 1983, p.11). O antagonismo entre o subjetivismo próprio da fenomenologia e o objetivismo próprio do Estruturalismo que, segundo Bourdieu, sempre esteve presente na sociologia, o leva a desenvolver uma epistemologia própria para a realização das suas pesquisas e análises do mundo social. Apesar de romper com as tradições fenomenológicas e estruturalistas, se esforçando para sair do objetivismo estruturalista sem cair no subjetivismo, ele as incorpora no seu modo de pensamento relacional, na medida em que procura estabelecer uma teoria da prática onde o agente social é sempre considerado em função das relações objetivas que regem a estruturação da sociedade global.

Silva (1996) afirma que utilizar a teoria de Bourdieu como suporte teórico na análise de um processo ou fenômeno educacional não é simplesmente aplicar mecanicamente seus conceitos, mas é necessário entender sua epistemologia, vincular os conceitos ao seu *modus operandi*, utilizando o mesmo raciocínio que ele utilizou em suas pesquisas, mesmo que os resultados tenham sido transpostos para outro contexto. Isto significa que não é simplesmente trazer sua lógica e seus conceitos para análise da questão, mas a forma de pensar e ver o mundo social que deram origem a esses

conceitos. Estes são a expressão ou uma visão de uma perspectiva que não fazem sentido sem ela.

Bourdieu não analisou o ensino da engenharia, mas em minha dissertação de mestrado, ao analisar o processo de construção da prática pedagógica do engenheiro-professor, procurei transpor sua teoria, principalmente os conceitos de *habitus*, prática, capital e campo para o contexto de cada situação vivida pelo engenheiro-professor seja ela familiar, acadêmica ou profissional. Parti do pressuposto que o professor, para construir sua prática pedagógica, interage com os campos profissional e acadêmico e utiliza seu repertório de *habitus* no trânsito que ele faz entre escola e empresa, levando consigo o *habitus* acadêmico para o ambiente profissional e trazendo para a escola o *habitus* de engenheiro. Realizei entrevistas abertas com engenheiros-professores que lecionam disciplinas profissionalizantes no Curso de engenharia Mecatrônica da PUC Minas, que possuem experiência profissional em atividades de engenharia e que possuem formação acadêmica diferenciada: graduados, especialistas, mestres e doutores.

O CONCEITO DE HABITUS E SUA RELAÇÃO COM A PRÁTICA

Segundo Bourdieu (1990), a maior parte dos seus conceitos incluindo o de *habitus* nasceu em torno dos seus trabalhos de sociologia da educação e cultura que realizou ou dirigiu no Centro de Sociologia Européia e nas pesquisas etnológicas e sociológicas que realizou na Argélia. Ao analisar as relações entre as esperanças subjetivas e as chances objetivas observadas nas condutas econômicas, demográficas e políticas dos trabalhadores argelinos, ele pode posteriormente compará-las com as mesmas relações encontradas nos estudos realizados com os estudantes franceses e suas famílias.

A noção de *habitus* foi elaborada pouco a pouco e nasceu da vontade de explicar que a dimensão de um aprendizado passado está no princípio do encadeamento das ações, ou seja, a prática é resultado de um *habitus* incorporado de uma trajetória social. Para saber o que as pessoas fazem é preciso supor que elas obedecem a uma espécie de “sentido do jogo” e para compreender suas práticas é preciso reconstruir o capital de esquemas informais que lhes permite produzir pensamentos e práticas sensatas e regradas sem a intenção de sensatez e sem a obediência a regras explicitamente colocadas. A ação não é simplesmente a execução e obediência a uma regra. Os agentes sociais não são regulados como relógios, segundo leis mecânicas. Nos jogos mais complexos eles investem os princípios incorporados de um *habitus* gerador, esse esquema de disposições adquiridas que variam segundo o lugar e o momento. Esse “sentido do jogo” que permite gerar uma infinidade de lances adaptados a uma infinidade de situações possíveis que nenhuma regra por mais complexa que seja possa prever. Para Bourdieu (1990) “*O habitus como sentido do jogo é jogo social incorporado, transformado em natureza. Nada é simultaneamente mais livre e mais coagido que a ação do bom jogador. Ele fica*

naturalmente no lugar em que a bola vai cair, como se a bola comandasse, mas, desse modo, ele comanda a bola. O habitus como social inscrito no corpo, no indivíduo biológico, permite produzir a infinidade de atos de jogo que estão inscritos no jogo em estado de possibilidades e de exigências objetivas; as coações e as exigências do jogo, ainda que não estejam reunidas num código de regras, impõe-se àqueles e somente àqueles que, por terem o sentido do jogo, isto é, o senso da necessidade imanente do jogo, estão preparados para recebê-las e realizá-las.” (p.82)

As representações dos agentes variam segundo sua posição e segundo seu *habitus* como sistema de esquemas de percepção e apreciação, como estruturas cognitivas e avaliatórias que eles adquirem através da experiência durável de uma posição do mundo social. O *habitus* é ao mesmo tempo um sistema de esquemas de produção de práticas e um sistema de esquemas de percepção e apreciação das práticas. E, nos dois casos, suas operações exprimem a posição social em que foi construído. Em consequência, o *habitus* produz práticas e representações que estão disponíveis para a classificação, que são objetivamente diferenciadas.

Para Bourdieu (1990) a prática pode ser definida como um produto da relação dialética entre uma situação e um *habitus*. Ela se traduz por uma “estrutura estruturada” predisposta a funcionar como “estrutura estruturante”, e aplica-se que a noção de *habitus* não somente se aplica à interiorização das normas e dos valores, mas inclui os sistemas de classificações e ações que preexistem às representações sociais. “*Os indivíduos “vestem” os habitus como hábitos, assim como o hábito faz o monge... “* (p.75) O *habitus* nada mais é do que essa lei imanente, *lex insita*, depositada em cada agente pela educação primeira, condição não somente da concertação das práticas, mas também das práticas de concertação, posto que as correções e os ajustamentos conscientemente operados pelos próprios agentes supõe um domínio de um código comum e que os empreendimentos de mobilização coletiva não podem ter sucesso sem um mínimo de concordância entre os *habitus* dos agentes mobilizadores e as disposições daqueles cujas aspirações eles se esforçam em exprimir.

Ao desenvolver esse conceito, Bourdieu (1990) reconhece um campo comum de significados. O *habitus* produz práticas individuais e coletivas, conforme princípios e esquemas engendrados pela história, e assegura a presença ativa das experiências passadas. Ele afirma que *habitus* é: “... *uma capacidade infinita de engendrar em total liberdade (controlada) produtos — pensamentos, percepções, expressões, ações que têm sempre como limites as condições de sua produção, histórica e socialmente situadas, a liberdade condicionada e condicional que assegura esta tão afastada de uma criação de imprevisível novidade como uma simples reprodução mecânica dos condicionamentos iniciais*” (p.94).

Ele afirma, ainda, que o *habitus* pode ser compreendido como fundamento objetivo de condutas regulares, que faz com que agentes se comportem de uma determinada maneira em determinadas circunstâncias, de acordo com as variáveis de lugar e de momento. Portanto, a prática geradora dessas

disposições adquiridas e socialmente constituídas é inerente ao agente social ativo, o qual tem uma apreensão ativa do mundo, constrói sua visão de mundo, mas esta é operada por coações. “*O habitus é ao mesmo tempo um sistema de esquemas de produção de práticas e um sistema de esquemas de percepção e apreciação das práticas. E, nos dois casos, suas operações exprimem a posição social em que foi construído. Em consequência, o habitus produz práticas e representações que estão disponíveis para a classificação, que são objetivamente diferenciadas; mas elas só são imediatamente percebidas enquanto tal por agentes que possuam o código, os esquemas classificatórios necessários para compreender-lhes o sentido social.*” (Bourdieu, 1990, p.158)

De acordo com Bourdieu (1998), a prática implica sempre uma operação de conhecimento, uma operação intelectual, ou seja, uma operação não considerada como um registro passivo, mas uma operação mais ou menos complexa de classificação, na qual, “*o conhecimento prático é uma operação prática de construção que aciona, por referência a funções práticas, sistemas de classificação (taxiomanias) que organizam a percepção e a apreciação, e estruturam a prática*”. (p.187)

Para ele, os professores produzem cotidianamente classificações, ao julgar seus alunos ou seus pares pela sua produção científica refletida em manuais, teses, obras eruditas e em toda sua prática. Essas formas de classificação, não intencionalmente, podem interferir na prática docente. Esse julgamento, essa classificação, ocorre no campo universitário onde o professor tudo pode se permitir, incluindo as alusões mais transparentes à classificação social.

Pinto (2000), ao analisar a obra de Bourdieu, esclarece que o mesmo construiu a sua teoria de *habitus* a partir das suas experiências de campo e do trabalho teórico daí decorrente. Essa noção foi progressivamente elaborada, percorrendo as diversas áreas, permitindo explicar as relações de afinidade entre as experiências, as práticas dos agentes e as estruturas objetivas, como, por exemplo, o mercado de trabalho, a universidade e outros. Diz ainda que, para Bourdieu, existe uma gênese social, por um lado, dos esquemas de percepção, pensamento e ação de que são constituídos o *habitus* e, por outro, das estruturas sociais do que ele designa por campos e grupos. Para Pinto, ao estudar o sistema universitário, Bourdieu não só toma por objeto as relações entre a hierarquia escolar dos valores e a hierarquia social dos *habitus*, estabelecidos nos campos, mas isola e analisa essa grandeza que se transmite, cresce, diminui ou desaparece, algo assim como um capital, mas sob a forma de um capital cultural, que traz a marca dos sujeitos que dela se apropriam de forma legítima e natural.

O CONCEITO DE CAPITAL CULTURAL E OUTRAS FORMAS DE CAPITAL

O conceito de capital foi desenvolvido por Bourdieu (1990) a partir das suas pesquisas ao examinar a relação entre os

diferentes campos e as diferentes espécies de “capital” ou diferentes formas de energia que é produzida e reproduzida dentro e pelas tensões e lutas constituídas de cada um desses espaços. Conforme analisa Pinto (2000), o capital é um valor desigualmente distribuído e disponível que não é adquirido instantaneamente, pois pressupõe uma hereditariedade. Em qualquer lugar do mundo social, o herdeiro não é apenas o destinatário de um benefício ou privilégio, mas é também um agente que ajusta uma ordem externa da distribuição de oportunidades de apropriação e outra interna da aspiração ao destino para o qual foi eleito ou destinado. O indivíduo não é um sujeito puro, ele é um herdeiro de bens, de *habitus*, de princípios, de regras, de cultura, enfim, de diferentes formas de valor que ele chama de capital cultural, capital social e capital econômico.

Segundo Bourdieu (1998), o capital cultural, pode existir de três formas: no *estado incorporado*, sob forma de disposições duráveis no organismo; no *estado objetivado*, sob forma de bens culturais, e no *estado institucionalizado*, sob forma de diploma.

No estado incorporado, a acumulação de capital cultural pressupõe uma incorporação, um trabalho de inculcação e de assimilação, custa tempo que deve ser investido pessoalmente pelo investidor e conforme Bourdieu (1998): “*O capital cultural é um ter que se tornou ser, uma propriedade que se fez corpo e tornou-se parte integrante da pessoa, e um habitus. Aquele que o possui pagou com sua própria pessoa e com aquilo que tem de mais pessoal, seu tempo. Esse capital pessoal não pode ser transmitido instantaneamente (diferente do dinheiro, do título de propriedade ou mesmo do título de nobreza) por doação ou transmissão hereditária, por compra ou por troca. Pode ser adquirido, no essencial, de maneira totalmente dissimulada e inconsciente, e permanente marcado por suas condições primitivas de aquisição*”. (p. 74-75)

No estado objetivado, a acumulação do capital cultural pressupõe a aquisição de um certo número de propriedades que se definem apenas em sua relação com o capital cultural em sua forma incorporada. Ele é objetivado em suportes materiais como escritos, pinturas, monumentos, etc. Os bens culturais podem ser objeto de uma apropriação material, que pressupõe o capital econômico e de uma apropriação simbólica que pressupõe o capital cultural. Por exemplo, o proprietário de instrumentos de produção deve encontrar os meios para se apropriar ou do seu capital incorporado que é a condição da sua apropriação específica, ou dos serviços dos detentores desse capital. Como afirma Bourdieu (1998): “*Para possuir máquinas, basta ter capital econômico; para se apropriar delas e utilizá-las de acordo com sua destinação específica (definida pelo capital científico e tecnológico que se encontra incorporado nelas) é preciso dispor, pessoalmente ou por procuração, de capital incorporado*”. (p.77)

No estado institucionalizado, a objetivação do capital cultural sob forma de diploma é um dos modos de neutralizar certas propriedades devidas ao fato de que por estar incorporado têm os mesmos limites biológicos de seu suporte.

Segundo ele, o diploma é um certificado de competência cultural que confere a seu portador um valor convencional, constante e juridicamente garantido. Com o diploma, a alquimia social produz um tipo de capital cultural que possui uma autonomia relativa em relação ao seu portador e em relação também ao capital cultural que ele possui em um dado momento histórico. Essa alquimia, na opinião dele: "... *institui o capital cultural pela magia coletiva, da mesma forma que, para Merleau-Ponty, os vivos instituem seus mortos através dos ritos de luto. Basta pensar no concurso que, a partir do continuum das diferenças infinitesimais entre as performances, produz descontinuidades duráveis e brutais, do tudo ao nada, como aquela que separa o último aprovado do primeiro reprovado, e institui uma diferença de essência entre a competência estatutariamente reconhecida e garantida e o simples capital cultural, constantemente intimado a demonstrar seu valor.*" (Bourdieu, 1998, p.78)

Tal lógica é estabelecida nas universidades, onde os títulos reconhecem institucionalmente as competências e virtudes professorais e garantem posição privilegiada nas carreiras hierarquizadas e o reconhecimento e validação da competência do professor, principal responsável pelo trânsito, pela produção e reprodução do conhecimento, dado especialmente pelos seus próprios pares, dependem do capital cultural adquirido por ele e registrado sob forma de títulos e produção científica. Se o capital cultural é um patrimônio acumulado pela humanidade, na prática ele está regido pelo interesse econômico, e tem, na educação escolar e acadêmica, o seu principal agente de legitimação. Bourdieu (1983) diz que a educação é um aparelho de distribuição de indivíduos por classes que cria, mantém e reproduz socialmente qualificações especializadas, as quais têm um certo grau de relevância para o modo de produção.

O CONCEITO DE CAMPO

Para Ortiz (1983) Bourdieu define campo como um espaço social que possui uma estrutura própria e relativamente autônoma em relação a outros espaços sociais, com uma lógica própria de funcionamento e de estratificação e princípios que regulam as relações entre os agentes sociais. O sujeito é, em primeira instância, um agente social que transita nos campos ou regiões em que se subdivide um espaço geograficamente determinado, ou seja, o espaço social.

Martins (1990), analisando a teoria de Bourdieu, diz que o conceito de campo por ele desenvolvido é: "...um espaço social que possui uma estrutura própria, relativamente autônoma em relação a outros espaços sociais, isto é, em relação a outros campos sociais. Mesmo mantendo uma relação entre si, os diversos campos sociais se definem através de objetivos específicos, o que lhes garante uma lógica particular de funcionamento e de estruturação. É característico do campo possuir suas disputas e hierarquias internas, assim como princípios que lhe são inerentes cujos conteúdos estruturam as relações que os atores estabelecem entre si no seu interior" (p.66)

Para Bourdieu (1990), tais campos se recortam em partes, pela afinidade ou pela diferenciação de interesses desses agentes, que partilham o mesmo sentido de jogo de modo a viabilizar uma luta pelo poder simbólico em disputa no campo. Para ele, uma vez que as atividades sociais significativas e reiteradas estruturam-se em campos, podem existir vários campos: um campo de atividades científicas, um de atividades culturais, um de atividades educacionais, um de atividades artísticas, e assim por diante, aos quais diferentes agentes concorrem com seu capital simbólico e tomam posições. Tais posições são relativas, uma vez que a própria dinâmica de luta entre os agentes gera uma troca de posições, de acordo com o capital simbólico posto em jogo. O campo pode se particularizar como um espaço onde se manifestam relações de poder, o que implica afirmar que ele se estrutura a partir da distribuição desigual do capital social que determina a posição que um agente específico ocupa em seu seio. A estrutura do campo pode ser entendida tomando-se como referência dois pólos opostos: o dos dominantes possuidores de um máximo capital social e dos dominados que possuem pouco ou não possuem o capital social específico que determina o espaço em questão. No caso da ciência, por exemplo, o capital se refere à autoridade científica, a luta que se trava entre os agentes é uma disputa em torno da legitimidade da ciência. Os pesquisadores, que ocupam posições hierarquicamente reconhecidas como dominantes, são possuidores de um maior capital científico, possuem individualmente maior celebridade e prestígio e detêm ainda o poder perante os outros componentes do campo.

Bourdieu (1983), ao analisar as contradições do campo científico, mostra que este campo, enquanto sistema de relações objetivas e posições adquiridas, é lugar e espaço de jogo e luta onde o que está em disputa, principalmente, é o monopólio da autoridade científica definida de maneira inseparável da competência científica, compreendida como capacidade de agir e falar legitimamente. De acordo com ele: "... *tentar dissociar o que, na competência científica, seria pura representação social, poder simbólico, marcado por todo um "aparelho" (no sentido de Pascal) de emblemas e de signos, e o que seria sua capacidade técnica, é cair na armadilha constitutiva de toda "competência", [...] o "augusto aparelho" que envolve aqueles a quem chamamos de "capacidades" no século passado e de "competências" hoje – becas rubras e arminho, sotainas e cabelos dos magistrados e doutores em outros tempos, títulos escolares e distinções científicas dos pesquisadores de hoje –*" (Bourdieu, 1983, p.204)

Segundo analisa Pinto (2000), a noção de campo serviu para pôr fim a um dilema teórico onde, até então, era preciso recorrer às fundamentações do estruturalismo ou do marxismo para explicar os produtos culturais como arte, literatura, mito, religião e ideologia, classificados por Bourdieu como instrumentos simbólicos. A tradição estruturalista que enfatiza mais os produtos que o ato de produção, privilegia os produtos dotados de coerência interna subtraindo-os aos determinismos externos, ou seja, o *opus operandi* no lugar do *modus operandi*, considera "os instrumentos simbólicos

como estruturas estruturadas, estruturas objetivas, dotados de uma coerência interna, uma inteligibilidade imanente e, de algum modo, auto-suficiente". (Pinto, 2000, p. 77) A tradição marxista privilegia as funções políticas dos sistemas simbólicos, ou seja, caracteriza os produtos pelas funções sociais que eles exercem. "...os instrumentos simbólicos são vistos, nessa perspectiva, como instrumentos de dominação caracterizados pelo efeito ideológico de universalização dos interesses particulares". (Pinto, 2000, p.77) Consequentemente, ao dar atenção à lógica imanente aos bens culturais é impossível escapar da visão idealista apontada pelos adversários materialistas mais propensos a uma leitura política dos produtos culturais.

Continuando a sua análise, Pinto (2000) afirma que, para aliar o rigor e a fecundidade da visão idealista encarnada pelo estruturalismo à visão realista das diferenças sociais seria necessário entender que, na análise, não se pode separar o poder e a violência, o conhecimento e a política, que Bourdieu define como sendo a ciência do simbólico. Instrumentos simbólicos que aparentemente seriam apenas destinados às funções de conhecimento e comunicação como o mito, a religião, a arte, etc., cumprem sua função política, ao mesmo tempo em que parecem obedecer a uma lógica imanente. Presume-se, por um lado, que as formas simbólicas funcionem segundo uma lógica autônoma e que a função social de dominação só é exercida adicionalmente e, por outro, é preciso que a dominação consiga exprimir-se dentro do próprio processo obedecendo a uma lógica autônoma. A autonomia conferida aos instrumentos simbólicos resulta no fato de que, dentro do espaço social como espaço diferenciado os grupos de agentes como os clérigos, os letrados etc. conquistam uma posição na divisão do trabalho que os habilita à manipulação legítima de determinados produtos simbólicos como bens de salvação, bens culturais etc. Desta forma, um campo de produção simbólica não pode ser visto nem como determina o estruturalismo, como universo submetido a uma lógica imanente ao conhecimento e à comunicação, nem como determina o marxismo, como instrumento a serviço da dominação de classes. A noção de campo, segundo Bourdieu, impede que as explicações ou posicionamentos dos agentes sejam feitas segundo estas ou aquelas correntes e permite compreender as relações entre o que lhe é interno e o que lhe é externo. Conforme afirma Pinto: "*Um campo de produção cumpre funções sociais externas, especialmente de legitimação de uma ordem social, pelo simples fato de obedecer a uma lógica própria. Os dominantes não têm a necessidade de intervir expressa e continuamente para modificar a seu favor o funcionamento do campo, uma vez que, pela simples virtude imanente a esse funcionamento, as divisões externas do mundo social (dominantes/dominados) se acham reconhecidas e ignoradas: a autonomia do campo é a própria condição da sua eficácia simbólica*". (Pinto, 2000, p.81). Pinto diz ainda que a teoria dos campos não preestabelece que exista uma harmonia entre universos diferentes. Embora cada campo tenha sua lógica própria e contribua para reproduzir as divisões do mundo social, isto não significa que não haja conflitos, mesmo porque existem

forças baseadas em outros princípios de legitimidade que podem ser elucidados através da história de cada campo.

A ANÁLISE DA PESQUISA À LUZ DE BOURDIEU

Através da análise dos depoimentos coletados nas entrevistas, procurou-se reconstruir a trajetória acadêmica e profissional do engenheiro-professor com o objetivo de identificar a herança familiar e acadêmica incorporadas no *habitus* do professor e as inter-relações entre a prática profissional da engenharia e a prática docente. A pesquisa revelou que, o *habitus* de cada um traz reflexos na sua prática pedagógica e, apesar de existir uma lógica diferenciada entre os campos da Engenharia e da Academia, quando o engenheiro passa a exercer as atividades docentes, o *habitus* do engenheiro e o *habitus* acadêmico se entrecruzam na sua prática pedagógica, havendo alguns ganhos na transposição do *habitus* de professor para o campo da engenharia e vice-versa. Quando os engenheiros-professores transitam pelo campo da engenharia e pelo campo acadêmico, há uma interação entre os dois campos, trazendo ganhos para esses profissionais.

Na empresa, o engenheiro-professor, com seu *habitus* acadêmico, tem uma maior habilidade de comunicação e um aumento no seu capital cultural, que lhe possibilita um maior poder de argumentação, que o coloca numa posição privilegiada em relação aos seus pares, melhorando seu *status*

Na Academia, o professor-engenheiro lança mão de sua experiência profissional para exercer melhor sua atividade docente e para enriquecer sua prática pedagógica. Os professores-engenheiros trazem da indústria para a universidade o *habitus* do engenheiro, não só através de exemplos práticos que apresentam em sala de aula, desvendando para o aluno uma realidade profissional, com seus altos e baixos, mas também pelo fato de estarem sempre atualizados com o mercado de trabalho, de participarem do dinamismo da indústria, o que lhes possibilita trazer sempre informações novas, motivar os alunos, valorizar a profissão, transmitir mais segurança.

Evidenciando que o *habitus* do engenheiro se faz presente de forma marcante e positiva na atividade acadêmica dos professores e que deve ser desenvolvido no aluno ainda durante o curso de graduação, o estudo permitiu constatar a importância da Academia, ao lado de proporcionar sólidos conhecimentos teóricos, procurar estabelecer formas de aproximar o aluno do Mercado de Trabalho, através do relacionamento formal com empresas, para a realização de atividades de pesquisa, visitas técnicas e estágios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOURDIEU, P.; PASSERON, J. A reprodução. Tradução: Reynaldo Bairão. 3.ed.. Rio de Janeiro: Livraria Francisco Alves S A., 1992. Título original em francês: La reproduction.

- BOURDIEU, P.; PASSERON, J. Escritos de educação. Org. Maria Alice Nogueira e Afrânio Catani. Petrópolis, Rio de Janeiro: Vozes, 1998.
- BOURDIEU, P.; PASSERON, J. Trabalhos e projetos. In: ORTIZ, Renato (Org) Pierre Bourdieu: Sociologia. Tradução: Paula Monteiro e Alcía Auzmendi. São Paulo: Ática, 1983. Título original em francês: Sociologie.
- BOURDIEU, P.; PASSERON, J. Esboço de uma teoria da prática. In: ORTIZ, Renato (Org) Pierre Bourdieu: Sociologia. Tradução: Paula Monteiro e Alcía Auzmendi. São Paulo: Ática, 1983. Título original em francês: Sociologie.
- BOURDIEU, P.; PASSERON, J. O campo científico. In: ORTIZ, Renato (Org) Pierre Bourdieu: Sociologia. Tradução: Paula Monteiro e Alcía Auzmendi. São Paulo: Ática, 1983. Título original em francês: Sociologie.
- BOURDIEU, P.; PASSERON, J. Coisas ditas. Tradução: Cássia R. da Silveira e Denise Moreno Pegorim. São Paulo: Editora Brasiliense 1990. Título original em francês: Choses dites.
- BUONICONTRO, Célia Mara Sales. O processo de construção da prática pedagógica do Engenheiro-Professor: um estudo no Curso de Engenharia Mecatrônica da PUC/Minas. Mestrado em Educação, PUC/Minas, 2001 (Dissertação de Mestrado)
- CASTRO, M. de; BUONICONTRO, C.M.S.; PEREIRA, M.J. Os Habitus e a profissão docente: A utilização da teoria de Bourdieu nas pesquisas sobre trajetórias de professores. Trabalho apresentado no V Encontro de Pesquisa em Educação da Região Sudeste. Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Educação. Águas de Lindóia, Minas Gerais, Novembro de 2002.
- COLLÈGE DE FRANCE. Biografia de Pierre Bourdieu. Disponível em <<http://www.college-de-france.fr/college/bibliographies/bourdieu.htm>> Acesso em janeiro de 2003.
- MARTINS, C.B. A pluralidade dos mundos e das condutas sociais: a contribuição de Bourdieu para a sociologia da educação. Revista Em Aberto: MEC, Brasília, ano 9, nº46, abr. jun.1990.
- ORTIZ, R. A procura de uma sociologia da prática. Pierre Bourdieu: Sociologia. (Org.) Tradução: Paula Monteiro e Alcía Auzmendi. São Paulo: Ática, 1983. Título original em francês: Sociologie.
- PINTO, L. Pierre Bourdieu e a teoria do mundo social. Trad. Luiz Alberto Monjardim. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2000. (Tradução de Pierre Bourdieu et la théorie du monde social).

DADOS BIOGRÁFICOS DA AUTORA



Célia Mara Sales Buonicontro

Graduada em Engenharia Mecânica (PUC-Minas, 1976), Graduada em Ciência da Computação (PUC-Minas, 1989), Mestre em Educação (PUC-Minas, 2001), Professora Adjunta III dos Cursos de Engenharia Mecânica e Mecatrônica.

HISTÓRIA DA EDUCAÇÃO: O QUE É, SUA UTILIDADE E APRESENTAÇÃO DA BIBLIOGRAFIA BÁSICA

João José Evangelista Rabelo¹

RESUMO

Pode-se dizer que, em geral, os autores de trabalhos sobre ensino de engenharia não têm levado em consideração as raízes históricas da Educação. Este artigo tem por objetivo difundir a disciplina História da Educação e apresentar sua bibliografia mais significativa. Espera-se, com isso, estimular a comunidade de ensino de engenharia a conhecer e fazer uso desta rica e importante área das Ciências da Educação.

Palavras-chave: história da educação, história das idéias educacionais, história da pedagogia

ABSTRACT

One can state that, in general, the authors of papers on the teaching of engineering have not taken into account the historical roots of Education. This article claims for the importance of the discipline History of Education and presents its most meaningful bibliography. Thus, it is expected that the community on engineering education be stimulated to learn and make use of this rich and important area of the Educational Sciences.

Key-words: history of education, history of educational ideas, history of pedagogy

INTRODUÇÃO

Muitos autores de trabalhos sobre o ensino de engenharia não têm considerado a realidade educacional numa perspectiva histórica. Este fato pode ser facilmente constatado, para citar apenas um exemplo, através da leitura de propostas didático-pedagógicas apresentadas, anualmente, no Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia - COBENGE. Encontra-se, com freqüência, sugestões que, apesar das boas intenções, repetem erros do passado ou, mesmo quando inovadoras, subestimam as condições institucionais necessárias a sua aplicação.

Acredita-se que estes autores muito ganhariam se conhecessem a História da Educação. Isto, certamente, lhes possibilitaria refletir sobre a formação do engenheiro a partir de uma abordagem mais complexa e completa.

Diante da riqueza histórica do processo da educação no ocidente, e dada a ainda pequena atenção a esta disciplina no meio tecnológico (é praticamente inexistente a citação de textos de História da Educação em trabalhos sobre educação tecnológica), este artigo tem por objetivo apresentar não uma exposição da História da Educação, mas, antes, estimular seu estudo por docentes dos centros de educação tecnológica.

Espera-se difundir esta disciplina e, com isso, proporcionar melhores condições para a evolução crítica do ensino de engenharia em nosso país.

Para tanto, este trabalho é dividido, basicamente, em três partes. Na primeira, discorre-se sobre a disciplina História da Educação, sua evolução e desafios. Na segunda parte justifica-se a sua importância, enquanto na terceira e última parte é apresentada uma bibliografia básica sobre o assunto, com um breve comentário sobre cada título. São apresentadas, ainda, sugestões de planos de leitura introdutória para três perfis de leitores.

O QUE É A HISTÓRIA DA EDUCAÇÃO

Transformações nesta disciplina

História da pedagogia: sua formação e crise

“Ao longo dos últimos 25 anos operou-se uma profunda transformação metodológica na pesquisa histórico-educativa, levando a uma radical mudança de orientação: da *história da pedagogia* passou-se à *história da educação*. Como e por que ocorreu essa mudança? Para responder a essa pergunta é necessário fazer outra, preliminar a essa: o que era a história da pedagogia cujo declínio foi decretado nos últimos decênios? Como e por quem era exercida? E para quem?”

A história da pedagogia no sentido próprio nasceu entre os séculos XVIII e XIX e desenvolveu-se no decorrer deste último como pesquisa elaborada por pessoas ligadas à escola, empenhadas na organização de uma instituição cada vez mais

¹ Professor, Mestre. Departamento de Engenharia Mecânica e de Produção, Universidade Federal do Ceará – UFC, Centro de Tecnologia. Bloco 714, Campus do Pici, CEP 60455-760, Fortaleza, CE. Fone: (85) 288-9632, Fax: (85) 288-9636. E-mail: jje@dem.ufc.br

central na sociedade moderna (para formar técnicos e para formar cidadãos), preocupadas, portanto, em sublinhar os aspectos mais atuais da educação-instrução e as idéias mestras que haviam guiado seu desenvolvimento histórico. A história da pedagogia (...) valorizava a continuidade dos princípios e dos ideais (...), pondo particular acento sobre os ideais e a teoria, representada sobretudo pela filosofia. Tratava-se de uma história persuasiva, por um lado, e teoricista, por outro, sempre muito distante dos processos educativos reais, referentes às diversas sociedades, diferenciados por classes sociais, sexo e idade; distante das instituições em que se desenvolviam (...); distante das práticas de educação ou de instrução, das contribuições das ciências, sobretudo humanas, para o conhecimento dos processos formativos (em primeiro lugar psicologia e sociologia). Tal história devia difundir entre os docentes (...) uma idéia de educação desenvolvida em torno dos próprios princípios ideais (mais que das práticas) e, através destes, das ideologias que os inspiravam. De tal modo que havia histórias da pedagogia (...) marcadas segundo as diversas orientações da filosofia (ou positivista ou idealista ou espiritualista) (...).

Já desde o segundo pós-guerra, porém, difundiam-se novas orientações historiográficas, também no campo pedagógico, e, ao mesmo tempo, entravam em crise alguns pressupostos daquele modo tradicional de fazer história da pedagogia. Iniciava-se assim um longo processo que levou à substituição da história da pedagogia pela mais rica, complexa e articulada história da educação.¹

História da educação: sua emergência

“Primeiramente, a pedagogia perdia a sua exclusiva (ou quase) conotação filosófica e revelava-se constituída pelo encontro de diversas ciências e, portanto, como um saber interdisciplinar que entrelaçava a sua história com a de outros saberes, sobretudo as diversas ciências humanas de que é tributária e síntese. Depois, a pedagogia também se prestava a um papel cada vez mais central na vida social: formar o indivíduo socializado e operar essa formação através de múltiplas vias institucionais e múltiplas técnicas (voltadas ora para o corpo, ora para o imaginário, ora para o intelecto, ora para o manual), disseminadas no corpo social. E ainda: o fazer história – em qualquer âmbito – caracterizava-se sobretudo como a construção de uma história total, capaz de colher os diversos aspectos da vida social e dos vários momentos históricos, fazendo a história das idéias perder toda a exclusividade e predomínio também no âmbito da história da cultura. As idéias são apenas um momento da história da cultura, que implica também a presença de práticas, de instituições, de ideologias ou de crenças. (...)

Desde os anos 50 (do século XX) desenvolveu-se assim um modo radicalmente novo de fazer história de eventos pedagógico-educativos, que rompeu com o modelo teoricista, unitário e ‘continuista’ do passado, fortemente ideológico, para dar vida a uma pesquisa mais problemática e pluralista, bastante articulada e diferenciada que – considerada no seu

conjunto – pode ser definida como história da educação, tomando a noção de educação seja como conjunto de práticas sociais seja como feixe de saberes.”²

A educação e suas várias histórias

“A história da educação é, hoje, um repositório de muitas histórias, dialeticamente interligadas e interagentes, reunidas pelo objeto complexo *educação*, embora colocado sob óticas diversas e diferenciadas (...) de maneira a dar a cada âmbito de investigação a sua autonomia/especificidade.

Se tivéssemos que caracterizar (de maneira aproximada) as diversas histórias (e seus objetos, seus métodos), poderíamos indicar como âmbitos dotados de autonomia, de setorialidade e de tradição de pesquisa, o das *teorias*, o das *instituições*, o das *políticas*, depois o âmbito (mais amplo e difuso) da *história social* (...) e por fim o âmbito do *imaginário* (na educação e pela educação) (...).

A história da educação hoje é plural, articulada em muitos níveis, mais ‘macro’ ou mais ‘micro’, que se relacionam e se entrecruzam para formar um saber magmático, mais rico tanto de sugestões como de resultados para o conhecimento das sociedades na sua história. E trata-se de um ‘paradigma’ (um modelo) de pesquisa histórica que é preciso compreender e explorar em toda a sua amplitude, variedade e complexidade.”³

Descontinuidades histórico-educativas

“O que emerge como característica estrutural da pesquisa histórico-educativa é, sobretudo, a sua descontinuidade interna: de objetos, de métodos, de âmbitos. Descontinuidade que se ativa sobre o pluralismo das frentes de pesquisa, mas também – em cada uma delas – sobre a divergência (ou pelo menos heterogeneidade dos processos e das orientações de pesquisa). (...)

Será que estamos diante de uma historiografia centrífuga, ou melhor, totalmente descentralizada, que só cresce por linhas interrompidas, por setores e fragmentos, sem ‘núcleo’? Estaríamos diante de uma liberalização metodológica de significado quase anárquico, que permite todo tipo de abordagem e obscurece qualquer tentativa de organização centralizada da pesquisa? (...) Sim e não. Pluralismo e conflitualidade, indecisão e incerteza são certamente características fundamentais do fazer história hoje, inclusive em educação; entretanto, não estamos diante de um resultado anárquico, mas radical e dialeticamente crítico. É justamente da integração dinâmica e atenta (=crítica) das diversas perspectivas de leitura que emerge a possibilidade de ler a história segundo a verdade, deixando sempre espaço para aprofundamentos ulteriores, para aproximações, para um objeto complexo e fugidio, como é o histórico, e em particular o histórico-educativo. (...) Faz-se história se, e somente se, se conseguir fazer reaparecer a complexidade dos eventos e suas agitadas inter-relações, seu perfil instável, múltiplo e, ao mesmo tempo, unitário.”⁴

² Ibid., p.23-4

³ Ibid., p.29-33

⁴ Ibid., p.33-4

¹ Franco CAMBI, História da pedagogia, p.21-3

Desafio para o campo

“No campo histórico-educativo, se o pluralismo dos níveis já é bem reconhecido, por outro lado, o conflito-diálogo não resulta igualmente consolidado. Predominam ainda perspectivas de pesquisas tradicionais (ideológicas, sobretudo) ou girando em torno de um único eixo metodológico (...) ao passo que seria necessário dar vida a um pluralismo mais intenso de leituras e de modelos, de maneira a realizar aquele confronto de interpretações pelo qual se pode atingir a verdade: a aproximação de uma compreensão dinâmica (aberta e policêntrica) dos eventos histórico-educativos.”⁵

**Relações entre educação, cultura e história
Educação, pedagogia e cultura**

“A história da educação é parte da história da cultura, tal como esta, por sua vez, é parte da história geral. (...) Para nós, a história é o estudo da realidade humana ao longo do tempo. (...) Por outro lado, a história da cultura se refere antes aos produtos da mente do homem, tais como se manifestam na arte, na técnica, na ciência, na moral ou na religião e em suas instituições correspondentes. A educação é uma dessas manifestações culturais; e também tem sua história. (...)”

Para ter idéia precisa do que sejam história da educação e história da pedagogia, convém recordar o significado da própria educação e da própria pedagogia.

Por *educação* entendemos, antes do mais, a influência intencional e sistemática sobre o ser juvenil, com o propósito de formá-lo e desenvolvê-lo. Mas significa também a ação genérica, ampla, de uma sociedade sobre as gerações jovens, com o fim de conservar e transmitir a existência coletiva. (...) A educação é componente tão fundamental da cultura quanto a ciência, a arte ou a literatura. Sem a educação não seria possível aquisição e transmissão da cultura (...) E esta é também uma das funções essenciais da educação: fazer sobreviver a cultura através dos séculos.

Chamamos *pedagogia* à reflexão sistemática sobre educação. Pedagogia é a ciência da educação (...) Educação sem pedagogia, sem reflexão metódica, seria pura atividade mecânica, mera rotina. (...)”

Educação e pedagogia estão como prática para teoria, realidade para ideal, experiência para pensamento, não como entidades independentes, mas fundidas em unidade indivisível, como o anverso e o reverso da moeda.”⁶

Educação, pedagogia e história

“A sociedade a que a educação se refere não é, com efeito, algo estático, definitivamente constituído, mas em continuada mudança (...). Nesse sentido, tem a educação sua história, que é a história da mudança e do desenvolvimento que a educação tem experimentado através do tempo e dos diversos povos e épocas. (...)”

Se a educação tem sua história, a pedagogia, sua porção teórica ou científica, igualmente a tem. A história da pedagogia

estuda o desenvolvimento das idéias e ideais educacionais, a evolução das teorias pedagógicas e as personalidades mais influentes na educação.

A história da pedagogia está intimamente relacionada com as ciências do espírito e, tal como a história delas, é relativamente recente. Ao passo que a história da educação principia com a vida do homem e da sociedade, a da pedagogia (embora ainda não constituída como objeto de estudo) só começa com a reflexão filosófica, isto é, com o pensamento helênico, principalmente com Sócrates e Platão.”⁷

Determinantes da história da educação

“Do exposto depreende-se que a história da educação e da pedagogia não é apenas produto do pensamento e da ação dos pedagogistas e da gente da escola, mas está integrada por muitos fatores históricos – culturais e sociais – dos quais os mais importantes são: a situação histórica geral de cada povo e de cada época (...); o caráter da cultura (hão de influir na educação da época, segundo se destaquem, as manifestações espirituais – política ou religião, direito ou filosofia) (...); a estrutura social (a educação terá este ou aquele caráter, segundo as classes sociais, a constituição familiar, a vida comunal e os grupos profissionais predominantes) (...); a orientação política (seja o momento histórico de um povo, (...) assim será também sua educação); a vida econômica (a educação varia segundo a estrutura econômica, a posição geográfica, o tipo de produção) (...); os ideais de educação, condicionados, em cada época, à concepção do mundo e da vida (...); a concepção estritamente pedagógica, baseada nas idéias educacionais mais importantes (...); a personalidade e a atuação dos grandes educadores são decisivas para a marcha da educação (...); as reformas das autoridades oficiais (...); finalmente, as modificações das instituições e métodos da educação (...) são também decisivas para a história da educação.”⁸

História e memória

“A história é o exercício da memória realizado para compreender o presente e para nele ler as possibilidades do futuro, mesmo que seja de um futuro a construir, a escolher, a tornar possível. (...) A memória (...) é a imersão na fluidez do tempo e o traçado de seus múltiplos – e também interrompidos – itinerários, a recomposição de um desenho que, retrospectivamente, atua sobre o hoje projetando-o para o futuro através da indicação de um sentido, de uma ordem ou desordem, de uma execução possível ou não.

A memória torna-se assim a categoria portante do fazer história, com seus condicionamentos e suas amnésias, seus desvios e o peso da tradição, logo com seu trabalho não-linear, sempre *sub-judice*, sempre incompleto, mas sempre necessário. (...)”

A memória aplicada ao passado histórico significa o reconhecimento/apropriação de todas as formas de vida

⁵ Ibid., p.34

⁶ Lorenzo LUZURIAGA, História da educação e da pedagogia, p.1-2

⁷ Ibid., p.2-3

⁸ Ibid., p.3-4

(estruturas sociais e culturais, de mentalidades etc., além de tipologias do sujeito humano, seus saberes, suas linguagens, seus sentimentos etc.) que povoam aquele passado; o reconhecimento das suas identidades, suas condutas, suas contradições; a reapropriação de seu estilo, de sua funcionalidade interna, de sua possibilidade de desenvolvimento. Tudo isso com o objetivo de repovoar aquele passado com muitas histórias entrelaçadas e em conflito e de restituir ao tempo histórico o seu pluralismo de imagem e a sua problematidade. (...) Através do passado criticamente revisitado, o presente (também criticamente) se abre para o futuro, que se vê carregado dos impulsos não realizados do passado, mesmo o mais distante ou o mais marginalizado e sufocado. (...)

Mas o exercício da memória (...) deve investigar em particular o passado do qual o presente é filho, do qual carrega o patrimônio genético e sobre o qual deve reconstruir a própria autonomia e a própria abertura para o possível e para a finalização. Como? Compreendendo minuciosamente aquele passado em cada uma de suas formas. Inclusive nas formas educativas que constituem talvez o *trait d'union* (elemento de ligação) fundamental entre o passado e o presente: elas são o meio pelo qual o passado age no futuro através das sedimentações operadas sobre o presente. (...)

A história é um organismo: o que está antes condiciona o que vem depois; assim, a partir do presente, da Contemporaneidade e suas características, seus problemas, *deve-se* remontar para trás, bem para trás, até o limiar da civilização e reconstruir o caminho complexo, não-linear, articulado, colhendo, ao mesmo tempo, seu processo e seu sentido. O processo feito de rupturas e de desvios, de inversões e de bloqueios, de possibilidades não-maturadas e expectativas não-realizadas; o sentido referente ao ponto de vista de quem observa e, portanto, ligado à interpretação: nunca dado pelos 'fatos', mas sempre construído nos e por meio dos 'fatos', precário e *sub judice*. (...)

Já lembrava Croce: fazer história é sempre fazer história contemporânea, mas – podemos acrescentar – para fazer história contemporânea, temos de reler o presente sobre o fundo do passado e de um passado reconstruído (...) inteiramente, em todas as suas possibilidades e ramificações, até mesmo nos seus silêncios, nas representações sofridas, nos seus atalhos interrompidos. Para colher não só as causas diretas do presente, mas também aquele possível que está diante de nós; aquele diferente que perdemos e que pacientemente podemos esperar recuperar, aquele novo, aquele 'não-ainda', do qual vivemos, ao mesmo tempo, a aurora e a expectativa."⁹

Dois elementos metodológicos da pesquisa historiográfica educacional

Unidades históricas

"Para chegar a seus resultados, todas as ciências põem em prática um procedimento adequado, um caminho factível

e acertado. (...) Como toda disciplina, a história da Educação possui um método para reconstruir a vida educativa das sociedades passadas. (...)

Antes de tudo, a reconstrução da História é incompreensível sem um ordenamento dos fatos que ponha em relevo os grandes períodos da vida da cultura, que divida, acertadamente, todo o passado. A idéia ainda dominante sobre este problema é o antigo esboço 'Idade Antiga, Média, Moderna e Contemporânea'. Na verdade, tal separação não é falsa em suas generalidades. Cada uma das épocas em que se fraciona a História Universal possui características que a diferenciam suficientemente das demais. Além disso, todas elas se acham numa sucessão cronológica e esta permite passar facilmente de uma idade para outra.

Dentro dos grandes marcos de tempo que enchem estes quatro períodos, é possível e conveniente delimitar importantes grupos de fatos históricos com traços não tão gerais como os que definem as 'Idades' mas, por isso mesmo, mais específicos e concretos. (...)

A Lógica chama *unidades históricas* a estes cortes do desenvolvimento humano. A unidade histórica é um conjunto de ocorrências organicamente entrelaçadas, um grupo de acontecimentos unidos de tal forma que dão a impressão de um tecido compacto de tarefas sociais. (...) Nelas se fundamenta a divisão orgânica da História. (...)

Ora, como se demarcam as unidades históricas? Que aspectos fundamentais fixam os limites e o alcance dos grupos homogêneos de acontecimentos que as integram? Que fatores lhes determinam o nascimento e morte no curso da História Universal? (...)

Três são, definitivamente, as grandes vertentes que delimitam as unidades históricas na vida da Educação:

- a) O fator pragmático, ou seja, a eficácia e influência do fato pedagógico na sociedade (futura).
- b) O fator histórico-cultural, isto é, o alimento do qual se nutre o processo educativo em cada tempo e lugar.
- c) O fator progressivo, vale dizer, o avanço didático e dialético, o acerto pedagógico que supera idéias ou instituições precedentes."¹⁰

Tipos históricos de educação

"A pequena importância que se vem dando à inseparável relação entre fato educativo e valores culturais sempre foi obstáculo para compreender com profundidade o papel que a idéia de *concepção de mundo e da vida* e a de *tipo histórico de educação* desempenham na história e teoria pedagógicas. (...) A história da cultura exhibe, em todos os tempos, povos e sociedades que se distinguem nesta maneira peculiar de conhecer, sentir e atuar na vida; neste modo original de interpretar o sentido e o valor da existência, que é, exatamente, o que se denomina uma *concepção do mundo e da vida*.

Para a história da educação este fato se reveste de particular importância. Em geral, as concepções de mundo e da vida que se vão sucedendo no correr dos tempos

⁹ Franco CAMBI, op. cit., p.35-40

¹⁰ Francisco LARROYO, História geral da pedagogia, p. 17-21

encontram certos modelos de vida aos quais as gerações jovens aspiram. (...) As concepções do mundo, em seu aspecto histórico, acentuam seus ideais, de contínuo, numa única direção da vida humana, numa de suas variadas atividades. A concepção do mundo da Idade Média destaca a vida religiosa; nos séculos XVI e XVII deparamo-nos com um acentuado culto da razão (racionalismo).

Precisamente, este relevo dado a tal ou qual atividade humana (...) dá lugar aos *tipos históricos* de educação. Os tipos históricos de educação constituem encarnações históricas em que predomina uma das facetas da cultura; neles não faltam, de forma alguma, as demais atividades humanas. O homem religioso aceita arte e ciência, porém as coloca a serviço de sua concepção teísta ou politeísta (...) Ainda mais: há tipos intermediários. (...)

A história da pedagogia exhibe esta série de tipos em sua evolução e busca suas relações e cruzamentos. (...) Por si mesmos, nenhum deles permite ver as conseqüências últimas que traz consigo o sublinhar, com seus ideais e métodos didáticos, um aspecto da complexa vida educativa; mas uma vez depurados, reduzidos a suas legítimas pretensões mediante uma análise crítica, todos eles nos oferecem materiais de construção no vasto edifício da Pedagogia sistemática. O Oriente revela-nos o valor da tradição; a Grécia, o da personalidade; Roma dá-nos consciência do que é característico do homem (a *humanitas*); o Renascimento, o profundo sentido da vida artística, e assim por diante. (...)

Em resumo: *a história da Pedagogia descreve e compreende a vida educativa através dos tempos, ordenando sistematicamente o material que estuda, graças ao procedimento ou método das unidades e tipos históricos da Educação.*¹¹

A UTILIDADE DA HISTÓRIA DA EDUCAÇÃO SEGUNDO ALGUNS AUTORES

Antônio Nóvoa

“A utilidade da história da pedagogia não pode ser posta em causa. (...) ela é de fato, uma escola de educação, uma das fontes da pedagogia definitiva. Quando se trata de física ou de química, a história destas ciências no passado não é mais do que um assunto de erudição e de curiosidade... Na ciência da educação, pelo contrário, como em todas as ciências filosóficas, a história é a introdução necessária, a preparação para a própria ciência.”¹²

“As ciências humanas são históricas, por natureza, tanto pelos seus objetos como pelos seus modos de conhecimento. Por isso, a história é consubstancial à própria constituição dessas ciências. Os homens que no final do século XIX se bateram pela afirmação científica e institucional da Ciência da Educação perceberam-no claramente. E escreveram, uma e outra vez, que o ensino da pedagogia não podia deixar de ser, simultaneamente, teórico, histórico e prático. (...) Em 1888,

Georges Dumesnil considera que ‘os professores que refletiram sobre a teoria e sobre a filosofia da sua profissão estão mais aptos para resolver as dificuldades práticas com que se deparam no campo da educação’. Na mesma linha de raciocínio, D. L. Kiehle escreve, em 1901: ‘É possível ser um bom professor sem ter qualquer conhecimento da história da educação (...) mas (este) não será um educador.’¹³

Nóvoa defende a História da Educação baseado em quatro idéias:

- “ ‘A História é a ciência de uma mudança e, a vários títulos, uma ciência das diferenças’ (Marc Bloch). A História da Educação deve ser justificada, em primeiro lugar, como História e deve procurar restituir o passado em si mesmo, isto é, nas suas diferenças com o presente. (...) a história é um modo – o mais pertinente, o mais adequado – de bem pôr os problemas de hoje graças a uma indagação científica do passado.

- A História da Educação pode ajudar a cultivar um saudável ceticismo, cada vez mais importante num universo educacional dominado pela inflação de métodos, de modas e de reformas educativas. Aprender a relativizar as idéias e as propostas educativas, e a percebê-las no tempo, é uma condição de sobrevivência de qualquer educador na sociedade pedagógica de nossos dias.

- A História da Educação fornece aos educadores um conhecimento do passado coletivo da profissão, que serve para formar a sua cultura profissional. Possuir um conhecimento histórico não implica ter uma ação mais eficaz, mas estimula uma atitude crítica e reflexiva.

- A História da Educação amplia a memória e a experiência, o leque de escolhas e de possibilidades pedagógicas, o que permite um alargamento do repertório dos educadores e lhes fornece uma visão da extrema diversidade das instituições escolares no passado. Para além disso, revela que a educação não é um ‘destino’, mas uma construção social, o que renova o sentido da ação quotidiana de cada educador.”¹⁴

Lorenzo Luzuriaga

“O estudo da história da educação e da pedagogia é imprescindível ao conhecimento da educação atual, pois esta é um produto histórico e, não, invenção exclusiva de nosso tempo. A educação presente é, com efeito, do mesmo passo, fase do passado e preparação do futuro. (...)

A história da educação, por isso, não estuda o passado pelo passado, tal coisa morta, por pura erudição mas antes como explicação do estágio atual. ‘O passado pelo passado – diz Dewey – não é nosso objetivo. (...) Mas o conhecimento do passado é a chave para entender o presente’. No mesmo sentido, diz o filósofo Karl Jaspers: ‘(...) Nossa vida prossegue, enquanto o passado e o presente não deixam de iluminar-se reciprocamente’.

Por outro lado o estudo da história da educação constitui excelente meio de melhorar a educação atual, porque nos

¹¹ Ibid., p. 22-3

¹² F. BUISSON, apud Franco CAMBI, op. cit., p.11

¹³ Antônio NÓVOA, em: Franco CAMBI, op. cit., p.11-12

¹⁴ Franco CAMBI, op. cit., p.35-40

informa das dificuldades que as reformas da educação têm encontrado, dos perigos das idéias utópicas, irrealizáveis, e das resistências anacrônicas, reacionárias, que a educação tem experimentado. (...)

Mas a história da educação tem, ademais, grande valor educativo em si mesma, porque afaz os que a estudam ao espírito da veracidade e à fidelidade à realidade dos fatos, apura a sensibilidade para os grandes problemas da cultura e da educação e desenvolve o senso de compreensão e tolerância. 'A história nos ensina ainda mais, diz Ziegler: a modéstia, com todo o seu saber e poder, com todas as suas idéias novas; o indivíduo mais não é que pequena mola na grande obra do desenvolvimento histórico'.

(...) Obriga-nos, ao mesmo tempo, a maior rigor no pensar e à fundamentação teórica de nosso trabalho. '(...) Em vez de encerrarmos-nos em nossa época, diz Durkheim, cumpre, ao contrário, sair dela, para que nos subtraímos de nós mesmos, de nossas opiniões estreitas, parciais e partidárias. E é precisamente para isso que deve servir o estudo histórico do ensino'.¹⁵

Francisco Larroyo

"Poder-se-ia dizer que a história da Educação permite ver por dentro as formas como se cultivam as gerações jovens, como se desenvolve na intimidade o processo histórico de cada povo.(...)

Mas é preciso enfatizar que a história da Educação, como qualquer domínio da história da cultura, faz-se a partir da atualidade para melhor compreender a atualidade. (...) Do passado só têm importância histórica os fatos cujo conhecimento contribui para entender o presente. (...)

A ciência da Educação, como todo produto humano, tem história. (...) Cada avanço supõe uma tradição, um degrau superado, mas sobre o qual se apóia. Mais do que em outras ciências, a teoria pedagógica acha-se ligada à história da Educação; ambas se complementam e controlam mutuamente. Compreendem-se de melhor maneira os princípios pedagógicos quando se mostra como se deu sua gestação através da história. (...)

O conhecimento das quimeras (pedagogia utópica) e dos erros pedagógicos é, igualmente, proveitoso. As utopias pedagógicas nos fazem sentir o abismo que há entre a realidade e a ação, entre o possível e o imaginário. Seu fracasso advertem-nos para evitar futuros escolhos e tomar a rota dos ideais factíveis. A história da Educação ensina-nos a ponderar o conflito entre o otimismo pedagógico (tudo pode a Educação) e o pessimismo pedagógico (a Educação nada pode).

Esta disciplina histórica (...) faz-nos pulsar a corda do progresso, dota-nos de certo tato para decifrar o presente em suas possibilidades futuras. Tal experiência é imprescindível à política educativa, aos projetos de reforma pedagógica (...) É notório que não poucos ensaios de reforma fracassam, com tanta freqüência, pelo desconhecimento das tradições e circunstâncias sociais de espaço e tempo.

¹⁵ Lorenzo LUZURIAGA, op. cit., p.9-10

Por conseguinte, como assegura Spranger, a história da Pedagogia não é trabalho estéril de antiquário, mas aquela disciplina que proporciona uma consciência clara e profunda da vida da cultura em suas relações com a Educação.

Em suma: somente com os pés firmados na *tradição pedagógica* estaremos em posição elevada para observar o porvir. "O conhecimento da história da Educação, das idéias dos homens ativos que nos precederam, a familiaridade com os resultados dos fiéis obreiros em campos semelhantes, a intimidade com suas leis, seus fracassos ou triunfos, conseguirão aumentar de muito nosso tato pedagógico, assim como nosso respeito profissional, enquanto ao mesmo tempo nos despojarão de todo vestígio de pedantismo satisfeito consigo mesmo e da submissão servil ao pedantismo arbitrário."¹⁶

René Hubert

"Não há doutrina pedagógica concebível, grande reforma exequível, sem conhecimento geral dos fatos e das teorias do passado."¹⁷

Moacir Gadotti

"O estudo das idéias pedagógicas não se limita a ser uma iniciação à filosofia antiga ou contemporânea. Também não se resume ao que os filósofos disseram a respeito da educação.

Mais do que possibilitar um conhecimento teórico sobre a educação, tal estudo forma em nós, educadores, uma *postura* que permeia toda a prática pedagógica. E essa postura nos induz a uma atitude de reflexão radical diante dos problemas educacionais, levando-nos a tratá-los de maneira séria e atenta.

Por ser *radical*, essa reflexão é também *rigorosa* e atinge principalmente as *finalidades da educação*. Não dá apenas uma resposta geral aos problemas educacionais. De certa forma, ela 'morde' a realidade, isto é, pronuncia-se sobre as questões e os fatos imediatos que nos atingem como educadores.

A filosofia, a história e a sociologia da educação oferecem os elementos básicos para que compreendamos melhor nossa prática educativa e possamos transformá-la. Evidenciam o fato de não podermos nos omitir diante dos problemas atuais. E mais: oferecem recursos para que os enfrentemos com rigor, lucidez e firmeza."¹⁸

APRESENTAÇÃO DA BIBLIOGRAFIA BÁSICA

História da educação ocidental CAMBI, Franco. História da pedagogia

O autor propõe-se a reconstruir/interpretar a "história da pedagogia ocidental (da Antiguidade pré-grega até nossos dias), segundo, pelo menos, três novas perspectivas. (...)

¹⁶ Francisco LARROYO, op. cit., p.33-35

¹⁷ René HUBERT, História da pedagogia, prefácio

¹⁸ Moacir GADOTTI, História das idéias pedagógicas, p.15-16

Em primeiro lugar, (...) trata-se de ultrapassar o primado das idéias e das doutrinas filosóficas para conceder amplo espaço, ao lado das idéias ou teorias, (...) às instituições, aos processos, aos costumes educativos, sublinhando o aspecto social da educação e a centralidade que essa nova abordagem deve assumir em toda a história da pedagogia. (...)

Em segundo lugar, procurou-se em todo o trabalho focalizar os problemas metodológicos da história da educação/pedagogia, relacionando-a com os métodos da *história total* e com um 'fazer história' que se realiza em muitos planos (história da infância, história das mulheres, história da escola, etc.) e segue processos diferenciados, dando vida a uma *polifonia metodológica*, pela qual é possível a efetiva reconstrução de uma história total (ou que tende para tal).

Por fim, procurou-se reconstruir o *tempo histórico* da educação/pedagogia, sublinhando a *descontinuidade* e as rupturas, pondo a nu as escansões e as estruturas, as autonomias das várias épocas, as quais, embora se relacionem e se influenciem, acabam por constituir blocos unitários, dotados de sentido interno e que devem ser reconstruídos na sua diversidade/autonomia, sem forçá-los em direção de continuidades metatemporais (que existem mas que não marcam realmente o processo histórico, o qual procede por blocos, por fraturas, por agregações epocais sistêmicas, por assim dizer)."¹⁹

GADOTTI, Moacir. História das idéias pedagógicas

Antes de ser uma história da educação, este texto propõe-se a apresentar uma história do pensamento pedagógico. Além de ser uma das poucas publicações brasileiras sobre a história da pedagogia ocidental, esta referência tem o mérito de trazer três capítulos incomuns em publicações semelhantes, abordando, respectivamente, o pensamento pedagógico no terceiro mundo, o pensamento pedagógico brasileiro e as perspectivas atuais em educação. A obra é rica em textos dos mais expressivos pedagogos e educadores.

HUBERT, René. História da pedagogia

Dando relevância à influência dos fenômenos sociais sobre a educação, o autor faz uma breve síntese da educação antiga e medieval para então se deter a uma apresentação mais detalhada da história da educação moderna e contemporânea.

LARROYO, Francisco. História geral da pedagogia

O autor apresenta o desenvolvimento da Educação segundo o método das unidades e dos tipos históricos, rompendo com 'um estilo já tradicional e limitado de se fazer história'. O texto traz contribuições inéditas, sobretudo na história da educação nas Américas. Apresenta, ainda, uma das mais abrangentes exposições das idéias pedagógicas.

LUZURIAGA, Lorenzo. História da educação e da pedagogia

Esta obra busca oferecer uma visão de conjunto da história da educação e da pedagogia, não pretendendo ser erudita ou

investigativa. O autor atém-se principalmente às idéias ainda hoje valiosas, às que sobreviveram aos anos e podem contribuir para resolver os problemas do nosso tempo. Neste sentido, a obra tem um caráter cautelosamente pragmático. O autor, acreditando que a educação está relacionada estritamente com a sociedade e a cultura de cada época, trata de relacionar a educação com as concepções sociais e culturais de cada momento histórico.

MANACORDA, Mário A. História da educação: da antiguidade aos nossos dias

'O que lhe proponho é um rápido passeio histórico pela educação através de textos', revela o autor. Procurando escapar a referências indiretas aos documentos originais, por sentir necessidade de 'ler nas entrelinhas e perscrutar as palavras dos autores', Manacorda não abre mão dos textos originais. Sua história, ao basear os aspectos técnicos nos momentos sociais e políticos, deixa um pouco na sombra as idéias pedagógicas. Isto porque se pretende não tanto indagar sobre o pensamento pedagógico em si, mas procurar nele o reflexo e o estímulo do real.

MARROU, Henri-Iréné. História da educação na antiguidade

Nesta obra é retracada a história da educação, aproximadamente, do século X antes de Cristo ao século IV da era cristã. A educação na Grécia e em Roma é revisitada desde suas remotas origens em riqueza de detalhes, o que faz do texto, que já se tornou um clássico da educação antiga, leitura obrigatória para quem busca uma maior compreensão das raízes da educação ocidental.

NUNES, Ruy A. C. História da educação na antiguidade cristã

Com esta obra tem início uma série de publicações deste professor da USP e pesquisador da história da educação. Neste título é enfocada a educação no alvorecer da idade média, período em que se dá a decadência da civilização greco-romana.

NUNES, Ruy A. C. História da educação na idade média

Aqui o autor sintetiza, numa obra que não pretende ser erudita, a história da educação medieval, partindo do esclarecimento de conceitos errôneos sobre este importante período histórico. O autor fornece, ainda, fundamentos de história geral para uma melhor compreensão dos fatos e pensamentos educacionais.

NUNES, Ruy A. C. História da educação no renascimento

Dando continuidade a sua 'história da educação medieval', o autor procura, nesta obra, dar o devido relevo aos aspectos marcantes da história da educação no renascimento e trata, de início, das concepções e fatos pedagógicos para, em seguida, percorrer brevemente, mas do modo mais completo possível, a galeria dos educadores durante o renascimento.

PILETTI, Claudino; PILETTI, Nelson. Filosofia e história da educação

Os autores apresentam uma síntese de três importantes áreas da educação: filosofia da educação; história da educação

¹⁹ Franco CAMBI, op. cit., p.17-18

ocidental; história da educação brasileira. Trata-se de uma boa leitura complementar a textos mais completos.

ROSA, Maria da Glória de. A história da educação através de textos

Acreditando que o estudo da história da educação não pode ser feito exclusivamente através de material teórico, a autora propõe sua 'história através de textos'. Por entender que para a compreensão de uma realidade educativa – ideal ou real – é necessário o conhecimento não só da pedagogia, mas também da História Geral e da cultura em particular, as figuras enfocadas nesta obra são, em alguns casos, poetas, juristas, religiosos, etc., mais do que educadores. Os textos selecionados nem sempre pertencem à obra especificamente pedagógica deste ou daquele educador.

História da educação brasileira

GHIRALDELLI, Paulo. História da educação

Abordando a história da educação e da pedagogia em seus dois principais planos, o das políticas educacionais e o das construções pedagógico-didáticas, o autor percorre a educação brasileira, da Primeira República até o advento da Nova República. Sob a forma de apêndices, são fornecidos os textos de documentos históricos da educação nacional, como o Manifesto dos Pioneiros da Educação Nova.

HILSDORF, Maria L. S. História da educação brasileira: leituras

Neste texto a autora procurou levar em conta as expectativas múltiplas de professores e alunos que solicitam uma obra de referência histórica atualizada, problematizada e crítica da educação. O conteúdo cobre a tradicional divisão histórica em Colônia, Império e República, mas com uma periodização própria, cujas subdivisões são autorizadas pelo diálogo entre a bibliografia mais clássica e a produção historiográfica mais recente.

LOPES, Eliane et al. (orgs). 500 anos de educação no Brasil

Esta obra é uma coletânea de artigos, cada um com um tema, que constituem retalhos de uma mesma peça: a educação brasileira nos últimos 500 anos. O livro aborda, em maior ou menor profundidade, dependendo do assunto, desde a educação colonial até as discussões atuais sobre políticas educacionais. Cada um dos 24 artigos é assinado por um autor distinto.

PILETTI, Nélon. História da educação no Brasil

Trata-se de um texto para o estudante. Inicialmente é discutido o conceito de educação e apresentadas diversas de suas formas. Após refletir sobre as incoerências entre o discurso e a prática educacional brasileiros, o autor percorre desde o período colonial até a aprovação da Lei de Diretrizes e Bases da educação nacional, em 1993. Ao final do texto o autor discute possibilidades educacionais para o presente e futuro.

RIBEIRO, Maria L. S. História da educação brasileira: a organização escolar

Nesta obra a autora faz uma leitura histórica da educação brasileira a partir de um enfoque político-econômico. Busca, a partir daí, captar os fundamentos da organização escolar brasileira. É feito um estudo considerando-se dois elementos, os recursos financeiros e a teoria educacional, como mediadores na solução da contradição *quantidade X qualidade* na educação brasileira.

ROMANELLI, Otaíza de Oliveira. História da educação no Brasil (1930/1973)

Esta é uma das obras de referência para quem deseja conhecer a educação brasileira e tem suas origens na antiga preocupação da autora em compreender a trama das relações existentes entre os fatores que atuam no sistema educacional e respondem pela maioria de seus problemas. Aqui a pedagoga explica por que o êxito da inovação pedagógica está condicionado a variáveis que fogem ao controle da experiência em si. Sobressaem-se, entre elas, as referentes à forma como se organiza e se estrutura o sistema educacional.

SAVIANI, Demerval et al.(orgs). Para uma história da educação latino-americana

Este trabalho é um dos frutos do intercâmbio cultural entre o Brasil e os demais países latino-americanos, intensificado após os exílios políticos nas décadas de 1960 e 1970. Nesta obra, os autores fornecem importantes subsídios para o resgate histórico da educação na América Latina.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, apenas arranha-se a superfície da disciplina História da Educação, cujo conhecimento (dada a forte relação entre a educação e os fatores sociais, econômicos, culturais, políticos, etc.), é altamente recomendável ao professor de engenharia.

Por acreditar que o acesso ao passado educacional é condição necessária para uma abordagem crítica aos atuais desafios educacionais em engenharia, cumpre aqui incentivar os profissionais do ensino de engenharia a conhecer algumas das produções historiográficas em educação. Para uma introdução ao assunto, três planos de leitura, para leitores com diferentes interesses, são sugeridos na Tabela 1. Recomenda-se a leitura dos títulos que tratam da educação ocidental e, somente em seguida, aqueles relativos à educação brasileira, afinal quando dá-se início à colonização do Brasil a educação ocidental já possui dezenas de séculos de história. As obras aparecem na ordem em que deve ser conduzida a leitura.

Estas leituras certamente motivarão, em muitos, o aprofundamento do tema, o que resultará na possibilidade de uma posterior produção científica enriquecida por novos e importantes conhecimentos históricos em educação.

Tabela 1. Planos de leitura

Plano	Títulos	
	Educação ocidental	Educação brasileira
A	MANACORDA CAMBI	ROMANELLI RIBEIRO
B	MANACORDA CAMBI LARROYO ROSA	ROMANELLI RIBEIRO GHIRALDELLI HILSDORF
C	MANACORDA MARROU NUNES (1978) HUBERT ROSA CAMBI	ROMANELLI RIBEIRO GHIRALDELLI HILSDORF LOPES SAVIANI

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMBI, F. História da pedagogia. 1 ed. São Paulo: Editora UNESP, 1999. 701 p.
 GADOTTI, M. História das idéias pedagógicas. 8 ed. São Paulo: Editora Ática, 2001. 319 p.
 GHIRALDELLI, P. História da educação 2 ed. São Paulo: Cortez, 2001. 240 p.
 HILSDORF, M.L.S. História da educação brasileira: leituras. 1 ed. São Paulo: Pioneira Thomson, 2003. 135 p.
 HUBERT, R. História da pedagogia. 3 ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1976. 394 p.
 LARROYO, F. História geral da pedagogia. 1 ed. São Paulo: Editora Mestre Jou, 1970. 1000 p. (tomos I e II)

LOPES, E. et al. (orgs). 500 anos de educação no Brasil. 1 ed. Belo Horizonte: Editora Autêntica, 2000. 606 p.
 LUZURIAGA, L. História da educação e da pedagogia. 19 ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2001. 285 p.
 MANACORDA, M.A. História da educação: da antiguidade aos nossos dias. 10 ed. São Paulo: Cortez Editora, 2002. 382 p.
 MARROU, H. História da educação na antiguidade. 1 ed. São Paulo: EPU, 1990. 639 p.
 NUNES, R.A.C. História da educação na antiguidade cristã. 1 ed. São Paulo: EPU/EDUSP, 1978.
 NUNES, R.A.C. História da educação na idade média. 1 ed. São Paulo: EPU/EDUSP, 1979. 313 p.
 NUNES, R.A.C. História da educação no renascimento. 1 ed. São Paulo: EPU/EDUSP, 1980. 232p.
 PILETTI, C.; PILETTI, N. Filosofia e história da educação. 15 ed. São Paulo: Editora Ática, 2001. 264 p.
 PILETTI, N. História da educação no Brasil. 7 ed. São Paulo: Editora Ática, 2000. 183 p.
 RIBEIRO, M.L.S. História da educação brasileira: a organização escolar. 17 ed. Campinas: Editora Autores Associados, 2001. 207 p.
 ROMANELLI, O. de O. História da educação no Brasil (1930/1973). 25 ed. Petrópolis: Editora Vozes, 2001. 267 p.
 ROSA, M. da G. de. A história da educação através de textos. 13 ed. São Paulo: Editora Cultrix, 2001. 315 p.
 SAVIANI, D. et al. (orgs). Para uma história da educação latino-americana. 1 ed. Campinas: Editora Autores Associados, 1996. 79 p.

DADOS BIOGRÁFICOS DO AUTOR



João José E. Rabelo

Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Ceará - UFC em 1987, mestre em Projetos Mecânicos pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC em 1992. Foi professor efetivo da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC (1990-1992). Desde 1994 é professor do Departamento de Engenharia Mecânica e de Produção da Universidade Federal do Ceará, onde tem lecionado diversas disciplinas da área de Sistemas Mecânicos. Exerceu as funções de coordenador e de vice-coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica. Áreas de interesse: Educação Tecnológica e Sistemas Mecânicos.

CARNOT E A SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

Júlio César Passos¹

RESUMO

O presente artigo apresenta dados históricos sobre as primeiras máquinas térmicas e os avanços da termodinâmica que, em geral, estão ausentes dos livros-textos utilizados em nossas universidades. Especial atenção é dada ao ensaio de Carnot, publicado em 1824, no qual foram apresentados os conceitos de um ciclo térmico ideal que se tornaram às bases da segunda lei e permitiram o desenvolvimento da termodinâmica como ciência. A introdução de elementos de história e filosofia da ciência, no estudo da termodinâmica, pode contribuir para um melhor entendimento dos conceitos sobre a segunda lei.

Palavras-chave: termodinâmica, 2ª lei, entropia, Carnot, ensino de engenharia

ABSTRACT

This paper presents historical data concerning thermal machines and thermodynamics that, in general, are not presented in the textbooks used in our universities. Special attention is given to Carnot's work, published in 1824, in which the concepts of an ideal thermal cycle were presented which became the bases of the second law and allowed the development of thermodynamics as a science. The introduction of elements of the history and philosophy of science can contribute to a better understanding of the concepts relating to the second law of thermodynamics.

Key-words: thermodynamics, 2nd law, entropy, Carnot, engineering education

INTRODUÇÃO

Devido à importância da termodinâmica como disciplina básica nos cursos de engenharia e em particular nos de engenharia mecânica a sua existência representa uma etapa importante na formação dos estudantes, com repercussão no restante da formação do engenheiro mecânico. A experiência mostra que o conteúdo e a forma de ensinar termodinâmica podem influenciar na escolha da ênfase profissional do futuro engenheiro podendo levá-lo para a área de fluidos e ciências térmicas em geral. A termodinâmica clássica, devido à simplicidade de suas premissas e ao grande número de assuntos a que se aplica, foi considerada por Albert Einstein como a única teoria física de conteúdo geral sobre a qual ele estava convencido que dentro dos limites de aplicação de seus conceitos fundamentais nunca seria refutada, ver Kirillin et al. (1976).

O ensino da termodinâmica apresenta dificuldades, principalmente, no que se refere à segunda lei, não apenas para os alunos mas também para os professores. Diferentemente da primeira lei, onde o aspecto quantitativo da conservação da energia é facilmente compreendido, a segunda lei refere-se a aspectos qualitativos sobre a

transformação do calor em trabalho, cujos conceitos mais abstratos destoam daqueles normalmente presentes nas demais disciplinas da formação do engenheiro mecânico. O autor está convencido de que o ensino da termodinâmica permeado de passagens e acontecimentos históricos, sobre o desenvolvimento das máquinas térmicas ou da própria história da ciência termodinâmica, pode contribuir para um melhor entendimento da disciplina. Muitos exemplos podem, inclusive, ser introduzidos na forma de exercícios, envolvendo o cálculo do rendimento das primeiras máquinas térmicas. Estes aspectos são os elementos que motivam esta pesquisa.

Após esta introdução será feita uma síntese dos acontecimentos históricos que mostra algumas das descobertas importantes tanto no campo tecnológico, marcado por inovações e invenções envolvendo as máquinas térmicas, como no campo científico da história da termodinâmica, além de dados sobre a vida de Carnot. Em seguida, serão apresentados dados sobre a obra de Carnot e, finalmente, serão mostradas as principais conseqüências dos conceitos propostos por Carnot (1824).

O objetivo do artigo é fornecer aos que se interessam pelo estudo da termodinâmica informações que, segundo a experiência do autor, poderão auxiliar no ensino da segunda lei.

¹ Professor, Doutor. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, LABSOLAR-NCTS, Centro Tecnológico. CEP 88040-970, Florianópolis, SC. Fone: (48) 234-2161, Ramal: 217. E-mail: jpassos@emc.ufsc.br

Tabela 1. Datas e acontecimentos importantes

Ano	Autor	Fato e comentário	Fonte
1698	Thomas Savery (1650-1715) Oficial do exército inglês, natural da Cornuália, região onde havia exploração de minas de cobre.	Savery apresenta o seu invento a Guilherme III. A máquina de Savery era constituída de uma caldeira e de um reservatório e fora utilizada para retirar a água que invadia as galerias das minas de cobre.	Mantoux (1905) p. 313-315
1705 ou 1706	Thomas Newcomen (1663-1729) Ferreiro e serralheiro, em Dartmouth, no Devonshire.	A máquina de Newcomen sofreu várias melhorias até alcançar a forma prática de 1720 que conservou, com poucas modificações, durante mais de um século. Na máquina de Newcomen, o vapor produzido na caldeira preenchia um reservatório que uma vez em contato com a água fria permitia a criação de vácuo, no reservatório, provocando a descida de um êmbolo, que movimentava um balancim capaz de acionar uma bomba.	Mantoux (1905) p. 315-318.
1783	Lazare Carnot (1753-1823) Pai de Sadi Carnot	Publicação do livro "Ensaio sobre as máquinas em geral", onde discute a forma de se ter uma máquina com funcionamento ideal.	Fox (1978)
1769	James Watt (1736-1819) Fabricante de instrumentos de laboratório que teve dificuldades para trabalhar livremente pois não pertencia à confraria dos instrumentistas. Pôde desenvolver os seus trabalhos por ter sido contratado pela Universidade de Glasgow-Escócia que o nomeou, em 1757, como seu "Fabricante Oficial de Instrumentos Matemáticos". Sobre ele, escreveu Robinson, após ter conhecido Watt, então com 22 anos: "Eu esperava encontrar um operário, encontrei um filósofo".	Primeira patente requerida por Watt para a máquina a vapor. James Watt teve um papel importante no aperfeiçoamento do condensador, além de ter sido o autor de várias patentes importantes, envolvendo inovações tecnológicas, na máquina a vapor. No inverno de 1763 a 1764 teve de consertar um pequeno modelo da máquina de Newcomen, pertencente à Universidade de Glasgow e que era utilizado para demonstração no curso de Física. A grande idéia de Watt foi aperfeiçoar o condensador, fazendo que o mesmo ficasse separado do cilindro. Para poder ler as obras científicas estrangeiras, estudou francês, italiano e alemão. James Watt deixa a Escócia e muda-se para Birmingham-Inglaterra, onde se associa a Matthew Boulton e passam a fabricar a máquina a vapor.	Mantoux (1905) p. 319-341. Sproule (1993)
1774		Expira a patente da máquina de Watt. Chega ao fim a sociedade Boulton & Watt	Sproule (1993)
1800			Sproule (1993)
1822	Jean-Baptiste-Joseph Fourier (1768-1830)	Publicação da Teoria Analítica do Calor	
1824	Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796-1832)	Publica 600 exemplares do livro "Reflexões sobre a potência motriz do fogo e sobre as máquinas adequadas ao desenvolvimento dessa potência"	Fox (1978)
1833	Benoît Paul Emile Clapeyron (1799-1864)	Descobre o trabalho de Carnot.	Fox (1978), Prigogine e Kondepudi (1999), Bejan (1988)
1834		Publica um artigo, no Jornal da Escola Politécnica - França, onde representa o ciclo descrito por Carnot para um gás, em um diagrama pressão-volume (p x V).	
1845	William Thomson (Lorde Kelvin) (1824-1907)	Não consegue encontrar a obra de Carnot e nenhum livreiro conhece a obra. Propõe uma escala absoluta de temperatura, derivada dos conceitos de Carnot Propõe nova escala absoluta (hoje escala KELVIN)	Fox (1978) Dugdale (1996) Dugdale (1996)
1848			
1854			
1860	Rudolf Clausius (1822-1888)	Introduz o conceito de entropia	Prigogine e Kondepudi (1999)
1865		Introduz a grandeza entropia	

Ao longo do artigo serão apresentados trechos colhidos em Carnot (1824) e que serão indicados por “” e cuja tradução feita pelo presente autor pretendeu ser fiel ao espírito da obra original.

CONTEXTO HISTÓRICO

Na Tabela 1, são listados alguns dos acontecimentos importantes que marcaram a época e o pensamento de Carnot e que constituem o prelúdio da história da termodinâmica. Uma completa revisão dos fatos marcantes sobre a história das máquinas térmicas é uma tentação que deve ser evitada pois está além dos objetivos deste trabalho.

A famosa e única obra científica de Carnot, de 1824, publicada em seiscentos exemplares às expensas do autor quando o mesmo tinha 28 anos de idade, tendo por título *Reflexões sobre a potência motriz do fogo e sobre as máquinas adequadas ao desenvolvimento dessa potência* (no original: *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*), apresenta uma reflexão crítica sobre o calor como causa do movimento e sobre a potência motriz manifesta nas máquinas a vapor já bastante conhecidas e espalhadas pela Europa e, particularmente, pela Inglaterra, ver Carnot (1824).

É interessante observar que embora a segunda lei seja apresentada, nos livros e cursos de termodinâmica, após o estudo da primeira lei, tanto uma como a outra surgiram ao mesmo tempo, por volta de 1850, ver Bejan (1988). O princípio de conservação da energia, conhecido em mecânica, é bem mais antigo e a primeira lei da termodinâmica, embora sendo uma aplicação deste princípio para os problemas térmicos, só foi formulada por volta de 1850, conforme citado por Bejan (1988). Considerando-se o caráter fundamental do trabalho de Carnot (1824), pode-se concluir que a segunda lei surgiu antes da primeira.

Os acontecimentos listados, na Tabela 1, mostram dois caminhos relativamente independentes, o da tecnologia e da inovação relacionado com as máquinas térmicas, e o da teoria e do avanço científico. Enquanto o formalismo científico atinge um marco com o trabalho de Carnot e quase quatro décadas depois, já na segunda metade do século dezenove, com o de Clausius, os avanços tecnológicos nas máquinas a vapor, incluindo, aí, as primeiras máquinas de “fogo”, ou bombas de “fogo”, permitiram que essas já operassem por mais de um século e meio, no Reino Unido.

Na Tabela 2, são resumidos alguns dados biográficos de Sadi Carnot, extraídos de Fox (1978).

A OBRA DE CARNOT

“Ninguém ignora que o calor possa ser a causa do movimento e que possua mesmo uma grande potência motriz: as máquinas a vapor, hoje tão difundidas, são uma demonstração visível disto.” No original: *Personne n'ignore que la chaleur peut être la cause du mouvement, qu'elle possède même une grande puissance motrice: les machines à vapeur, aujourd'hui si répandues, en sont une preuve parlante à tous les yeux*. Desta forma Carnot (1824) inicia a apresentação de suas reflexões sobre a potência motriz do fogo.

A obra de Carnot (1824) foi escrita na forma de ensaio, sem divisões, em cento e dezenove páginas, contendo em média dezoito linhas cada. Na página 6 do ensaio, Carnot presta uma homenagem a Savery, Newcomen, Smeathon, ao célebre Watt e a outros engenheiros ingleses, considerados os criadores da máquina de fogo, como era chamada a máquina a vapor. No original: *Si l'honneur d'une découverte appartient à la nation où elle a acquis tout son accroissement, tous les développements, cet honneur ne peut être ici refusé à l'Angleterre: Savery, Newcomen, Smeathon, le célèbre Watt, Woolf, Trevetick et quelques autres ingénieurs anglais, sont les véritables créateurs de la machine à feu; elle a acquis entre leurs mains tous ses degrés successifs de perfectionnements*.

A razão desse ensaio decorria do fato “de se questionar, com frequência, se a potência motriz do calor é limitada ou sem limites: se os aperfeiçoamentos possíveis das máquinas a fogo possuem um limite, que a natureza das coisas impede de ser ultrapassado, qualquer que sejam os meios, ou se, ao contrário, tais aperfeiçoamentos são susceptíveis de um aumento indefinido.” Carnot considera, à página 8, que “ao contrário das máquinas cujos movimentos não dependem do calor e que podem ser estudadas pela teoria mecânica, as máquinas a fogo necessitam de uma teoria semelhante.”

De acordo com Fox (1978) e Prigogine e Stengers (1984), Sadi Carnot teria sido influenciado pelo próprio pai cujo interesse pelo estudo da hidráulica é confirmado pela sua publicação, em 1783 de um ensaio sobre máquinas hidráulicas onde embora nenhuma consideração fosse feita sobre as máquinas térmicas estabelecia as condições para uma máquina atingir o rendimento ótimo (Fox, 1978).

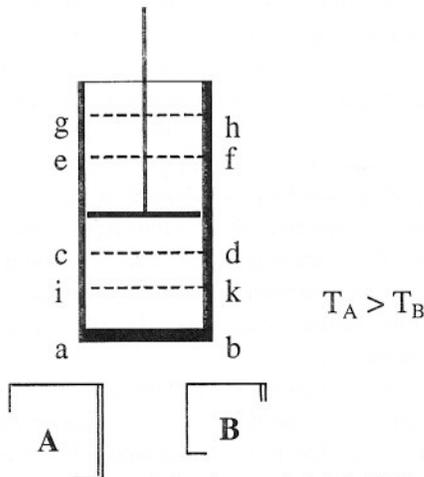
Tabela 2. Dados sobre a vida de Sadi Carnot, Fox (1978)

Ano	Acontecimento
1796, 1º de Junho	Nascimento, em Paris, de Nicolas Léonard Sadi Carnot
1812, Outubro	Ingressa na Escola Politécnica – França. Traduz um artigo, escrito por John Farey, sobre a Máquina a Vapor de James Watt.
1814, Outubro	Sub-tenente, na Escola de Metz
1821, Junho	Viagem à Alemanha
1827, Outubro	Capitão da engenharia
1828, Maio	Demissão do exército como capitão do estado maior da engenharia
1832, 24 de Agosto	Morre aos 36 anos, em Paris, vítima do cólera.

A Descoberta de um Ciclo Ideal

Carnot (1824) descreve um ciclo ideal para um sistema constituído de um gás, contido em um cilindro equipado com um êmbolo livre, sem atrito. Na Figura 1 está representado o esquema semelhante ao apresentado por Carnot, ver também Dugdale (1996). Os corpos A e B representam reservatórios térmicos cujas temperaturas T_A e T_B são constantes e T_A é maior do que T_B . São indicadas quatro posições para o êmbolo. Com o êmbolo, inicialmente na posição c-d, o sistema é colocado em contato com o reservatório A. Na Tabela 3, são apresentadas as diferentes etapas do ciclo térmico idealizado por Carnot (1824).

Carnot enfatiza diversas vezes que o máximo aproveitamento do calor (ou calórico como chamava Carnot) para a produção do movimento ocorreria quando todas as



mudanças de temperatura, no fluido, acontecessem devido a mudanças de volume.

Carnot viu com clareza que os fluidos elásticos (gás ou vapor) são os verdadeiros instrumentos apropriados ao desenvolvimento da potência motriz do calor. Isto ficou registrado, à página 41 do ensaio. “Quando um gás mantido a uma temperatura constante passa de um volume (V_1) e pressão (p_1) para um outro volume (V_2) e outra pressão (p_2) a quantidade de “calórico” absorvido ou abandonado é sempre a mesma, independentemente do tipo de gás.” Carnot chama de teorema esta propriedade, apesar de reconhecer, à página 42, que a quantidade de calor absorvida ou liberada nunca havia sido medida por nenhuma experiência direta. Carnot escreve que durante os processos de expansão ou compressão isotérmica as quantidades de calor absorvida ou liberada pelo gás seguem uma progressão aritmética quando o volume aumentado ou diminuído é submetido a uma variação seguindo uma progressão geométrica.

É importante observar que Carnot não apresentou o gráfico do ciclo termodinâmico por ele descrito. A representação do ciclo idealizado por Carnot foi apresentada por Clapeyron na forma de um gráfico p-V, dez anos depois, em 1834, ver Prigogine e Kondepudi (1999).

Carnot (1824) apresenta de forma clara que o modelo de ciclo por ele idealizado não permite grandes diferenças de temperatura entre o corpo A e o sistema ar, durante as etapas 1, 2 e 6, assim como entre o corpo B e o ar, durante a etapa 4. Matematicamente, tem-se:

$$T_{ar1} = T_A - dT \tag{1}$$

$$T_{ar4} = T_B + dT \tag{2}$$

Figura 1. Experimento teórico de um ciclo ideal (Carnot, 1824)

Tabela 3. Etapas do ciclo ideal apresentado por Carnot (1824), às págs. 32-34

Etapa	Posição do pistão (ver Fig. 1)	Descrição	Característica
1	c-d	O sistema (gás) ocupando o volume abcd é colocado em contato com o reservatório A, à temperatura T_A , e mantido à temperatura $T_A - dT$.	Estado inicial do ciclo
2	e-f	A temperatura do ar é mantida à $T_A - dT$, enquanto o pistão se desloca, gradualmente, entre c-d e e-f.	Expansão isotérmica do ar
3	g-h	É desfeito o contato térmico entre o sistema e o reservatório A, ou qualquer outro corpo capaz de fornecer calor. A expansão do ar, entre e-f e g-h, acarreta uma diminuição da sua temperatura, até $T_B + dT$.	Expansão adiabática do ar
4	c-d	O sistema ar é colocado em contato com o corpo B, sendo comprimido entre as posições g-h e c-d, enquanto a temperatura do ar é mantida à $T_B + dT$.	Compressão isotérmica do ar
5	i-k	É desfeito o contato térmico entre o sistema e o reservatório B. A compressão adiabática do gás, entre c-d e i-k, acarreta um aumento da sua temperatura de $T_B + dT$ para $T_A - dT$.	Compressão adiabática do ar
6	e-f	O sistema é colocado, novamente, em contato com o corpo A e o pistão vai da posição i-k para a posição e-f, sem modificar a sua temperatura $T_{ar} = T_A - dT$.	Expansão isotérmica do ar
7		Continuação do novo ciclo, seguindo as etapas 3, 4, 5, 6 e 7	

As Eqs. (1) e (2) tornam o ciclo quase-reversível e permitem obter as mesmas quantidades de potência motriz, em cada temperatura, quando se opera no sentido inverso, comprimindo o ar, da posição e-f para i-k, ou expandindo o ar da posição c-d para g-h.

Desta forma, desprezando-se qualquer atrito entre o pistão e as paredes do cilindro, a quase reversibilidade é alcançada ao se abolir qualquer transferência de calor através de diferenças finitas de temperatura e qualquer aumento ou diminuição de temperatura do ar que exija contato térmico ou transferência de calor entre o fluido de trabalho e o meio, ou vice-versa.

Antes de descrever o ciclo conforme indicado, na Tab. 3, Carnot (1824) descreveu um ciclo semelhante com vapor. Neste caso, as pressões correspondentes às temperaturas de saturação do vapor, T_A , e do condensado, T_B , são constantes e iguais a p_1 e p_4 , respectivamente, com $p_1=p_2=p_6$.

DESDOBRAMENTOS

A Representação Gráfica do Ciclo de Carnot

A importância dos conceitos apresentados por Carnot foi compreendida por vários estudiosos da termodinâmica e tiveram como consequência a formulação da segunda lei da termodinâmica, na forma como a conhecemos, hoje, ver Prigogine e Kondepudi (1999). Derivam do trabalho de Carnot o conceito de escala absoluta ou escala termodinâmica, que independe do fluido de trabalho, proposto por Thomson, em 1848, e o conceito de entropia, proposto por Clausius, em 1860 e 1865, conforme indicados na Tabela 1.

O ciclo descrito na seção anterior e que representa a principal contribuição para a história da termodinâmica ficou esquecido durante dez anos. Em 1834, Clapeyron o apresentou em um gráfico p-V, representado na Figura 2, sob o nome de ciclo de Carnot.

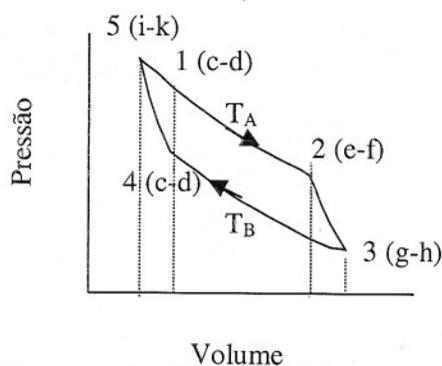


Figura 2. Representação gráfica do ciclo de Carnot, apresentada por Clapeyron

Como está resumido, na Tabela 3, o ciclo é constituído por duas transformações isotérmicas, uma de expansão, onde calor é recebido da fonte quente, à temperatura T_A , e a outra de compressão, onde o calor é entregue à fonte fria, à T_B , e duas adiabáticas, uma expansão, na qual o sistema tem a sua temperatura reduzida de T_A para T_B , e uma compressão, em

que a temperatura é aumentada de T_B para T_A . Esta simples e grande idéia é que possibilitou a Carnot construir um modelo de ciclo, no qual nenhuma irreversibilidade térmica com o meio exterior, do ponto de vista da transmissão do calor, fosse necessária.

O Rendimento Máximo

Carnot (1824) concluiu que a forma acima era a maneira de se obter o máximo de rendimento, com um gás realizando um ciclo em que as modificações de temperatura do gás ou vapor não dependessem de nenhum contato térmico com o meio.

Concluiu que o melhor aproveitamento dependia apenas das temperaturas das fontes quente e fria, T_A e T_B , respectivamente, conforme esquema da Figura 1. Considerando-se a definição de rendimento de um ciclo térmico:

$$\eta = 1 - \frac{Q_B}{Q_A} \quad (3)$$

onde Q_A e Q_B representam as quantidades de calor recebida da fonte quente, a T_A , e cedida à fonte fria, T_B , respectivamente. Aplicando-se a primeira lei da termodinâmica em cada uma das transformações do ciclo de Carnot e a equação de gás perfeito:

$$pV = mRT \quad (4)$$

onde p , V , m , R e T representam a pressão, o volume, a massa de gás, a constante do gás e a temperatura absoluta, respectivamente. Sabendo-se que as transformações adiabáticas reversíveis 2-3 e 4-5, conforme indicado na Figura 2, estão relacionadas pela equação $pV^k = \text{Cte}$, ver Sonntag et al. (1998), Moran e Shapiro (1995), Çengel e Boles (1994): onde k representa o coeficiente politrópico de uma transformação adiabática. Assumindo o ar como um gás perfeito, chega-se à:

$$\frac{V_3}{V_4} = \frac{V_2}{V_5} \quad (5)$$

Permitindo que se demonstre que:

$$\frac{Q_B}{Q_A} = \frac{T_B}{T_A} \quad (6)$$

o rendimento máximo de um ciclo térmico, o chamado rendimento de Carnot, é função apenas da razão das temperaturas absolutas T_A e T_B , conforme equação, abaixo.

$$\eta = 1 - \frac{T_B}{T_A} \quad (7)$$

RÉFLEXIONS
SUR LA
PUISSANCE MOTRICE
DU FEU^a

Personne n'ignore^b que la chaleur peut être la cause du mouvement, qu'elle possède même une grande puissance motrice : les machines à vapeur, aujourd'hui si répandues, en sont une preuve parlante^c à tous les yeux^d.

C'est à la chaleur que doivent être attribués les grands mouvements qui frappent nos^e regards sur la terre ; c'est à elle que sont dues les agitations de l'atmosphère, l'ascension des nuages^f, la chute des pluies et des autres météores, les^g courans d'eau qui sillonnent la surface du globe et dont l'homme est parvenu à employer pour son usage^h une faible partie : enfin les tremblemens de terre, les éruptions volcaniques, reconnaissent aussi pour cause la chaleur.

C'est dans cet immense réservoir que nous pouvons puiser la force mouvanteⁱ nécessaire à

a. du feu] de la chaleur * — b. Personne n'ignore] Tout le monde sait * — c. une preuve parlante] un exemple parlant — d. nos] la plupart des inséré au-dessus de la ligne et rayé — e. [] l'ascension des nuages — f. les] celles des — g. employer pour son usage] utiliser — h. mouvante] motrice *.

Figura A3: Reprodução da primeira página do livro de Carnot, de 1824 (extraída de Fox (1978), p. 59)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEJAN, A. Advanced Engineering Thermodynamics. John Wiley & Sons, 1988, p. 53.

DADOS BIOGRÁFICOS DO AUTOR



Júlio César Passos

Engenheiro mecânico pela Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (EE/UFRJ); mestre pela COPPE/UFRJ e doutor em engenharia térmica pela Universidade Pierre et Marie Curie (Univ. Paris VI)/França, em 1989. Professor Adjunto IV do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina (EMC/UFSC). Foi coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFSC, de maio de 1998 a maio de 2002. Professor visitante, no INSA de Lyon, em janeiro e fevereiro de 2001 e 2002. Leciona as disciplinas de Termodinâmica, Fenômenos de Transporte e Transmissão do Calor, para cursos de engenharia, e Ebulição e Condensação, na pós-graduação (mestrado e doutorado). Linhas de pesquisa: intensificação de processos evaporativos, regime de ebulição nucleada, ebulição confinada, ebulição de misturas de refrigerantes e mudança de fase aplicada à indústria espacial, além de ensino de termodinâmica em engenharia.

CARNOT, S. Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance. In R. Fox, Reprodução do trabalho original de Sadi Carnot de 1824. Librairie Philosophique Vrin, 1978, p. 55-179.

ÇENGEL, Y.A.; BOLES, M.A. Thermodynamics: An Engineering Approach. 2nd ed., McGraw-Hill, 1994, Ch. 5.

DUGDALE, J.S. Entropy and its Physical Meaning. Taylor & Francis, 1996.

FOX, R. Sadi Carnot: Réflexions sur la Puissance Motrice du Feu. Edição crítica com introdução e comentários, ampliada com documentos de arquivos e diversos manuscritos de Carnot, Librairie Philosophique J. Vrin, Paris, 1978.

KIRILLIN, V.A.; SICHEV, V.V.; SHEINDLIN, A.E. Termodinâmica Técnica. Editorial Mir, Moscú, 1976, p. 590.

MANTOUX, P. A Revolução Industrial no Século XVIII. Editora UNESP/HUCITEC, 1905, Cap. IV, 2^a Parte, O ano da edição brasileira não é indicado.

MORAN, M.J.; SHAPIRO, H.N. Fundamentals of Engineering Thermodynamics. 3rd ed., John Wiley & Sons, 1995, Ch. 5.

PRIGOGINE, I.; KONDEPUDI, D. Thermodynamique: Des moteurs thermiques aux structures dissipatives. Ed. Odile Jacob, 1999, p. 58.

PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. A Nova Aliança. Ed. UnB, Brasília, 1984, 247 p.

SERRES, M. Paris 1800. in Éléments d'Histoire des Sciences, M. Serre, Larousse-Bordas, Paris, 1997, Pág. 523.

SONNTAG, R.E.; BORGNAKKE, C.; van WYLEN, G.J. Fundamentals of Thermodynamics. 5th ed., 1998, Ch. 7.

SPROULE, A. James Watt. Editora Globo, São Paulo, 1993.

STENGERS, I. Thermodynamique: La Réalité Physique em Crise. La Découverte, Paris, 1997, p. 42.

PLANIFICAÇÃO DE CONTEÚDOS E DE PROBLEMAS: UM ENSAIO SOBRE A DIDÁTICA DO CONCEITO DE ESTABILIDADE

Marcos Azevedo da Silveira¹

RESUMO

Este artigo discute os sentidos de “estabilidade” e investiga os obstáculos didáticos habituais para a construção dos conceitos associados, o que permite indicar estratégias didáticas para sua construção. A partir deste estudo de caso explora-se a metodologia didática dita ensino concorrente, buscando uma resposta à questão de como escolher os exemplos e problemas (ou projetos) a serem apresentados aos alunos para direcionar seu aprendizado e levar à construção dos conceitos de forma significativa (para o aluno). A técnica assim desenvolvida é sistematizada na forma de um quadro conceitual da disciplina e relacionada com a transposição didática proposta por Perrenoud, na direção de uma pedagogia de competências

Palavras-chave: educação em engenharia, ensino concorrente, pedagogia de competências, aprendizado baseado em problemas, obstáculos didáticos, concepções alternativas, estabilidade

ABSTRACT

The meanings of “stability” are discussed. The usual didactic obstacles for the construction of the associated concepts are investigated, which allows for showing didactic strategies for concept construction. Following this case study the didactic methodology, called concurrent teaching, is explored, looking for an answer of how to choose examples and design problems to be presented to the students, in order to give a direction for their apprenticeship, helping construct meaningful concepts for the student. The technique developed in this work is systematized by a conceptual diagram for the proposed course, here related with the didactic transposition from Perrenoud, pointing towards a pedagogy for competences.

Key-words: engineering education, concurrent teaching, competence pedagogy, problem based teaching, didactic obstacles, alternative conceptions, stability

INTRODUÇÃO

O tema da “estabilidade”, ou melhor dizendo, os conceitos em torno da idéia de “estabilidade”, são centrais em Matemática, Física, Química, Engenharia, Biologia e Ecologia. Algumas áreas, como Controle e Automação, podem ser totalmente organizadas em torno deles. No entanto, professores mais atentos percebem a dificuldade dos alunos e do público em geral em tratar e apreender estes conceitos, como se, permitindo um jogo de palavras, esses conceitos não fossem estáveis ao longo do aprendizado. Vejamos, a seguir, alguns casos que ilustram o problema apontado e que serão usados para direcionar esta pesquisa.

Caso 1: Após projetar corretamente um controlador anulando o efeito assintótico de perturbações, aplicando corretamente o critério de Routh-Hurwitz para estabilizar o

sistema controlado, metade dos alunos (da Silveira 2002) responde à pergunta “O sistema controlado é estável?” com a afirmação: “O sistema é estável porque a saída se anula assintoticamente.” Questionados sobre o uso do critério de Routh-Hurwitz, respondem pragmaticamente: “É uma forma de calcular os parâmetros literais”. Onde foram parar as pacíficas explicações recheadas de exemplos ministradas pelo professor, se só restou uma metodologia pragmática de resolução de um problema tipo, sem espaço para o sentido apropriado de “estabilidade entrada-saída de um sistema linear”?

Caso 2: Encontro com um professor de outra Universidade, da área de Controle e Automação, que me confessa nunca ter entendido os conceitos de “estabilidade absoluta” e “estabilidade relativa”. Em livros textos muito usados (Dorf 1998) encontrei a discussão em torno de uma medida de

¹ Professor Associado, Departamento de Engenharia Elétrica, PUC-Rio. Rua Marquês de São Vicente 225, CEP 22453-900, Rio de Janeiro, RJ. E-mail: marcos@ele.puc-rio.br

“margem de estabilidade” exposta implicitamente como a distância dos parâmetros do sistema à região que limita as condições de estabilidade. Como há vários critérios para reconhecer a estabilidade e cada um usa uma noção diferente de distância, aparece uma coleção de conceitos diferentes (“no plano s”, “no critério de Nyquist”, “no critério de Bode”). Esses conceitos não são consistentes entre si (“margem de fase” com “distância no plano s”, por exemplo). A confusão de significados apontada por meu colega se explica, pois todos os conceitos envolvidos são citados como medidas de uma mesma “estabilidade relativa”, um falso conceito.

Esta confusão reaparece entre “estabilidade” e “robustez”, o segundo termo descrito de forma nebulosa na maior parte dos textos, em discursos envolvendo termos como “sensibilidade” e “sensitividade”, mas sem definição precisa. O encaminhamento matematicamente preciso do conceito só apareceu em 1985 (Vidyasagar 1985), embora de forma incompleta em relação à quantidade de usos encontrados na literatura.

Caso 3: Os meios de comunicação apresentam freqüentemente reações contra a ação do homem quebrando o “equilíbrio” da Natureza, onde o “efeito estufa” é tratado como resultado da ação humana, de conseqüências deletérias. Nesta concepção, a Natureza seria “estável”, admitindo apenas alguns ciclos periódicos, como os das estações. Sem por em questão a influência humana no clima, esta expectativa contraria tudo o que sabemos sobre a instabilidade do clima na Terra ao longo de sua história (La Recherche 2002). Ocorre que vivemos um momento especialmente estável desde a última glaciação. Quanto ao “efeito estufa”, é necessário para a existência da vida no planeta. O mesmo tipo de expectativa aparece sobre uma suposta estabilidade da diversidade de espécies, desde que não haja interferência humana, esquecendo que a maior parte das espécies já havia se extingüido antes do aparecimento do Homo Sapiens: a concorrência entre as espécies e os eventos históricos (contingentes) tendem a diminuir a diversidade, mesmo sem interferência humana. O que significa esta desejada “estabilidade”? Nas frases acima há diferentes sentidos atribuídos ao mesmo termo, o que aumenta a confusão do problema que é, com alguma ironia, psico-político.

As diferentes situações apresentadas acima mostram dificuldades na construção e retenção dos conceitos associados a “estabilidade”. Em todos os casos aparece a dificuldade de apreender o sentido apropriado ao contexto da teoria explicativa em uso, isto é, de apropriar-se do conceito. A palavra é usada pelos alunos ou pelo público, mas fora de seu sentido próprio ou de forma nebulosa. A atenção escorre para outro ponto: ao dizer “o sistema é estável porque a saída tende a zero” o aluno mostra que o sentido do termo passou a ser outro (foi confundido com uma instância particular do conceito de “regulação”), não aquele correspondendo à sua posição conceitual.

O objetivo do presente trabalho é duplo. Em um primeiro plano, discutir os sentidos de “estabilidade” e investigar os obstáculos didáticos habituais para a construção dos conceitos associados. Como conseqüência, indicar

estratégias didáticas para vencer estes obstáculos e para revelar e corrigir as concepções alternativas pré-existentes ou formadas no decorrer do aprendizado, permitindo a construção dos conceitos pretendidos. Em um segundo plano, a partir do caso “estabilidade”, explorar a metodologia didática proposta em (da Silveira, Scavarda do Carmo 1999) e (da Silveira 2001) (ensino concorrente), buscando uma resposta à questão de como escolher os exemplos e problemas (ou projetos) a serem apresentados aos alunos para direcionar seu aprendizado e levar à construção dos conceitos de forma significativa (para o aluno).

Esta questão exige considerar as competências a serem desenvolvidas especificadas no plano curricular, conforme o quadro teórico proposto por (Perrenoud 1999), onde se entende por “competência” a capacidade de articular conhecimentos (informações, conceitos, algoritmos, metodologias, etc.) e habilidades para resolver novos problemas. Das competências especificadas e da estrutura lógica da teoria a ser utilizada, levando em consideração a profundidade e a abrangência dos conceitos e metodologias (conforme os objetivos da disciplina), torna-se possível montar o quadro conceitual da disciplina. Este quadro deve incluir problemas auxiliares (que dirigem e motivam a construção dos conceitos intermediários) e o problema ou projeto focal, que utiliza o conjunto de competências e exige a articulação dos diferentes conceitos e metodologias.

Neste trabalho partimos do princípio de que é relevante o domínio dos conceitos estudados pelos alunos e futuros profissionais. Esta posição, já exposta em (da Silveira, Scavarda do Carmo 1999) e (da Silveira 2001), difere da tradição pedagógica que remonta a Bobbit e Tyler, muito bem apresentada e criticada em (Doll 1993). Não nos interessa treinar os alunos para a resolução de problemas-tipo, tornando-os essencialmente capacitados a fornecer respostas corretas a testes padronizados em tempo controlado (conforme o paradigma taylorista). Acreditamos que o conceito estará construído apenas quando o aluno for capaz de adaptá-lo a novas situações, articulando-o com outros conhecimentos e habilidades para a resolução de novos problemas. Isto é, quando o conceito estiver integrado às competências especificadas nos objetivos do curso. Esta maior exigência é a que encontramos entre as competências atualmente exigidas dos engenheiros para enfrentar o mundo hodierno (ABET 2000; ABENGE 1998; SEFI 2002; Diretrizes Curriculares 2002; George et al. 1996). Ela se impõe a partir da percepção de que o novo profissional irá atuar em um mundo em contínua mudança, tanto tecnológica quanto social, onde novas funções e novos problemas aparecem freqüentemente.

Em trabalhos anteriores expusemos uma teoria pedagógica sobre a construção dos conceitos, partindo de problemas que tenham sentido para os alunos e futuros profissionais. Isto é, de problemas que reflitam suas expectativas e permitam-lhes ter contato com o mundo concreto, mesmo que este seja apenas mimetizado na disciplina que estuda (da Silveira, Scavarda do Carmo 1999; da Silveira 2001). Estes problemas devem exigir as competências especificadas no currículo. Propusemos o que foi chamado de “ensino concorrente”,

lembrando que deveria ser temperado com algum “ensino sequencial”, pois determinadas estruturas conceituais exigem uma ordem de construção, principalmente se contém diferentes níveis de abstração¹. Depois estudamos os obstáculos didáticos, dentro da linha de (Bachelard 1998), que mostrou que todo conhecimento é construído a partir da crítica e reestruturação de um conhecimento anterior. Isto é, o sentido do novo conceito é construído a partir de sentidos (e conceitos) anteriores, reformando e recolocando o universo de significados do aluno (da Silveira 2001). Reforçando esta construção, podemos dizer que todo conhecimento (ou conceito) aparece para responder (ou ajudar a responder) uma pergunta ou problema apresentado dentro de um determinado contexto. Historicamente, este contexto pode ter sido o da própria teoria (e suas exigências lógicas), como ocorre na Matemática dita “pura”. Na formação profissional o problema deve, sempre que possível, ser referido ao contexto profissional, visando a motivação e a justificação do aprendizado frente às expectativas dos futuros profissionais.

Remetemos os significados de “sentido”, “conceito” e “universo de significados” à Semiótica (Eco 1997a; Eco 1997b) ou, em formato aplicado à Pedagogia, a (da Silveira 2001) e (Baruk 1985). Os significados de “conhecimento”, “saberes” e “competências” e sua utilização na organização de currículos são discutidos em (Perrenoud 1998). “Habilidades” e “atitudes” são definidas na (LDB 1996) e em (Diretrizes Curriculares 2002). “Obstáculos didáticos” são a extensão dos “obstáculos epistemológicos” de (Bachelard 1998) ao processo de aprendizado. “Concepções alternativas” são as explicações ou teorias pré-existentes (explícita ou intuitivamente) no intelecto do aluno, ou formadas por apreensão incompleta do problema e/ou do conceito em estudo.

Nas próximas seções serão discutidos o sentido coloquial e os sentidos técnicos de “estabilidade”, apresentados os obstáculos à formação dos sentidos técnicos – donde à construção dos conceitos, e apresentadas sugestões quanto a estratégias didáticas para suplantar estes obstáculos. O problema da planificação do conteúdo e dos problemas/projetos será discutido na penúltima seção. A última seção relaciona o trabalho aqui desenvolvido com a teoria da transposição didática de Perrenoud (Perrenoud 1998), situando o trabalho dentro das discussões atuais na área de educação.

O SENTIDO COLOQUIAL DE “ESTABILIDADE”

O sentido coloquial de “estabilidade” é o de algo que não se move ou de uma variável que permanece constante. O dicionário Larousse (Larousse 1998) indica que “stable” é “qui est dans une situation ferme, solide, qui ne risque pas de tomber; qui se maintient durablement; dont le caractère est

constant”. No dicionário Oxford (Hornby 1978), “stable” é definido como “not likely to move; firm; fixed; free from rolling or pitching (ship or aircraft)”. O dicionário Houaiss (Houaiss, Mauro de Salles 2001) associa, em um longo verbete, estabilidade a (a) firmeza, solidez, imobilidade; (b) condição do que se mantém constante, invariável. Nos significados particulares chega a marcar (c) “ausência de flutuações cíclicas (economia)”.

Este é o sentido do qual devemos partir, aquele que está ancorado na linguagem coloquial, no íntimo do aluno. Aquele ao qual se refere seu mundo afetivo, quando fala da procura de um emprego estável ou de um casamento estável².

Porém, mais que uma situação constante, “estabilidade” remete a uma situação equilibrada, onde forças contrárias se anulam. Este sentido aparece na palavra “equilíbrio”, isto é, “état de repos d’un corps sollicité par des forces qui s’annulent” (Larousse 1998). A frase é construída em torno da possibilidade de instabilidade: fala-se de estabilidade diante da possibilidade de mudanças, da possibilidade de movimento, que estaria sendo anulada dinamicamente, por “forças que se anulam” ou que “se equilibram”. Por trás de “estabilidade” há a idéia de um sistema dinâmico, que pode se mover. A estabilidade supõe que, naturalmente ou forçado, o “estado” do sistema permanece inalterado. “Equilibrar” remete a uma instabilidade inicial, a ser contrabalançada pelo bom equilibrista.

A observação do último parágrafo não é inócua. Não apenas é um bom começo para discutir o conceito técnico ou matemático de “estabilidade”, mas também revela a origem de certo desconforto psicológico em aceitar “órbitas de equilíbrio” não constantes, ou “equilíbrios dinâmicos”, expressão que parece, à primeira vista, ser um contra-senso. O caso 3, na primeira seção, e o significado (c) em (Houaiss, Mauro de Salles 2001), mostram essa dificuldade. Retirar a constância do clima, da saúde ou da economia (onde nem variações cíclicas foram admitidas) remete a situações de insegurança. Um pequeno passo e chega-se à recusa (inconsciente) de guardar o conceito ou mesmo de examiná-lo com cuidado. Os dicionários, sendo sintéticos, não dizem que “estabilidade” pressupõe uma dinâmica. Jornalistas e nossos alunos, mesmo que o tenham aprendido, não querem se lembrar disso. Todos se fixam na imobilidade do estado do sistema, a “saída tendendo a zero”.

Encontramos os primeiros obstáculos à construção dos conceitos a serem construídos e a concepção alternativa correspondente. Antes de discutí-los, será apresentada uma revisão conceitual de “estabilidade” e “robustez”, fixando a linguagem e explorando a extensão do campo conceitual a ser abrangido, porém evitando uma explicação excessivamente formalizada.

UMA REVISÃO CONCEITUAL

O objetivo desta seção não é indicar o caminho didático a ser seguido ou o conteúdo a ser coberto, mas estabelecer

¹ De conjunto a função, dá a grupos de funções, e só então a funtores, por exemplo

² A paixão – e o amor – sempre se imaginam eternos e imutáveis

³ “Equilíbrio”, “equilibre”, “balance”

uma conceituação suficientemente clara e rica para que os diferentes conceitos associados a “estabilidade” possam ser explicitados, as dificuldades didáticas a eles inerentes possam ser exploradas, e os quadros conceituais para diferentes disciplinas (variando objetivos e abrangências) possam ser construídos.

Como visto acima, “estabilidade” remete a um “sistema dinâmico”, isto é, um conjunto de variáveis ou sinais (podendo variar ao longo do tempo) interligados entre si através de propriedades e/ou relações qualitativas e quantitativas. Informalmente, um “sistema dinâmico” é algo que se move dentro de certa faixa de valores, sendo “estável” se suas variáveis relevantes retornam a certa situação de equilíbrio após uma perturbação eventual. Para evitar confusões e acompanhando o uso em engenharia elétrica e de telecomunicações, chamaremos de “sinal” uma função variando no tempo que possa excitar ou ser saída de um sistema dinâmico.

Temos aqui uma das dificuldades do assunto: a complexidade abstrata do conceito de “sistema dinâmico”, cuja apresentação deve preceder, necessariamente, a de “estabilidade”. Um “sistema dinâmico” é uma relação entre funções que variam no tempo, não uma relação entre valores numéricos fixos. Os primeiros sistemas dinâmicos estudados por alunos de engenharia são os sistemas físicos conservativos ou dissipativos, sem termo forçante. Só mais tarde estudam equações diferenciais ou a diferenças, sempre buscando a solução correspondente a uma condição inicial dada e um termo forçante fixo. O conceito de estado de um sistema costuma ser bem fixado a partir do conceito de condições iniciais. Disciplinas tratando de métodos matemáticos (da física ou da engenharia) apresentam a decomposição de sinais (série de Fourier, etc.), mas não o resultado de transformação de sinais por sistemas dinâmicos. A perspectiva epistemológica destas disciplinas costuma ser a do início do século XX, antes do aparecimento da análise funcional, sem integrar o uso moderno do conceito de sistema como um transformador de sinais, essencial em engenharia elétrica, telecomunicações e análise matemática. Só em disciplinas como Sinais e Sistemas, Princípios de Comunicações ou Controle e Servomecanismos os alunos estudam sistemas dinâmicos como transformadores de sinais. O conceito aparece agregado aos sistemas apresentados como exemplo, habitualmente cruzado com a dicotomia entre a descrição temporal e a descrição frequencial (Oppenheim, Willsky 1997), (Dorf, Bishop 1998). A compreensão mais fina do conceito (onde estabilidade e causalidade temporal são propriedade de sistemas e não de funções) exige um trabalho mais profundo além do que é encontrado na maioria dos livros textos.

Precisamos falar também de famílias de sistemas, onde cada sistema está associado a um determinado valor de um parâmetro descritivo, cuja variação (na classe de parâmetros) determina a família. Assim temos três níveis de abstração a representar/construir: sinais, sistemas dinâmicos, famílias de sistemas.

Começaremos esta revisão tratando do conceito de “sistemas dinâmicos” na extensão que será necessária mais adiante (sistemas dinâmicos com entradas e saídas), evitando excessos de formalização. Uma definição completamente formal, seguindo as idéias de Kalman, é apresentada em (Kalman et al. 1969). Depois serão tratados os conceitos de ponto, órbita e comportamento de “equilíbrio”, mostrando diversos de seus avatares. Só então será possível discutir seriamente os conceitos de “estabilidade” e de “robustez”.

Sistemas dinâmicos

Um “sistema dinâmico” é um modelo matemático descrito pela relação entre certas funções variando no tempo (também chamadas de “variáveis ou “de “sinais”), onde está separado o que é influência mútua (aspecto interno ao sistema) do que é influência externa, isto é, as trocas com seu contexto ou “ambiente”.

Por exemplo, no estudo em laboratório das populações de duas espécies concorrentes de bactérias, nos interessa a evolução⁴ das populações de bactérias dentro do reator bioquímico, que sabemos ser afetada pela disponibilidade de nutrientes, pelo pH do meio de cultura, pela quantidade de toxinas liberadas pelas bactérias, pela presença de antibióticos que atinjam mais uma espécie que outra. Devemos separar as variáveis internas do sistema (as populações de bactérias, a quantidade de nutrientes e a quantidade de toxinas) das variáveis externas (mas influenciando o sistema), como o aporte de mais nutrientes, o aporte de antibióticos, ou o aporte de materiais induzindo a variação do pH do meio de cultura. Além disso, devemos nos lembrar que nem sempre podemos medir diretamente as variáveis de interesse. Neste exemplo, medimos a densidade ótica do líquido no reator, no caso de apenas um tipo de bactéria, variável supostamente relacionada à densidade e à população destas. As medidas assim realizadas são um exemplo de variável externa – as saídas.

Na Figura 1 está representado o sistema, onde as variáveis externas foram separadas em entradas (controles ou perturbações que, vindo do ambiente, influenciam o sistema ao longo do tempo) e saídas (variáveis pelas quais o sistema influencia o ambiente e/ou variáveis medidas). O “estado” do sistema, no exemplo, seria descrito pelas populações de bactérias, pela quantidade de nutrientes e pela quantidade de toxinas em um dado instante de tempo. A partir do conhecimento deste estado (em um dado instante de tempo) e dos aportes externos podemos prever a variação futura das populações de bactérias. O fato do sistema ser dinâmico significa que essas variáveis internas mudam ao longo do tempo, interferindo umas com as outras. A modelagem desta interferência e da influência dos aportes externos constitui o sistema em si.

⁴ “Evolução” aqui significa “alteração ao longo do tempo”, e não “melhora” em relação a algum critério de excelência. A polissemia da palavra “evolução” gerou muita má filosofia nos últimos dois séculos, e certa incompreensão da Teoria da Evolução de Darwin

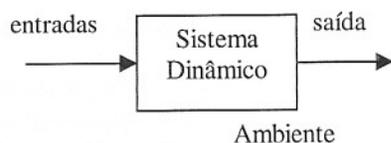


Figura 1. Diagrama de um sistema dinâmico

Seguindo Kalman, um “sistema dinâmico” é composto de:

- um conjunto de tempos admissíveis, ao qual pertence a variável “tempo”, digamos $t \in T$, suposto um subconjunto dos números reais ilimitado na direção positiva;

- um conjunto de “estados”, isto é, um conjunto de valores que podem ser usados como condições iniciais – digamos X , sendo $x(t) \in X$ o estado do sistema no instante t ;

- um conjunto de sinais de entrada $\Omega = \{u(\cdot): T \rightarrow U\}$, onde U é o conjunto de possíveis valores de entrada – as entradas representando as influências do ambiente no sistema, como controles ou perturbações externas, e podem variar ao longo do tempo;

- um conjunto de sinais de saída $\Xi = \{y(\cdot): T \rightarrow Y\}$, onde Y é o conjunto de possíveis valores de saída – as saídas representando os sinais medidos ou as influências do sistema no ambiente;

- a função de estado $x(t) = \phi[t; t_0, x_0; u(\cdot)]$ que, a partir do instante inicial t_0 , da condição inicial $x(t_0) = x_0$ e do sinal de entrada $u(\cdot)$, determina o estado $x(t)$ no instante t ; freqüentemente fornecida a partir da solução de equações diferenciais ou de equações a diferenças;

- a função de medida $y(t) = \eta[t, x(t), u(t)]$, que calcula a saída no instante t a partir do conhecimento de $x(t)$ e de $u(t)$.

Algumas propriedades devem ser exigidas destes conjuntos e funções (cf. Kalman (Kalman et al. 1969))⁵.

Os conceitos que estudaremos são essencialmente métricos. Donde será suposto que:

- U , X e Y são espaços métricos completos; a distância entre $u, v \in U$ sendo denotada por $d_U(u, v)$; analogamente para X e Y ⁶.

No caso mais comum U , X e Y são espaços vetoriais normados completos (espaços de Banach), sendo a métrica derivada da norma do espaço. Denotando a norma de $u \in U$ por $\|u\|_U$, teremos $d(u, v)_U = \|u - v\|_U$, para todo $u, v \in U$ ⁷.

⁵ Uma das propriedades é a causalidade (temporal): o futuro (isto é, $u(t)$ e $x(t)$ para $t < t_0$) não influencia o passado (isto é, $x(t)$ para $t > t_0$), a não ser através da condição inicial x_0 . Uma consequência é que a função de estado só precisa ser bem definida para $t \geq t_0$.

⁶ Uma distância em um espaço X é uma função $d(\cdot, \cdot): X \times X \rightarrow \mathbb{R}$ com as propriedades (a) $d(x, y) \geq 0$, (b) $d(x, y) = 0 \Leftrightarrow x = y$, (c) $d(x, y) = d(y, x)$, (d) $d(x, z) \leq d(x, y) + d(y, z)$ para todo $x, y, z \in X$. Um espaço X é métrico se possui uma distância definindo sua topologia. Será completo se as seqüências convergentes no espaço são exatamente as seqüências de Cauchy (Dieudonné 1969).

⁷ Se $X = \mathbb{R}^n$, por exemplo, a norma euclidiana é dada por $\|x\|_2 = \sqrt{x^T x}$ ⁸. Além do fato de $\|x - y\|$ definir uma métrica em X , a norma possui as seguintes propriedades de compatibilidade com a estrutura de espaço vetorial: (e) $\|\xi x\| = |\xi| \cdot \|x\|$ e $\|x + y\| \leq \|x\| + \|y\|$, para todo $\xi \in \mathbb{R}$ e todo $x, y \in X$.

Notação: Serão supostos conhecidos os conceitos de “bola aberta de centro x_0 e raio ϵ ”, “vizinhança de um ponto x_0 ” e “conjunto aberto”, apresentados nos cursos de Cálculo. Para unificar a linguagem, denotaremos por $V\epsilon(x_0) = \{x \in X: d_X(x, x_0) < \epsilon\}$ a bola aberta de raio ϵ e por $V(x_0)$ uma vizinhança aberta, relativas ao ponto x_0 . Lembramos que uma vizinhança aberta $V(x_0)$ é um conjunto aberto qualquer que contenha uma bola aberta $V\epsilon(x_0)$, para algum $\epsilon > 0$.

Uma perigosa condensação de significados encontrada na prática didática (da Silveira 2002) ocorre entre “condição inicial” e “parâmetro”. A confusão entre os dois termos é comum nos textos usados nos cursos de Economia e Administração para Engenharia, o que explica sua reincidência nas respostas dos alunos (da Silveira 2002). O primeiro termo refere-se a um estado particular do sistema dinâmico, um dos argumentos da função de estado. O segundo termo pode representar, coloquialmente, qualquer valor de interesse, inclusive condições iniciais. Neste texto o termo “parâmetro” será usado exclusivamente para apontar valores ou funções que participam da definição das funções $\phi[\cdot, \cdot, \cdot, \cdot]$ e $\eta[\cdot, \cdot, \cdot, \cdot]$, isto é, da definição de um sistema dinâmico particular. Por exemplo, a taxa de crescimento de uma das bactérias no reator químico citado acima. Mudando a espécie de bactéria, a estrutura geral do modelo permanece, mas o parâmetro “taxa de crescimento” mudará: teremos outro sistema dinâmico.

Eventualmente podemos estar interessados em variar o sistema dinâmico em si, alterando seus parâmetros. Diremos que “variaremos o parâmetro”, o que soa ao aluno tão inconsistente quanto “variando uma constante” se o parâmetro foi dado, inicialmente, como constante. À parte o cuidado de nunca “variando constantes”, é preciso passar a uma representação mais rica, onde a dependência do parâmetro apareça explicitamente:

$$x(t) = \phi\lambda[t; t_0, x_0; u(\cdot)], y(t) = \eta\lambda[t, x(t), u(t)],$$

para $\lambda \in \Gamma$, um conjunto dado. Esta representação exige um novo nível de abstração, pois passamos a falar de “famílias” de sistemas dinâmicos, obtidas pelas variações do parâmetro λ dentro do conjunto Γ .

Comportamento de equilíbrio ou comportamento operacional

A maior parte dos cursos, neste ponto, define o que é um “estado de equilíbrio”: um estado $x^* \in X$ que, se tomado como condição inicial ($x_0 = x^*$), conduz a uma solução constante $x(t) = x^*$. Apesar de sua aparente simplicidade, esta não é a forma natural em Engenharia.

Engenheiros falam de “ponto de operação”, “comportamento nominal” ou “comportamento de equilíbrio”. É o comportamento esperado (ou desejado, ou projetado), para entradas e condições iniciais fixas, e em relação ao qual pode-se falar de um sistema perturbado. O “comportamento operacional” pode ser um comportamento oscilatório ou mesmo crescente, não necessariamente linear ou constante. No modelo acima corresponde a uma quádrupla dada

$[\lambda, u^*(.), x_0, x^*(.)]$ tal que $x^*(t) = \varphi\lambda[t; t_0, x_0; u^*(.)]$, com $x^*(t_0) = x_0$. Isto é, $x^*(.)$ é a função de estado calculável, pela função de estado, a partir dos valores fixos λ , t_0 , x_0 e da entrada fixa $u^*(.)$. O “comportamento operacional” corresponde a uma situação particular, interessante do ponto de vista do engenheiro, que deseja mantê-la contra possíveis perturbações externas ou internas.

Por exemplo, a órbita de um satélite de comunicações, projetada para que este permaneça fixo em relação a um ponto do equador terrestre. Escorregamentos do satélite em sua órbita serão vistos como perturbações em relação à órbita (ou comportamento) nominal. A notar que os escorregamentos podem ser consequência da Terra não ser perfeitamente esférica, isto é, da diferença entre a realidade e o modelo matemático utilizado para projetar a órbita do satélite; ou consequência do atrito do satélite com a atmosfera remanescente, uma típica perturbação externa.

O “ponto de equilíbrio” é o caso particular onde o estado permanece constante, ou seja, $x^*(t) = x^*$, uma constante. “Ponto operacional” é usado no mesmo sentido. São as situações mais comuns, embora não sejam aplicáveis à órbita de um satélite, por exemplo. As opções “comportamento operacional”, “comportamento nominal” ou “comportamento de equilíbrio” deixam claro que o estado não precisa ser constante.

Um outro caso aparece no conceito de “homeostasia” (Odum 1963). No lugar de um “comportamento operacional” associado a uma trajetória escolhida, única, será necessário falar de todo um conjunto de trajetórias definindo o estado “normal” ou “saudável” do sistema. Pragmaticamente, médicos e ecologistas definem esta normalidade usando intervalos de valores admissíveis para variáveis mensuráveis (por exemplo, os níveis de demanda biológica de oxigênio e de demanda total de oxigênio em um meio aquático), definidos por consensos ou estudos. É o que faz o médico ao analisar um hemograma de um paciente: verifica se os números obtidos estão dentro de intervalos referenciais que limitam o risco para a saúde do paciente. Os riscos associados às diferentes variáveis (glicose, HDL, LDL, etc.) são confrontados e, através de um protocolo de análise, o médico define se o atual comportamento físico-biológico do sistema dinâmico “paciente” é saudável ou não. O conjunto das trajetórias possíveis permanecendo na região “saudável” ou “normal” define o “comportamento operacional” neste caso.

O que pode ser perturbado

Queremos falar da capacidade de retorno do sistema a seu comportamento operacional mesmo sob o efeito de perturbações. Então temos de saber o que pode ser perturbado, e como medir o “tamanho” desta perturbação.

Das definições de sistema dinâmico e de comportamento operacional vemos que podemos perturbar:

- o estado do sistema em um dado tempo t : $x(t) \rightarrow x_p(t)$; ou a condição inicial: $x_0 \rightarrow x_{0p}$; (o que vem a dar no mesmo, fazendo $t = t_0$);

- a entrada do sistema: $u(.) \rightarrow u_p(.)$;

- o parâmetro que define o sistema em sua classe: $\lambda \rightarrow \lambda_p$;

onde o índice “p” indica a variável perturbada (a ser considerada no lugar de seu valor operacional ou nominal). Cada um destes casos dará origem a uma teoria diferente.

Sendo X , Ω ou Γ espaços vetoriais, as variáveis perturbadas podem ser representadas como $x_p(t) = x^*(t) + \Delta x(t)$, $u_p(.) = u^*(.) + \Delta u(.)$, $\lambda_p = \lambda^* + \Delta \lambda$, onde $\Delta x(t)$, $\Delta u(.)$ e $\Delta \lambda$ denotam as “perturbações”⁸.

Nos próximos itens serão consideradas perturbações nos diferentes tipos de variáveis citadas acima, o que levará à definição de diferentes tipos de “estabilidade”.

Perturbando apenas o estado: estabilidade tipo Liapunov

Neste caso será suposto que $\lambda = \lambda^*$ e $u(.) = u^*(.)$ são fixos. Absorvendo a variação de $u^*(t)$ ao longo do tempo na definição da função de estado, podemos retirar a dependência explícita da entrada e do parâmetro: $\varphi\lambda[t; t_0, x_0; u^*(.)] \equiv \varphi(t; t_0, x_0)$.

A perturbação ocorre na condição inicial: $x_0 \rightarrow x_{0p}$, x_{0p} denotando a condição inicial perturbada. A perturbação da condição inicial se propaga para todo $t > t_0$ através da função de estado, levando à trajetória perturbada dada por $x_p(.) = \varphi(.; t_0, x_{0p})$.

A definição de estabilidade mais simples e mais utilizada neste contexto é a da “estabilidade assintótica segundo Liapunov”:

(a) Um comportamento operacional $x^*(.) = \varphi(.; t_0, x_0)$ é assintoticamente estável (segundo Liapunov) se existe uma vizinhança V de x_0 tal que,

$$x_{0p} \in V \Rightarrow d[x^*(t), x_p(t)] \rightarrow 0 \text{ quando } t \rightarrow \infty$$

onde $x_p(.) = \varphi(.; t_0, x_{0p})$ representa a trajetória perturbada calculada a partir de x_{0p} .

Esta definição costuma ser apresentada para o caso particular de pontos de equilíbrio, onde $x^*(t)$ é constante. O caso geral só costuma aparecer na disciplinas tratando de sistemas não-lineares, no estudo de ciclos limites.

A definição (a) é essencialmente local: este é a razão da vizinhança V . Para sublinhar o caráter local, cabe considerar exemplos de sistemas não-lineares com pontos de equilíbrio múltiplos (e estudar suas regiões de atração ou de repulsão e as curvas separatrizes) ou ciclos limites. Só depois é possível apresentar pontos de equilíbrio (ou comportamentos operacionais) globalmente assintoticamente estáveis e discutir sistemas lineares com propriedade. Este é o momento de mostrar que aproximações lineares só são válidas localmente.

Sugestões de sistemas não-lineares simples que permitem explorar o conceito são fornecidas a seguir:

⁸ Usamos perturbações aditivas. O uso de perturbações multiplicativas, onde $\lambda_p = \lambda^*(1 + \Delta \lambda)$, às vezes é mais interessante

- i) $\dot{x}(t) = \text{sen}[x(t)]$
- ii) $\dot{x}(t) = x(t)[\alpha - x(t)]$
- iii) $\dot{x}(t) = \alpha x^p(t), p \geq 1$
- iv) $\begin{cases} \dot{r}(t) = \text{sen}[r(t)] \\ \dot{\theta}(t) = r(t) \end{cases}$
- v) $\begin{cases} \dot{r}(t) = r(t)[\alpha - r(t)] \\ \dot{\theta}(t) = r(t) \end{cases}$
- vi) $\begin{cases} \dot{x}(t) = 2x(t) \\ \dot{y}(t) = -y(t) \end{cases}$

(e os sistemas discretos recursivos associados). Sugere-se estudar os diagramas de fase – fáceis de definir e de construir nestes casos particulares - e os gráficos das soluções. Os dois sistemas em coordenadas polares apresentam ciclos limites. As aproximações lineares destes sistemas em torno da origem possuem interesse didático, permitindo mostrar o limite de seu uso. A variação do parâmetro α permite variar o tamanho da região de atração, e explorar profundamente o caráter local do conceito.

A “estabilidade segundo Liapunov” enfraquece a condição de convergência de $x_p(t)$ a $x^*(t)$, trocando-a por uma simples “proximidade” entre as duas soluções (Robinson 1995):

(b) Um comportamento operacional $x^*(.) = \varphi(., t_0, x_0)$ é estável (segundo Liapunov) se para todo $\epsilon > 0$ existe um $\delta > 0$ e um instante $\tau \geq t_0$ tais que: $d(x_{0p}, x_0) < \delta \Rightarrow$ para todo $t \geq \tau$, $d(x_p(t), x^*(t)) < \epsilon$.

Mais explicitamente, $\delta = \delta(\epsilon)$ e $\tau = \tau(\epsilon)$. Esta definição usando “épsilon e deltas”, semelhante à de limites (apresentada na maioria dos cursos de Cálculo) é considerada desagradável pelos alunos – devido ao aumento da quantidade de símbolos e, principalmente, à inversão da ordem da apresentação coloquial dos termos. No caso particular de um ponto de equilíbrio x_0 , podemos trocar as bolas $V\epsilon(x_0)$ e $V\delta(x_0)$ por vizinhanças genéricas V e W do ponto x_0 , mas a segunda dificuldade permanece.

As observações relativas à definição (a) podem ser repetidas, sendo o caráter local firmado pelo uso das duas vizinhanças $V\epsilon(x_0)$ e $V\delta(x_0)$, e o caráter assintótico pelo fato da última desigualdade ser necessária apenas se $t \geq \tau$. A necessidade da inversão discutida acima, inerente às definições de limite e continuidade, e a necessidade dos quantificadores lógicos utilizados, podem ser compreendidos pela análise de casos extremos. Por exemplo, considere o segundo (ou o quinto) sistema entre os apresentados acima. A origem é um ponto de equilíbrio instável para este sistema.

Se $\epsilon > \alpha$ e $\delta = \epsilon$, a implicação da definição (b) é verificada. O que não basta para afirmar a estabilidade, pois, se $\epsilon < \alpha$, para qualquer δ , a solução $x_p(t)$ acaba saindo da bola $V\epsilon(x_0)$, e a implicação não é verificada. O que confirma a não-estabilidade da origem, segundo a definição (b), mostrando a importância do quantificador universal aplicado a ϵ .

No entanto, neste caso, $\|x_p(t)\| < \alpha$ para todo tempo t finito! A solução perturbada permanece a distância limitada (por α) do ponto de equilíbrio – o que não é suficiente para afirmar a estabilidade cf (b)!. Isto é, a estabilidade segundo Liapunov é um conceito mais forte que o expresso pela concepção intuitiva “perturbações suficientemente pequenas da condição inicial mantém a solução perturbada “perto” do ponto de equilíbrio”, se “perto” indica permanecer a uma distância limitada mas fixa. A estabilidade segundo Liapunov inverte a ordem da apresentação: δ (a medida de proximidade da condição inicial) é função de ϵ (a medida da distância máxima da solução perturbada) e não o contrário.

Aqui aparece o principal desconforto dos alunos com a definição (b): a frase simples citada acima entre aspas, que chega a ser apresentada em livros textos como a versão intuitiva de (b), é, de fato, a primeira forma que esta definição assume na intuição do aluno. Esta versão alternativa (mas falsa) precisa ser explicitada e combatida – com exemplos como o acima – para que o conceito expresso por (b) possa ser construído.

A frase intuitiva criticada acima, que não descreve a estabilidade segundo Liapunov, se assemelha a uma primeira formalização do conceito de homeostasia, como este aparece em (Odum 1963), por exemplo. Definidos os conjuntos de estados “saudáveis” e de estados “viáveis”, o organismo está em “homeostasia” se retorna ao conjunto de estados saudáveis sempre que for perturbado, ao menos para perturbações que não o levem para fora do conjunto de estados viáveis, “matando o paciente”.

Formalizando, seja Σ o conjunto de estados “viáveis” ou “admissíveis”, fixo, e W o conjunto de estados “saudáveis”, também fixo. O conjunto W substitui o comportamento operacional usado acima. Basta, agora, que a trajetória perturbada retorne ao interior de W, desde que, em nenhum momento, saia do conjunto Σ :

(c) Diremos o sistema em homeostase se $x_p(t) \in \Sigma$ para todo $t \geq t_0$ e existe um tempo $\tau > t_0$ tal que: $t \geq \tau \Rightarrow x_p(t) \in W$.

Isto é, em $t = \tau$ o sistema retorna ao conjunto de estados “saudáveis”, W, sem restrições à distância entre a condição inicial e o conjunto W. O conjunto Σ é uma garantia: fora dele não há retorno garantido. A homeostase difere da estabilidade segundo Liapunov por não constringer a condição inicial (em Σ), o que torna desnecessário o uso dos quantificadores lógicos e retira seu caráter local. Aliás, mesmo a noção métrica é desnecessária, bastando saber reconhecer a inclusão do estado ou da trajetória perturbada a um determinado conjunto. O segundo exemplo da lista desta sub-seção é homeostático para $W = V\alpha(0)$ ou qualquer conjunto maior. Não é homeostático para qualquer conjunto fechado estritamente contido em $V\alpha(0)$.

Atenção: Biólogos e médicos usam o termo "homeostase" para descrever também a "robustez da homeostase", que será definida adiante. A confusão conceitual impera neste campo, como revela a leitura de (Odum 1963) (um conceituado livro texto no assunto).

Perturbando apenas as entradas: estabilidade entrada-saída

A essência da definição de estabilidade entrada-saída é dada pela frase: "pequenas perturbações na entrada causam pequenas perturbações na saída". Porém, nesta forma, o conceito permanece incompleto (Vidyasagar 1985). É necessário introduzir algum limite ao crescimento do tamanho da perturbação na saída em função do tamanho da perturbação na entrada. Três dificuldades aparecem: o caráter funcional da relação entrada-saída, a medida do "tamanho" de um sinal e o sentido de "amplificação" (ou redução) deste tamanho pelo sistema.

O caráter funcional é obtido fixando-se o estado inicial x_0 do sistema dinâmico (e o parâmetro λ , naturalmente) (Kalman et al. 1969). Para sistemas lineares basta fazer $x_0=0$, isto é, fazer o sistema "inicialmente relaxado" (Chen 1984). Para sistemas não-lineares a escolha depende da trajetória operacional escolhida. Por exemplo, o sistema bilinear unidimensional descrito por:

$$y(t) = x(t), \dot{x} = Wx, x(0) = x_0$$

$$\Rightarrow y(t) = x_0 \exp\left\{\int_0^t Wu(s)ds\right\}$$

leva à saída nula para qualquer entrada $u(\cdot)$, se $x_0=0$. Onde só há interesse em estudar sua estabilidade entrada-saída para condições iniciais não nulas, $x_0 \neq 0$.

A medida do "tamanho" de um sinal exige uma pequena excursão pela Análise Funcional. A dificuldade de medir o tamanho de uma função deve ser percebida pelo aluno, sob pena das definições apresentadas lhe parecerem arbitrarias. As normas mais intuitivas são as normas em l^∞ e L^∞ , pois exprimem a noção de erro máximo em Análise Numérica ou de "pior caso" em Engenharia: o maior valor do módulo da função que descreve o erro ao longo do tempo:

$$\|u(\cdot)\|_\infty = \sup_{k \in Z} |u(k)|$$

e

$$\|u(\cdot)\|_\infty = \sup_{t \in R} |u(t)|$$

conforme o tempo seja discreto ($k \in Z$) ou contínuo ($t \in R$).

Mais difícil é justificar as normas quadráticas em l_2 e L_2 :

$$\|u(\cdot)\|_2 = \left[\sum_{k=k_0}^{\infty} |u(k)|^2 \right]^{1/2}$$

e

$$\|u(\cdot)\|_2 = \left[\int_{t_0}^{\infty} |u(t)|^2 dt \right]^{1/2}$$

conforme o tempo seja discreto ($k \in Z$) ou contínuo ($t \in R$). A generalização da norma euclidiana no R^n ou a noção de energia (um funcional quadrático da trajetória para o problema massa-mola) costumam ser boas introduções. A apresentação destas duas diferentes normas, pelo menos, mostra a não trivialidade do problema, e justifica a introdução deste novo nível de abstração.

A terceira dificuldade leva à nova definição. Suponha a entrada $u(\cdot) \in \Omega$, Ω um espaço normado com norma $\|\cdot\|_\Omega$ (uma das normas acima, por exemplo) e a saída $y(\cdot) \in \Xi$, Ξ outro espaço normado, com norma $\|\cdot\|_\Xi$ (idem). Considere x_0 e λ fixos, $u_p(\cdot) = u^*(\cdot) + \Delta u(\cdot)$, $\Delta u(\cdot) \in \Omega$ a perturbação na entrada, $x_p(t) = x^*(t) + \Delta x(t)$ e $y_p(t) = y^*(t) + \Delta y(t)$ o estado e a saída perturbados em consequência de $\Delta u(\cdot)$.

(d) Diremos o sistema "estável no sentido entrada-saída" para as normas $\|\cdot\|_\Omega$ e $\|\cdot\|_\Xi$ se ocorrerem as duas condições⁹:

i) $\Delta u(\cdot) \in \Omega \Rightarrow \Delta y(\cdot) \in \Xi$;

ii) existe um número real $K > 0$ tal que, para todo $M > 0$, $\|\Delta u(\cdot)\|_\Omega \leq M \Rightarrow \|\Delta y(\cdot)\|_\Xi \leq KM$.

A condição ii) explicita a noção de amplificação de um sinal pelo sistema. Para sistemas lineares, as duas condições são equivalentes, em consequência do Princípio da Limitação Uniforme (Desoer, Vidyasagar 1975). Sua demonstração não é evidente, o que justifica a ausência da segunda condição em boa parte dos livros didáticos da área de Controle e Automação, desde que tratem apenas de sistemas lineares. No entanto, esta condição é o núcleo do conceito de estabilidade entrada-saída para sistemas não-lineares e essencial ao seu uso matemático (mesmo para sistemas lineares, ver as demonstrações em (Chen 1984), por exemplo)! A notar que o número K generaliza a noção de "ganho" usada em Engenharia Elétrica, o que pode ser usado para dar mais um sentido particular à definição (d).

Um comentário técnico

A busca de resultados abrangendo variações simultâneas no estado inicial e nas entradas motiva definições de tipos de estabilidade mais complexos que os apresentados nas duas sub-seções anteriores. Uma situação característica é o estudo de sistemas bilineares ou o de sistemas linear-analíticos descritos por séries de Volterra. A demonstração da convergência da série descrevendo a função de estado

⁹ A segunda condição implica a primeira, mas, didaticamente, ambas devem ser destacadas. Senão há o risco do aluno não perceber que ii) é mais forte que i): a definição não se resume em afirmar que o sistema leva de Ω a Ξ

costuma supor que a entrada é uniformemente limitada, isto é, $\|u(\cdot)\|_\infty \leq \varepsilon$, para algum número real $\varepsilon > 0$. Donde o uso de definições como (Magalhães 1988):

(e) O estado x^* é assintoticamente estável no sentido entrada-saída se existir uma vizinhança W de x^* e um número real $M > 0$ tais que: $\|u(\cdot)\|_\infty \leq M$ e $x_{op} \in W \Rightarrow x_p(t) \rightarrow x^*$ quando $t \rightarrow \infty$.

Esta consideração pode ser estendida a todos os conceitos definidos na seção 3.4. Assim, uma formalização mais completa de “homeostase” exige:

(f) Existe um tempo $\tau > t_0$ e um conjunto limitado $U \subset \Omega$ tais que, se $u(\cdot) \in U$:

$$(x_{op} \in \Sigma \Rightarrow x_p(t) \in \Sigma \text{ para todo } t \geq t_0)$$

e

$$(t \geq \tau \Rightarrow x_p(t) \in W)$$

O retorno ao conjunto saudável W pode ocorrer mesmo sob o efeito de perturbações externas $u(\cdot)$, desde que estas estejam limitadas a U .

Perturbando o parâmetro: estabilidade estrutural e robustez

Embora a primeira aplicação explícita dos conceitos de Liapunov à engenharia tenha sido um problema que era, essencialmente, de perturbações paramétricas¹⁰, e os fecundos trabalhos de Bode, na década de 30 do último século, estudassem a “sensitividade” de um circuito eletrônico como forma de prepará-lo para perturbações em seus componentes, o problema das perturbações paramétricas afetando o comportamento de sistemas de controle só foi considerado com maior profundidade a partir da década de 70. Dos trabalhos de Davison, Francis e Whonan (Francis, Wonham 1975), passando pelas definições matematicamente precisas de Vidyasagar (Vidyasagar 1985), o problema da robustez da estabilidade e da robustez de outras propriedades, como a do servomecanismo assintótico, ainda vem sendo desvendado. No entanto, não há livro didático na área de Controle e Automação que não lhe dedique um bom espaço – o que reafirma sua posição central nesta área do conhecimento. Infelizmente, esta conceituação aparece de forma imprecisa (Dorf, Bishop 1998; Doyle et al. 1992) ou excessivamente técnica (Zhou et al. 1996). A razão desta imprecisão é a tentativa de contornar o uso da parafernália matemática necessária para resolver o problema de robustez (e de estabilidade estrutural) segundo as teorias atuais. Ver (Bhattacharyya et al. 1995; Zhou et al. 1996), por exemplo.

A seguir o problema de robustez (e da estabilidade estrutural) será apresentado no seu contexto mais simples. Ao longo das últimas seções, o sistema dinâmico em estudo

foi suposto fixo, isto é, $\lambda = \lambda^*$. O problema da robustez considera a manutenção ou a perda de propriedades de sistemas dinâmicos quando estes são variados dentro de uma família dada. Para formalizar esta situação mais abstrata usa-se supor o parâmetro λ variando em um conjunto $\Theta \subset \Gamma$, em torno do “parâmetro nominal” λ^* . Assim aparece um conjunto de sistemas dinâmicos descritos por $x(t) = \varphi\lambda[t; t_0, x_0; u(\cdot)]$, $\lambda \in \Theta \subset \Gamma$, com $\lambda^* \in \Theta$. O sistema correspondendo ao parâmetro nominal λ^* é dito “sistema nominal”.

A noção de “robustez” que aparece em Engenharia aplica-se a propriedades dicotômicas, isto é, a propriedades que admitem apenas duas possibilidades: ou o sistema as possui ou não. Exemplos de propriedades dicotômicas são dados pelos conceitos de estabilidade expostos de (a) a (f), pela propriedade de rastreamento assintótico de sinais de referência em classes de sinais pré-especificadas (situação em que se diz que o sistema é um “servomecanismo”), e pela propriedade de rejeição (assintótica, ou na média) do efeito de sinais de perturbação (situação em que o sistema é dito um “regulador”) (Wonhan 1985).

A primeira dificuldade consiste na compreensão da importância do problema. Intuitivamente, a modelagem sempre incompleta ou imprecisa e as modificações do sistema e do controlador ao longo de seu uso são razões primeiras, fáceis de serem apresentadas. A dificuldade do assunto pode ser mostrada através de casos particulares, como o da manutenção da estabilidade (qualquer um dos casos já estudados) frente a perturbações paramétricas simples. Porém, a definição clara do conceito, mesmo em níveis elementares, exige a construção de ferramentas intermediárias segundo uma ordem que iremos explorar a seguir.

A segunda dificuldade é a escolha do conjunto de parâmetros a ser perturbado, Γ , e de sua métrica (isto é, uma noção de proximidade de λ^* em Γ). Os casos mais simples – por onde o professor fatalmente começa a discutir o assunto – são aqueles em que λ é um vetor de coeficientes reais ($\lambda \in R^q$) e a métrica é uma das usuais no R^q . Infelizmente, os resultados teóricos são incompletos e as metodologias ainda pouco satisfatórias (Bhattacharyya et al. 1995). Os casos mais interessantes (do ponto de vista metodológico) são aqueles onde a própria função de estado é perturbada. Aí o conjunto de parâmetros Γ possui dimensão infinita, com todas as complexidades topológicas decorrentes.

Escolhido Γ e sua métrica, há dois tipos de conceitos de robustez: a “robustez qualitativa” e a “robustez quantitativa”. Considere uma família de sistemas dinâmicos descrita por

$$x(t) = \varphi\lambda[t; t_0, x_0; u(\cdot)], y(t) = \eta\lambda[t, x(t), u(t)],$$

para $\lambda \in \Gamma$.

(g) A família paramétrica de sistemas dinâmicos é qualitativamente robusta em relação à propriedade P para variações no parâmetro λ em torno do valor λ^* se existe uma vizinhança $\Theta \varepsilon$ de λ^* em Γ tal que todos os sistemas dinâmicos com $\lambda \in \Theta \varepsilon$ tenham a propriedade P (inclusive o caso $\lambda = \lambda^*$).

¹⁰ Os trabalhos de Vichnegradski sobre a estabilidade da máquina a vapor [Vichnegradskii 1897]

Se $d\Gamma(\dots)$ é uma métrica em Γ , a vizinhança $\vartheta\epsilon$ pode ser trocada por uma bola de raio ϵ em torno de λ^* : $\vartheta\epsilon = \{\lambda \in \Gamma: d\Gamma(\lambda, \lambda^*) < \epsilon\}$. O essencial é que a vizinhança $\vartheta\epsilon$ pode ser pequena, mas nunca um conjunto vazio. Isto é, as perturbações admitidas são livres dentro de uma região tão pequena quanto necessária, mas fixa (existe um $\epsilon > 0$ para o qual a propriedade é verificada).

O outro tipo de robustez pressupõe que um conjunto de perturbações dos parâmetros foi fornecido previamente, e que a propriedade P deve ser mantida para todos os parâmetros neste conjunto.

(h) Uma família paramétrica de sistemas dinâmicos é quantitativamente robusta em relação à propriedade P para variações no parâmetro λ no conjunto $\vartheta \subset \Gamma$ caso (i) $\lambda^* \in \vartheta$ e (ii) todos os sistemas dinâmicos com $\lambda \in \vartheta$ tenham a propriedade P .

Neste tipo de robustez não é exigido que ϑ seja uma vizinhança de λ^* . Genericamente, ϑ é a intercessão de uma vizinhança de λ^* com alguma superfície bem definida em Γ (ver o caso de perturbações sobre sensores, estudado, por exemplo, em (Corrêa, da Silveira 1995)).

Além dos problemas topológicos, há a dificuldade didática da robustez ser um conceito de segundo nível: uma propriedade de permanência de propriedades. Esta questão fica clara se olharmos sua aplicação à manutenção da propriedade de estabilidade, a robustez da estabilidade.

Por exemplo, um sistema linear estável (no sentido entrada-saída) é qualitativamente robusto em relação à propriedade de estabilidade entrada-saída para perturbações no parâmetro $\lambda \in \Gamma$ se existir uma vizinhança $\vartheta\epsilon$ de λ^* suficientemente pequena tal que o sistema perturbado com $\lambda \in \vartheta\epsilon$ ainda seja estável no sentido entrada-saída. A teoria dos sistemas lineares nos mostra que o conceito é supérfluo: todo sistema linear estável no sentido entrada-saída (ou também no sentido assintótico segundo Liapunov) é robusto em relação a esta propriedade. Basta perceber que a robustez qualitativa depende dos pólos pertencerem a um conjunto aberto (o semi-plano complexo aberto à esquerda ou o interior do círculo unitário, de acordo com o tempo ser contínuo ou discreto), donde pequenas perturbações ainda pertencem ao conjunto – desde que suficientemente pequenas.

Para sistemas não-lineares o conceito torna-se muito mais complexo. Nesta linha, um sistema dinâmico linear nominal é “estruturalmente estável” ou “hiperbólico” (cf Smale) se perturbações suficientes pequenas na matriz que o define não alterarem o número de autovalores na região de estabilidade. Isto é, as órbitas do sistema perturbado podem ser homeomorficamente transformadas nas órbitas do sistema nominal. A demonstração desta equivalência e a generalização do conceito a sistemas não-lineares¹¹ – usando transformações de órbitas e topologias cuidadosamente construídas – é o conteúdo da primeira metade de um livro como (Robinson 1995) e foge ao escopo deste trabalho.

¹¹ Trocando homeomorfismos por difeomorfismos, eventualmente

Outra propriedade importante é a de rastreamento assintótico de sinais de referência em uma classe dada. É o caso dos controladores PID, quando os sinais de referência são supostos constantes no tempo. Parte da literatura citada discute condições sobre o controlador para que esta propriedade seja verificada pelo sistema controlado nominal e, também, pelos sistemas perturbados para “perturbações suficientemente pequenas”. A expressão entre aspas é ambígua e é usada no lugar da expressão (g), que é precisa.

O problema torna-se mais complexo se pretendemos passar a (h), a robustez quantitativa, e aí precisamos definir com clareza a medida do “tamanho” de uma perturbação. Tanto para a robustez da estabilidade quanto para a robustez do rastreamento assintótico, há resultados usando normas euclidianas para parâmetros de dimensão finita (ditas perturbações estruturadas) ou para parâmetros de dimensão infinita (ditas perturbações “não-estruturadas”). Graças aos resultados de (Vidyasagar 1985), a métrica a ser estudada, no último caso, é a das classes de Hardy H^∞ (ou, por aproximação, as classes H^2). As explicações em torno dos diagramas de Bode e da “sensitividade” de sistemas lineares que encontramos na literatura didática podem ser vistas como tentativas de tratar do assunto sem enfrentar diretamente a apresentação destas métricas. O que é compreensível em disciplinas de graduação, senão necessário, mas obscurece a estrutura abstrata do conceito e não facilita o uso das técnicas recentes desenvolvidas para atacar o problema do projeto de controladores quantitativamente robustos.

Retornando ao uso do termo “homeostase” em biologia e medicina, encontramos o comentário de que o envelhecimento de um ser vivo pode ser visto como a diminuição de sua homeostase, ou de sua capacidade de homeostase (Odun 1963). Usando a definição (f), esta frase significa que o sistema (o ser vivo) envelhece quando seus parâmetros internos variam de forma que o conjunto de perturbações externas suportáveis (isto é, não destroem a homeostase) diminui. Na linguagem deste artigo, mais precisa, diríamos que a “robustez da homeostase” diminui. Analisando com mais cuidado, vemos que biólogos entendem a homeostase, informalmente, como a capacidade de resposta do sistema a agressões externas ou perturbações internas. A confusão conceitual aparece ao tentarem classificar sistemas como homeostáticos ou não, o que exige definições mais precisas do conceito. Estas levam à separação entre a propriedade em si e a capacidade de mantê-la diante de perturbações (robustez).

OBSTÁCULOS À CONSTRUÇÃO DOS CONCEITOS DE ESTABILIDADE

Uma das contribuições deste trabalho é estudar os principais obstáculos didáticos à construção dos conceitos apresentados na terceira seção, destacando parte das concepções alternativas que encontramos na nossa prática didática (da Silveira 2001; da Silveira 2002). Estes obstáculos serão listados a seguir, acompanhados de sugestões para superá-los.

O sentido pré-existente e as explicações alternativas

O sentido pré-existente é sempre um obstáculo à construção de um novo sentido. No caso em estudo, como mostrado na segunda seção, a linguagem coloquial, encontrada nos dicionários, fornece um primeiro sentido a “estabilidade”, que reaparece repetidamente nas respostas dos alunos (da Silveira 2001; da Silveira 2002). O sentido pré-existente encontra-se integrado ao universo de significados dos alunos: precisa ser exposto e deslocado para dar espaço ao novo sentido. Daí a didática de contra-exemplos proposta por (Bachelard 1998), que assumia que o conhecimento sempre é construído sobre um conhecimento pré-existente. No nosso caso, o sentido original precisa ser integrando aos sentidos mais amplos e mais precisos: todo conhecimento novo inscreve-se sobre um conhecimento anterior.

Esta dificuldade aparece também na tentativa de entender a definição de estabilidade segundo Liapunov (b), que faz aparecer intuitivamente o conceito de homeostase (c), mais fraco que o anterior. Em outras palavras, uma concepção alternativa usual ao conceito (b) é a homeostase (c) com o conjunto normal reduzido ao comportamento operacional. Na seção 3.4 mostramos um exemplo que expõe claramente a diferença entre estes conceitos, obedecendo a (c) mas não a (b). Didaticamente, cabe usar exemplos deste tipo para colocar o aluno em dúvida, expor as duas diferentes concepções e seu conflito, buscando gerar o desconforto que motivará a equilíbrio necessária à abstração reflexiva, isto é, à construção do conceito (Piaget 1995; da Silveira, Scavarda do Carmo 1999). Dado o nível dos alunos, é possível utilizar o recurso à abstração reflexionante, explicitando e discutindo diretamente a dificuldade de aprendizado aqui apontada.

Voltando ao conflito “estabilidade coloquial *versus* estabilidade Liapunov”, exposto na segunda seção, reencontramos uma conhecida dicotomia psicológica e ideológica: estático x dinâmico. Chamar de “estável” um comportamento não-constante, mutável, (o ciclo limite ou um comportamento crescente, por exemplo) é aceitar a mudança e a necessidade da contínua adaptação¹², é negar a fundação conceitual – e ideológica – sobre o imutável¹³. Uma das respostas dos alunos a estas dificuldades é a composição de pseudo-explicações misturando sentidos diferentes (o antigo e o novo) para a mesma palavra¹⁴, gerando frases absurdas para o professor. Outra reação é a construção de um sentido puramente “procedural”, onde o nome do conceito é um índice que remete à um algoritmo arbitrário (isto é, cuja necessidade ou propriedade não foi percebida) para a resolução de um problema-tipo. Uma terceira reação é a construção de respostas imitando a forma do discurso do professor, adicionando os termos sem atentar a seu sentido (Baruk 1985; da Silveira 2001).

¹² E o contínuo trabalho daí decorrente.

¹³ E aí estão as revoluções científicas de Copérnico, Darwin e Freud, solapando as bases psicológicas das verdades imutáveis e universais.

¹⁴ Fenômeno apontado como uma “novilíngua” no livro 1984, de G. Orwell

A percepção simplificada: qualitativo x quantitativo

Modelos quantitativos costumam ser precedidos por modelos qualitativos, que ordenam as idéias. No entanto, alunos de engenharia, já no final do segundo ano, facilmente perdem a visão qualitativa dos modelos empregados frente ao uso repetido de modelos quantitativos, ainda mais se utilizados apenas no modo procedural.

As diferentes formas de estabilidade são propriedades dicotômicas de sistemas: qualidades de sistemas quantitativos. Esta é uma dificuldade inerente à teoria dos sistemas dinâmicos (Robinson 1995), que se mostra maior ainda para o aluno de engenharia habituado a transformar seus problemas na verificação de critérios numéricos quantitativos. A linguagem precisa ser cuidadosamente preparada, a seqüência de conceitos deve ser construída com atenção: espaços de perturbações → topologias neste espaço → conjuntos de perturbações admissíveis → definições de estabilidade ou robustez. A fuga para o falso conceito qualitativo deve ser prevista, como o trocar a qualidade “estabilidade” pela diminuição assintótica do valor da saída. Neste caso particular, sugerimos fornecer exemplos de sistemas BIBO-estáveis com entradas crescentes, mostrando que a saída pode ser ilimitada, e exemplos de sistemas instáveis com saídas assintoticamente nulas.

Nível de abstração: sinal x sistema

O conceito de sistema como uma relação entre sinais direcional (no tempo) não é de aprendizado imediato. É uma relação entre funções, um nível a mais de abstração. Alunos tendem a trocar “sistema” por “sinal”, isto é, “sistema estável” por “sinal estável”. Também esquecem, nas simulações, que entradas senoidais (ruídos, por exemplo) provocam oscilações estacionárias (da Silveira 2002). Sugerimos a análise de exemplos onde a resposta de um mesmo sistema é calculada para diferentes entradas, algumas limitadas, outras ilimitadas (considerar sistemas estáveis e sistemas instáveis). Sugerimos também fazer aparecer o diagrama de Bode via amplificação e defasagem estacionárias de sinais senoidais. Este tipo de análise deve ser repetido, eventualmente, ao analisar o comportamento dos sistemas controlados, pois as concepções alternativas, firmemente ancoradas no universo de significados do aluno, podem ser muito resistentes...

As representações similares para sistemas e sinais provocam o reaparecimento da confusão conceitual. É o caso das funções de transferência e das transformadas de sinais, ambas funções racionais (para sistemas lineares de dimensão finita). Sugestões para evitar este problema: uso de notações diferentes, como $G(s)$ e $\hat{u}(s)$; exigência de fazer os cálculos separando explicitamente umas das outras (até a última linha, quando o produto gera a transformada de um sinal). O aviso explícito desta questão durante a aula teórica não costuma surtir efeito (da Silveira 2001). Daí a necessidade de colocar questões que façam aparecer o problema.

A direção imposta pela causalidade temporal faz a relação sistêmica interferir nos argumentos das funções. Como sistemas dinâmicos costumam ser introduzidos de forma intuitiva, um momento de reflexão matemática – levando à

construção do conceito – é necessário, explorando sistemas onde a causalidade e a anti-causalidade apareçam com clareza, como:

$$y(t) = \int_0^t u(\tau) d\tau$$

e

$$y(t) = \int_t^{\infty} u(\tau) d\tau$$

e

$$y(k+1) = u(k)$$

e

$$y(k) = u(k+1)$$

Estabilidade x robustez

O conceito de robustez remete a famílias paramétricas de sistemas, um terceiro nível de abstração. A robustez em si é uma propriedade de propriedades, o que deve ser refletido pela nomenclatura, evitando termos como “estabilidade relativa”, evitando problemas como o descrito no Caso 2. Os níveis de abstração só podem ser percebidos se a ordem conceitual é preservada: sinal → sistema → estabilidade → reguladores → sensibilidade e robustez, ao contrário do que encontramos na literatura didática (Dorf, Bishop 1998). A procura de reguladores robustos só faz sentido depois do aluno ter compreendido que há servomecanismos não (qualitativamente) robustos ou reguladores estabilizantes não (quantitativamente) robustos.

O caso da homeostase é exemplar: compreender o discurso do biólogo exige a separação do conceito definido em (f) da “robustez de homeostase”, o que não encontramos na literatura. Ao contrário, em (Odun 1963) (um livro muito conceituado), o termo refere-se à homeostase, como em (f), à robustez de homeostase e à presença de mecanismos de realimentação respondendo ao efeito de perturbações externas.

O cálculo pelo conceito

A desistência da construção do conceito, quer por parte do aluno quer por parte do professor, leva à substituição do conceito pelo procedimento de cálculo ou pelos procedimentos de resolução de problemas-tipo. É a situação em que o professor se satisfaz com pouco: as avaliações da disciplina exigem apenas a resolução de problemas-tipo previamente apresentados em aula (ver os livros da coleção Schaum, (Distefano et al. 1967), por exemplo). É o que denominamos acima de “definição procedural”: o conceito é trocado pelo procedimento de cálculo.

Aqui cabe diferenciar duas posições didáticas opostas. A primeira, “procedural”, tende a apresentar problemas-tipo, explicar sua resolução e, depois, tentar aprofundar o conceito.

Corresponde ao ensino puramente técnico e à noção de “instrução”, como defendida pela escola norte-americana de Bobbit e Tyler. A segunda começa com problemas significativos (para o aluno) que despertem uma forma inicial do conceito, buscando fazer aparecer sua necessidade e motivar a busca de algum algoritmo de resolução. Só depois são apresentadas metodologias gerais, vistas como sistematizações das descobertas feitas pelos alunos.

A segunda posição é a do construtivismo, assumida no ensino concorrente: o conceito constrói-se contra o problema e contra o conhecimento prévio, e não como resumo de métodos que funcionam dentro de uma determinada gama de aplicações.

O simples precede o complexo e o torna incompreensível

Para sistemas lineares a estabilidade é sempre global, as condições de estabilidade assintótica segundo Liapunov e estabilidade entrada-saída se confundem, e as diversas estabilidades entrada e saída (L_p , $p \geq 1$) se equivalem. Na apresentação habitual os conceitos são inicialmente apresentados na forma particular aos sistemas lineares, o que leva o aluno a concluir que há conceitos em excesso, que estes podem ser condensados em um único procedimento. Por exemplo: para sistemas lineares controláveis e observáveis (a situação quase onipresente nos cursos iniciais), verificar a estabilidade assintótica ou a estabilidade entrada-saída reduz-se a verificar se os pólos do sistema estão na região de estabilidade. O aluno, pragmaticamente, reduz os dois conceitos a um procedimento único: verificar onde estão os pólos do sistema. Mais uma vez o procedimento toma o lugar dos conceitos.

Este caminho torna necessário, mais tarde, um grande esforço para mostrar que estabilidade é um conceito local, que estabilidade assintótica e estabilidade entrada-saída são conceitos diferentes, etc. Não apenas os conceitos são obscurecidos, mas é dobrado o esforço para apresentá-los sobre sistemas não-lineares. Temos mais um argumento na direção da construção inicial dos conceitos já explorando sua riqueza, o que implica a apresentação de uma gama suficientemente rica de sistemas não-lineares e de exemplos, fazendo aparecer e contradizendo as concepções alternativas.

PROPOSIÇÃO DE UMA ESTRUTURA CONCEITUAL

O tipo de análise didática apresentada neste trabalho permite especificar estruturas de apresentação para os conceitos associados à noção de estabilidade, pontuando-as com os cuidados necessários para a construção dos conceitos, de forma a levar em conta as concepções alternativas, prévias ou emergentes.

Um exemplo é a estrutura conceitual para um curso inicial de Sistemas de Controle, cujo objetivo seja capacitar o aluno a projetar reguladores e servomecanismos (para sistemas lineares simples), com o domínio dos conceitos para isto necessários. A partir de:

- (a) ordem lógica dos diferentes conceitos de estabilidade,
- (b) definições e conceitos necessários para projetar servomecanismos e servomecanismos robustos,
- (c) questões e problemas motivadores para estes conceitos; os conceitos e problemas foram organizados em blocos, compondo o esquema da Figura 2.

Na Figura 2, cada bloco deve ser enriquecido com as observações recolhidas nas seções anteriores. Os blocos marcados com linha dupla representam questões intermediárias, porém essenciais para mostrar ao aluno a necessidade dos conceitos a serem construídos.

Correspondem a “problemas auxiliares” (caixa dupla) que devem ser apresentados a partir de exemplos extremos, onde apareça claramente a necessidade dos conceitos¹⁵. Assim são exemplos de aproximações locais com domínio de validade pequeno, exemplos onde a falta de estabilidade conduz a catástrofes, exemplos onde pequenas perturbações invalidam o controlador, levando à perda da estabilidade

¹⁵ Este processo de descoberta a partir de casos extremos é muito utilizado em matemática (na procura das hipóteses sob as quais um resultado é válido), e é bem exposto em (Gould 1992), na análise de como Darwin construiu a Teoria da Evolução

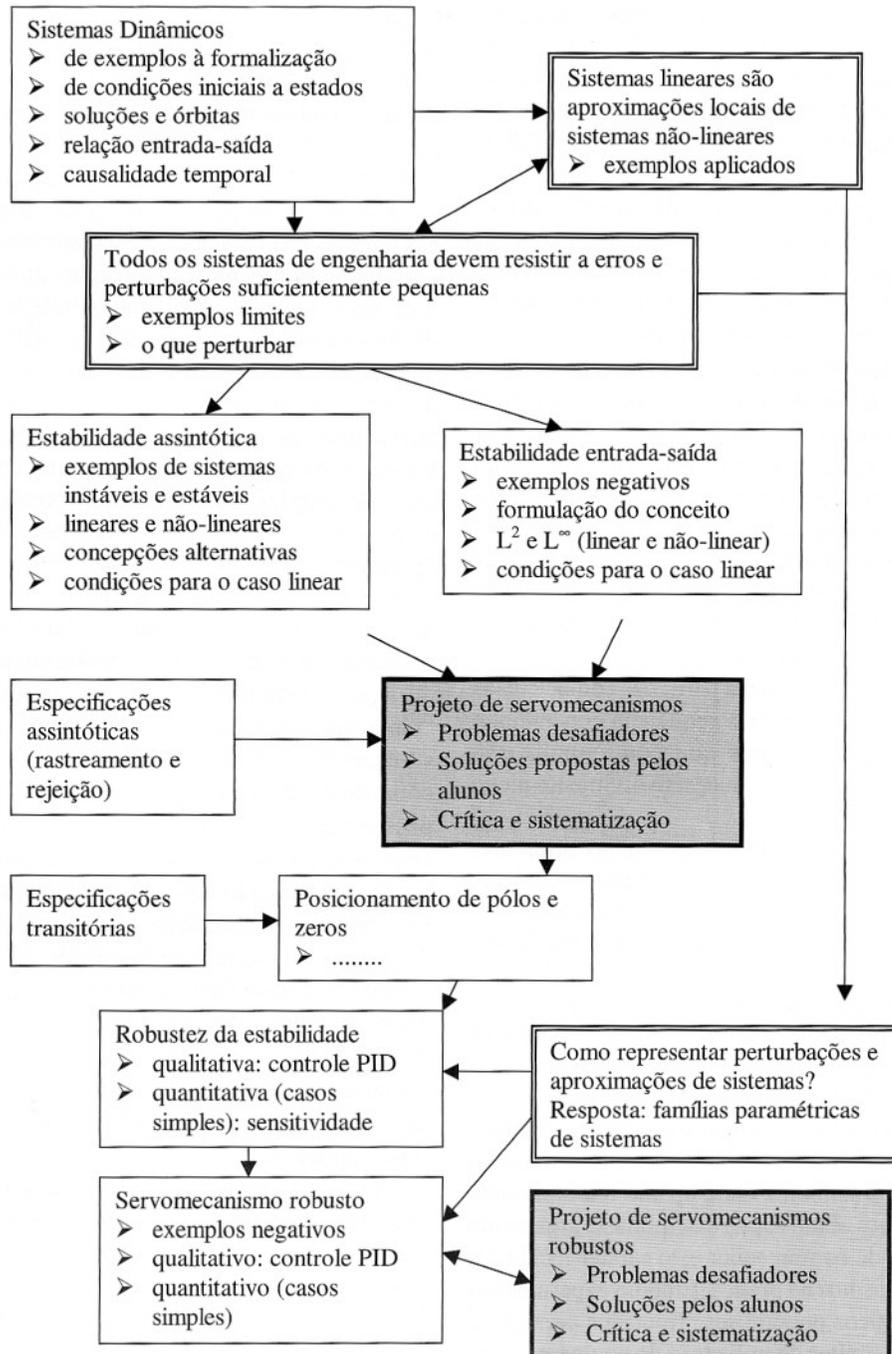


Figura 2. Diagrama conceitual de Controles & Servomecanismos

assintótica e/ou da estabilidade entrada-saída, ou exemplos onde não há robustez de todo. A necessidade leva ao sentido do conceito. Conceitos aparentemente arbitrários, isto é, aqueles cuja necessidade não foi percebida, tendem a ser descartados pelo pragmatismo dos alunos (atitude compartilhada pelos professores enquanto pesquisadores).

Os blocos conceituais centrais (caixa cinza) precisam considerar desafios e exemplos que tragam à discussão as concepções alternativas. O bloco de projeto de servomecanismos é o centro deste diagrama: corresponde ao objetivo principal da disciplina. Os conceitos da disciplina orbitam em torno deste bloco. O problema (ou projeto) a ele associado será dito “problema focal”. Sugerimos usar problemas desafiadores e contextualizados (isto é, referidos ao mundo da vida dos alunos e ao objetivo do curso). Esta metodologia está discutida em (da Silveira, Scavarda do Carmo 1999; da Silveira 2001), e remete à moda atualmente vigente na área de educação (Diretrizes Curriculares 2002; Perrenoud 1997).

Os demais blocos apresentam definições (a definição de servomecanismo, por exemplo), a serem justificadas com exemplos contextualizados, ou conceitos/teorias, a serem explorados e exemplificados frente aos obstáculos didáticos e às concepções alternativas já identificados.

Aparecem assim duas seqüências a serem explicitadas:

i) uma seqüência de problemas contextualizados com a função de motivar e orientar o questionamento dos alunos na direção das competências a serem desenvolvidas; uma seqüência conceitual, formada por questões intermediárias e conceitos, ordenada pela lógica interna da teoria e pontuada por exemplos (que podem ser apresentados como problemas e desafios) cuja função é justificar definições, tornando-as necessárias para o aluno, e fazer aparecer as concepções alternativas, mostrando sua impropriedade.

A arte do professor consiste em, a partir das competências a serem desenvolvidas, organizar a seqüência conceitual e escolher problemas motivadores que contextualizarão conceitos e métodos, dando-lhes um desenvolvimento pleno de sentido.

Uma última observação é que competências diferentes exigem a exploração dos conceitos e teorias em profundidades e abrangências diferentes, alterando o diagrama conceitual. No exemplo desta seção não há necessidade de considerar a estabilidade segundo Liapunov, bastando considerar a estabilidade assintótica. Esta escolha simplifica em muito o trajeto teórico a ser exposto. Desaparece, inclusive, o problema apontado de tomar o conceito de homeostase pelo de estabilidade segundo Liapunov.

O autor insiste, no entanto, na apresentação de exemplos não-lineares de forma a fixar o caráter local dos conceitos estudados – embora, à primeira vista, apenas a teoria linear esteja sendo exigida nos objetivos da disciplina. O argumento aqui é a necessidade de compreender este caráter local para construir servomecanismos na prática. Embora experimentos em laboratórios didáticos possam ser projetados para que o aluno não perceba os limites de utilização do equipamento (e freqüentemente o são), esta situação não corresponde àquela

encontrada por engenheiros em situação reais, mesmo simples. O problema focal, sendo contextualizado, deve recuperar esta característica prática (o projeto realizado a partir de um modelo linear pode deixar de funcionar devido a não-linearidades não consideradas no modelo) para atender à competência central a ser desenvolvida, que é referida à prática profissional¹⁶.

DAS COMPETÊNCIAS AO CURRÍCULO

Seguindo o exemplo de preparação da estratégia didática para uma disciplina determinada (Controles e Servomecanismos) foi possível construir uma metodologia que esclarece as etapas centrais da cadeia de transposição didática proposta no trabalho seminal de Perrenoud (Perrenoud 1998), na passagem das competências ao currículo formal (planejado), com indicações importantes para que o currículo real acompanhe o formal. A cadeia de transposição didática de Perrenoud possui várias etapas seqüenciais, que serão revistas a seguir à luz do que já foi visto.

Assumimos no presente artigo as “competências em obra nas práticas [profissionais]” estabelecidas previamente. Para a etapa seguinte na transposição didática, “análise dos recursos cognitivos mobilizados (saberes, etc.) e esquemas de mobilização”, propusemos a análise conceitual com indicação dos conceitos centrais, de ordem e relações teóricas, dos obstáculos didáticos, das possíveis concepções alternativas (a serem pesquisadas entre as possibilidades lógicas e na prática de sala de aula, com os alunos), dos contra-exemplos, e das questões e problemas que justificam e motivam os conceitos e teorias. Aqui tomamos por “esquemas de mobilização” tanto as motivações (contextualização e desafios) que mobilizam afetivamente o aluno, quanto os esquemas permitindo a construção de conceitos (pelo aluno) com significado pertinente¹⁷.

Resolvemos a etapa seguinte de transposição didática, “hipóteses quanto ao modo de gênese das competências em situação de formação”, assumindo que parte se faz por construção de conceitos significantes e parte frente a problemas ou desafios contextualizados onde as competências são exigidas, na forma de ensino concorrente.

Organizamos a etapa “dispositivos, situações, conteúdos planejados da formação = currículo formal” a partir do diagrama conceitual expandindo blocos e escolhendo exemplos e desafios & problemas & projetos a serem enfrentados. Esta última escolha, no caso do exemplo utilizado, é apresentada explicitamente em (da Silveira 2001), com comentários sobre a reação dos alunos do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC-Rio, onde a metodologia vem sendo aplicada.

A preparação para a etapa de transposição “dispositivos, situações, conteúdos efetivos da formação = currículo real”

¹⁶ E não apenas a um discurso interno à Teoria de Controle, capítulo Sistemas Lineares

¹⁷ Reencontramos o conceito kantiano de “esquemas”, explorado em (Eco 1997b)

aparece no levantamento dos obstáculos didáticos e concepções alternativas, realizado tanto teoricamente (a priori) quanto experimentalmente, na aplicação iterada da metodologia (da Silveira 2001). Neste mesmo texto há uma avaliação considerando a penúltima etapa proposta por Perrenoud, “experiência imediata dos formados” e analisando em primeira instância a última etapa “aprendizados duráveis dos formados”.

Em cada etapa foi necessário retornar às competências, referenciadas às práticas profissionais, como ocorreu, por exemplo, na última observação da seção anterior. Este procedimento quebra a linearidade do diagrama e da teoria da transposição didática mostrados por Perrenoud. Uma apresentação mais realista de seu diagrama – tendo em vista sua aplicação – exige a separação de etapas referenciais, a serem usadas e modificadas em toda a sua seqüência, e etapas de realização ou avaliação, fechadas na sua posição. Este será o assunto de outro trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABENGE, Proposta para as diretrizes curriculares para engenharia, Brasília, 1998, <http://www.abenge.br>.
- ABET Engineering Criteria 2000, <http://www.abet.ba.md.us/EAC/eac2000.html>.
- BACHELARD, G. *La Formation de l'Esprit Scientifique*. Paris: Librairie Philosophique J. Vrin, 1998.
- BARUK, S. L'Âge du Capitaine. Paris: Éditions du Seuil, 1985.
- BHATACHARYYA, S.P.; CHAPPELLAT, H.; KEEL, L.H. Robust Control: The Parametric Approach. Upper Saddle River, MA: Prentice Hall, 1995.
- CHEN, CHI-TSONG. *Linear System Theory and Design*. Oxford, GB: Oxford Um. Press, 1984.
- CORRÊA, G.O.; SILVEIRA, M.A. da. On Robust Asymptotic Tracking: Perturbations on Coprime Factors and Parametrization of All Solutions, *IEEE Trans. Aut. Control*, V. 40, n 1, pp. 107-111, January 1995.
- DESOER, C.A.; VIDYASAGAR, M. *Feedback Systems: Input-Output Properties*. New York: Academic Press, 1975.
- DIEUDONNÉ, J. *Foundations of Modern Analysis*. New York: Academic Press, 1969.
- DIRETRIZES CURRICULARES Nacionais para os Cursos de Engenharia, Resolução CNE/CED 11 de 11/03/2002, publicada no DO da União de 09/04/2002, Seção 1, p. 32, www.mec.gov.br.
- DISTEFANO III, J.J.; STUBBERUD, A.R.; WILLIAMS, I.J. *Schaum's Outline of Theory and Problems of Feedback and Control Systems*. NY: Schaum Pub. Co., 1967.
- DOLL Jr., W.E. *A post modern perspective on curriculum*. Pittsburg: Teachers College, 1993.
- DORF, R.C.; BISHOP, R.H. *Modern Control Systems*. New York: Addison Wesley, 1998.
- DOYLE, J.C.; FRANCIS B.A., TANNENBAUM, A.R. *Feedback Control Theory*. Macmillan, New York, 1992.
- ECO, U. *Tratado Geral de Semiótica*. São Paulo: Perspectiva, 1997.
- ECO, U. *Kant e l'Ornitorinco*. Milano: Bompiani, 1997.
- FRANCIS, B.A.; WONHAM, W.M. The internal model principle for linear multivariable regulators. *J. Appl. Math. Opt.* V. 2, 1975, pp. 170-194.
- GEORGE, M.; BRAGG, S.; SANTOS, A.; DENTON, D.; GERBER, P.; LINDQUIST, M.; ROSSER, J.; SANCHEZ, D.; MEYERS, C. *Shaping the Future*. Washington D.C., USA: National Science Foundation, 1996, <http://www.nsf.org>.
- GOULD, S.J. *The Panda's Thumb: Reflections in Natural History*. New York: W. W. Norton, 1992.
- HORNBY, A.S. *Oxford Advanced Learner's Dictionary of Current English*. Oxford, UK: Oxford Un. Press, 1978.
- HOUAISS, A.; VILLAR, M. de S. *Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa*. Rio de Janeiro: Objetiva, 2001.
- KALMAN, R.E.; FALB, P.L.; ARBIB, M.A. *Topics in Mathematical System Theory*. New York: McGraw-Hill, 1969.
- LA RECHERCHE, juillet-aout 2002 (Numero Spécial Mer), *Tableau Comparatif*, pp. 34-35.
- POCHE, L. de. Paris: Larousse-Bordas, 1998.
- LDB, Lei nº 9.304 de 20 de dezembro de 1996, que estabelece as Diretrizes e Bases da Educação Nacional (DOU de 23/12/96), <http://www.mec.gov.br>.
- MAGALHÃES, M.C.B. de. *Estabilidade de Sistemas Não Lineares via Séries de Volterra*, Tese de Doutorado. Departamento de Matemática, PUC/RJ, 1988.
- ODUM, E.P. *Ecology*. NY: Holt, Rinehart and Wiston, Inc., 1963.
- OPPENHEIM, A.V.; WILLSKY, A.S. *Signals & Systems*. Upper Saddle River, MA: Prentice Hall, 1997.
- PERRENOUD, P. La transposition didactique à partir de pratiques: des savoirs aux compétences, in *Revue des sciences de l'éducation (Montréal)*, Vol. XXIV, n. 3, 1998, pp. 487-514.
- PERRENOUD, P. *Construir des compétences dès l'école*. Genève, Suisse: ESF éditeur, 1997.
- PIAGET, J. *Abstração Reflexionante*. Porto Alegre, Brasil: Ed. Artes Médicas, 1995.
- ROBINSON, C. *Dynamical systems: stability, symbolic dynamics and chaos*. Boca Rato, Fla: CRC Press, 1995.
- SEFI (European Society for Engineering Education), <http://www.ntb.ch/SEFI>, 2002.
- SILVEIRA, M.A. da. *Conceitos, Sentido e Competências: Aplicando o Ensino Concorrente*, *Revista Brasileira de Ensino de Engenharia (ABENGE)*, Vol. 20, n. 2, dezembro 2001, pp. 15-25.
- SILVEIRA, M.A. da. *Entrevistas com alunos de Controles e Servomecanismos/DEE/PUC-Rio*, 2002.
- SILVEIRA, M.A. da; CARMO, L.C.S. do. *Sequential and Concurrent Teaching: Structuring Hand's-On Methodology*, *IEEE Trans. Education*, Vol. 42, n. 2, pp. 103-108, May 1999.
- VYSCHNEGRADSKII, I.A. *On Controllers of Direct Action*, publicado originalmente no *Izv. SPB Tekhnolog. Inst.*, 1877.
- WONHAM, W.M. *Linear multivariable control, a geometric approach*. Berlin, Springer, 1985.
- ZHOU, K.; DOYLE, J.C.; GLOVER, K. *Robust and Optimal Control*. Upper Saddle River, MA: Prentice Hall, 1996.
- VIDYASAGAR, M. *Control System Synthesis*. Cambridge, Mass: MIT Press, 1985.

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.

GPA_{REDE} – UMA PROPOSTA DE AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM PELA INTERNET¹

Luciano Andreatta Carvalho da Costa², Marco Aurélio Lisboa Silveira³,
Guillermo Juan Creus⁴ & Sérgio Roberto Kieling Franco⁵

RESUMO

Este artigo apresenta um estudo interdisciplinar baseado em um ambiente virtual para avaliação da aprendizagem em engenharia estrutural. Propõe-se o sistema de avaliação chamado GPA_{REDE} (Gerador Parametrizado de Avaliações para a web), que possibilita ao aluno a realização de exercícios on-line bem como ferramentas para a avaliação formativa. Também é possível o desenvolvimento de portfólios virtuais, de modo a possibilitar ao aluno disponibilizar na web a sua produção.

Palavras-chave: ambiente virtual, avaliação da aprendizagem, construtivismo, engenharia estrutural

ABSTRACT

This paper presents an interdisciplinarity study based on virtual environment for learning assessment in structural engineering courses. It is proposed a web evaluation system called GPA_{REDE} (Assessment Parameter Generator for web), that allows to student makes on-line questions as well as tools for formative student assessment. The evaluation system also allows a development of students portfolios, that shows the student work through the web.

Key-words: virtual environment, learning assessment, constructivism, structural engineering

INTRODUÇÃO

A avaliação consiste num dos elementos mais polêmicos do processo de ensino/aprendizagem. Neste contexto, o presente trabalho objetiva reduzir as características traumáticas de exames avaliativos e melhorar seus resultados formativos. O grupo de pesquisa é formado por um aluno de pós-graduação, outro de graduação, um professor da Engenharia e um professor da área da Educação. Teve início a partir da proposição de uma dissertação de mestrado (COSTA, 2000), e se concretizou a partir da continuidade no trabalho de doutorado.

Neste artigo será apresentado o GPA_{REDE}, um sistema de avaliação gerenciado através da Internet, o qual pode ser usado em cursos presenciais ou on-line. É possível a realização de testes bem como a auto-avaliação do aluno.

Nas próximas seções será apresentado um referencial teórico baseado em princípios e idéias construtivistas voltados para a concepção de ferramentas para a avaliação da aprendizagem. Em seguida será brevemente descrito o sistema que está sob implementação.

REFERENCIAL TEÓRICO

Um dos precursores das idéias construtivistas foi Jean Piaget, que desenvolveu a chamada Epistemologia Genética, teoria que descreve os diferentes estágios cognitivos através dos quais uma criança passa enquanto constrói um modelo do mundo (Piaget, 1982, 1978). Esta teoria é muito abrangente e possui, além de suas aplicações pedagógicas, interfaces com a Biologia e a Psicologia. A partir do presente referencial teórico, será focada a avaliação da aprendizagem e suas

¹ Tradução para o português do Trabalho GPA_{REDE}: *an automated evaluation system for web*, publicado na Conferência Internacional da American Society for Engineering Education de 2002, Montreal, Canadá, junho de 2002.

² Estudante de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Av. Osvaldo Aranha, 99, 3º andar, CEP 90035-190, Rio Grande do Sul. E-mail: luciano@cpgec.ufrgs.br

³ Estudante de graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Av. Osvaldo Aranha, 99, 3º andar, CEP 90035-190, Rio Grande do Sul. E-mail: msilveira@cpgec.ufrgs.br

⁴ Professor Titular, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Av. Osvaldo Aranha, 99, 3º andar, CEP 90035-190, Rio Grande do Sul. E-mail: gcreus@cpgec.ufrgs.br

⁵ Professor Adjunto do Departamento de Ensino e Currículo da Faculdade de Educação da UFRGS. E-mail: franco@edu.ufrgs.br

implicações na melhoria das relações pedagógicas entre professores e estudantes usando princípios construtivistas.

Participação ativa do estudante

Observando a história da epistemologia, podemos identificar três diferentes abordagens: o empirismo, o apriorismo e o construtivismo (Flavell, 1965). De acordo com o empirismo, a aprendizagem baseia-se na transmissão do conhecimento, sendo o estudante um receptor passivo. O professor tem o poder que o conhecimento lhe garante, e a essência desta abordagem está em extrair dados dos próprios objetos. Na abordagem apriorística a ênfase está nos estudantes, que direcionam suas aprendizagens através de seus conhecimentos prévios.

A abordagem empirista foi eficiente nas eras industrial e pré-industrial, quando o acesso à informação (livros, periódicos) era difícil. Aulas tradicionais foram projetadas para transmitir informação de um professor para classes com um grande número de alunos.

Atualmente, na era da informação, a aplicação e a constante atualização dos conhecimentos passam a ter prioridade, pois a evolução do conhecimento se tornou muito rápida. Para acompanhar essa constante evolução, os alunos precisam estar voltados para a auto-aprendizagem, para poder transformar informação em conhecimento.

De acordo com o construtivismo, a ênfase deve ser dada no processo, isto é, na evolução do conhecimento durante as atividades de aprendizagem. O conhecimento é construído como uma espiral ascendente a partir de uma reconstrução iterativa. O mais importante são as relações estabelecidas durante o processo.

Em um processo de ensino-aprendizagem baseado na visão construtivista, a participação ativa do aluno consiste num dos elementos mais importantes. Esta participação não deve ser limitada apenas ao conteúdo da aprendizagem, devendo os estudantes refletir também sobre a forma como o seu conhecimento é construído.

As tecnologias da informação podem facilitar as aplicações de uma aprendizagem construtivista. Crown (2001) descreve um aplicativo desenvolvido em linguagem Java para o ensino de expressão gráfica para um curso de engenharia a partir de uma interface interativa. De acordo com o autor, desafios propostos a partir de um aumento crescente no grau de dificuldade usando diferentes técnicas de visualização possibilitam ao estudante desenvolver um nível mais avançado de compreensão. Este é um exemplo representativo da importância da participação ativa dos estudantes possibilitada por um ambiente virtual de aprendizagem.

Outro exemplo é o projeto de experimentos práticos através de uma aprendizagem por acesso remoto (PEARL, 2001), que apresenta uma oportunidade para ampliar o acesso a experimentos reais que, do contrário, poderiam somente ser oferecidos para aqueles habilitados a ter um equipamento de laboratório adequado. Este projeto, liderado pela Open University, promove o acesso remoto a uma série de atividades de laboratório.

Participação dos estudantes no processo de avaliação

Conforme foi mencionado anteriormente, a auto-reflexão dos alunos sobre sua evolução cognitiva é importante. Um exemplo desta reflexão pode ser encontrado em uma experiência onde os próprios alunos elaboram as questões, dividindo-se a classe em dois grupos. Cada grupo, com assistência do professor, teve que formular questões para o outro grupo, construindo desse modo um positivo ambiente de participação, adequado para a aprendizagem:

[...]o processo avaliativo deve ser democrático, claro, transparente e honesto. É impossível conceber um processo cooperativo de aprendizado funcionando junto com um processo autoritário de avaliação. Isso implica que os aprendizes devem também estar envolvidos na decisão do que deve ser avaliado.” (BAZZO et al., 2000, p.226)

Ressaltamos também a importância de se trabalhar aos pares (Ramos, 1999), lembrando que os alunos podem estar mais aptos a identificar as formas de aprendizagem dos seus colegas do que o professor.

A tecnologia a serviço da pedagogia

É importante deixar claro que a verdadeira transformação ocorre efetivamente nas relações pedagógicas. Transportar um livro ou uma aula tradicional para a Internet não significa mudar concepções. A mudança de paradigma deve estar centrada na pedagogia ativa. Comunicação e informação tecnológica podem ser auxiliares pedagógicos fundamentais na construção do conhecimento (Alava, 2002).

Um exemplo importante dessa aplicação tecnológica está presente no Massachusetts Institute of Technology, que no seu projeto chamado Open University disponibilizará na Internet os materiais didáticos dos professores.

[...]a partir da disponibilização de todo os seus conteúdos didáticos, o MIT não está somente se abrindo para o mundo, pois essa experiência poderá revolucionar a forma de difusão do conhecimento”. (SHUTE, 2001, p.19)

É importante reforçar novamente que esta informação precisa ser transformada em conhecimento.

Nesta proposta de avaliação usando ferramentas computacionais, a auto-avaliação se torna mais fácil porque os alunos passam a ter mais autonomia pelo uso da tecnologia. O estudante se torna autônomo assumindo algumas tarefas do professor tradicional (PETERS, 2001): reconhecendo necessidades, escolhendo objetivos, selecionando o assunto das matérias, projetando o plano de estudo, encontrando materiais didáticos e mídias, identificando fonte de conhecimento complementares e coordenando, controlando e avaliando o processo de aprendizagem.

Avaliação construtivista

Aqui é descrita uma ferramenta pedagógica de avaliação baseada na visão construtivista. Nesta proposta, são

utilizadas avaliações feitas através de um *web site*. O resultado das provas e comentários estão incluídos na avaliação. É importante listar alguns cuidados necessários na elaboração de questões em provas feitas por computador (CROFT et. al., 2001): definir claramente quais habilidades ou métodos serão testados, evitar questões que necessitem de muito cálculo e apresentar explicações adequadas.

Uma das chaves para um processo de avaliação mais justo é considerar toda a produção dos estudantes. As provas representam apenas uma das alternativas para se avaliar o aluno (ROVAI, 2000), não devendo se sobrepor às demais formas de expressão e construção do conhecimento. O desenvolvimento de portfólios é fundamental para se obter uma avaliação baseada no paradigma construtivista. Porém, a viabilidade prática do acompanhamento de toda produção do aluno não é de fácil execução. Para obter a reflexão e comentários dos estudantes sobre sua própria produção é necessário providenciar adequados meios de comunicação. Portanto, é fundamental assegurar um ambiente de aprendizagem integrado e cooperativo, de tal forma que os alunos possam refletir sobre seus erros e acertos e discutir questões e exercícios desenvolvidos pelo professor.

São estas discussões que darão subsídios para que se possa identificar situações didáticas que promovam o conhecimento, tornando possível o modelo meta-cognitivo (HELIGHEN & JOSLYN, 2001).

A Avaliação Formativa deve ser um processo integrador. A diversificação e a quantidade dos instrumentos de avaliação como elementos possibilitadores de uma avaliação integrada ao processo de ensino-aprendizagem (Ramos, 1999) convergem com a proposta de avaliação construtivista aqui apresentada. Na próxima seção serão descritas as ferramentas desenvolvidas no sistema de avaliação para se obter a Avaliação Formativa.

Webfólios

A auto-avaliação e os comentários dos estudantes incluídos em portfólios são importantes para o processo de avaliação. Como o GPA_{REDE} é um sistema projetado para a *web*, o espaço preparado para mostrar o trabalho dos estudantes será chamado de Webfolio.

O dispositivo de ensino-aprendizagem deveria fornecer ao estudante certas informações que lhe permitisse situar-se frente às aprendizagens realizadas e às aprendizagens por realizar. O acesso a um dossiê do estudante, em que se pode obter informações sobre os textos pelos quais passou, as atividades que realizou e as avaliações e resultados obtidos, poderia ajudá-lo a gerir melhor sua conduta de aprendizagem. (ALAVA, 2002, p.117)

Aqui novamente podemos identificar elementos mencionados no referencial teórico. O estudante conduzindo sua aprendizagem leva a uma valorização do processo de ação/reflexão. Esta é uma grande diferença introduzida pela tecnologia: se torna mais fácil compartilhar documentos, manter suas produções atualizadas e receber orientações do professor via Internet.

GPA_{REDE} – UM SISTEMA DE AVALIAÇÃO AUTOMATIZADO PARA A WEB

O GPA_{REDE} é um sistema gerenciador da avaliação da aprendizagem, que permite a constante interação entre professor e alunos, a geração de provas e o desenvolvimento de webfólios. O sistema foi implementado usando um banco de dados do Microsoft Access, arquivos do Microsoft Excel e diversos arquivos de figura, texto e animações. A figura 1-a mostra a página inicial do aluno no sistema, o qual dá uma

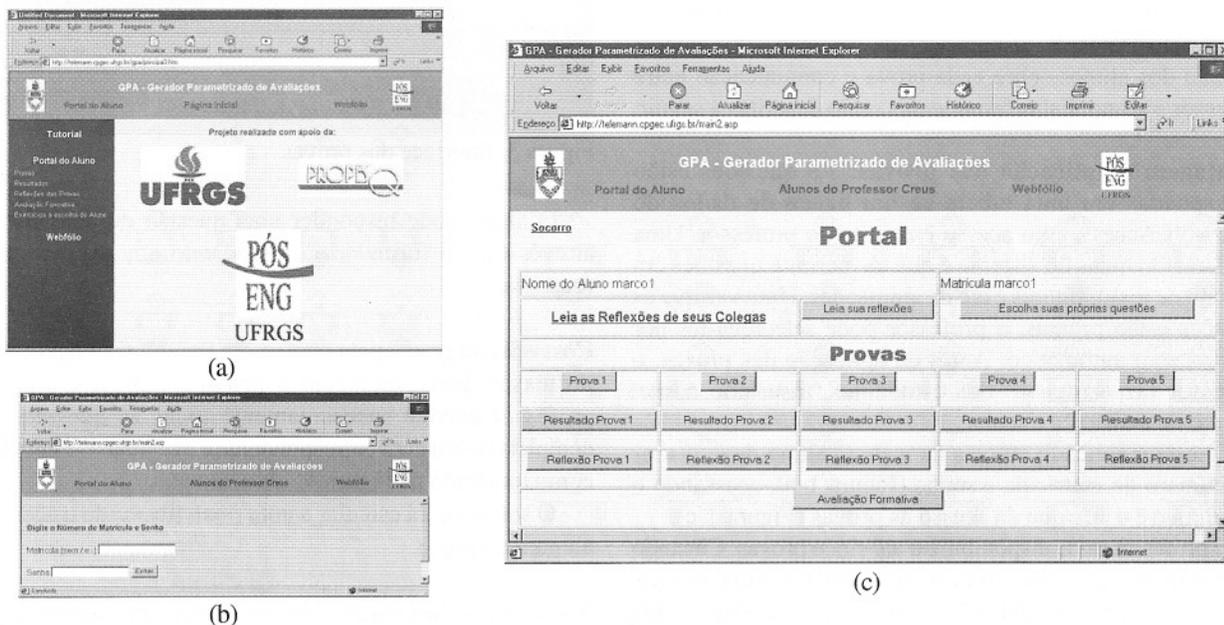


Figura 1. Páginas iniciais: a) Página inicial do sistema para o aluno; b) Inserção do número de matrícula e senha; c) Portal

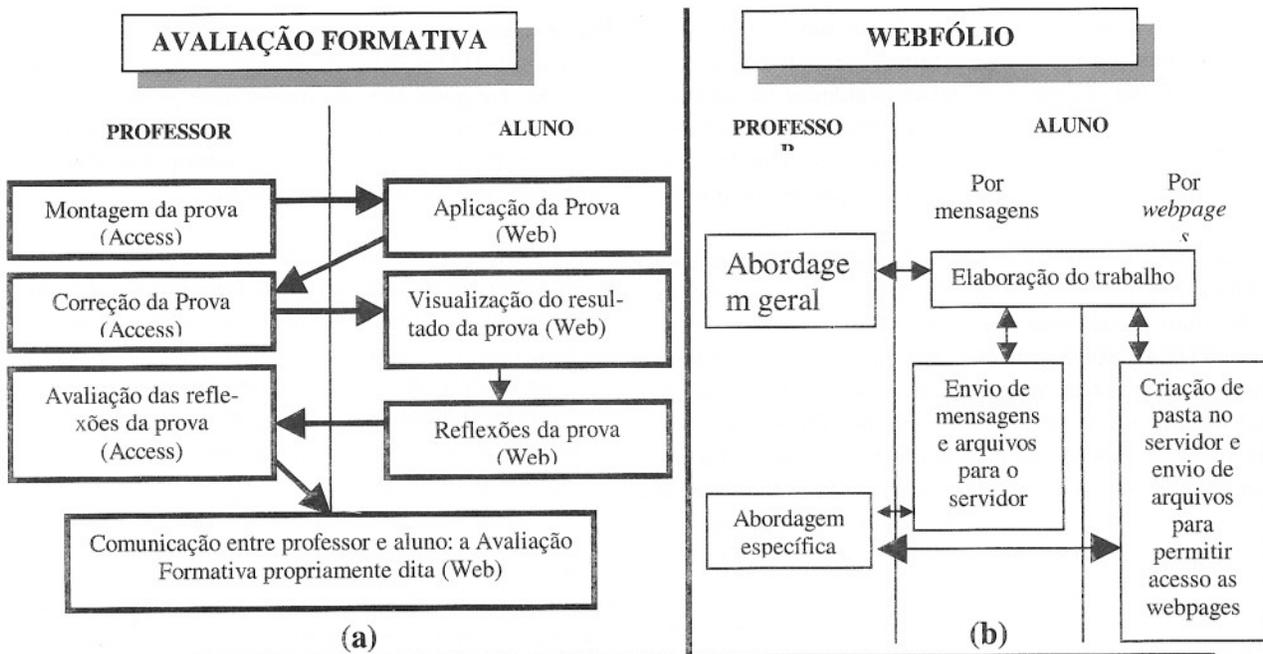


Figura 2. Estrutura do GPA_{REDE}: a) Passos da Avaliação Formativa; b) Interações do Webfólio

breve explicação de cada item clicando-se no link correspondente no *frame* esquerdo.

O sistema é formado por duas partes principais: Avaliação Formativa e Webfólio. A Avaliação Formativa está relacionada com a avaliação do aluno e a comunicação aluno/professor. Somente o professor e o aluno podem acessar estas informações. O Webfólio é um espaço público projetado para mostrar o trabalho, idéias e opiniões do aluno. As informações contidas no Webfólio podem ser acessadas por qualquer visitante. Na figura 2 é mostrada a estrutura geral do sistema.

Ferramentas da avaliação Formativa

As ferramentas da avaliação formativa são as seguintes (ver figura 2): montagem e aplicação das provas, correção das provas pelo professor, visualização da correção pelos alunos, reflexão dos alunos sobre cada prova e comunicação entre professor e aluno. Estas ferramentas estão descritas a seguir.

Montagem e aplicação das provas: As questões estão armazenadas em uma tabela de um banco de dados do Microsoft Access, cujo acesso é restrito ao professor. Uma das características do sistema é que ele permite questões em formato de texto, figuras e até de animações. Uma vez que as questões estão prontas, o professor pode selecioná-las por um processo automático. Antes da aplicação das provas, o professor faz o registro dos estudantes, inserindo nome, número de matrícula e senha.

O teste é aplicado através da *web*. O aluno deve inserir seu número de matrícula e senha (Figura 1-b), acessando o Portal, que é o *site* que dá acesso às provas (Figura 1-c).

O professor pode disponibilizar até cinco provas. Clicando no botão de uma das provas será aberta uma página mostrando a primeira questão da mesma. É mostrada uma questão de cada vez, como pode ser visto na Figura 3.

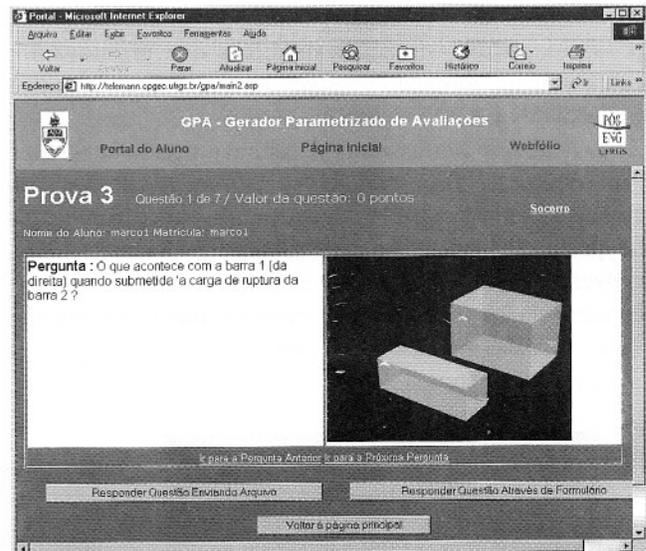


Figura 3. Interface das provas

O aluno pode responder uma questão de duas formas: através de um formulário ou enviando um arquivo com a resposta.

Correção da prova pelo professor: Para corrigir uma prova o professor deve selecionar a prova e depois o aluno. O professor corrige sucessivamente todas as questões e as completa com a nota correspondente e eventuais comentários, como mostrado na Figura 4.

O software irá calcular a nota final, liberando o acesso do aluno à correção.

Visualização dos resultados das provas pelo aluno: Abaixo dos botões das provas, dentro do Portal (Figura 1-c), estão

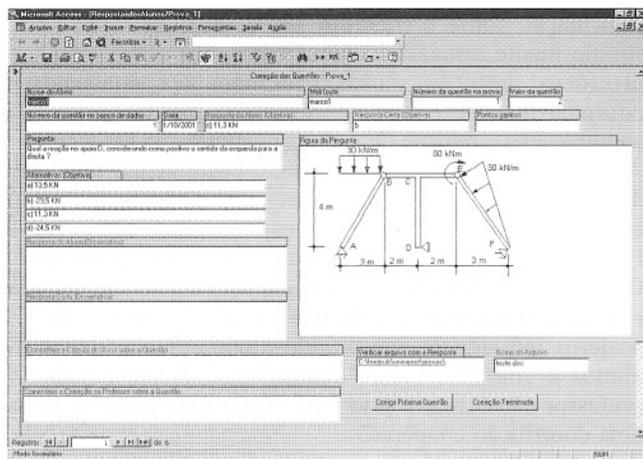


Figura 4. Comentário e correção do professor

os botões correspondentes aos resultados das provas. Por exemplo, o botão *Prova 1* permite resolver a primeira prova e o botão *Resultado Prova 1* permite ao aluno visualizar a correção desta prova, como é mostrado na Figura 5. Os resultados das provas incluem nota e comentários de cada questão. Novamente, as questões são mostradas uma por uma.

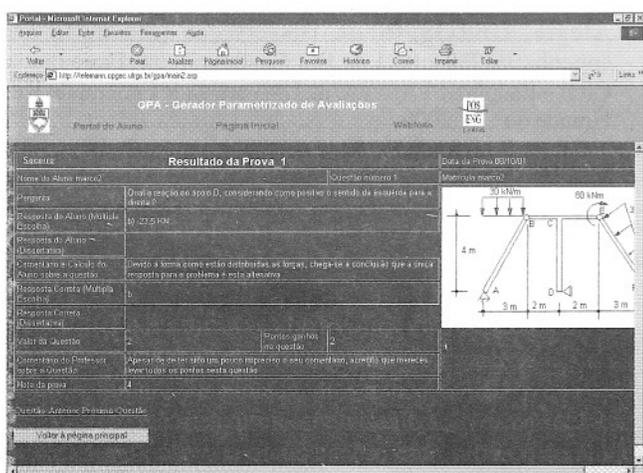


Figura 5. Visualização dos resultados das provas

Comentários dos alunos sobre a prova: Depois de acessar o resultado das provas, os alunos podem fazer comentários. Estes comentários são feitos em uma página onde os alunos devem completar um pequeno questionário, como mostrado na Figura 6. O objetivo destas questões é ajudar os estudantes a refletir sobre sua própria aprendizagem, fazer pesquisas sobre o conteúdo da prova, fazer sua auto-avaliação e criar novas questões relacionadas com a prova. Através desta reflexão uma comunicação mais significativa entre professor e aluno pode ser obtida.

Depois disso, o professor deve avaliar os comentários dos alunos usando a interface do Microsoft Access mostrada na Figura 7

A avaliação dos comentários é feita clicando no botão respectivo à prova em questão. Esta avaliação é um incentivo

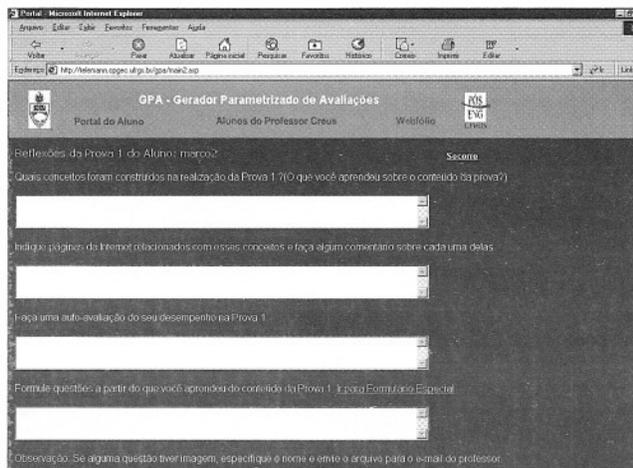


Figura 6. Reflexões dos alunos sobre a prova

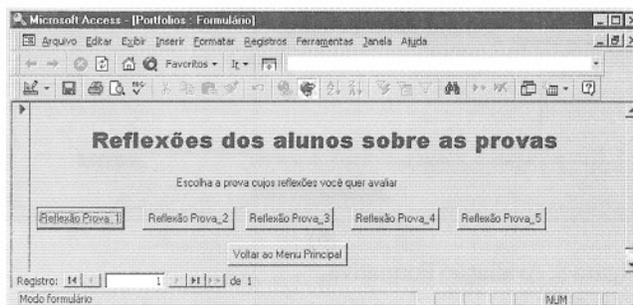


Figura 7. Avaliação da reflexão dos estudantes

a estabelecer uma melhor comunicação, porque o estudante comentará esta avaliação feita pelo professor.

Comunicação Professor/Alunos: a Avaliação Formativa propriamente dita. Esta parte do sistema é a fase seguinte à reflexão da primeira prova. Avaliando a reflexão do estudante, o professor estabelece um contato o qual é mantido por meio de mensagens com comentários e sugestões sobre a aprendizagem do aluno, obtendo-se uma avaliação melhor e mais consistente.

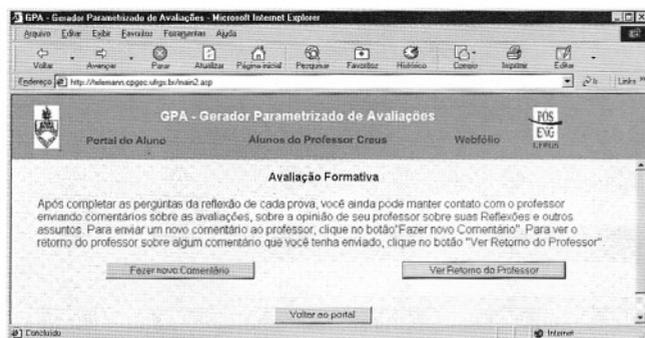
Na Figura 7 são mostradas as interfaces onde os alunos inserem seus comentários dentro da Avaliação Formativa, acessado pelo botão *Avaliação Formativa* dentro do *Portal*.

Ao alunos acessam todos seus comentários e correspondentes retornos do professor clicando no botão *Ver Retorno do Professor*, apresentado na Figura 8-a.

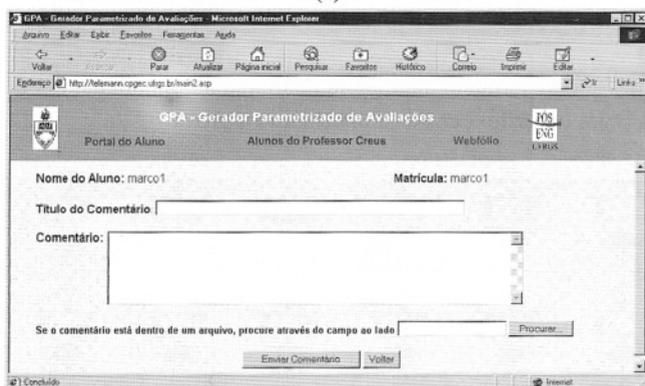
O professor dá o retorno aos comentários dos estudantes através da Web. Ao mesmo tempo ele pode registrar pareceres sobre os alunos que serão usados na avaliação final.

Ferramentas do Webfólio

O objetivo do Webfólio é aumentar a participação do aluno no processo de aprendizagem e permitir a ele usar sistematicamente uma interface digital para que possa fazer atualizações *on-line* sobre seu trabalho. É um espaço dentro do servidor onde o aluno pode mostrar seu trabalho e opiniões, de tal forma que este conteúdo pode ser acessado por qualquer um, através da interface do visitante. A tela principal do Webfólio é apresentada na Figura 9.



(a)



(b)

Figura 8. Avaliação Formativa

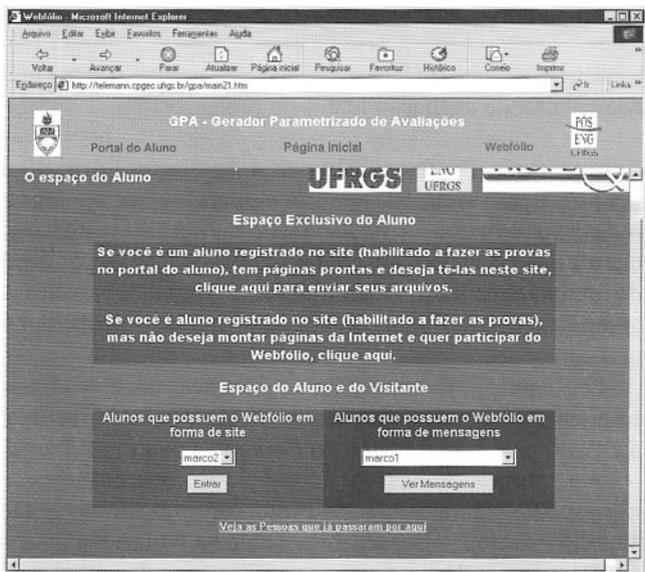


Figura 9. Webfólio

Os estudantes possuem duas opções para completar o Webfólio: através de mensagens de texto (que podem conter arquivos anexos) enviados através da Internet ou através de páginas da *web*. Em cada opção, o estudante tem seu próprio espaço dentro do servidor.

CONCLUSÕES

O desenvolvimento de um sistema de Avaliação Construtivista exige um gerenciamento adequado da

informação sobre o trabalho dos estudantes. Não basta simplesmente armazenar documentos dos alunos em um diretório, pois os dados precisam ser analisados, compartilhados e constantemente questionados. A comunicação e retorno de cada comentário são essenciais.

O sistema GPA_{REDE} apresentado neste artigo tem sido desenvolvido usando o referencial teórico descrito anteriormente. Ele prevê um espaço para a Avaliação Formativa, incluindo a troca de comentários e a auto-avaliação. O Webfólio proporciona um espaço adicional para a construção de novos conceitos e desenvolvimento de projetos individuais, permitindo a comunicação entre os alunos e compartilhando documentos. Neste espaço, o professor não é mais o principal foco e a atividade se torna uma construção cooperativa.

Este projeto está em constante desenvolvimento, cujos resultados serão informados em futuros artigos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALAVA, S. Ciberespaço e formações abertas: rumo a novas práticas educacionais? Porto Alegre: Artmed, 2002.
- BAZZO, W. A., PEREIRA, L. T. V. and LISINGEN, I. v., Educação Tecnológica: enfoques para o ensino de engenharia. Florianópolis: UFSC, 2000.
- COSTA, L. A. C. Proposta de um sistema gerador de avaliações vislumbrando a educação a distância na engenharia. Porto Alegre, UFRGS, 2000. Dissertação (mestrado em engenharia) Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000
- CROFT, A. C., DANSON, M., DAWSON, B. R., WARD, J. P., Experiences of Using Computer Assisted Assessment in Engineering Mathematics. *Computers & Education*, n. 37, p. 53-66, 2001
- CROWN, S. W. Improving Visualization Skills of Engineering Graphics Students Using Simple JavaScript Web Based Games, *Journal of Engineering Education*, v. 90, n.3, pp. 347-355, 2001.
- FLAVELL, J. H. *The Developmental Psychology of Jean Piaget*. Litton Educational Publishing, 1965
- HELIGHEN, F. & JOSLYN, C. Meta-cognitive modelling. Disponível em: <<http://pespmc1.vub.ac.be/METACOGN.html>>. Acesso em: 15 set. 2001.
- PEARL - Practical Experimentation by Accessible Remote Learning. Disponível em: <<http://kmi.open.ac.uk/projects/pearl/summary/index.htm>>. Acesso em: 12 nov. 2001.
- PETERS, O. Didática do ensino a distância. São Leopoldo: Unisinos, 2001.
- PIAGET, J. *O Nascimento da Inteligência na Criança*, 4.ed. Rio de Janeiro: Zahar, 1982.
- PIAGET, J. *Problemas de Psicologia Genética*. São Paulo: Abril Cultural, 1978.
- RAMOS, E. M. F. O papel da avaliação educacional nos processos de aprendizados autônomos e cooperativos. In: LISINGEN et al. *Formação do Engenheiro*. Florianópolis: UFSC, 1999. p. 207-230.
- ROVAI, A. P. Online and traditional assessments: what is the difference? *Internet and Higher Education*, n. 3, p. 141-151, 2000.
- SHUTE, N. Open University. *ASEE Prism*, v. 11, n.3, pp. 18-25, 2001.

DADOS BIOGRÁFICOS DOS AUTORES



Luciano Andreatta Carvalho da Costa

Engenheiro Civil (UFRGS - 1994), Licenciado em Matemática (UFRGS - 1998) e mestre em Ensino de Engenharia (UFRGS - 2000). É doutorando do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da UFRGS e professor do Centro Universitário Feevale. Dedicar-se à questão da avaliação da aprendizagem no ensino de engenharia a partir de uma abordagem construtivista e sua aplicação com recursos tecnológicos atuais.

Marco Aurélio Lisboa Silveira

Graduando em engenharia elétrica pela UFRGS a partir de 2001. É bolsista PIBIC/CNPQ. Áreas de interesse: ensino de engenharia e educação a distância



Guillermo Juan Creus

Engenheiro Civil pela Universidad Nacional del Litoral (ARG, 1962), mestre pela Yale University (USA, 1968) e doutor pela COPPE-UFRJ (1983). Pesquisador e assessor do CNPq e da CA-PES; Coordenador do Laboratório de Viscoelasticidade; Professor e pesquisador visitante em Barcelona, Montevideu e Munique. Desenvolve atividades em mecânica experimental e computacional nas áreas de plasticidade, viscoelasticidade e fratura, com aplicações a metais, concreto e materiais compósitos bem como pesquisas relacionadas com o ensino de engenharia. Autor de mais de 100 artigos sobre estes temas e do livro "Viscoelasticity" (1986).



Sérgio Roberto Kieling Franco

Psicólogo (UFRGS - 1985) e Licenciado em Filosofia (FAFIMC - 1985). Mestre (UFRGS - 1990) e Doutor (UFRGS - 2000) em Educação. É Professor Adjunto do Departamento de Estudos Especializados da Faculdade de Educação da UFRGS. Atua nas áreas de Psicopedagogia e Epistemologia Genética nos programas de Pós-Graduação em Educação e de Informática na Educação da UFRGS. Autor do livro "O Construtivismo e a Educação" e organizador do livro "Revisitando Piaget", ambos pela Editora Mediação.

ANÁLISE TRANSIENTE DE PROBLEMAS TÉRMICOS

Washington Braga¹

RESUMO

Inúmeros problemas de interesse em engenharia ocorrem durante o regime transiente mas ainda assim, esta situação é pouco analisada nos cursos de graduação, pelo menos nos de engenharia mecânica. Embora a maior complexidade envolvida seja, certamente, um complicador, a experiência tem indicado que pelo menos nos cursos tradicionais de Transmissão de Calor, os tópicos de regime transiente são apresentados de forma bastante rápida e sem grandes vinculações com outros problemas analisados apenas no regime permanente. Em consequência, os alunos não são estimulados a fazer associações entre os conceitos, dificultando seu próprio aprendizado e talvez não se motivando para a investigação científica. O presente trabalho apresenta algumas situações comuns ao estudo de graduação e escolhidas de forma a possibilitar a análise das suas evoluções temporais. Esta abordagem integra diversos tópicos do curso, possibilitando ao aluno identificar figuras de mérito para outras análises e entender melhor diversas aproximações apresentadas na literatura de forma pouco educativa. Embora o enfoque seja o de Condução Térmica, outras situações envolvendo Radiação Térmica e ainda Convecção podem ser analisadas de forma semelhante.

Palavras-chave: ensino de engenharia, análise transiente e de regime permanente, metodologia continuada de aprendizado

ABSTRACT

Several interesting engineering problems occur during unsteady state. Nonetheless, they are not often studied in undergrad courses, at least considering mechanical engineering. Although the high level of related complexity, it seems that unsteady state topics in Heat Transfer are perhaps too quickly introduced to students, not allowing sufficient time for knowledge construction and connection with other topics usually discussed only during steady state. Consequently, students have a hard time linking subjects, complicating their understanding. This paper presents some common situations that were chosen due to their unsteady analysis. The methodology proposed herein helps subject integration, presents some criteria for problem simplification and allow further discussion, besides the follow up of the unsteady evolution. The current paper is focused on Heat Conduction. However, similar analysis may be made for situations involving Radiation and Convective Heat Transfer.

Key-words: engineering education, transient and steady state analysis, continuous learning methodology

INTRODUÇÃO

Situações transientes são bastante comuns na prática de engenharia e poder-se-ia esperar que elas estivessem sendo estudadas e pesquisadas nas Escolas e Departamentos de Engenharia com bastante intensidade. Entretanto, se observarmos os trabalhos publicados nas revistas técnicas e nos Anais de Congressos temáticos, a conclusão é diferente. Apenas um reduzido número de trabalhos (proporcionalmente) contempla características transientes de problemas de engenharia ou mesmo de interesse científico.

Naturalmente, as possíveis análises teóricas das situações de interesse são limitadas e as simulações computacionais são bastante mais demandantes do aquelas feitas em regime permanente, tanto no tocante aos algoritmos e métodos numéricos quanto aos tempos de processamento. Há, entretanto, um outro aspecto observado pelo autor durante diversos anos de ensino de graduação e de pós-graduação em Engenharia Mecânica: a pouca ou nenhuma familiaridade dos alunos, futuros engenheiros e pesquisadores, com o regime transiente, talvez resultante da reduzida ênfase dada a este tópico nos cursos regulares, especialmente de graduação. Tomando por base o curso de Transmissão de Calor,

¹ Professor Associado. PhD. Departamento de Engenharia Mecânica, PUC-Rio. Rua Marquês de São Vicente 225, CEP 22453-900, Rio de Janeiro, RJ. Fone: (21) 3114-1169, Fax: (21) 3114-1165. E-mail: wbraga@mec.puc-rio.br

referenciado aqui face à experiência de ensino e pesquisa do autor, o estudo transiente tradicional é limitado à Condução de Calor, onde são apresentados os tópicos de Parâmetros Concentrados e Cartas Transientes, genericamente conhecidas como Cartas de Heisler. Além disto, tais tópicos são usualmente apresentados de forma desconexa com os tópicos de regime permanente, dificultando o entendimento do processo.

Este trabalho tem por objetivo apresentar algumas situações simples, em Condução de Calor, cujo tratamento acadêmico, focado no regime transiente, tem por objetivo facilitar o aprendizado pela proposta de se fazer ligações entre os conceitos de regime permanente e transiente. Isto é, ao invés de focar nos tópicos da forma tradicional, independente, a metodologia proposta é focada no tempo necessário para que se atinja o regime permanente a partir do repouso, isto é, na duração do transiente. Isto permite o adequado entendimento que atrás de um regime permanente há sempre um transiente, com características físicas relevantes e úteis ao entendimento do problema. Entre outras situações possíveis, serão apresentados aqui um tratamento generalizado da formulação conhecida como Parâmetros Concentrados e a formulação equivalente de Parâmetros Distribuídos para o mesmo problema físico, uma análise de uma situação bidimensional típica e uma breve discussão sobre efeitos transientes em uma superfície estendida, para ilustração. Comum a tais tópicos é a referida continuidade na discussão.

PARÂMETROS CONCENTRADOS

Considere uma placa plana, de espessura L , sujeita a um fluxo radiativo de calor na face esquerda, de intensidade constante e igual a q_R e trocando calor por Convecção na face direita com um fluido a T_∞ e com um coeficiente de troca de calor por convecção igual a h , também constante. No instante $t = 0$, a temperatura inicial é T_0 , que pode ser considerada como uniforme. Considere ainda que as propriedades termodinâmicas, a difusividade térmica, α , a condutividade térmica, k , a massa específica, ρ , e o calor específico, c , sejam constantes. Nestas condições, a equação do Balanço de Energia e a condição inicial se escrevem:

$$\rho c V \frac{\partial T}{\partial t} = [q_R - h(T - T_\infty)] A_S \quad (1)$$

$$T = T_0 \text{ para } T = 0, 0 \leq x \leq L$$

na qual V e A_S indicam respectivamente o volume e a área superficial da placa. Adimensionalizando a solução exata para o sistema acima, obtemos:

$$\theta_1(Fo) = \frac{1}{Bi} + \left[A - \frac{1}{Bi} \right] \exp\{-Bi Fo\} \quad (2)$$

na qual:

$$Bi = \frac{hL}{k} \quad (3)$$

$$Fo = \frac{\alpha t}{L^2} \quad (4)$$

e

$$\theta_1 = \frac{T - T_\infty}{q_R L / k} \quad (5)$$

$$A = \frac{T_0 - T_\infty}{q_R L / k} \quad (6)$$

Deve ser observado que o número de Biot, Bi , é um parâmetro do problema, enquanto que o número de Fourier, Fo , é apenas o tempo expresso de forma adimensional. Como é característico desta classe de problemas, o caráter assintótico da solução exponencial acarreta uma dificuldade para a estimativa da condição final. Uma maneira formal para obtermos tal resposta consiste na aplicação do método integral de Ritz, ARPACI (1966), no qual um perfil do tipo:

$$\tilde{\theta}(Fo) = \theta_{RP} f(Fo) \quad (7)$$

no qual $\tilde{\theta}$ indica um perfil aproximado, θ_{RP} indica a solução de regime permanente e $f(Fo)$ é alguma função. Se a escolha for uma função quadrática:

$$f(Fo) = a + bFo + cFo^2 \quad (8)$$

ou algo semelhante se o perfil escolhido for cúbico. A determinação das constantes a , b e c podem ser feitas através das condições de contorno:

$$f(Fo = 0) = 0 \quad (9)$$

$$f(Fo = Fo^*) = 1 \quad (10)$$

e

$$f'(Fo = Fo^*) = 0 \quad (11)$$

Nestas equações, $Fo^* = \alpha t^* / L^2$ indica o tempo necessário, t^* , para se atingir o regime permanente, única incógnita restante na equação (8). Para funções de ordem superior, pode-se usar o fato que espera-se boa concordância entre os perfis teórico e aproximado tanto para $Fo = 0$ quanto para $Fo = Fo^*$, o que implica em considerar que as derivadas de mais alta ordem feitas sejam nulas. A forma integral da equação (1) escrita em forma adimensional se escreve:

$$\int_0^{Fo^*} \frac{\partial \theta}{\partial Fo} d(Fo) = \int_0^{Fo^*} [1 - Bi\theta] d(Fo) \quad (12)$$

O resultado desta integração determina o valor estimado para t^* ou Fo^* . Dependendo da ordem da aproximação feita, vai-se ter:

- aproximação parabólica:

$$t^* = \frac{3 L^2 \alpha}{Bi} \quad (13)$$

- aproximação cúbica:

$$t^* = \frac{4 L^2}{Bi \alpha} \quad (14)$$

Pela experiência obtida com métodos integrais ainda que aplicados a outros problemas, não é evidente qual das expressões anteriores oferece resultados mais precisos. Lembrando da definição da espessura da camada limite em um escoamento externo, como sendo o ponto no qual a velocidade alcança 99% da velocidade externa, pode-se chegar a um valor alternativo do tipo:

$$t^* = \frac{5 L^2}{Bi \alpha} \quad (15)$$

Observando as equações (12), (13) e (14), nota-se que, na verdade, a física indica que a resposta do problema é fundamentalmente algo do tipo:

$$t^* = \frac{C L^2}{Bi \alpha} \quad (16)$$

onde C é uma constante a ser determinada mediante a escolha de algum critério. No curso de graduação de Transmissão de Calor do Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio, utiliza-se $C = 8$, compatível com o que é observado graficamente.

Deve-se ter em perspectiva que t^* é dependente da quantidade de matéria associada à placa e das condições de troca de calor por convecção. De fato, isto fica evidente se t^* for escrito da forma:

$$t^* = \frac{C L^2 h A}{Bi} = \frac{C m c_p}{h A} \quad (17)$$

onde m é a massa e A é a área transversal. Pode ser mostrado aos alunos, neste ponto, como o material (através do calor específico) e a troca de calor por Convecção afetam o tempo para o regime permanente para placas de determinadas

espessuras, como será comentado adiante, em outro problema mas no mesmo contexto.

Apesar de simples, as expressões obtidas nesta seção dão bons resultados desde que o número de Biot seja pequeno. Segundo INCROPERA e DEWITT (1996), o erro associado ao desconsiderarmos a variação espacial de temperaturas é pequeno desde que tenhamos $Bi < 0,1$. Infelizmente, não há indicações do que venha a ser pequeno. Para isto, será necessário analisar os efeitos espaciais, o que será feito a seguir.

PARÂMETROS DISTRIBUÍDOS

Nesta nova situação, o problema será definido por um outro Balanço de Energia:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (18)$$

sujeito a:

$$q_R = -k \frac{\partial T}{\partial x}, x = 0 \quad (19)$$

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} = h[T - T_\infty], x = L \quad (20)$$

$$T = T_0 \text{ para } t = 0, 0 \leq x \leq L \quad (21)$$

A distribuição exata de temperaturas pode ser obtida pelo método de separação de variáveis, Kaplan (1981) e é mostrada abaixo:

$$\theta(\eta, Fo) = \left(\frac{1 + Bi}{Bi} - \eta \right) + \sum a_n \exp\{-\lambda_n^2 Fo\} \cos(\lambda_n \eta) \quad (22)$$

onde utilizou-se as seguintes definições:

$$\theta = \frac{T - T_\infty}{q_R^0 L / k} \quad (23)$$

$$\eta = \frac{x}{L} \quad (24)$$

λ_n indica o n -ésimo autovalor, dado por:

$$\tan \lambda_n = \frac{Bi}{\lambda_n} \quad (25)$$

$$a_n = \frac{4[B\lambda_n \text{sen } \lambda_n + (\cos \lambda_n - 1 + \lambda_n \text{sen } \lambda_n)]}{2\lambda_n^2 + \lambda_n \text{sen}(2\lambda_n)} \quad (26)$$

onde A foi definido pela equação (7) e B vale:

$$B = A - \frac{1 + Bi}{Bi} \quad (27)$$

A solução da equação (22), para diversos valores do número de Biot, indica que os autovalores são crescentes, diferindo aproximadamente de π e aumentam com o número de Biot. Por exemplo, para $Bi = 0$, o primeiro autovalor é nulo e para $Bi = \infty$, o primeiro autovalor vale $\pi/2$. Seguindo o argumento desenvolvido anteriormente, pode-se estabelecer o regime permanente quando:

$$\exp\{-\lambda_1^2 Fo^*\} \approx \exp\{-C\} \approx 0 \quad (28)$$

o que implica em:

$$Fo^* = \frac{C}{\lambda_1^2} \quad (29)$$

ou

$$t^* = \frac{CL^2}{\lambda_1^2 \alpha} \quad (30)$$

Na equação (25), utiliza-se o primeiro autovalor por este ser o menor deles, requerendo portanto, um tempo superior para reduzir o valor da função exponencial a um patamar próximo de zero.

Comparando as equações (16) e (25), pode-se concluir que para uma placa plana, as duas soluções indicam os mesmos resultados quando:

$$\lambda_1 = \sqrt{Bi} \quad (31)$$

Embora simples, este resultado só recentemente foi encontrado na literatura aberta, através do trabalho de Krikkis e Razelos (2002). Os resultados da equação (22) submetidos à restrição acima (26) são mostrados na Tabela 1.

Como pode ser notado, para $Bi < 0,1$, o erro cometido é inferior a 0,004, indicando que a aproximação já pode ser considerada adequada. Deve ser lembrado, contudo, que este valor é correto apenas a partir do instante no qual os efeitos de todos os autovalores, à exceção do primeiro, podem ser desprezados, uma situação definida na literatura a partir da condição:

$$Fo > 0,2 \quad (32)$$

Tabela 1. Condição Crítica para Biot, visando aproximação de Parâmetros Concentrados

Bi	λ	λ^2	Dif = $Bi - \lambda^2$
1,00	0,86	0,74	0,2598
0,50	0,65	0,43	0,0732
0,25	0,48	0,23	0,0195
0,20	0,43	0,19	0,0126
0,12	0,34	0,12	0,0046
0,10	0,31	0,10	0,0032
0,09	0,30	0,09	0,0026

que é uma outra condição definida arbitrariamente. A partir de uma extensa análise, determina-se que considerar apenas o primeiro autovalor pode ser uma opção razoável desde que as condições da Tabela 2 sejam atendidas. A posição mais crítica, como pode ser visto, ocorre em:

$$\eta = 1 \quad (33)$$

Tabela 2. Número de Fourier mínimo em função do erro admissível e do número de Biot

Bi	1%	5%
0,05	0,436	0,326
0,10	0,431	0,321
0,50	0,411	0,306
1,00	0,391	0,291
5,00	0,301	0,231
10,00	0,271	0,206
1,0E+09	0,231	0,176

Em conseqüência, pode-se concluir que a aproximação definida nas Cartas transientes de Heisler, apresentadas na literatura como válidas a partir do tempo definido adimensionalmente pela equação (27), tem erro crescente com o decréscimo do número de Biot, em razão do fato já comentado que os autovalores crescem com o número de Biot. Isto pode ser facilmente corrigido se novas cartas forem produzidas considerando um número mais realista de autovalores, como feito em BRAGA (2003).

Assim, como se pode notar, a aproximação usual de se desprezar as variações espaciais sempre que $Bi < 0,1$, como apresentado na quase totalidade dos livros textos é questionável, face aos erros cometidos. Para pequenos tempos, detalhes importantes, como por exemplo, o avanço da frente de onda, são perdidos.

O tempo para o regime permanente é obtido pela equação (24), utilizando $C = 8$. A Figura 1 mostra o perfil transiente do problema em análise, supondo $Bi = 0,05$, obtido com os 12 primeiros autovalores. Para este número de Biot relativamente baixo, a profundidade de penetração é claramente indicada na figura. Por outro lado, aumentando-se o número de Biot, a situação muda radicalmente, como indicado na Figura 2, que indica o perfil de regime permanente.

Uma outra situação de interesse diz respeito à evolução temporal que leva ao perfil linear, característico do regime permanente, sem fontes internas em uma placa de espessura

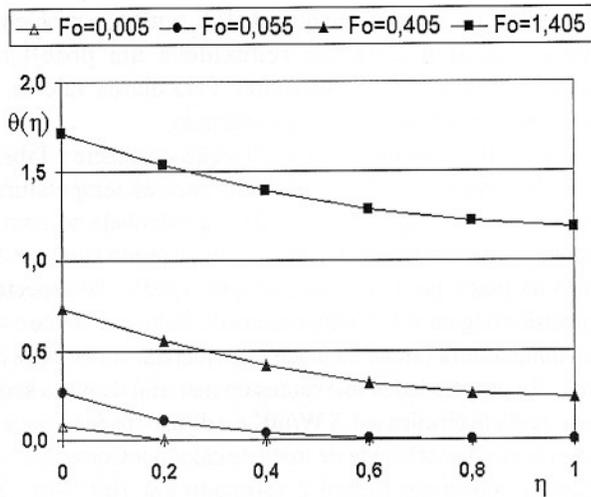


Figura 1. Perfil Transiente pra o problema 1. Resultados obtidos para $Bi = 0,05$ e $A = 0$. Regime permanente é obtido para $Fo^* = 160$

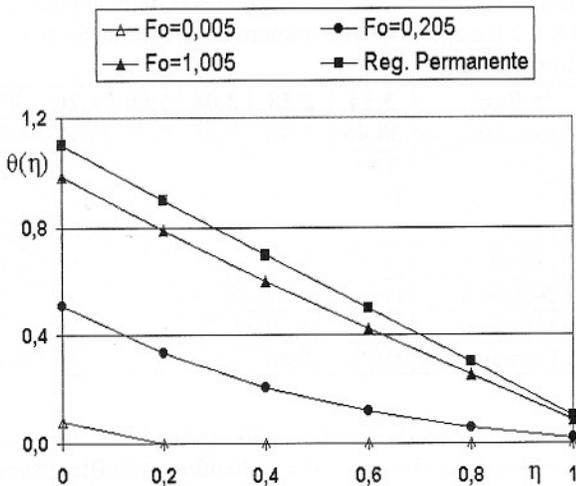


Figura 2. Perfil Transiente pra o problema 1. Resultados obtidos para $Bi = 10$ e $A = 0$. O tempo para o regime permanente é obtido pela equação (24), utilizando $C = 8$

L , sujeita a uma determinada diferença de temperaturas, suposta fixa durante o experimento. A análise teórica é semelhante à feita anteriormente e o perfil de temperaturas é mostrado na Figura 3.

A partir deste tipo de informação, pode-se discutir com os alunos o que influencia o transiente, como mostrado na Tabela 3.

SITUAÇÃO BIDIMENSIONAL

Considere agora o problema de uma placa bidimensional, de comprimento $2L$ e altura $2H$, supondo uma simetria comum nesta classe de problemas. O Balanço de Energia se escreve:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (34)$$

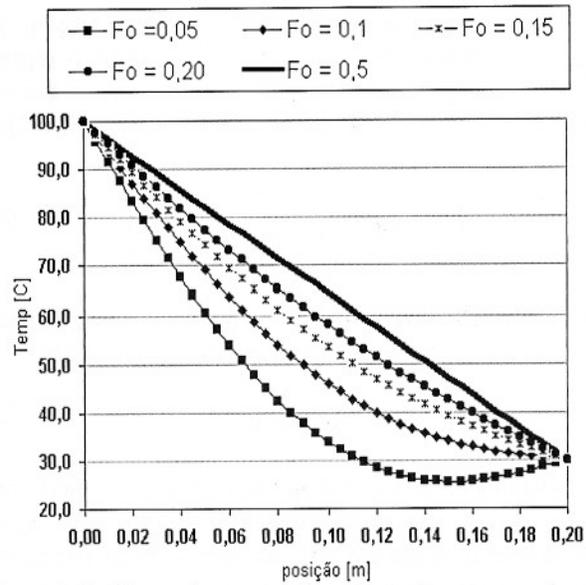


Figura 3. Perfil transiente em placa plana, de espessura igual a 0,2 m, sujeita à temperatura $T = 100$ °C na face esquerda e $T = 30$ na face direita. A temperatura inicial é de 20 °C

Tabela 3. Tempo necessário para Regime Permanente, supondo uma placa plana de espessura 0,2 m

Material	Difusiv. m^2/s	Condut. W/mk	Tempo s	Tempo m
Cobre	1,17E-04	401,0	273,5	4,6
Alumínio	9,71E-05	237,0	329,6	5,5
Aço 1010	1,88E-05	63,9	1702,1	28,4
Aço inox	3,95E-06	14,9	8,1E+03	135,0
Pyrex	7,54E-07	1,4	4,2E+04	707,8
Papel	1,44E-07	0,2	2,2E+05	3962,4
Solo	1,38E-07	0,5	2,3E+05	3868,7
Borracha	5,43E-09	0,012	5,9E+06	98266,7

sujeita às seguintes condições de contorno:

$$x = -L, \forall y, k \frac{\partial T}{\partial x} = h[T(x = -L, y) - T_{\infty}] \quad (35)$$

$$x = +L, \forall y, -k \frac{\partial T}{\partial x} = h[T(x = L, y) - T_{\infty}] \quad (36)$$

$$x = -H, \forall x, k \frac{\partial T}{\partial y} = h[T(x, y = -H) - T_{\infty}] \quad (37)$$

$$x = +H, \forall x, -k \frac{\partial T}{\partial y} = h[T(x, y = +H) - T_{\infty}] \quad (38)$$

Como pode ser encontrado na literatura de Transmissão de Calor, a solução neste caso é bastante mais elaborada e com frequência há necessidade de se aplicar o método de superposição de soluções além de exigir uma expansão em série de funções de Fourier. O método usual de solução propõe:

$$T(x, y, t) = X(x, t) Y(y, t) \quad (39)$$

O aspecto que se deseja discutir nesta situação, diz respeito ao tempo necessário para se atingir o regime permanente. Seguindo o tratamento usual, mostra-se que este tempo é definido por uma expressão como a equação (32):

$$Fo_L^* = \frac{C}{[(\lambda_1 L)^2 + (\mu_1 H)^2 / RA^2]} \quad (40)$$

onde estão indicados os dois primeiros autovalores, um para cada direção e RA é a razão de aspectos, definida por:

$$RA = H/L \quad (41)$$

Naturalmente, é desejável que se tenha algum critério para se analisar a pertinência de se utilizar a abordagem bidimensional, tendo em vista as vantagens da abordagem unidimensional mostrada na seção anterior. Um critério simples pode ser obtido a partir da própria equação (32). Observando o denominador, podemos deduzir uma razão de aspectos física (e não puramente geométrica) a partir da consideração do tamanho relativo dos dois autovalores. O segundo termo do denominador pode ser anulado quando:

$$(\lambda_1 L^2) \gg [(\mu_1 H)^2 / RA^2] \quad (42)$$

Arbitrando um valor relativo de 10 vezes, tem-se, por exemplo, que:

$$(\lambda_1 L^2) = 10 [(\mu_1 H)^2 / RA^2] \quad (43)$$

Para facilitar, pode-se considerar que $p \approx \sqrt{10}$ e com isto:

$$(\lambda_1 L) = \pi \frac{(\mu_1 H)}{RA} \quad (44)$$

ou, definindo:

$$RA_c = \frac{\mu_1 H}{\lambda_1 L} \quad (45)$$

Com estas definições, a equação (32) se escreve agora como:

$$Fo_L^* = \frac{C}{(\lambda_1 L)^2 [1 + (RA_c)^2 / RA^2]} \quad (46)$$

Assim, se $RA > \pi RA_c$, isto é, se a razão geométrica de aspectos for superior à razão física de aspectos, o problema bidimensional poderá ser reduzido a um problema unidimensional de placa vertical, com erro controlado pela

equação (38). Naturalmente quando $RA_c > \pi RA$, o problema bidimensional poderá ser reduzido a um problema unidimensional de placa horizontal. Para outros valores, o modelo bidimensional deverá ser utilizado.

Para ilustrar este nível de aproximação, considere a Tabela 4, na qual aparece o erro cometido para as temperaturas calculadas com a aproximação 2D e a calculada só com a variação ao longo do comprimento, para o ponto ($x=0, y=0$), centro da placa para um caso no qual a razão de aspectos geométrica é igual a 2. A temperatura do fluido ambiente é 40 C e a temperatura inicial da placa, considerada uniforme, é de 450 C. As propriedades relevantes do material da placa são a condutividade térmica = 1,3 W/mK e a difusividade térmica = 1,1E-6 m²/s. O coeficiente de troca de calor por Convecção ao longo da superfície lateral é estimado em 100 W/m² K, enquanto que o outro, ao longo do comprimento é variável, conforme indicado na tabela.

Tabela 4. Erro no perfil de Temperaturas de uma placa com RA = 2,0 e em função do número de Biot baseado na semi-altura da placa

(x Rac)	3,14	2,58	2,04	1,60	1,20	0,56
↓ Tempo \ Bi _H →	38,46	3,85	1,54	0,77	0,385	0,077
5000 s	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
55000 s	0,4%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
115000 s	5,8%	2,6%	1,4%	0,8%	0,4%	0,1%
185000 s	14,9%	7,8%	4,3%	2,4%	1,3%	0,3%
245000 s	19,5%	11,0%	6,3%	3,6%	2,0%	0,4%
315000 s	18,7%	11,5%	6,8%	4,0%	2,2%	0,5%
R. Permanente	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Os resultados desta tabela são apresentados em função do tempo e para diversos valores do número de Biot baseado no coeficiente de troca de calor ao longo das bases e na semi-altura, como usual. Pode ser observado que o erro é mínimo desde que a razão geométrica de aspectos, no caso, igual a 2,0, é menor que a razão física de aspectos, definida como mostrado anteriormente.

Uma explicação para tanto pode ser obtida se lembrarmos o balanço de energia na interface das bases com o fluido ambiente:

$$-k \frac{\partial T}{\partial z} = h[T - T_\infty, z = H] \quad (47)$$

À medida que vai se reduzindo o coeficiente de troca de calor por convecção, como mostrado na Tabela 4, a troca de calor por esta superfície vai se reduzindo e com isto, menos importante é a troca de calor ao longo da altura. Entretanto, a situação aqui representada, que indica erros máximos da ordem de 4%, ocorre para Bi_H = 0,77, bem superior ao valor 0,1, anteriormente obtido. Deve ser frisado que a proposta aqui não é a de usar Parâmetros Concentrados na direção vertical e sim eliminar totalmente sua influência.

SUPERFÍCIES ESTENDIDAS

Esta situação é usualmente apresentada como um módulo independente no curso de Transmissão de Calor. Não raro os alunos entendem a realidade física das aletas mas não a associam com o caso bidimensional tratado no item anterior. Uma maneira simples de promover tal integração de conceitos utiliza a equação do Balanço de Energia, equação (29), reproduzida aqui para facilitar a discussão:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (48)$$

Se a altura $2H$ for pequena o suficiente de forma que o número de Biot baseado na semi-altura, Bi_H , seja menor que $0,1$, como discutido na primeira seção deste trabalho, poderemos pensar em uma temperatura média em y , para cada seção x . Utilizando novamente o método integral, obtemos:

$$\int_{-H}^H \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} dy + \int_{-H}^H \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} dy = \frac{1}{\alpha} \int_{-H}^H \frac{\partial T}{\partial t} dy \quad (49)$$

Ao realizar a integração, obtemos a forma transiente da equação das superfícies estendidas:

$$\frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial x^2} - \frac{hP}{kA_T} (\bar{T} - T_\infty) = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial \bar{T}}{\partial t} \quad (50)$$

onde aparece o coeficiente de troca de calor por Convecção ao longo da superfície horizontal, indicando as perdas ao longo das superfícies horizontais, P é o perímetro, A_T é a área transversal e T é a temperatura média na seção, definida por:

$$\bar{T}(x) = \frac{1}{2H} \int_{-H}^H T(x, y) dy \quad (51)$$

Novamente, pode-se resolver a equação pelo método de separação de variáveis para a obtenção do perfil transiente. De interesse aqui, é o tempo necessário para o regime permanente que pode ser visto depender dos parâmetros do problema. Supondo que as duas temperaturas extremas (em $x = 0$ e em $x = 2L$) sejam conhecidas e definindo-se m da forma:

$$m^2 = hP/kA_T \quad (52)$$

obtem-se que o regime permanente é alcançado quando:

$$Fo^* = \left[\frac{C}{\pi^2 + (mL)^2} \right] \quad (53)$$

Este número pode ser obtido também a partir da equação (32), considerando que o número de Biot da direção vertical seja inferior a $0,1$. Uma vez mais, perfis transientes de temperatura podem ser gerados, para cada um dos casos tipicamente tratados na literatura no tópico superfícies estendidas, como mostrado na Figura 4 para uma aleta cuja temperatura adimensional na raiz é 4 e na extremidade é $0,5$, considerando ainda que $m = 3,0$. Nesta figura, $Fo^* = 0,42$ indica o perfil de temperaturas no regime permanente.

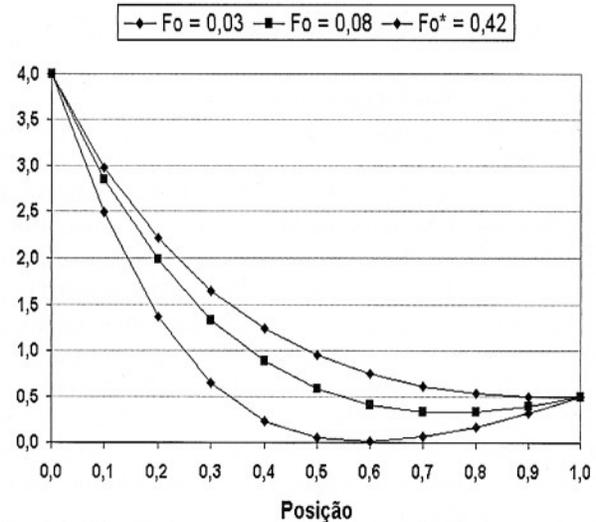


Figura 4. Transiente em uma aleta reta de seção retangular, com $m = 3,0$

A discussão adequada sobre o significado e a influência do parâmetro m pode ser feita mais claramente, pois o assunto é a evolução gradual do estudo. Além disto, pela comparação entre as figuras 3 e 4, pode-se concluir os efeitos da perda transversal de energia para o ambiente externo.

CONCLUSÕES

Neste trabalho, uma metodologia integrada de ensino, em Condução de Calor, é apresentada, na qual o regime transiente evolui gradualmente até que se alcance o regime permanente, se tal existir, permitindo uma análise continuada das influências de cada parâmetro e ao mesmo tempo integrando diversos tópicos gradualmente. Em relação a outras abordagens, a proposta aqui apresenta duas grandes vantagens: a abordagem continuada dos processos físicos e a ligação entre os conceitos, possibilitando o entendimento global dos conceitos. Embora não mostradas aqui, inúmeras outras situações podem ser contempladas, permitindo um curso mais integrado e talvez mais desafiador. Espera-se que o maior contato com o regime transiente auxilie a melhor formação e o maior envolvimento dos engenheiros mecânicos nos processos térmicos transientes, bastante comuns em engenharia.

AGRADECIMENTOS

O autor gostaria de registrar seus sinceros agradecimentos aos revisores que, com seus profícuos e

bastante pertinentes comentários, certamente valorizaram o desenvolvimento apresentado, tornando este trabalho melhor e, espero, mais útil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARPACI, V.S., Conduction Heat Transfer, Addison Wesley, 1966

BRAGA, W., Transmissão de Calor, Editora Thomson Pioneira, 2003
 INCROPERA F.P.; DEWITT D.P. Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Wiley, N. York, 1996
 KAPLAN, W. Advanced Mathematics for Engineers, Addison Wesley, 1981
 KRIKKIS R.; RAZELOS, P., The Heat Transfer from a Rectangular Fin with Asymmetrical Boundary Conditions. Int. Comm. Heat Mass Transfer, v. 29, no. 7, 2002, p. 1015.1019

DADOS BIOGRÁFICOS DO AUTOR



Washington Braga

Graduado em Engenharia Mecânica (PUC-Rio, 1975), Mestre em Engenharia Mecânica (PUC-Rio, 1978), PhD em Engenharia Mecânica (The University of Michigan, Ann Arbor, 1985); foi Diretor do Centro de Computação-RDC da PUC-Rio (1991-1997); Coordenador do Grupo de Trabalho em Educação à Distância do Comitê Gestor da Internet Brasil (1996-1998); Coordenador Administrativo da Rede Rio de Computadores – FAPERJ (1997-2002); É professor de Disciplinas nas áreas de Termodinâmica, Transmissão de Calor, Métodos Numéricos, graduação e pós-graduação. Tem interesses no uso de Tecnologia da Informação no Ensino Interativo de Engenharia, Problemas Inversos e Radiação Térmica.

