

REVISTA DE ENSINO DE ENGENHARIA

ISSN 0101 ■ 5001
REV. ENSINO ENG. - São Paulo

VOL. 9 - Nº 1/2
1º/2º SEMESTRE 1990

ASSOCIAÇÃO
BRASILEIRA DE
ENSINO DE
ENGENHARIA



REVISTA DE ENSINO DE ENGENHARIA

V.9 - n° 1/2 - 1º/2º semestre de 1990
ISSN-0101-5001

Rev. Ensino Eng. São Paulo

V.9 - nº 1/2 - 1º/2º semestre de 1990
ISSN-0101-5001



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSINO DE ENGENHARIA - ABENGE
Rua Major Sertório, 463 - 3º andar - cj. 32
01222 - São Paulo - Brasil - Fone: (011) 256-6423

Presidente

Rui Carlos de Camargo Vieira

1º Vice-Presidente

Cid dos Santos Gesteira

2º Vice-Presidente

Paulo Rodrigues Lima

Diretor-Secretário

Marcus F. Giorgetti

Diretor-Financeiro

Roberto Atienza

REVISTA DE ENSINO DE ENGENHARIA

Edição semestral da Associação Brasileira de Ensino de Engenharia com 4 seções: Forum ABENGE, Artigos, Comunicações e Cartas à Redação.

Editor Responsável

Prof. Eduardo Cleto Pires

Produção

ThePrint Shop Express Service
Rua Episcopal nº 2229, São Carlos, SP, 13560
Fone: (0162) 724563

Impressão

Serviço Gráfico EESC/USP

Distribuição

Enviada a todos os associados da ABENGE.
Os interessados poderão recebê-la através de assinatura ou número avulso.

Preços

Assinatura anual Cr\$ 2.000,00

Número avulso Cr\$ 1.000,00

Apoio

FAPESP

Correspondência

Prof. Eduardo Cleto Pires
Escola de Engenharia de São Carlos - USP
Departamento de Hidráulica e Saneamento
Caixa Postal 359 - Tel (0162) 72.6222
13.560 - São Carlos - SP - Brasil

CONTEUDO / CONTENTS

NOTA EDITORIAL.EDITORIAL	2
CARTAS DO EDITOR	3
COMUNICADO	4
DISCURSO DE PARANINFO	9
ARENS,HANS G. - A PARABOLA COMO CURVA CARACTERISTICA DE BOMBAS CENTRIFUGAS. THE PARABOLA AS CHARACTERISTIC CURVE OF CENTRIFUGAL PUMPS.	12
CINTRA, José C. A. ; NOGUEIRA, João B. - CENTRIFUGAÇÃO DE MODELOS EM GEOTECNIA.GEOTECHNICAL GENTRIFUGE MODELLING.	17
GRAUY, JAVIER M.; BISANG, José M - DETERMINACION DE COEFICIENTES DE DIFUSION CON UN ELECTRODO DE DISCO ROTATORIO.DETERMINATION OF DIFFUSION COEFFICIENTS WITH A ROTATING DISK ELECTRODE.	20
VIEIRA, RUY CARLOS DE CAMARGO - ENSINO DE MATERIAIS NOS CURSOS DE ENGENHARIA.TEACHING OF MATERIALS IN ENGINEERING EDUCATION.	25
ALVES, MARCILIO - SOBRE A FORÇA.ON THE FORCE.	28
BORZANI, WALTER - DEFINIÇÕES E CALCULOS DE VELOCIDADES ESPECIFICAS EM PROCESSOS FERMENTATIVOS. DEFINITIONS AND CALCULATIONS OF SPECIFIC RATES IN FERMENTATION PROCESSES.	33

NOTA EDITORIAL

O presente volume inclui os números 1 e 2, relativos aos dois semestres de 1990. Além disso, os leitores precisam ser informados que o número 2 do volume 8, relativo ao exercício de 1989 não foi publicado e, lamentavelmente, ficará como uma falha na tão bem sucedida série histórica mantida, até então, pela Revista de Ensino de Engenharia.

O motivo para todos esses inconvenientes já não é novidade para ninguém. Os recursos financeiros da ABENGE foram bloqueados em março de 1990, com terríveis consequências. Compromissos assumidos com a edição do número anteriormente publicado não puderam ser saldados, o que prejudicou a continuidade da relação comercial mantida até então. Os longos tempos de resposta e as frustrações na busca de apoio financeiro em outras fontes, determinaram como única alternativa viável a que agora está sendo adotada.

Os editores agradecem à FAPESP pela sua agilidade e compreensão exibidos neste momento difícil, e registram com tristeza o fato de que a FAPESP foi a única agência de fomento à pesquisa e ao desenvolvimento com quem foi possível contar. Registram também sua fé inabalável na necessidade da preservação do conceito da indissociabilidade do ensino/aprendizagem com a pesquisa que, se respeitado, contradiz as "razões" apresentadas para negar apoio a esta atividade, considerada por alguns como "apenas de ensino".

São Carlos, fevereiro de 1991.

Os Editores

Cartas ao Editor

I - Avaliação de Curso na Escola de Engenharia Senhor Editor

Recentemente recebi um exemplar do nº 2 do Vol. 7 da Revista de Ensino de Engenharia, do 2º semestre de 1988; onde consta às páginas 74 a 81 o artigo de C. M. MAHLER intitulado "Avaliação de Curso na Escola de Engenharia — Uma Experiência em Desenvolvimento".

Minha preocupação com relação ao referido artigo é a impropriedade do uso, no título e nas palavras-chave, do vocábulo curso para se referir a disciplina, que tem conotações bem distintas; induzindo o leitor a pensar que a avaliação citada nesse título se refere a todo um curso (o que é definido no artigo de autoria de J. R. G. da SILVA e J. A. RODRIGUES intitulado "Glossário Sobre Ensino Universitário" submetido recentemente por nós para publicação na própria Revista de Ensino de Engenharia); mudando totalmente o enfoque a se aplicar. Essa impressão é logo desmentida pela leitura do artigo que demonstra tratar-se de avaliação de disciplinas, como se pode ler no Resumo à 6ª linha do 1º parágrafo do item 2 (pág. 75), pelos títulos dos itens 3 e 4, pelos títulos dos questionários (págs. 78 e 80), e nas páginas 79 e 81.

Essas confusões não podem mais ser feitas e nem propagadas com a publicação de artigos que são bastante difundidos entre professores através de uma revista como a da ABENGE que tem elevada responsabilidade didático-pedagógica.

Continua faltando um mecanismo universal de avaliação de cursos de graduação (entre eles os de Engenharia) como um todo, e que sejam institucionalmente postos em prática pelas Universidades e Faculdades visando aperfeiçoar substancialmente o ensino e a aprendizagem, o que é uma bela tarefa a ser cabeçada pela ABENGE.

Ao ensejo desta, subscrevo-me

Atenciosamente

Prof. Dr. José Roberto G. da Silva
Universidade Federal de São Carlos — DEMA
Caixa Postal 676
13560 — São Carlos — SP

II - Síntese de Sinais Aleatórios Estacionários

A propósito do artigo "Síntese de Sinais Aleatórios Estacionários", de autoria do Prof. Marcelo Agra Ramos, da UFPb, publicado no Vol. 7, nº 2, 2º Semestre/1988, pp. 117-120, temos a registrar alguns reparos conceituais.

1 — A definição de processo estacionário não decorre do exposto em (1), ou seja:

$$\bar{S} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^{+T} S(t) dt \quad \dots (1)$$

porquanto essa operação é feita sobre cada registro; e mais, em princípio S é também uma variável aleatória (no texto os limites de integração foram indicados de $-\infty$ a $+\infty$, o que constitui uma postura matemática pouco precisa). O

correto, como pode ser verificado em textos sobre o assunto, é: o processo aleatório é dito estacionário quando a estrutura probabilística do processo é invariante com a translação da origem, ou seja (de acordo com notação do exposto em (2)):

$$f(s_1) = f(s_1+a)$$

$$f(s_1, s_2) = f(s_1+a, s_2+a)$$

etc.

2 — A definição de processo ergódico também merece reparos. Na verdade o processo é dito ergódico quando a estrutura probabilística do processo pode ser obtida a partir de um único registro. No caso do valor médio, quando o resultado de (1) é o mesmo de (2). Todo processo ergódico é necessariamente estacionário, porém o contrário não é verdade.

3 — A autocorrelação, conforme colocada em (3) e (4), reforça a confusão já aludida nos itens anteriores. Além disso, ao se afirmar que as variáveis aleatórias s_1 e s_2 são independentes por suposição, sem especificar o valor de τ acima do qual essa independência pode ser verificada, é algo não recomendável.

4 — O autor abusa do termo "ensemble", quando em português existe uma elegante palavra equivalente (conjunto).

Para finalizar, é oportuno esclarecer que o autor, tudo indica, trata-se de um professor corajoso, sobre o qual foi colocada a responsabilidade de ministrar disciplina(as) envolvendo processos aleatórios (estocásticos), assunto muito pouco tratado em nosso meio, principalmente em nível de graduação.

Sendo o que nos cumpria assinalar, aproveitamos para desejar votos de distinta consideração.

Atenciosamente

Prof. José Elias Laier

Escola de Engenharia de São Carlos — USP

Departamento de Estruturas

Caixa Postal 359

13560 — São Carlos — SP

Comunicado

Orlando Strobel, Coordenador do COBENGE-89
Marcus F. Giorgetti, Editor Responsável

COBENGE-89: Propostas e Recomendações. Rev. Ensino Eng. São Paulo 9(1/2): 4-8, 1º/2º sem. 1990

O Congresso Anual da ABENGE realizado em 1989, em Curitiba, produziu uma novidade interessante. Além dos tópicos levados à Sessão Plenária de Encerramento, a Coordenação provocou o registro, durante a realização dos painéis e das sessões técnicas, de propostas e tópicos destinados a uma meditação futura, e de interesse como temas centrais em futuros congressos ou seminários promovidos pela entidade. A matéria que se segue é uma síntese desse material, acompanhado, quando pertinente, ou de interesse, de comentários preparados pelo corpo editorial.

Palavra chave: COBENGE

COBENGE-89: Proposals and Recommendations. Rev. Ensino Eng. São Paulo 9(1/2): 4-8, 1º/2º sem. 1990

An interesting novelty has resulted from ABENGE's Annual Congress held in Curitiba in 1989. In addition to the topics appreciated at the Closing Plenary Session, the coordination of the Congress determined the collection of topics and themes, raised at the pannels and the technical sessions, for future meditation and eventual use as main themes in other congresses or seminars. The following material is a synthesis of those; to them, when necessary or pertinent, general comments, prepared by the editors, were added.

Key word: COBENGE

1 – Propostas de Caráter Geral

1.1 Considerando-se a necessidade de uma ação diagnóstica e evolutiva sobre o ensino de matemática nos cursos de engenharia, sugere-se que a ABENGE convide as associações de classe e didático científicas da área matemática para um trabalho de base, a iniciar-se com um simpósio organizado conjuntamente.

1.2 Independentemente das ações inseridas na proposta 1, sugere-se que a ABENGE divulgue a matéria junto às IES e aos órgãos de governo correspondentes, solicitando análise e implementação de uma proposta de ações que levem a:

- a) Uma verticalização do ensino de matemática, compreendendo uma redução da carga didática nos primeiros períodos, e aumentando-a ao longo do curso.
- b) Uma ramificação do ensino da matemática nas fases finais, considerando-se as peculiaridades das diferentes habilitações.
Exemplos: Mais estatística e matemática financeira para Engenharia de Produção; álgebra de Boole para Engenharia Eletrônica, etc.

1.3 Considerando-se as peculiaridades das instituições isoladas de ensino de engenharia, notadamente as instituições privadas, quanto:

A necessidade de capacitar seus corpos docentes e ou de submetê-los a programas contínuos de reciclagem e reforço.

A inadequação dos programas clássicos de Pós-graduação e Especialização para muitos desses casos, devido à impossibilidade de locomoção e permanência dos docentes, por períodos longos, nos centros de Pós-graduação.

Sugere-se que a ABENGE aja junto à CAPES no sentido de apoiar um programa diferenciado de formação de recursos humanos junto aos locais de concentração das necessidades ou em centros de treinamento estrategicamente localizados, durante os períodos de férias escolares.

Sugerem-se estratégias semelhantes às do projeto CHATAUQUA, usado com grande sucesso nos Estados Unidos, em que um ou mais grupos itinerantes levam as ações pedagógicas aos núcleos demandantes durante as férias de verão.

Proponente: Prof. Marcus F. Giorgetti (EESC-USP, São Carlos, SP)

1.4 Propõe-se a inclusão de uma nova disciplina, "Garantia de Qualidade" e ou "Controle de Qualidade" como obrigatória em todas as escolas de engenharia do País.

Dados estatísticos mostram que em torno de 60% das escolas não oferecem esta matéria nos cursos. Só conseguiremos viabilizar a indústria brasileira melhorando a Qualidade e a Produtividade, eliminando com isso o desperdício, o refugo e o retrabalho.

Proponente: Prof. Messias B. Silva (Fac. de Eng. Química de Lorena, SP)

Comentário: Das discussões subseqüentes resultaram duas sugestões: que se proponha às Instituições a inclusão do assunto (matéria e não disciplina) nos seus programas; que o tema seja incluído na pauta do COBENGE-90.

1.5 Como Professor Adjunto do Departamento de Engenharia de Materiais da UFSCar leciono aulas da disciplina 03.16 — Introdução à Engenharia de Materiais (entre outras disciplinas de graduação e de pós-graduação "strictu-sensu") para alunos recém-ingressos do curso de graduação em Engenharia de Materiais; para os quais transmito conceitos fundamentais para o entendimento do que seja Engenharia; carreira de Engenheiro; suas atribuições profissionais; e seu papel social; em cuja oportunidade notamos a enorme carência do significado do vocábulo Engenharia, até mesmo entre professores de escolas de Engenharia.

Assim, como sócio da ABENGE e como professor universitário de Engenharia, tomo a liberdade de sugerir a essa Associação que procure adotar uma definição clara, precisa e concisa do vocábulo Engenharia de modo que venha a adotá-lo oficialmente no seu âmbito, procurando torná-lo aceito de modo generalizado mesmo a nível governamental; e fazendo constar essa definição em destaque na página de rosto ou na contra-capas de todos os números doravantes impressos da Revista Brasileira de Ensino de Engenharia (sic) e em outros impressos de sua responsabilidade; de modo a fixar essa definição entre os associados da ABENGE (instituições, docentes, estudantes, associações de classe, órgãos governamentais, etc) e junto à comunidade mais ampla.

Parece-me que caberia aí um levantamento das definições já existentes; e após consulta aos associados da ABENGE, estabelecer formalmente essa definição.

Essa prática de dar destaque a uma definição tão fundamental, com a impressão na página de rosto de uma revista com responsabilidade pedagógica tão elevada como a Revista Brasileira de Ensino de Engenharia (sic) viria contribuir para a melhor compreensão e definição das próprias atribuições de ramos modernos da Engenharia como são os da Engenharia Genética, Engenharia Ecológica, Engenharia de Pesca, Engenharia de Materiais, Engenharia Aeroespacial, e outras tantas.

Proponente: Prof. José Roberto G. da Silva (DEMA, UFSCar, São Carlos, SP)

Comentário: A proposta foi julgada de interesse e aprovada como sugestão. O Editor Responsável pela Revista de Ensino de Engenharia justificou a inconveniência de uma ação tão drástica quanto o compromisso perpétuo proposto e sugeriu que: a) o proponente organizasse a pesquisa; b) em função da qual preparasse artigo que seria publicado na Revista.

1.6 Considerando que:

A avaliação dos cursos de Engenharia é feita somente uma vez, por ocasião do reconhecimento do curso;

Determinadas universidades têm laboratórios totalmente paralisados ou defasados;

Que a infra-estrutura do ensino requer uma atualização ex. biblioteca);

Que muitos dos docentes indicados junto ao CFE não estão vinculados às Instituições de Ensino;

Que o exame de ordem tiraria das universidades a

responsabilidade sobre a atuação do profissional perante a sociedade;

Que a existência do "Exame de Ordem" poderia fazer, a longo prazo, com que as universidades passassem a treinar os alunos para serem aprovados no referido exame, ao invés de formá-los;

Que a preocupação da consideração anterior, decorre do que aconteceu com o ensino do 2º grau em relação ao vestibular.

Propõe-se que as avaliações dos cursos de Engenharia sejam periódicas (de 5 em 5 anos) quando se avaliaria a capacitação do corpo docente e a atualização da infra-estrutura de ensino;

Que esta avaliação seja delegada a instituições como a ABENGE, CREAs, ABENC, etc.

Proponente: Prof. José Roberto Hoffmann (UEL, Londrina, PR)

Comentário: A proposta foi acolhida com grande interesse; a mesma tem evoluído a partir de sua segunda parte no sentido de criar-se, no Brasil, uma Sociedade Civil da qual participariam instituições como as citadas, à semelhança da ABET nos Estados Unidos da América.

2 – Propostas Relativas ao COBENGE-90 e Futuros

2.1 Exercer carinho na organização.

(Eu fui obrigado a telefonar para a UFPR para obter informações sobre o local do Congresso. Por dois dias consecutivos foi indicada uma sala com 6 cadeiras para uma sessão técnica de aproximadamente 40 pessoas).

Proponente: Prof. Manfred Fehr (UFU, Uberlândia, MG)

2.2 Avaliar as apresentações de trabalhos. Possivelmente criar um incentivo pela outorgação de homenagens aos melhores conferencistas.

(50% das apresentações às que assisti eram abaixo de qualquer padrão. Os meus alunos seriam reprovados com tal tipo de comunicação).

Proponente: Prof. Manfred Fehr (UFU, Uberlândia, MG)

2.3 Sugestão para que seja debatido no próximo COBENGE o problema da evasão nos cursos de Engenharia.

Proponente: Prof. Francisco Bragança (UFRS, Porto Alegre, RS)

2.4 Estudar a possibilidade de incluir como um dos temas, o estudo da evasão dos alunos nos cursos de Engenharia (já incluída no COBENGE anterior).

Proponente: Prof. Ademar Lin (UFPA)

2.5 O Engenheiro do Séc. XXI como tema para o próximo COBENGE com participação de sociólogos, educadores, cientistas, políticos, etc.

Proponente: Prof. J. C. Cassa (UFBA)

2.6 Que os próximos COBENGE evitem conflitos de horários nas apresentações das seções técnicas, aproveitando de forma integral os quatro dias, conforme constou no material de divulgação.

Proponente: Prof. Jair Silveira (UFPB)

2.7 Que seja aberto um painel para discussão dos problemas dos alunos a partir dos fóruns sobre este tema realizados nas universidades anteriormente ao COBENGE-90.

Proponente: Prof. Greiner Costa (UNICAMP)

2.8 Fica muito difícil para um aluno de Engenharia discutir com professores, com, quem sabe, mais de 30 anos de experiência na formação de Engenheiros. Mesmo assim tenho certeza da contribuição que traria um seminário de discussão com os alunos de cada universidade, apresentando os seus problemas específicos. Os professores assim descobrindo o que acontece do outro lado do palco, com a platéia que somos nós, os alunos que estamos tentando nos formar Engenheiros. Assim, quem sabe, o amadurecimento de soluções práticas que viessem a solucionar os problemas específicos de cada universidade poderia ser alcançado.

Resumo da Proposta: que cada universidade organize após o COBENGE, ou antes, um seminário com os alunos de Engenharia e discuta com eles os problemas da universidade.

Proponente: Ivan Paulo Schaly (aluno — UFPR)

Comentário: Considerando-se as propostas 2.7 e 2.8, e tendo-se em vista a dificuldade existente para a participação de delegações estudantis nos COBENGE, conclui-se pelo acolhimento da sugestão de realizar-se em cada instituição programações com a participação dos alunos, sendo as conclusões encaminhadas à ABENGE para a promoção de uma discussão, durante o COBENGE ou em outras oportunidades, com base no material assim produzido.

2.9 Proposta para a realização do COBENGE-90

Considerando que:

Grande número das escolas de engenharia do País são isoladas e ou pequenas, e dependem fortemente da utilização de docentes em tempo parcial nos seus quadros.

A maior parte desses docentes exerce outra ou outras atividades na região que, em princípio, impede (m) ou prejudica (m) o seu afastamento em busca do necessário avanço na formação profissional utilizando-se do sistema clássico de pós-graduação disponível.

Os COBENGE anteriores foram realizados em localidades onde existem escolas de engenharia oficiais, tradicionais e, em geral, diferentes do tipo descrito nos itens anteriores.

A cidade de Poços de Caldas, MG, sedia uma pequena escola de engenharia e oferece excelentes condições infraestruturais para a realização de um COBENGE.

Proponho que o COBENGE-90 seja realizado em Poços de Caldas e que o problema da formação de recursos humanos para escolas de engenharia de porte menor seja um de seus temas.

Proponente: Prof^a Gina Rende (Escola de

Engenharia, Fundação de Ensino de Poços de Caldas, MG)

2.10 Proposta para a Realização do COBENGE-90

Considerando que:

Em Congressos anteriores havia sido sugerido que estes eventos deveriam ser realizados alteradamente, nas regiões (Sul, Centro-Sul, Sudeste) e (Norte, Nordeste).

Nos quatro últimos Congressos, a Paraíba sempre se fez presente, não somente, em número considerável de participantes como em trabalho apresentados.

Propomos que a realização do COBENGE-90, seja em João Pessoa, na Paraíba.

Para tanto já contamos com total apoio do Centro de Tecnologia, através do seu Diretor Prof. Orlando Villar, aqui presente, do Magnífico Reitor da UFPB, Prof. Antonio de Souza Sobrinho e de diversos órgãos tais como CREA-PB e do Sindicato dos Engenheiros do Estado da Paraíba, etc., que garantiriam os recursos humanos e materiais para que o evento se reverta em um grande sucesso, e que certamente comprovará a importância destes Congressos e da ABENGE.

Além disso, em contatos mantidos com um número considerável de colegas de outros Estados, que aqui se fazem presentes, constatamos que esta proposta tem sido recebida com muita simpatia.

Proponentes: Docentes presentes da UFPA

Comentário: Considerando-se a existência das duas propostas 2.9 e 2.10, situação semelhante à do biênio anterior quando candidataram-se proponentes de Salvador e de Curitiba, foi estabelecido o mesmo critério, qual seja. Foram aprovadas, em princípio, as duas propostas, para o biênio 90/91. As duas propostas deveriam ser oficialmente encaminhadas à Diretoria da ABENGE até fins de agosto para serem submetidas à deliberação da Assembléia Anual realizada em setembro, devidamente instruídas com os projetos básicos em que ficavam demonstradas e registradas as ofertas de apoio infraestrutural e logístico.

Como apenas a proposta 2.9 foi oficializada em tempo hábil, a Assembléia da ABENGE realizada em São Paulo em 6 de setembro de 1989 aprovou a realização do COBENGE-90 em Poços de Caldas.

3 – Questões Gerais

Os organizadores do COBENGE-90 consultaram os participantes com o objetivo de produzir um questionário de múltiplas escolhas que seria enviado a todos os associados da ABENGE na busca de um diagnóstico geral sobre os diferentes temas abordados no Congresso.

Entretanto, a mensagem não foi entendida convenientemente, e a maioria das questões foram formuladas de forma aberta, o que prejudica a elaboração do questionário. Não obstante, as questões serão apresentadas a seguir, convidando-se os leitores a manifestarem-se por escrito junto à Diretoria da ABENGE. O material recebido será devidamente analisado, processado e mapeado, sendo usado para uma futura publicação ou discussão em Congresso.

3.1 Qual é o papel (diretriz) que devem ter os currículos mínimos na formação do profissional do século XXI?

3.2 Quais os "objetivos gerais" que deverão ser seguidos na formulação desses currículos?

3.3 É a Cartografia uma área estratégica?

3.4 Para o domínio da Tecnologia em Cartografia Automatizada qual a opção para o caso brasileiro? Aquisição de sistemas prontos ou formação de pessoal em tecnologia de base e adaptação de sistemas prontos?

3.5 Há necessidade de se incluir a disciplina (ou tópicos que abordem) a Arte e Estética.

3.6 Há necessidade de se incluir tópicos que enfatizem a ética profissional na disciplina de legislação.

3.7 Existe a responsabilidade dos Ambientalistas em levar a Educação Ambiental a todas as escolas de 1º e 2º grau. Quais os meios necessários para que se atinja este objetivo?

3.8 Como solucionar o grave problema da retenção e desistência nos cursos de Engenharia de Minas?

3.9 A redução da carga horária total dos cursos de Engenharia de Minas representa uma necessidade atual?

3.10 Como a "Sociedade" reage aos cursos de curta duração na área de tecnologias? Como melhorar a divulgação dos cursos de Tecnologia?

3.11 Como diferenciar as atribuições dos Tecnólogos e a dos Técnicos de 2º grau, nas diversas modalidades? Como estabelecer um currículo mínimo no Brasil?

3.12 Seus alunos apresentam dificuldades com os conteúdos de 3º grau provenientes do ensino de 1º e 2º graus?

() sim () não

3.13 Onde colocar um curso de Engenharia de Computação na estrutura acadêmica?

() no Depto. de Engenharia Elétrica

() no Depto. de Ciências Matemáticas

() criar um depto novo

() criar um colegiado de vários departamentos

() nenhum depto, pois tal curso não deve ser criado, uma vez que já existe a formação de bacharel em Ciência de Computação.

3.14 Consulta aos cursos de Engenharia Química do Brasil: Qual a opinião sobre a necessidade de se criar ou reformular a Disciplina de Ciências do Ambiente?

3.15 O ensino da matéria Meio Ambiente sob o aspecto da Disciplina Ciências do Ambiente é suficiente para que o Engº Químico desempenhe atribuições na área?

3.16 Ou é necessário além disso uma disciplina na área ambiental de formação profissional (obrigatória) específica com a carga horária mínima de 60 h exigida pelo Conselho Federal de Educação, ou seja, incluída no currículo mínimo dos cursos de Engenharia Química?

3.17 A formação do engenheiro requer uma gama

bastante grande de informações genéricas e profissionalizantes. O engenheiro do início do século XXI deverá apresentar o atributo inteligência geral muito desenvolvido de tal modo que o possibilite resolver problemas que hoje não podemos prever. No seu entender o homem altamente informatizado é o desejável?

3.18 A formação profissional deve ser uma resposta a várias demandas explicitamente estabelecidas e mensuráveis. Existem matérias nos currículos que não são significativas para o perfil desejado. Há casos em que este perfil não é sequer estabelecido. Qual a situação curricular em seu ambiente?

3.19 A que se pode atribuir o fato da carga horária média dos cursos de Engenharia Cartográfica (e outros) Nacional ser mais alta que a carga média de cursos semelhantes de regiões mais desenvolvidas?

3.20 Vale a pena ser Engenheiro hoje?

3.21 Que tipo de engenheiro devemos formar?

3.22 52,4% dos mestres e doutores trabalham em cargos administrativos e executivos, a que se deve isso?

3.23 Materiais, métodos e técnicas de ensino, estão adequadas à comunidade discente brasileira atual?

Sugestão 1 — workshop sobre material didático;

Sugestão 2 — para os departamentos que optarem pela formação de profissionais engenheiros do tipo conceitual.

a) Investir na elaboração de material didático complementar, para um entendimento mais profundo e capacidade de manipulação das leis gerais, reconhecendo a diversidade biológica na capacidade de aprendizado de toda comunidade discente.

b) Dadas estas condições:

— Elevar o nível de cobrança dos alunos na avaliação;

— Elevar o nível de exigência na capacitação/reciclagem técnica dos docentes.

Alternativa para os que defendem um departamento de tipo 3 (pesquisa de ponta):

a) Registrar a comunidade discente do tipo abstrato-verbal, através de vestibular mais seletivo, com a não obrigatoriedade de preenchimento de vagas oferecidas;

b) Selecionar a comunidade docente, para o ensino de graduação mediante preenchimento de vagas para candidatos de formação mínima de doutorado;

c) Tornar obrigatório a capacitação docente a todos os docentes do departamento de nível 3;

d) Elevar o critérios de avaliação dos alunos ao máximo.

3.24 Há necessidade da formação didático-pedagógica para o docente de nível superior?

Alternativa: Profissionais do setor de educação dedicarem-se ao estudo de adequação didática-pedagógica das disciplinas básicas para o ensino profissionalizante.

3.25 Exatamente o que a passagem do século tem a ver com a qualidade do ensino da engenharia?

3.26 Como é que a estrutura curricular interage com a qualidade do ensino?

3.27 Assinale o(s) item(s) abaixo que você atribui

como causa mais importante pelo atraso na conclusão dos cursos e/ou evasão dos alunos caso estes fatores existam em grau significativo na sua Faculdade:

- a) Deficiência de recursos humanos (professores qualificados) e infra-estrutura adequada às condições de ensino (laboratórios, bibliotecas, etc);
- b) Estrutura curricular e conteúdo dos cursos ultrapassados;
- c) Despreparo do aluno em termos de formação do 2º grau e em termos de decisão quanto à escolha profissional;
- d) Regime de matrícula em disciplinas;
- e) Falta de motivação geral do aluno quanto à situação do país e perspectivas profissionais.
- f) Outras.

2.28 Atualmente há uma preocupação muito grande em rever os currículos dos cursos de engenharia no Brasil. Muitos currículos já foram revistos objetivando atender as exigências atuais e futuras da Ciência e da Tecnologia. Ou seja no "papel" têm-se já elaborados currículos primorosos e ideais, porém, do ponto de vista executivo barramos nos recursos humanos disponíveis. Barra-se na in experiência e no despreparo dos docentes jovens e no comodismo e resistência às mudanças dos antigos. Portanto pergunto:

- a) Como contornar tal situação?
- b) Afastar os antigos?
- c) Licenciar os jovens até que adquiram a experiência e o preparo desejado?
- d) Mas como substituí-los?

3.29 Disciplinas cujo conteúdo aborde redação de trabalhos, metodologia de pesquisa, citações bibliográficas, etc., devem fazer parte do currículo em cursos de engenharia?

- sim
- não
- sim, como optativa
- assuntos dessa natureza devem ser abordados

paralelamente às demais disciplinas no correr do curso.

3.30 Numa avaliação diagnóstica você considera que os alunos estão preparados para atribuir notas aos seus professores? Por quê?

3.31 Você considera viável realizar uma avaliação diagnóstica na(s) sua(s) disciplina(s), sabendo que na aplicação de questionários você pode aferir a percepção dos seus alunos a seu próprio respeito, isto é, do seu desempenho; você pode ainda conhecer, causas prováveis dos fracassos dos seus alunos, além de vir a conhecer sugestões apontadas pelo próprio alunado para melhoria do sistema ensino-aprendizagem quer em avaliação de aprendizagem, quer em metodologia aplicada?

3.32 A utilização dos recursos computacionais como metodologia de ensino em disciplinas do ciclo profissionalizante dos cursos de engenharia é, na sua opinião:

- prejudicial ao conteúdo teórico;
- desejável mas não fundamental;
- fundamental;
- depende da disciplina.

3.33 Você acredita que dentro das novas tecnologias

emergentes, no caso (Biotecnologia e Materiais) seja interessante vocacionar-se os cursos de Engenharia Química numa dessas áreas?

- a) sim não
- b) Qual das duas áreas você escolheria: Biot. Mat.
- c) Fazer justificativa sucinta.

3.34 Que contribuição acrescentaria no sentido de criticar ou complementar essa iniciativa de vocacionamento?

- a) Aceitaria debater o assunto;
- b) Gostaria de debater sobre o assunto;
- c) Considero de suma importância tratar desse assunto;
- d) Não considero esse assunto importante.

3.35 Como você classifica a formação nos cursos de graduação de Engenharia Química na área biotecnológica (Engenharia Bioquímica) em escolas de seu Estado?

Insatisfatório/inexistente/satisfatório/bom/ótimo

3.36 Que forma você considera mais interessante a pós-graduação em Engenharia abordar a Biotecnologia?

- a) Mestrado/Doutorado específico em Engenharia Bioquímica;
- b) Mestrado/Doutorado em Engenharia Química com ênfase em Biotecnologia;
- c) Mestrado/Doutorado em Biotecnologia com caráter multi-disciplinar e multi-profissional.

3.37 A partir da contribuição dos departamentos para os cursos, deve ser determinada a necessidade de docentes?

- a) Estes departamentos têm que tomar todas as providências para atender ao curso; só existem para isso;
- b) Deve agir como se fosse uma Faculdade, um centro de Ciências e Tecnologia;
- c) Só devo oferecer de acordo com o potencial do departamento.

3.38 O ensino de controle de qualidade deveria estar previsto pelo MEC no seu currículo mínimo?

3.39 Em seu atendimento é relevante a existência de uma disciplina na qual o aluno apresente um trabalho de formatura (iniciação científica ou estágio industrial)? A opção quanto ao tipo de trabalho deve ficar a cargo do aluno?

3.40 No caso de estágio industrial, posto que um dos principais problemas é a inexistência de verbas institucionais para seu acompanhamento, quais seriam as alternativas para solucioná-lo?

3.41 Sendo a Engenharia de Alimentos uma modalidade de Engenharia Química com currículo mínimo das áreas da Engenharia, porque está classificada na área de Ciências Agrárias?

3.42 Quais os principais problemas (dificuldades) encontrados pelos cursos de Engenharia de Alimentos?

Discurso de Paraninfo

Vila, Antônio Marcos. Departamento de Matemática Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos: Discurso de Paraninfo. Rev. Ensino Eng. São Paulo 9(1/2): 9-11, 1^o/2^o sem. 1990

Discurso de Paraninfo proferido pelo professor Antônio Marcos Vila em 16/12/89 por ocasião da cerimônia de colação de grau dos Engenheirandos, Graduandos em Arquitetura, Bacharelandos em Física, Química e Matemática, e Licenciandos em Física, Química e Matemática das Unidades do Campus da USP em São Carlos.

I - Nota introdutória:

No início de 1987 o Professor Antonio Marcos Vila, do Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos — USP, procurou a Direção da Escola de Engenharia de São Carlos com uma proposta: desejava cursar a habilitação Engenharia Civil. A proposta que já tinha merecido análise e aprovação por parte do ICMSC e da CERT, Comissão Especial de Regimes de Trabalho da USP, foi acolhida com entusiasmo pela EESC. Lembrou-se, na ocasião, a realização de um projeto de avaliação do ensino/aprendizado no curso de Engenharia Química da Universidade de Mc Master, Canadá, em que, com parte do projeto, dois docentes matricularam-se como alunos e cumpriram todas as etapas do curso. Ganharam, com isso, uma perspectiva ímpar para a realização de uma avaliação diagnóstica. O projeto do Professor Vila começou, então, com a esperança de que resultados semelhantes pudessem ser buscados a partir de sua iniciativa.

Em 1989 os formandos do Campus da USP de São Carlos escolheram o Professor Vila como paraninfo. Os Engenheiros e Arquitetos, os bacharéis e licenciados em Matemática, Física e Química foram brindados, durante a cerimônia de colação de grau, com o contundente discurso-relatório proferido pelo Professor Vila. O texto que se segue é a íntegra do discurso. Mais informações sobre o projeto canadense podem ser encontradas em "Characteristics of Engineering Students in Their First Two Years", Donald R. Woods e Cameron M. Crowe, Engineering Education, Fevereiro 1984.

Os editores.

II - Excelentíssimo Prof. Dr. Marcius Fantozzi Giorgetti, digníssimo diretor da Escola de Engenharia

Excelentíssimo Prof. Dr. Luis Antonio Favaro, digníssimo diretor do Instituto de Ciências Matemáticas

Excelentíssimo Prof. Dr. Horácio Panepucci, digníssimo diretor do Instituto de Física e Química

Autoridades presentes

Senhores e senhoras

Prezados formandos

Ao chegar ao fim de uma etapa, como está acontecendo agora com cada um de vocês, é muito provável e também muito natural que o indivíduo se sinta tomado por dois tipos de sentimentos:

— um sentimento reconfortante de satisfação, não só por ter superado às dificuldades da empreitada, como por

ter chegado a bom termo ao final da mesma, como atesta esta cerimônia.

— um outro sentimento de ansiedade ou de apreensão, quase um reflexo dos desafios que estão por vir.

Em relação ao segundo, talvez o melhor a fazer seja a gente se lembrar da boa retaguarda proporcionada pela grande massa de conhecimentos que lhes foi transmitida ao longo do curso e, em grande parte, assimilada, bem como confiar na própria capacidade para utilizar criteriosamente tais conhecimentos, quando isto tornar necessário.

Quanto ao primeiro sentimento, isto é, aquele de satisfação, pode ser bastante gratificante reforçá-lo um pouco mais, valorizando todo o esforço dispendido para ultrapassar as dificuldades que foram se apresentando e sendo vencidas. Por outro lado, pode ser também bastante interessante examinar com mais cuidado tais dificuldades, visando não só extrair informações que poderão eventualmente servir de parâmetro para situações futuras, como também encará-las como verdadeiras lições de vida.

Nesta breve locução, eu gostaria de convidá-los para um exame informal, na verdade uma rememoração, descompromissada com o rigor dos detalhes, sem rebuscamentos, a respeito de alguns aspectos gerais relativos ao curso de graduação que, cada um, na sua especialidade, acaba de concluir. Através dele, almejamos não só reforçar aquele sentimento de satisfação que mencionamos há pouco, mas também aproveitar a ocasião para colocar em evidência algumas características comuns aos vários cursos de graduação, que passaram a constituir barreiras preocupantes no que diz respeito a eficiência do binômio ensino-aprendizagem neste Campus.

Tais barreiras concorrem para que o aluno de graduação, que constitui um dos vetores de transmissão do conhecimento acumulado na Universidade, e que deve ser colocado a serviço da sociedade, tenha a sua eficiência bastante diminuída como canal de comunicação.

Uma das primeiras observações que afloram, uma das principais entre muitas, é o caráter massacrante da estrutura vigente nos cursos de graduação, um fardo que os alunos acabam suportando estoicamente. Ele é o resultado de um conjunto de fatores que foram se acumulando ao longo desses vinte e tantos anos, em boa medida facilitados pela estrutura autoritária introduzida na Universidade, e que, desde há um bom tempo, cria uma situação crítica tanto para o ensino como para a aprendizagem. Para muitos docentes, principalmente

aqueles que estão mais profundamente envolvidos com cursos de pós-graduação ou com pesquisa, tal situação pode até ter passado despercebida. Mas ela é um fato e não pode mais ser ignorada ou protelada.

Esta situação é responsável por um encadeamento de conseqüências indesejáveis para o estudante e que, freqüentemente, não são levadas na devida conta. Ao longo dos últimos três anos, de contacto diário com os alunos, meus colegas, tive a oportunidade de identificar algumas delas:

— primeira, a geração de um sentimento algo difuso de frustração, que nem sempre aflora. Ele é geralmente canalizado para algumas disciplinas, às vezes do básico, outras vezes do profissionalizante. Não é difícil identificar alguns fatores que contribuem para a origem ou a manutenção desse sentimento:

(a) a inexperiência, ou a inabilidade, ou mesmo um certo autoritarismo do docente, que o leva a cobrar do aluno bem mais do que ele foi capaz de transmitir.

(b) a insistência em se desenvolver certas disciplinas como se fossem fins em si mesmas, quando são apenas, muito mais fundamentais para a vida profissional.

(c) a ausência de uma orientação adequada em relação a textos que possam servir de suporte às aulas da disciplina, e assim por diante.

— segundo, uma certa apatia, que aparece quando o aluno se convence de que não lhe será possível cumprir todos os compromissos programados: provas, relatórios ou projetos das várias disciplinas do semestre, dentro da sua disponibilidade de tempo.

— terceiro, uma atitude conformista, que se traduz pela aceitação da situação como definitiva.

Tenho observado que poucas vezes o aluno se insurge contra a imposição.

— quarto, atitudes moralmente nocivas, que podem se refletir negativamente até sobre a futura vida profissional, como:

(a) recurso a “cola”, puro e simples, que assume gravidade crescente, à medida que passa a ser sistemático.

(b) cópia quase direta de relatórios, projetos, etc., de colegas, desobrigando-se de qualquer esforço:

- de adequação de dados,
- de escolha de outras alternativas, etc.

Mas afinal de contas, que fatores contribuem para a concretização desse caráter massacrante?

Naturalmente, é possível identificar vários fatores, mas dois deles têm pesos ponderáveis. Por isso, convém ressaltá-los.

O primeiro deles é a existência de uma carga horária excessiva, particularmente em relação aos cursos de Engenharia. Atualmente, qualquer um destes: Civil, Mecânica, Elétrica, Produção apresentam uma média de 30 horas semanais de aulas.

Isto é claramente um excesso, se considerarmos como razoável e desejável que: o aluno dedique pelo menos 1 hora de estudo para cada hora de aula.

Agora, considerem também que a essas 60 horas semanais deva ser acrescido ainda tempo suficiente para a realização de outras tarefas, como relatórios, projetos, etc., o que leva facilmente esta estimativa para 70/80 horas semanais.

Mas, para agravar a situação, estas tarefas adicionais não estão distribuídas de modo uniforme ao longo do

semestre. Ao contrário, elas costumam se concentrar em certos períodos, principalmente no final do semestre.

A conseqüência mais imediata desta situação é o rompimento de qualquer gerenciamento de tempo que o aluno tenha conseguido estruturar, fato este que, por si só, já constituiria um acontecimento marcante.

Por isso, é grande o número de alunos que adentram as madrugadas, seja estudando para enfrentar duas ou mais provas num só dia, seja elaborando trabalhos, relatórios ou projetos.

Daí porque, não é nada estranho a gente encontrar algum aluno puxando um merecido cochilo no fundo da sala. Um pouco mais raro é encontrar alguém a sono solto durante uma prova, como aconteceu ainda neste semestre.

O segundo deles é o número exagerado de disciplinas. Novamente, os cursos de Engenharia são os recordistas.

A fim de dispor de um referencial, podemos considerar, por exemplo, o curso de Engenharia Civil, o mais antigo do Campus. Atualmente, ele compreende pelo menos oitenta e duas disciplinas, aí incluídas duas optativas, a fim de completar o número de créditos exigidos.

Pois bem, um dos efeitos que este número exagerado produz é o de fazer com que certas disciplinas do currículo adquiram um caráter de descartabilidade, no sentido em que o aluno praticamente chega a esquecer o conteúdo da mesma.

A esta altura cabe até perguntar se alguma coisa está sendo feita para enfrentar e eliminar os obstáculos mencionados. Sem nenhuma dúvida, cabe ao digníssimo professor Marcius Giorgetti, a iniciativa lúcida, organizada e efetiva no sentido de equacionar e resolver o problema no âmbito da Escola de Engenharia. A sua disposição para abrir e encaminhar as discussões, perante alunos, professores e colegiados, tem gerado propostas de “enxugamento” do número de disciplinas e de carga horária, que estão prestes a ser implementadas.

Tais propostas, procuram reservar ao aluno um tempo muito maior para o seu próprio estudo e para a complementação das aulas. Além disso, elas procuram apresentar não só um encadeamento mais racional das disciplinas como uma coordenação mais efetiva das mesmas.

Um outro aspecto fundamental dessas propostas é a “verticalização do ensino” que faz com que disciplinas do setor de Matemática, por exemplo, passem a ser distribuídas ao longo do curso e não mais concentradas no básico.

Na verdade, toda esta sistemática nova foi examinada também no Instituto de Ciências Matemáticas, onde foi julgada oportuna e adequada. Isto levou à medidas para a sua implantação.

Deste modo, os ingressantes no Bacharelado em, Matemática em 1990, por exemplo, passam a ter, em média, apenas vinte horas semanais de aulas e práticas de laboratórios.

Além disso, muitas disciplinas perderam o caráter obrigatório ao serem consideradas não-fundamentais, passando para o elenco de optativas. Em conseqüência, fica ampliada a liberdade de escolha das disciplinas de complementação do currículo.

No entanto, é claro que somente estas medidas não serão suficientes para uma reestruturação profunda,

eficiente e duradoura.

Torna-se necessário complementá-las com uma série de outras providências, como:

(a) desenvolvimento e utilização sistemática de materiais didáticos.

Um modelo concreto, por mais simples que possa parecer, pode ser muito mais elucidativo que centenas de palavras.

(b) um menor número de aulas ao dia deve conferir ao texto didático uma importância bem maior.

Neste sentido, deve ser encorajada e facilitada a produção de monografias aqui, no nosso Campus. No meu entender, elas não deverão ser prolixas, mas sintéticas a ponto de fornecer uma diretriz segura para o aluno e constituir uma introdução para textos mais avançados.

(c) as bibliotecas devem aumentar substancialmente a quantidade de textos em língua portuguesa. Para isto, é necessário agilizar a aquisição dos mesmos no mercado.

(d) os laboratórios devem ser reequipados.

As práticas de laboratório devem ser revisadas, tornando-se mais objetivas, substanciais, e realmente elucidativas.

Devem ser programadas também para os últimos anos dos vários cursos.

(e) O aluno deve ter à disposição modelos de relatórios, memoriais descritivos, projetos, etc. que lhe sirvam de orientação.

(f) No momento, praticamente inexistem trabalhos de campo. Na minha opinião, devem ser incentivados.

(g) a atenção que as unidades dispensam ao aluno ingressante é muito precária. O primeiro ano constitui uma verdadeira etapa de sobrevivência.

Muito daqueles que não entregam os pontos, costumam carregar preconceitos e ressentimentos pelo resto do curso.

Após todas estas observações, pode ficar a impressão de que foram ressaltados apenas aspectos negativos comuns aos vários cursos. Obviamente, esta não foi a nossa intenção.

Nosso objetivo declarado logo no início foi o de apresentar uma visão modesta da dimensão do obstáculo que vocês acabam de transpor, de modo a poder valorizar devidamente o feito. Só mesmo quem está passando ou passou por todas as distorções e dificuldades associadas dos vários cursos pode avaliar bem o grau de satisfação que, neste momento, cada um de vocês guarda bem fundo, lá no íntimo.

Para finalizar, desejo aqui, de público, expressar os meus sinceros agradecimentos pela escolha de minha pessoa para tão significativa e honrada tarefa de paraninfar esta magnífica turma. No momento, encontro dificuldades para exprimir adequadamente como este fato me toca profundamente e me enche de satisfação.

A cada um de vocês desejo sinceramente pleno êxito na vida profissional que ora se inicia.

Espero que cada um consiga galgar merecidamente os degraus de uma carreira há tanto almejada, desempenhando cada qual a sua tarefa com responsabilidade, honradez e perseverança.

Boa sorte para todos.

Muito obrigado.

A parábola como curva característica de bombas centrífugas

Hans G. Arens

Arens, Hans G. Departamento de Hidráulica e Saneamento: A parábola como curva característica de bombas centrífugas. Rev. Ensino de Eng., São Paulo 9(1/2): 12-5, 1^o/2^o sem. 1990

Mostra-se que a curva de desempenho de uma bomba centrífuga, pode ser representada pelo polinômio $H = a.Q^2 + c$, e que esta metodologia é especialmente indicada para as atividades didáticas desenvolvidas em sala de aula.

Bombas centrífugas, Curvas características.

Arens, Hans G. Department of Hydraulics and Sanitation: The parabola as characteristic curve of centrifugal pumps. Rev. Ensino de Eng., São Paulo 9(1/2): 12-16, 1^o/2^o sem. 1990

This paper demonstrates that the characteristic curve of a centrifugal pump can be represented by polynomial $H = a.Q^2 + c$ and that this methodology is particularly recommended for teaching purposes in the class.

Centrifugal pumps, Performance curve.

1. Introdução

O uso cada vez mais freqüente dos computadores, exige que as curvas de desempenho que caracterizam certos tipos de máquinas, sejam representadas por expressões algébricas adequadas.

A bibliografia de uma maneira geral, apresenta um grande número de métodos, próprios para a obtenção destas expressões, que se baseiam na determinação de uma função interpoladora, ou de uma função de ajuste, calculada a partir de uma série de pontos, tomados sobre as curvas de desempenho que constam nos catálogos dos fabricantes.

Um grande número de programas de computador, elaborados especificamente para realizar operações de ajuste ou de interpolação, permite que estas expressões sejam obtidas com certa facilidade.

Nas atividades desenvolvidas em salas de aula, por razões didáticas, muitas vezes é conveniente recorrer a métodos que dispensem o uso de computador, ou até mesmo das máquinas de calcular de maiores recursos de programação.

O presente artigo mostra, que no caso particular das bombas centrífugas, a curva de desempenho $H \times Q$ (altura manométrica \times vazão), pode ser descrita pela parábola $H = a.Q^2 + c$, onde os coeficientes a e b , são calculados de forma simples e rápida. A precisão dos resultados é muito boa, o que justifica a aplicação desta metodologia não só nas atividades didáticas, mas também nas atividades de dimensionamento e projeto.

2. Considerações preliminares

Pfleiderer C. e Hartwig P. (1) mostram que, para uma velocidade angular ω constante, a curva de desempenho de uma bomba centrífuga $H = H(Q)$, pode ser colocada sob a forma

$$H = a.Q^2 + b.Q + c \quad (1)$$

onde H é a altura manométrica e Q a vazão recalçada pela bomba.

Se (H_1, Q_1) e (H_2, Q_2) forem dois pontos homólogos de rendimento η , e ω_1 e ω_2 as respectivas rotações,

$$Q_2 = Q_1 (\omega_2/\omega_1) \quad (2)$$

$$H_2 = H_1 (\omega_2/\omega_1)^2 \quad (3)$$

e como:

$$\begin{aligned} H_1 &= a_1.Q_1^2 + b_1.Q_1 + c_1 \\ H_2 &= a_2.Q_2^2 + b_2.Q_2 + c_2 \end{aligned} \quad e$$

segue que

$$H_1 = a_2.Q_1^2 + b_2.(\omega_1/\omega_2).Q_1 + c_2.(\omega_1/\omega_2)^2$$

o que implica em $a_1 = a_2$, $b_1/\omega_1 = b_2/\omega_2$ e $c_1/\omega_1^2 = c_2/\omega_2^2$, ou $a = \text{cte} = A$, $b/\omega = \text{cte} = B$ e $c/\omega^2 = \text{cte} = c$.

A expressão (1) se modifica em

$$H = A \cdot Q^2 + B \cdot \omega \cdot Q + C \cdot \omega^2 \quad (4)$$

Saito S. (2) mostrou que, em regime não permanente, $H(Q)$ segue a expressão

$$H = A \cdot Q^2 + B \cdot \omega \cdot Q + C \cdot \omega^2 + D \cdot (d\omega/dt) + E \cdot (dQ/dt) \quad (5)$$

onde os coeficientes A, B, C, D e E são constantes, que dependem das dimensões da bomba. o polinômio do 2º grau é portanto a função mais indicada, para descrever a curva característica $H = H(Q)$ das bombas centrífugas usuais.

3. A representação das curvas de desempenho $H = H(Q)$ através de polinômios do 2º grau

A figura nº 1 mostra seis pontos, tomados sobre a curva de desempenho de uma bomba centrífuga, referente a modelo KSB ETANORM 100-200, com rotor de diâmetro $\phi = 219$ mm, operando a 3750 rpm..

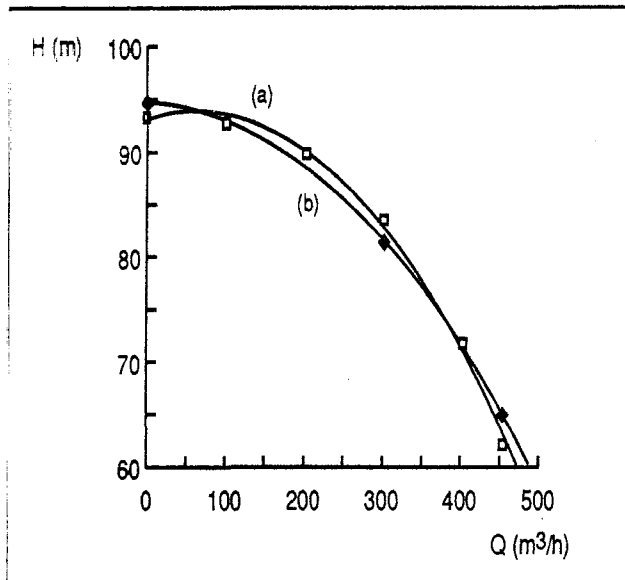


fig. 1 Seis pontos da curva $H \times Q$ da bomba KSB ETANORM 100-200, com $\phi = 219$ mm, $w = 3500$ rpm, curva (a) $H = aQ^2 + bQ + c$, curva (b) $H = aQ^2 + c$

O ajuste polinomial de grau 2, pelo método dos mínimos quadrados, se faz através da resolução de um sistema de 3 equações lineares a 3 incógnitas (a, b e c), de fácil solução, adequado portanto para as atividades didáticas desenvolvidas em salas de aula, onde a simplicidade e a rapidez, são fatores essenciais. Com os seis pontos da fig. 1 obtêm-se $a = -2,103 \cdot 10^{-4}$, $b = 0,0285$ e $c = 93,3071$ (a), e portanto

$$H = -2,103 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2 + 0,0285 \cdot Q + 93,3071$$

Como na maioria das vezes a derivada $(dH/dt)Q = 0$ assume valores muito pequenos, pode-se admitir que

$$(dH/dt)_{Q=0} = 0$$

hipótese que reduz o polinômio a

$$H = a \cdot Q^2 + c \quad (6)$$

Neste caso os coeficientes a e c, são obtidos por

$$a = (\sum Q_i \cdot \sum H_i - m \cdot \sum Q_i H_i) / (\sum Q_i \cdot \sum Q_i^2 - m \cdot \sum Q_i^3) \quad (7)$$

$$c = (\sum Q_i^2 \cdot \sum Q_i \cdot H_i - \sum Q_i^3 \cdot \sum H_i) / (\sum Q_i \cdot \sum Q_i^2 - m \cdot \sum Q_i^3) \quad (8)$$

onde (Q_i, H_i) são as vazões e as alturas manométricas de uma série de m pontos $m \geq 2$, tomados sobre a curva a ser representada ($i = 1, \dots, m$).

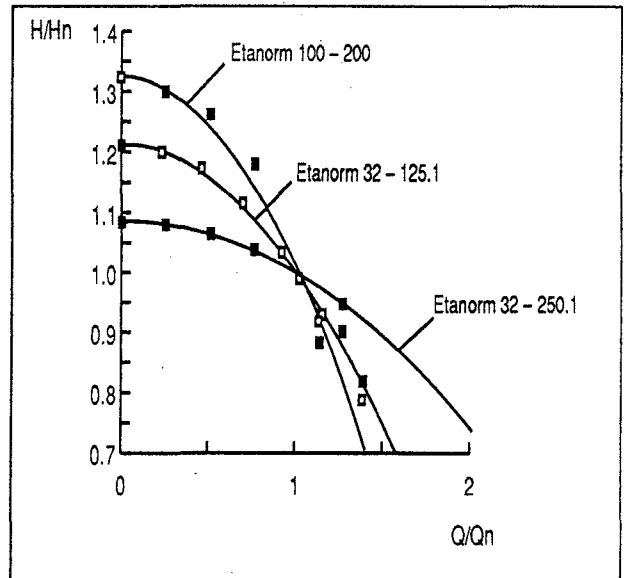


fig. 2 Curvas adimensionais $H/H_n \times Q/Q_n$ e suas parábolas de ajuste, calculadas através dos pontos $Q/Q_n=0$ e $Q/Q_n=1$ (o índice n representa as condições nominais $\eta = \eta_{max}$)

As expressões (7) e (8) aplicadas aos 6 pontos da fig. 1 (curva b) resultam em $a = -1,4810 \cdot 10^{-5}$ e $c = 94,9868$, e dessa forma

$$H = -1,4810 \cdot 10^{-5} Q^2 + 94,9868$$

A mesma curva poderia ser representada, porém com desvios maiores, pela parábola

$$H = -1,375 \cdot 10^{-5} Q^2 + 94$$

obtida com apenas dois pontos. Neste caso é comum optar-se pelo ponto de vazão nula ($Q=0, H=H_{max}$) e pelo ponto de melhor rendimento (Q_n, H_n) que na figura 1 se

caracterizam por (0,94) e (400,72). Mesmo nestas condições, os desvios ficaram abaixo de 6%.

As figuras nº 2 e nº 3 mostram as parábolas representativas de cinco bombas fabricadas pela KSB Bombas Hidráulicas S.A.. Trata-se das bombas 32-250.1, 32-125.1, 100-200, 150-200 e 150-400 que representam os extremos do campo de aplicação das bombas do tipo ETANORM, alcançando vazões até $Q = 700 \text{ m}^3/\text{h}$ e alturas manométricas até $H = 120 \text{ m}$.

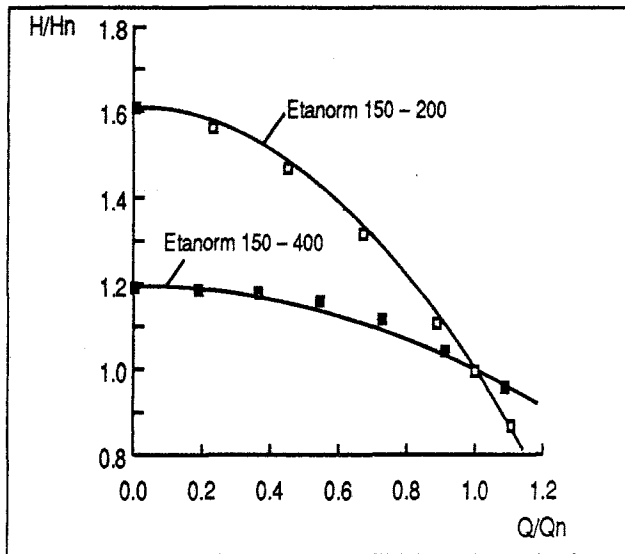


fig. 3 Curvas adimensionais $H/H_n \times Q/Q_n$ e suas parábolas de ajuste, calculadas com os pontos $Q/Q_n=0$ e $Q/Q_n=1$.

As parábolas, calculadas com apenas 2 pontos, apresentaram desvios inferiores a 5%, fato que mostra que o polinômio incompleto $H = a.Q^2 + c$ fornece efetivamente resultados bastante confiáveis.

4. As curvas de desempenho $H = a.Q^2 + c$

A parábola $H = a.Q^2 + c$, permite que os exemplos didáticos referentes as bombas centrífugas, sejam tratados através de um modelo analítico muito simples.

A influência da rotação pode ser facilmente verificada, quando se coloca H sob a forma (4) $H = A.Q^2 + C.\omega^2$, onde A e C são constantes que dependem exclusivamente da geometria da bomba.

De fato, se $H = a.Q^2 + c$ representar a curva de desempenho de uma bomba na rotação nominal ω_n , tem-se que

$$H = a.Q^2 + c = A.Q^2 + C.\omega_n^2$$

o que acarreta $A = a$ e $C = c/\omega_n^2$. A curva de desempenho para a rotação genérica ω (fig.4a) obedece então a

$$H = a.Q^2 + c.(\omega/\omega_n)^2 \tag{9}$$

Nas associações de bombas em paralelo, é muito comum considerar-se como um só sistema, a bomba e seus respectivos acessórios (válvulas, conexões e dutos de interligação). O contorno tracejado (fig. 4), representa o sistema, e sua curva característica consiste na curva da bomba, subtraída das perdas ocasionadas pelos acessórios e trechos da canalização.

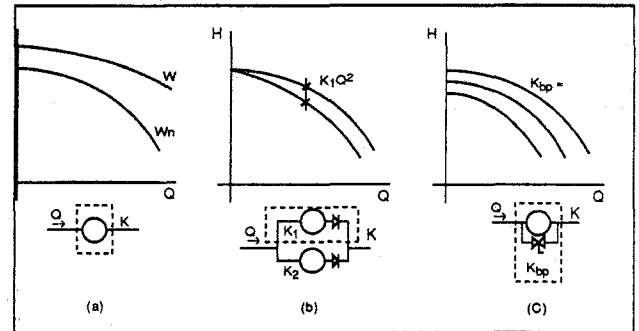


fig. 4 a) Curvas $H(Q)$ de uma bomba para as rotações ω e ω_n
 b) Curvas $H(Q)$ de um sistema bomba/válvula com as perdas do trecho 1 representadas por $K_1.Q^2$
 c) Curvas $H(Q)$ de uma bomba com bypass de controle.

Como as perdas seguem a expressão

$$\Delta h = K_1.Q^2$$

a curva representativa do sistema (fig. 4b) mantém a forma parabólica

$$H = (a - K_1).Q^2 + c \tag{10}$$

Nos exemplos anteriores, tanto a curva característica de uma bomba isolada como a de um sistema, resultaram numa parábola. Esta característica pode ser alterada, pela instalação de um bypass (para atenuação ou segurança), entre a entrada e a saída da bomba (fig. 4c) $H(Q)$.

De fato, se Q , Q_b e Q_{bp} forem respectivamente as vazões do sistema, da bomba e do bypass, e se a perda de carga no bypass seguir $\Delta h_{bp} = K_{bp}.Q_{bp}^2$, tem-se que

$$\begin{aligned} H &= a.Q_b^2 + c \\ H &= K_{bp}.Q_{bp}^2 \\ Q &= Q_b - Q_{bp} \end{aligned}$$

e que resulta em :

$$H^2 (1 - a/k)^2 + 2H (1 - a/K) (a.Q^2 + c) + 2a^2.Q^2/K + (a.Q^2 + c)^2 = 0 \tag{11}$$

Nesta equação o parâmetro K_{bp} representa a abertura do registro de controle do bypass, que na posição fechada assume $K_{bp} = \infty$.

5. A associação em série e em paralelo

A presente formulação possibilita também, que as associações de bombas em série ou em paralelo, sejam tratadas com grande simplicidade.

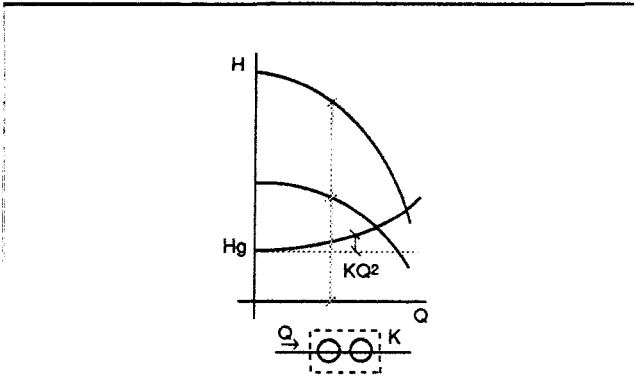


fig. 5 a) curva de $H=H(Q)$ para uma associação em série

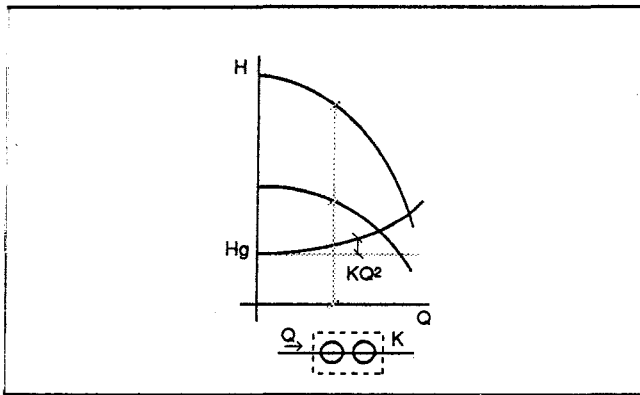


fig. 5 b) curva de $H=H(Q)$ para uma associação em paralelo

Duas bombas iguais, associadas em série (fig. 5a), terão como curva representativa a parábola

$$H = 2(a \cdot Q^2 + c) \tag{12}$$

Para a associação em paralelo (fig. 5b), é conveniente usar a curva de desempenho do sistema formado por cada ramo da associação, sob a forma (10). O desempenho de cada unidade é então representado por

$$H = (a - K_1) \cdot Q^2 + c = a_1 \cdot Q^2 + c$$

$$H = (a - K_2) \cdot Q^2 + c = a_2 \cdot Q^2 + c$$

e da associação por

$$H = [a_1 \cdot a_2 / a_1 + a_2 - 2(a_1 \cdot a_2)^{1/2}] Q^2 + c \tag{13}$$

Se a disposição é simétrica, $K_1=K_2$, $a_1=a_2=(a-K_1)$ e a (13) se reduz a

$$H = (a_1/4) \cdot Q^2 + c \tag{14}$$

Se a perda nas conexões e nos trechos de interligação for desprezada, $K_1 = 0$, $a_1 = a$ e dessa forma

$$H = (a/4) \cdot Q^2 + c \tag{15}$$

6. Um exemplo numérico

A figura 6 mostra sete pontos (Q_i, H_i) obtidos da curva de uma bomba (KSB Etanorm 50-150, $\omega_n = 1750$ rpm $\phi = 174$ mm) que são

(0;14,9) (20;14,6) (30;14,1) (40;13,3) (50;12) (60; 10,7) (65;10)

onde o ponto (50 m³/h, 12 m) é o ponto de melhor rendimento $\eta = 70,5\%$.

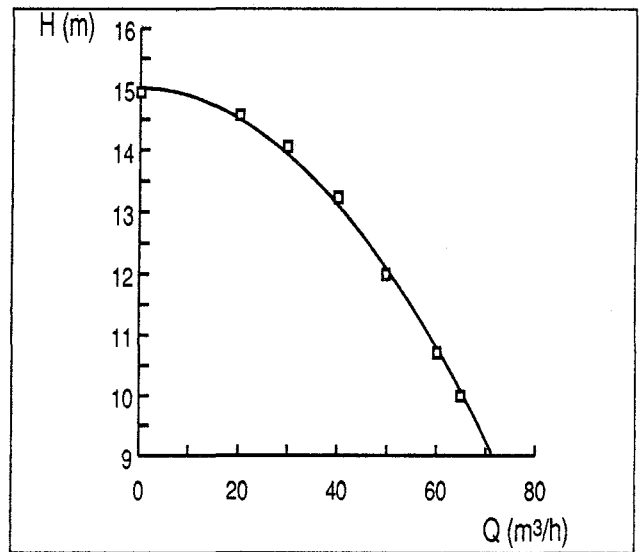


fig. 6 Pontos obtidos da bomba KSB Etanorm 50-150 $\omega_n = 1750$ rpm $\phi = 174$ mm

As expressões (7) e (8) fornecem $a = -1,1824 \cdot 10^{-3}$ e $c = 15,034$, e a curva da bomba fica representada conforme (6) pela parábola

$$H = -1,1824 \cdot 10^{-3} Q^2 + 15,034$$

O ajuste em cada ponto, pode ser quantificado pelo fator $f_i = (aQ_i^2 + c)/H_i$ obtendo-se

$$f_1=1,009 \ f_2=0,997 \ f_3=0,991 \ f_4=0,988 \ f_5=1,006 \ f_6=1,007 \ f_7=1,003$$

o que evidencia que os desvios são pequenos.

Para uma rotação genérica ω (rpm), a curva característica obedecerá a (9), portanto

$$H = -1,1824 \cdot 10^{-3} Q^2 + 15,034 \cdot (\omega/1750)^2$$

A curva de desempenho de duas unidades associadas em série, será representada conforme (12)

$$H = 2 \cdot (-1,1824 \cdot 10^{-3} Q^2 + 15,034 \cdot (\omega/1750)^2)$$

Se as duas bombas forem associadas em paralelo, em montagem assimétrica, podem ser tratadas como 2 sistemas, subtraindo-se de cada bomba as perdas individuais dos trechos de interligação. Assumindo que as perdas em cada ramo seguem

$$\Delta H_1 = 0,0004 Q^2 \text{ e } \Delta H_2 = 0,0002 Q^2$$

cada sistema terá como curva característica

$$H_1 = (-1,1824 - 0,4) \cdot 10^{-3} Q^2 + 15,034 \cdot (\omega/1750)^2 \text{ e}$$

$$H_2 = (-1,1824 - 0,2) \cdot 10^{-3} Q^2 + 15,034 \cdot (\omega/1750)^2$$

ficando a associação em paralelo expressa por

$$H = -0,3693 \cdot 10^{-3} Q^2 + 15,034 \cdot (\omega/1750)^2$$

Caso as perdas ΔH_1 e ΔH_2 fossem desprezadas, a curva seria expressa pela equação (15), resultando em

$$H = -0,2956 \cdot 10^{-3} Q^2 + 15,034 \cdot (\omega/1750)^2$$

Finalmente, a curva do sistema bomba/bypass para $\omega = 1750$ rpm, implicaria na solução de

$$H^2(1-a/K)^2 + 2H((1-a/K)(aQ^2+c) + 2a^2Q^2/K) + (aQ^2+c)^2 = 0$$

com $a = -1,1824 \cdot 10^{-3}$ e $c = 15,034$, e onde K_{bp} caracteriza a perda no bypass. A figura 7 mostra $H=H(Q)$ para aberturas $K_{bp} = \infty/0,01/0,004/0,001$.

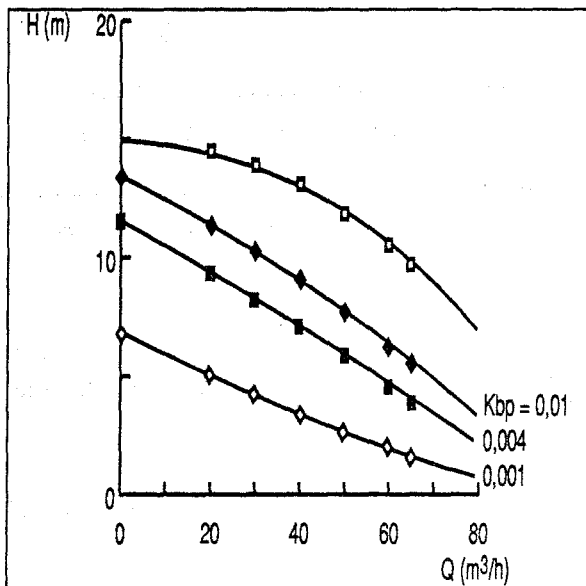


fig. 7 Curva característica do sistema bomba/bypass

7. Conclusão

A curva característica de uma bomba pode ser muito bem representada pela parábola $H = aQ^2 + c$. Esta forma de representação é especialmente apropriada para as atividades de ensino desenvolvidas em salas de aula, uma vez que os coeficientes a e b , são obtidos através de uma formulação elementar. Essa metodologia permite ainda, que os exercícios que tratam da aplicação das bombas centrífugas, possam ser resolvidos através de um modelo analítico de grande simplicidade.

8. Bibliografia

- [1] PFLEIDERER C., PETERMANN H. "Máquinas de Fluxo" Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 1979.
- [2] SAITO S. "The Transients Characteristics of a Pump during Start Up" Bulletin of the JSME, vol. 25, nº 201, March 1982.
- [3] VIEIRA R. C. C. "Máquinas de Fluxo Tangenciais, Radiais e Axiais" Publicações EESC/USP, nº 122, 1965.

Centrifugação de Modelos em Geotecnia

*José Carlos A. Cintra
João Baptista Nogueira*

Cintra, José C. A. & Nogueira, João B. Centrifugação de Modelos em Geotecnia. Rev. Ensino de Eng., São Paulo 9(1/2): 17-19, 1º/2º sem. 1990.

Sob gravidade normal, os ensaios sobre modelos reduzidos em geotecnia não satisfazem às condições de semelhança entre modelo e protótipo. A centrifugação dos modelos é a solução já consagrada mundialmente. Grandes centrífugas, bem equipadas, possibilitam o desenvolvimento de inúmeras pesquisas nos mais variados campos da geotecnia. Pequenas centrífugas, em laboratórios didáticos, permitem a demonstração de fenômenos de ruptura em estruturas de solos, com enorme impacto educacional aos estudantes.

Centrífuga, Modelo, Geotecnia, Ensaio, Ensino

Cintra, José C. A. & Nogueira, João B. Geotechnical Centrifuge Modelling. Rev. Ensino de Eng., São Paulo 9(1/2): 17-19, 1º/2º sem. 1990.

Small scale testing performed under normal gravity in geotechnical engineering does not satisfy the similitude relationship between model and prototype. The model centrifugation is a well known solution. Large centrifuges, well equipped, make possible the development of researches in several fields of geotechnical engineering. The use of small centrifuges in teaching laboratories provides a means of demonstrating the mechanics of failure on soil structures, with great educational impact on students.

Centrifuge, Model, Geotechnical Engineering, Test, Teaching

1. Introdução

A partir do início desta década, sobretudo, a modelização em centrífuga passou a ser utilizada amplamente em mecânica dos solos em diversos países. Destacam-se as pesquisas sobre fundações superficiais e profundas, muros de arrimo, solos reforçados, obras subterrâneas, escavações, aterros, barragens, taludes, ancoragens, interação solo-estrutura, e problemas dinâmicos.

A utilização deste equipamento sofisticado, na análise de modelos reduzidos em geotecnia, é facilmente justificável por três motivos principais:

a) As experiências realizadas sob gravidade normal não permitem satisfazer as condições de semelhança entre modelo e protótipo;

b) Os métodos numéricos, embora tenham alcançado alto grau de desenvolvimento nos últimos tempos, não se constituem em meio de estudo privilegiado em mecânica dos solos, em razão da complexidade das leis de comportamento dos materiais;

c) As dificuldades, por demais conhecidas, existentes nos ensaios in situ.

As centrífugas, portanto, ao possibilitarem a realização

de ensaios sobre modelos reduzidos, satisfazendo às leis de semelhança, se constituem, atualmente, em excelente via de pesquisa complementar às análises teóricas e numéricas e às experiências sobre obras em verdadeira grandeza. Os inúmeros resultados já obtidos atestam com clareza tal assertiva.

2. Princípio dos Ensaios por Centrifugação

Para se observar o mesmo comportamento sobre um protótipo e um modelo em escala reduzida, é necessário respeitar as condições de semelhança entre as diversas grandezas físicas envolvidas.

Na formulação dessas condições de semelhança, geralmente, se utiliza o conceito de "escala" de uma grandeza física. Deste modo, define-se σ^* a escala de tensões, ou seja, a relação entre a tensão no protótipo e no modelo, $\sigma^* = \sigma_p / \sigma_m$, e de maneira análoga, ρ^* a escala de massas específicas, g^* a escala de forças de massa, e l^* a escala de dimensões lineares.

Para os meios contínuos, pode-se demonstrar que as equações de equilíbrio são verificadas se

$$\sigma^* = \rho^* g^* l^*$$

Na mecânica dos fluidos, por exemplo, as experiências são realizadas, frequentemente, nas condições ambientes

($g^* = 1$), mas os materiais do protótipo são substituídos no modelo reduzido por outros materiais de modo a satisfazer as condições de semelhança.

Entretanto, na mecânica dos solos, a complexidade das leis de comportamento dos solos não permite a substituição dos materiais; devendo então o modelo reduzido ser construído no mesmo material ($\rho^* = 1$) e desejando conservar o mesmo nível de tensões ($\sigma^* = 1$) para fazer intervir a mesma relação tensão x deformação, eventualmente desconhecida, é necessário que

$$g^* l^* = 1$$

Portanto, pode-se obter a semelhança entre protótipo e modelo aumentando-se as forças de massa na proporção inversa da escala de dimensões lineares, através da centrifugação do modelo ($g^* = 1/l^*$). É o princípio dos ensaios em centrífuga. Um modelo reduzido à escala 1/100, por exemplo, deve ser submetido a uma aceleração de 100 vezes a gravitacional (100 g).

Contrariamente, nos ensaios sob gravidade normal ($g^* = 1$), e levando em conta que ρ^* não é muito diferente de 1 mesmo que se considere a substituição do material, obtém-se

$$\sigma^* \approx l^*$$

o que significa que as tensões no modelo são muito mais fracas do que no protótipo, não sendo possível, portanto, simular o comportamento do solo, que depende do nível de tensões.

É interessante mencionar que o aumento das forças de inércia, por outra via que não a centrifugação, é utilizado desde muito tempo na mecânica dos solos para a determinação do limite de liquidez (1). Com efeito, neste ensaio provoca-se a ruptura de um talude, em modelo fortemente reduzido, quando se produz o choque da concha sobre o pedestal do aparelho de Casagrande.

Para uma altura H de 13 mm desse "talude", e admitindo a coesão não drenada da argila $c_u = 1 \text{ kN/m}^2$, o número de estabilidade à ruptura

$$c_u/\gamma H = 0,19$$

implica $\gamma = 405 \text{ kN/m}^2$, o que corresponde a uma aceleração de 20 g, considerando-se o peso específico da argila 20 kN/m^3 .

3. Histórico

A técnica de centrifugação de modelos reduzidos de obras de terra e fundações surgiu, simultaneamente, nos Estados Unidos e na União Soviética, no início da década de 1930.

A primeira centrífuga americana, de porte bem pequeno (raio de 20 cm), foi utilizada por Bucky na Universidade de Colúmbia, no estudo de estabilidade de tetos de minas. Esta atividade em mecânica das rochas não teve, porém, grande repercussão e somente a partir dos anos 70 a modelização em centrífuga conheceu um real desenvolvimento nos EUA.

Ao contrário, as experiências pioneiras em centrífuga realizadas em Moscou, por Davidenkov e Pokrovsky, se desenvolveram rapidamente. Os resultados obtidos em modelos reduzidos centrifugados foram logo utilizados em projetos de barragens, aterros e diques. Em artigo apresentado ao 1º Congresso Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, em 1936, Pokrovsky e Fedorov mostraram o esquema de uma centrífuga, registraram a existência deste tipo de equipamento em quatro instituições soviéticas, com raios de 0.8 a 1.5 m, e relataram a sua utilização nos estudos de: estabilidade de taludes, distribuição de tensões em fundações, condutos enterrados, e recalques de fundações. Durante os 30 anos seguintes, foram instaladas mais de 20 centrífugas especializadas para estudos geotécnicos nos diferentes órgãos de pesquisa soviéticos. Todavia, o conjunto de trabalhos soviéticos, publicados em idioma russo, permaneceu desconhecido do resto do mundo até os anos 60, quando foram feitas traduções na Inglaterra.

Ainda na década de 60, surgiram as primeiras centrífugas em outros países: Japão, África do Sul e Inglaterra. E a partir da década de 70: França, Alemanha, China, Dinamarca, Israel, Itália, Holanda e Canadá.

Os anos 80 são marcados pela eclosão de uma nova geração de instalações, da qual faz parte a centrífuga do LCPC — Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, na França, de concepção mais elaborada que as precedentes e de maior capacidade. Inaugurada em 1985, a centrífuga do LCPC tem um raio de 5.5 m, pode ser submetida a uma aceleração máxima de 200 g, e ensaiar modelos de até 2 t (2).

Ressalte-se, finalmente, a evolução na complexidade das experiências, graças aos avanços recentes na instrumentação e na eletrônica. As primeiras experiências se limitavam a observar o estado do modelo após a centrifugação. Numa segunda etapa, o modelo passou a ser instrumentado e seu comportamento observado durante a centrifugação. Atualmente, pode-se intervir sobre o modelo durante a centrifugação, como por exemplo, realizar provas de carga em fundações. Estes progressos permitem reproduzir de um modo mais realista as etapas de construção de obras de terra e mesmo as trajetórias de tensões.

4. Centrífuga Didática

Além da utilização de enormes centrífugas com finalidades de pesquisa nos mais diversos campos da geotecnia, em vários países tem se mostrado muito atraente o uso de pequenas centrífugas para fins didáticos em mecânica dos solos.

Na Universidade de Manchester, Inglaterra, por exemplo, há uma centrífuga no laboratório didático desde 1972 e cerca de 750 estudantes de graduação já tiveram experiências práticas de técnica de centrifugação desde então (3). Nesta centrífuga de 30 cm de raio e com possibilidade de aceleração máxima de 120 g, um dos muitos experimentos interessantes, realizados pelos alunos, é a visualização direta do desenvolvimento de ruptura em taludes. Modelos de 50 mm de altura, de taludes inclinados de 50° ou 70°, são submetidos a acelerações crescentes, parando-se a centrífuga e

inspecionando-se o modelo em cada estágio. Além do acompanhamento da ruptura e da constatação de sua real superfície, o que é praticamente impossível sem a centrífuga, obtém-se, para a inclinação adotada e o tipo de solo utilizado, a altura crítica H_c do talude real simulado pelo modelo de altura H :

$$H_c = \varphi^* H$$

onde φ^* é a escala de forças de massa (por exemplo, $\varphi^* = 20$ se a ruptura ocorre quando a aceleração atinge 20 g).

5. Conclusões

É prática corrente nos laboratórios universitários de mecânica dos solos que os estudantes acompanhem ensaios em equipamentos mais ou menos padronizados para a medida de propriedades-índice e de parâmetros relativos à drenagem, adensamento, e resistência ao cisalhamento. Mas o impacto educacional pode ser muito maior com a realização de experimentos não convencionais através de uma pequena centrífuga, como a ruptura de taludes, de fundações, de estruturas de arrimo, de escavações escoradas ou não, etc.

Seria altamente desejável a instalação no Brasil de uma grande centrífuga para o desenvolvimento de pesquisas em geotecnia. Porém diante da inviabilidade econômica de tal empreendimento, considera-se oportuna ao menos a implantação de pequenas centrífugas nos laboratórios de mecânica dos solos utilizados pelos graduandos em engenharia civil.

6. Referências Bibliográficas

- [1] PILOT, G. "Centrifugation de modèles réduits d'ouvrages en terre et de fondations". Rapport de Recherche n° 48, LCPC, Paris, 1975.
- [2] CINTRA, J. C. A. "Modelos de grupos de estacas em areia submetidas a carregamento lateral em centrífuga". Relatório de estágio de pós-doutorado, Centro de Nantes do LCPC, França, 1989.
- [3] CRAIG, W. H. "On the uses of a centrifuge". Proc. of the Int. Conf. on Geotechnical Centrifuge Modelling. p. 1-6, Paris, 1988.

Determinacion de Coeficientes de Difusion con un Electrodo de Disco Rotatorio

Javier M. Grau y José M. Bisang

Grau, Javier M. y Bisang, José M. Programa de Electroquímica Aplicada e Ingeniería Electroquímica (PRELINE), Centro de Tecnología Educativa Aplicada (CETEA):
Determinacion de Coeficientes de Difusion con un Electrodo de Disco Rotatorio. Rev. Ensino Eng., São Paulo 9(1/2): 20-24, 1º/2º sem. 1990.

Se estuda a transferência de massa em um eletrodo de disco rotatório. Determinou-se o coeficiente de difusão do ion cobre e analisou-se sua variação com a concentração da solução e temperatura.

Eletrodo de disco rotatório — Coeficiente de difusão.

Grau, Javier M. y Bisang, José M. Programa de Electroquímica Aplicada e Ingeniería Electroquímica (PRELINE), Centro de Tecnología Educativa Aplicada (CETEA):
Determination of Diffusion Coefficients with a Rotating Disk Electrode. Rev. Ensino Eng., São Paulo 9(1/2): 20-24, 1º/2º sem. 1990.

The mass transfer was studied in a rotating disk electrode. The diffusion coefficient of the copper ion was determined and its variation with the solution concentration and temperature was analyzed.

Rotating disk electrode — Diffusion coefficient.

1. Introduccion

Para el diseño de equipos de ingeniería química con transferencia de masa, se recurre usualmente a correlaciones de números adimensionales con el fin de calcular el coeficiente de transferencia correspondiente. A tal fin, es preciso conocer el coeficiente de difusión de la especie en estudio que puede ser determinado mediante el empleo de un electrodo de disco rotatorio. Esta necesidad nos ha llevado a la realización del presente estudio, en el cual se adecúa la técnica mencionada mediante instrumentación simple, para la realización de un trabajo experimental a desarrollarse durante el dictado de un curso de Electroquímica o Ingeniería Electroquímica.

2. Fundamentos Teóricos

En muchos estudios de transferencia de masa se emplea la técnica electroquímica (1) por sus notables ventajas respecto a otros métodos. Esta consiste en el uso de una celda de tres electrodos, operando con electrolito soporte se polariza el electrodo de trabajo detectándose la corriente límite de difusión de la especie reaccionante. En el caso particular de un disco rotatorio, el sistema posee

condiciones fluidodinámicas perfectamente definidas, lo que permite solucionar en forma analítica exacta las ecuaciones fluidodinámicas y de difusión convectiva, arribándose a la siguiente expresión (2, 3), conocida como ecuación de Levich:

$$i_L = 0,62 v_e F D^{2/3} \omega^{1/2} \nu^{-1/6} C \quad (1)$$

la cual es válida cuando la reacción electroquímica esta controlada por transferencia de masa y en condiciones de corriente límite. De acuerdo a ec. (1) al graficar i_L en función de la raíz cuadrada de la velocidad angular se obtiene una línea recta que pasa por el origen y de cuya pendiente puede calcularse el coeficiente de difusión. Este método se empleará en el presente estudio.

Mayor información sobre los aspectos teóricos y constructivos puede obtenerse en la bibliografía especializada el tema (2-4).

3. Equipo Experimental

En la figura 1 se esquematiza la celda de electrólisis utilizada. Como electrodo de trabajo se ha empleado un disco de cobre de 35 mm de diámetro embebido en la parte inferior de una campana de teflón para disminuir los efectos de borde. El anillo exterior de teflón fue de 4,5 mm de ancho. Se ha adoptado un disco de gran área con el fin de conseguir corrientes mayores y facilitar su lectura.

El contraelectrodo se construyó con un disco de cobre de 84 mm de diámetro y se localizó debajo del electrodo de trabajo en el fondo de la celda

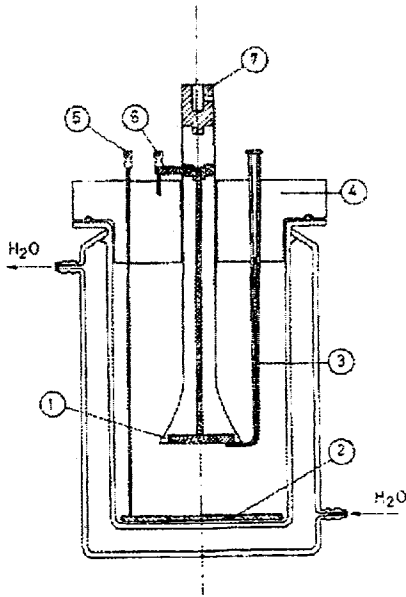


Fig.1 Celda de electrólisis. 1. Electrodo de trabajo — disco rotatorio (E.T.). 2. Contraelectrodo (C.E.). 3. Capilar Luggin. 4. Tapa de celda. 5. Conexión del contraelectrodo. 6. Escobilla de conexión del electrodo de trabajo. 7. Acoplamiento al motor.

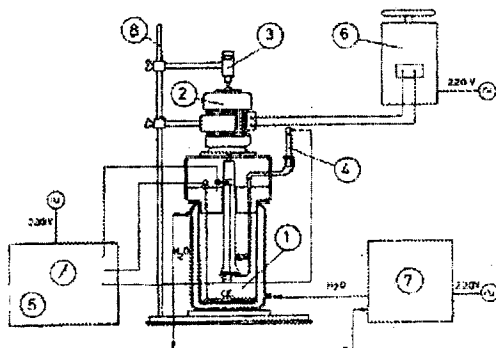


Fig.2 Arreglo experimental. 1. Celda de electrólisis. 2. Motor eléctrico. 3. Tacómetro. 4. Electrodo de referencia (E.R.). 5. Potenciostato. 6. Control de velocidad del motor. 7. Termostato. 8. Soporte.

Como electrodo de referencia se usó calomel saturado en KCl que se conectó a un capilar Luggin posicionado muy próximo a la superficie del electrodo de trabajo con el objeto de disminuir la caída óhmica en la solución entre el extremo del capilar Luggin y la superficie del electrodo. En la figura 2 se muestra el arreglo experimental usado.

La celda de electrólisis, con una capacidad de 0,6 litros, posee una camisa por donde se hace circular agua proveniente del termostato, de ese modo se mantiene constante su temperatura en un valor prefijado.

El disco se hacía rotar con un motor de velocidad variable la que fue medida con un tacómetro mecánico.

Todas las determinaciones se realizaron bajo control potenciostático.

En cada experiencia se hacía burbujear nitrógeno en la solución electrolítica con el fin de expulsar el oxígeno disuelto y durante la medida se mantenía aquel gas sobre la solución.

La reacción electroquímica en estudio ha sido la deposición de cobre desde soluciones ácidas (1,38 M H_2SO_4) de sulfato de cobre; preparadas con reactivos analíticos.

4. Resultados

4.1. Curvas de polarización potenciostática

En la figura 3 se informa las curvas de densidad de corriente en función del potencial aplicado con respecto a calomel saturado en KCl para la deposición de cobre desde soluciones 10^{-2} M en $CuSO_4$ para diferentes velocidades de rotación. Es preciso destacar que al valor de potencial informado en abscisas se le ha restado la caída óhmica en el contacto de carbón que alimenta al electrodo de trabajo.

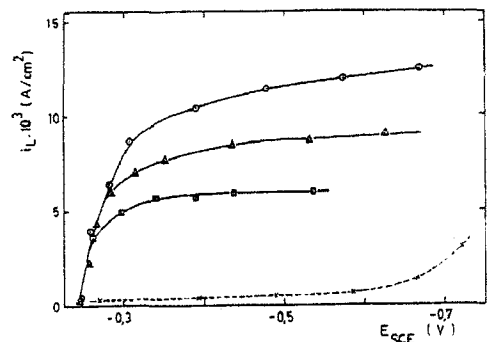


Fig.3 Curvas de polarización potenciostática. Deposición de cobre: $(CuSO_4)=0,01$ M. $(H_2SO_4)=1,38$ M. $T=25$ °C
 □: 500 rpm. △: 860rpm. ○: 1500rpm
 x-x—. $(H_2SO_4)=1,38$ M. $T=25$ °C

Puede observarse que existe un rango de potenciales en el cual se aprecia que la corriente es relativamente uniforme, no obstante no se alcanza un valor constante

fundamentalmente a altos valores de velocidad en donde se obtienen las mayores corrientes. Esto se debe a que al depositarse el cobre aumenta el factor de rugosidad del electrodo incrementándose su área real, por consiguiente para un dado potencial aplicado la corriente aumenta en el tiempo. Al respecto, Ibl y Schadegg (5) han demostrado que el aumento del factor de rugosidad es mayor cuando la corriente se aproxima al valor límite, no obstante para que este proceso ocurra se necesita un período de inducción que está en el orden de 1 a 2 minutos.

Por otra parte es de esperar que a altos potenciales ocurra la evolución de hidrógeno simultáneamente con la deposición de cobre. Por este motivo se ha efectuado una experiencia adicional estudiando el desprendimiento de hidrógeno desde soluciones 1,38 M en ácido sulfúrico sobre un electrodo de cobre, similar a lo informado en (6). Estos resultados experimentales son también representados, con línea de trazos, en la figura 3.

Se aprecia que puede aplicarse un potencial de aproximadamente -0,6 V, respecto al electrodo de referencia usado, sin que la generación de hidrógeno introduzca errores significativos. Este valor máximo de potencial concuerda con lo informado por Gabe y colaboradores (7, 8).

Por consiguiente para las experiencias que se detallan a continuación, en lugar de trazar las curvas de polarización se ha potenciostatizado el disco a -0,6 V respecto a calomel; garantizándose por lo ya expuesto que el electrodo está en condiciones de corriente límite y que la corriente de generación de hidrógeno es despreciable. Asimismo, la corriente se midió durante un tiempo corto, menor a 2 minutos, impidiéndose así el desarrollo de rugosidad y la alteración del área del electrodo. Por otra parte, previamente a cada determinación, el disco se pulió con lija al agua número 600, con el objeto de tener en cada caso aproximadamente la misma área.

4.2. Influencia de la concentración

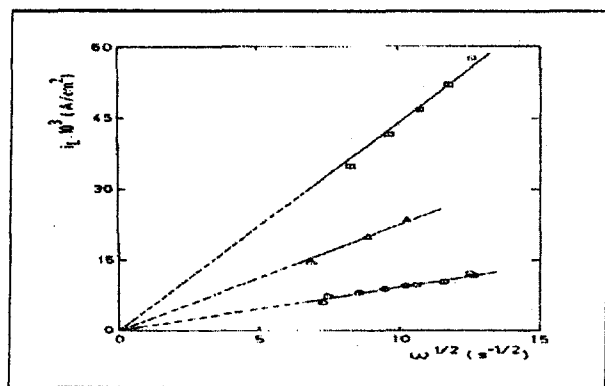


Fig. 4 Densidad de corriente límite en función de la raíz cuadrada de la velocidad angular. (H_2SO_4)=1,38 M. $T=25^\circ C$.
 \square : ($CuSO_4$)=0,05 M.
 \triangle : ($CuSO_4$)=0,025 M.
 \circ : ($CuSO_4$)=0,01 M.

En la figura 4 se grafica la corriente límite de difusión del ión cobre en función de la raíz cuadrada de la velocidad de rotación del disco.

Sistema	ρ (g/cm ³)	$\mu \cdot 10^3$ (g/cm ² /s)	Propiedad		D · 10 ⁶ (cm ² /s)	(D · μ · 10 ¹⁰) ^{1/2} (g cm ^{1/2} s ^{1/2} K)
			$v \cdot 10^2$ (cm ² /s)	$m \cdot 10^3$ (A/cm ² s ^{1/2})		
CuSO ₄ = 0,05 M H ₂ SO ₄ = 1,38 M T = 25°C	1,086	1,1346	1,0448	4,4099	6,29	2,39
CuSO ₄ = 0,025 M H ₂ SO ₄ = 1,38 M T = 25°C	1,083	1,1255	1,0392	2,2282	6,49	2,45
CuSO ₄ = 0,01 M H ₂ SO ₄ = 1,38 M T = 25°C	1,081	1,1200	1,0361	0,9190	6,54	2,45
CuSO ₄ = 0,01 M H ₂ SO ₄ = 1,38 M T = 31,5°C	1,078	0,9931	0,9212	1,0842	8,45	2,75
CuSO ₄ = 0,01 M H ₂ SO ₄ = 1,38 M T = 40,5°C	1,074	0,8482	0,7898	1,2448	10,00	2,70

Tabla 1 Resumen de resultados

Los puntos experimentales \odot corresponden a soluciones con una concentración de cobre de 10^{-2} M. Algunas de estas experiencias corresponden a las curvas de la figura 3.

Los puntos \triangle fueron obtenidos con soluciones de concentración $2,5 \cdot 10^{-2}$ M y aquellos simbolizados con \square a $5 \cdot 10^{-2}$ M.

Sendos conjuntos de datos experimentales fueron correlacionados por regresión lineal ajustándolos a ecuación 1. En la tabla 1 se resumen los valores de pendiente y coeficiente de difusión, además se informa la densidad y viscosidad, determinada con un viscosímetro de Ostwald, de las soluciones usadas.

Se observa un decrecimiento del coeficiente de difusión con el aumento de la concentración.

En la figura 5 se representa el coeficiente de difusión en función de la raíz cuadrada de la concentración

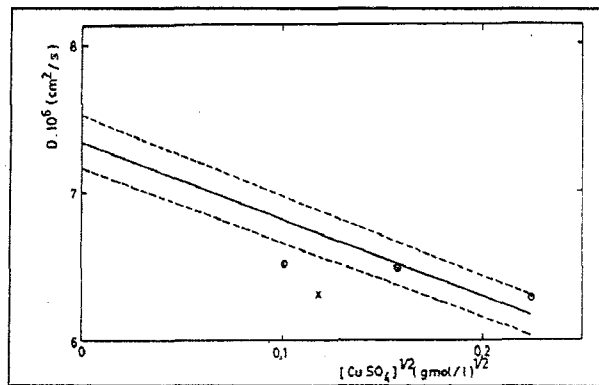


Fig. 5 Coeficiente de difusión del ión cobre en función de la raíz cuadrada de la concentración de sulfato de cobre. (H_2SO_4)=1,38 M. $T=25^\circ C$. \odot : éste trabajo. X: referencia (10) a $22^\circ C$. —: ecuación (2) según referencia (9)

Los valores obtenidos en este trabajo se simbolizan con \odot . La línea continua corresponde a la ecuación:

$$D = [7,35 \pm 0,18 - (5,3 \pm 1,4) [CuSO_4]^{1/2}] \cdot 10^{-6} \quad (2)$$

informada por Quickenden y Jiang (9), válida para $0 < [\text{CuSO}_4] < 0,05$ con una fuerza iónica de 1,58 mol/l. Estos autores proponen la ecuación 2 después de hacer determinaciones del coeficiente de difusión y tomando en consideración los valores publicados en numerosas investigaciones previas. Las líneas de trazos representan el intervalo de confianza correspondiente. No obstante, con x se ha representado el valor de D informado por Mankanjuola y Gabe (10) y empleado en sus estudios de transferencia de masa. Se concluye que los valores de coeficiente de difusión obtenidos concuerdan con los informados en la literatura.

4.3. Influencia de la temperatura

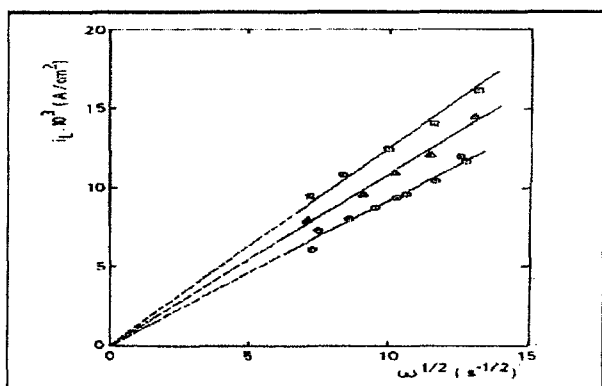


Fig.6 Densidad de corriente límite en función de la raíz cuadrada de la velocidad angular. $(\text{CuSO}_4)=0,01 \text{ M}$. $(\text{H}_2\text{SO}_4)=1,38 \text{ M}$. \odot : $T=25 \text{ }^\circ\text{C}$. \triangle : $T=31,5 \text{ }^\circ\text{C}$. \square : $T=40,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

En la figura 6 se representa la corriente límite de difusión del ión cobre en función de la raíz cuadrada de la velocidad angular del disco rotatorio. La concentración de la solución es 0,01 M en CuSO_4 y 1,38 M en H_2SO_4

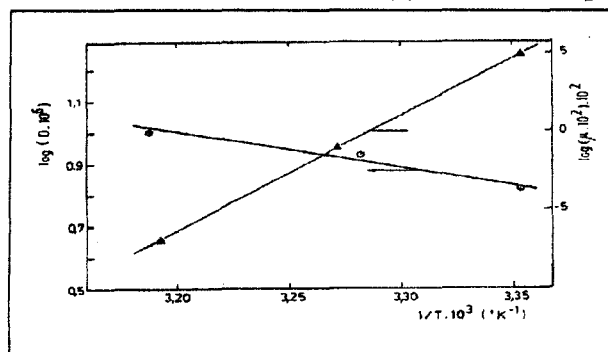


Fig.7 Figura 7: Representación semilogarítmica del coeficiente de difusión y de la viscosidad en función de 1/T. $(\text{CuSO}_4)=0,01 \text{ M}$. $(\text{H}_2\text{SO}_4)=1,38 \text{ M}$.

En las tres últimas filas de la tabla 1 se informan los valores de pendiente obtenidos por regresión lineal, como así también los coeficientes calculados. Se observa un

crecimiento notable con la temperatura.

En la figura 7 se realiza una representación semilogarítmica del coeficiente de difusión en función del inverso de la temperatura absoluta; se detecta una relación lineal, o sea tipo Arrhenius, conforme a lo informado por Arvia y colaboradores (11).

En la misma figura, con el propósito de comparación, también se ha efectuado la representación semilogarítmica de la viscosidad en función de 1/T.

5. Producto de Movilidad

Conocida la viscosidad de la solución, la predicción del coeficiente de difusión puede hacerse tomando en cuenta que la variable $D \cdot \mu / T$, denominada producto de movilidad, es aproximadamente constante. Se confirma esta afirmación examinando la columna 7 de la tabla 1. El valor promedio obtenido en este estudio para $D \cdot \mu / T$ es $(2,57 \pm 0,18) \cdot 10^{-10} \text{ g} \cdot \text{cm} / \text{s} \cdot \text{K}$ en buena concordancia con la literatura (11).

6. Conclusiones

La implementación de este trabajo experimental en un curso de electroquímica o ingeniería electroquímica permitirá al alumno tomar conocimiento de esta técnica que es profusamente usada para la determinación de coeficientes de difusión; al mismo tiempo analizará su variación con la concentración y temperatura y adquirirá un criterio para su predicción.

Por otra parte, los resultados adquiridos son de utilidad también para materias que estudian el diseño de equipos con transferencia de masa, lo cual representa una interrelación de conocimientos entre disciplinas afines.

Finalmente se debe destacar que el equipo empleado ha sido construido íntegramente en la Facultad de Ingeniería Química.

7. Agradecimiento

Los autores agradecen a la Organización de Estados Americanos (OEA) por subsidiar este trabajo.

8. Nomenclatura

- C: concentración (mol/cm³)
- D: coeficiente de difusión (cm²/s)
- E_{SCE}: potencial respecto al electrodo de calomel saturado (V)
- F: constante de Faraday (96487 Cb/mol)
- i: densidad de corriente (A/cm²)
- i_L: densidad de corriente límite de difusión (A/cm²)
- m: pendiente de la curva i_L vs (ω)^{1/2} (A/cm²/s^{1/2})
- T: temperatura absoluta (°K)
- Alfabeto griego
- μ: viscosidad (g/cm/s)
- v: viscosidad cinemática (cm²/s)
- v_e: número de carga de la reacción (--)
- δ: densidad de la solución (g/cm³)
- ω: velocidad angular (1/s)

9. Bibliografía

- [1] Selman, J.R. y Tobias, C. W. Adv. Chem. Eng. 1978, 10, 211-318
- [2] Levich, V. G., "Physicochemical Hydrodynamics", Prentice-Hall, New Jersey, (1962)
- [3] Bard, A. J. y Faulkner, L. R., "Electrochemical Methods, Fundamentals and Applications, John Wiley, New York (1980)
- [4] Riddiford, A. C., Adv. Electrochem. Electrochem. Eng. 1966, 4, 47-116
- [5] Ibl, N. y Schadeegg, K. J. Electrochem Soc. 1967, 114 (1), 54-8
- [6] Bielsa, R. O. y Bisang, J. M., Rev. Ensino Eng., São Paulo 1986, 2 (1), 47-60
- [7] Gabe, D. R. y Mankanjuola, P. A., I. Chem. E. Symp. Ser. 1986, 98, 287-96
- [8] Gabe, D. R. y Walsh, F. C., J. Appl. Electrochem. 1984, 14, 555-64
- [9] Quickenden, T. I. y Jiang, X., Electrochim. Acta 1984, 29, 693-700
- [10] Mankanjuola, P. A. y Gabe, D. R., Surf. Technol. 1985, 24, 29-44
- [11] Arvia, A. J., Bazán, J. C. y Carrozza, J. S. W., Electrochim. Acta 1966, 11, 881-889

Ensino de Materiais nos Cursos de Engenharia

Ruy Carlos de Camargo Vieira

Ruy Carlos de Camargo Vieira: Ensino de Materiais nos Cursos de Engenharia. Rev. Ensino Eng., São Paulo 9(1/2): 25-27, 1^o/2^o sem. 1990

Apresenta-se tentativa de definição de Engenharia que permite conceituar o seu ensino, de forma a destacar a importância dos recursos materiais nas aplicações que constituem objeto da profissão. Faz-se ligeiro histórico da preocupação com os materiais nos currículos mínimos do curso de engenharia, e aponta-se para a necessidade de serem abordados conhecimentos básicos sobre estrutura e propriedades dos materiais, dentro de um ponto de vista moderno, nos currículos plenos.

Materiais, Ciência dos Materiais, Ensino de Engenharia.

Ruy Carlos de Camargo Vieira: Teaching of Materials in Engineering Education. Rev. Ensino Eng., São Paulo 9(1/2): 25-27, 1^o/2^o sem. 1990

A tentative definition of Engineering is presented and connected to Engineering Education; the importance of materials, as resources, is stressed. A historical outline of the insertion of materials into engineering curricula is presented; the need for a coverage of basic concepts on the structure and properties of materials, with a modern point of view, is reinforced.

Materials, Material Sciences, Engineering Education.

1. Observações Iniciais

O ensino de Materiais, da mesma forma como o ensino de outros tópicos abrangentes como por exemplo Energia ou Informática, na formação do Engenheiro, independentemente das áreas tradicionais em que a Engenharia tem-se dividido, merece ser focalizada à luz do que se deve entender por *Engenharia* e por *Ensino de Engenharia*.

Deixando de lado definições de cunho mais teórico ou que levem em conta a história do desenvolvimento da Engenharia e da formação de profissionais Engenheiros, pode-se partir de uma definição mais prática de Engenharia, como a preconizada pela ABET, antigo ECPD, organização norte-americana que tem a ser cargo o credenciamento dos cursos de Engenharia nos Estados Unidos da América do Norte, a qual é transcrita a seguir:

"*Engenharia* é a aplicação criteriosa dos conhecimentos obtidos nos campos das Ciências Exatas, Naturais e Humanas e Sociais, através da teoria, da experimentação e da prática, no desenvolvimento de meios para a utilização econômica de recursos em benefício da humanidade".

O ensino de Engenharia situa-se, portanto, na fase de aquisição dos conhecimentos que serão posteriormente aplicados criteriosamente na fase do exercício profissional.

Esquemáticamente, o Quadro I visualiza essa fase de aquisição de conhecimentos.

As estruturas curriculares formais dos cursos de graduação e de pós-graduação, bem como as estruturas

mais informais dos cursos de aperfeiçoamento e especialização dentro da perspectiva da educação continuada, inserem-se nesse esquema de aquisição de conhecimentos.

Aquisição de conhecimentos mediante	CAMPOS		
	Ciências Exatas	Ciências Naturais	Ciências Humanas e Sociais
Teoria			
Experimentação			
Prática			

Quadro I — Aquisição de Conhecimentos

Em particular, a estrutura dos currículos mínimos, constante da Resolução 48/76 do CFE, corresponde com bastante adequação a esse esquema, ao introduzir matérias de formação básica, formação geral e formação profissional geral.

Por outro lado, o exercício profissional da Engenharia situa-se na fase de aplicação dos conhecimentos adquiridos, de forma criteriosa, no desenvolvimento de meios para a utilização econômica de recursos em benefício da humanidade. Observa-se que nessa fase destacam-se três elementos primordiais — os recursos que deverão ser utilizados, a própria forma de utilização desses recursos, e os benefícios que são visados.

Os recursos a serem utilizados reduzem-se a três

categorias primordiais — recursos materiais, recursos energéticos e recursos humanos. A forma de utilização desses recursos, caracterizada pela aplicação criteriosa dos conhecimentos adquiridos na primeira fase, de maneira econômica, e visando o benefício da humanidade, constitui o que se poderia chamar de “engenheiramento” ou Engenharia propriamente dita. Finalmente, os benefícios visados poderiam classificar-se por “áreas de bem estar”, essencialmente interdisciplinares, cuja prioridade poderá fazer-se sentir em função de aspirações da sociedade e de políticas específicas de desenvolvimento.

Esquemáticamente o quadro II visualiza essa segunda fase.

2. Ensino de Materiais nos Cursos de Engenharia — A Estrutura Atual dos Currículos Mínimos

A partir das observações iniciais, fica suficientemente claro que o “desenvolvimento de meios para a utilização econômica de recursos”, no que diz respeito aos recursos materiais (ou talvez melhor dizendo, recursos de materiais) está intimamente ligado à aquisição de conhecimentos nos vários campos citados, sob as diferentes formas consideradas. Em síntese, o “Ensino de Materiais” encontra dentro desse esquema um lugar de destaque, que nem sempre tem sido devidamente considerado nas formulações conceituais dos currículos plenos dos cursos de Engenharia.

Não obstante, a reformulação dos currículos mínimos de Engenharia efetuada mediante a Resolução 48/76 do

Conselho Federal de Educação, tentou dar o devido destaque aos Materiais no contexto das seis grandes áreas em que se considerou dividida a Engenharia.

Assim é que na área Civil foi destacada a matéria “Materiais de Construção Civil”, na área Elétrica, a matéria “Materiais Elétricos”, na Mecânica, “Materiais de Construção Mecânica”, e na Metalúrgica, “Ciência dos Materiais”. Nas ementas das três primeiras matérias foi inserido o tópico “Elementos de Ciência dos Materiais”, e na última a própria Ciência dos Materiais tornou-se matéria específica.

A estrutura dos currículos mínimos não estabelece cargas horárias mínimas, exceto para atividades de laboratório, as quais, por sua vez, não são discriminadas formalmente. Em face da natureza dos currículos mínimos, permanece grande margem de mobilidade na interpretação do desdobramento das matérias em disciplinas, e o seu aprofundamento na direção dos vários tópicos constantes das ementas das matérias.

Tendo em vista, entretanto, orientar as instituições de ensino de Engenharia quanto ao propósito visado pela estrutura dos currículos mínimos, foram publicadas algumas recomendações pelo antigo Departamento de Assuntos Universitários do MEC, especialmente visando às atividades práticas que pela primeira vez passaram a ser exigidas.

Na publicação “Curso de Engenharia — Autorização, Reconhecimento e Funcionamento”, efetuada pelo Departamento de Assuntos Universitários em 1977, encontram-se tais recomendações.

APLICAÇÃO DOS CONHECIMENTOS ADQUIRIDO			
<p>“Engenheiramento”: Aplicação dos conhecimentos no desenvolvimento de meios para a utilização econômica de recursos em benefício da humanidade.</p>			
	Recursos		
Áreas de bem-estar	Materiais	Energéticos	Humanos
Alimentação			
Habitação			
Transporte			
.			
.			
.			

Quadro II — Aplicação dos Conhecimentos Adquiridos

3. Necessidades Futuras

Dadas as especificidades da área, que não são do domínio do autor, difícil seria apresentar sugestões sobre as necessidades futuras do ensino de Materiais nos cursos de Engenharia. Não obstante, as seguintes considerações de ordem geral merecem ser feitas, sem a pretensão de esgotar o assunto, mas apenas pretendendo realçar três pontos dignos de atenção.

No Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia realizado em julho de 1989 em Curitiba, foi apresentado interessante e importante trabalho pelos professores José de Anchieta Rodrigues e José Roberto Gonçalves da Silva, da Universidade Federal de São Carlos, intitulado "Ciência dos Materiais: uma disciplina necessária nos cursos de Engenharia".

Nesse trabalho é sugerida a ementa de disciplina "que forneça ao estudante conhecimento básico sobre a estrutura e as propriedades dos materiais dentro de um ponto de vista moderno", "fornecendo base científica ao estudante, utilizando noções fundamentais sobre a matéria sólida, vindas da Física do Estado Sólido, da Química e da Matemática". É sugerida também uma literatura adequada como texto principal, complementar e de atualização".

Tal proposição merece maior divulgação dada sua apresentação no contexto da formação do Engenheiro conforme a definição de Engenharia apresentada inicialmente, e em face das ementas das matérias mencionadas no item anterior.

Por outro lado, os aspectos tecnológicos envolvidos também nas ementas citadas, deveriam ser considerados de forma mais consentânea com o desenvolvimento tecnológico observado nesta década.

Finalmente, as recomendações apresentadas na publicação do DAU/MEC já referida, com toda a probabilidade mereceriam uma reconsideração, já decorridos treze anos da data da promulgação do novo currículo mínimo para os cursos de Engenharia.

RUY CARLOS DE CAMARGO VIEIRA
Presidente da ABENGE

Sobre a Força

Marcílio Alves

Alves, Marcílio. Departamento de Engenharia Mecânica: Sobre a Força. Rev. Ensino Eng., São Paulo 9(1/2): 28-32, 1^a/2^a sem. 19

Este artigo apresenta as principais idéias dominantes em várias épocas, a respeito do conceito de força. A perspectiva histórica foi adotada para mostrar que ainda hoje não o compreendemos bem. Tal constatação foi obtida junto a alunos de engenharia da Universidade de São Paulo quando da análise das suas respostas a um questionário com duas perguntas: o que é e como se mede força. Este trabalho mostra que tal incompreensão não é sem razão.

Força, medida, educação, filosofia.

Alves, Marcílio. Departamento de Engenharia Mecânica: On the Force. Rev. Ensino Eng., São Paulo 9(1/2): 28-32, 1^a/2^a sem. 19

In this paper the prevailing ideas about the concept of force is presented. The historical perspective was used to show that this concept is not well understood even today. This conclusion was reached when engineering students of the University of São Paulo were asked the following questions: what is and how can we measure force. This paper shows the misconceptions really make sense.

Force, measure, education, philosophy

1 Introdução

A ciência, na sua busca de compreender a natureza, tem criado e usado idéias e conceitos tão abstratos que parecem se contradizer com o seu ideal racionalista atual. Tais conceitos têm sido empregados, cada vez mais, de modo indiscriminado, postura esta imediatamente seguida pela técnica.

A sua compreensão pode cooperar a uma visão mais realista dos fenômenos naturais, encarados agora de uma maneira mais integrativa; além de servir de base para uma ciência menos pragmática.

Um destes conceitos a ser aqui tratado é o de força, já que o seu uso em engenharia é diário, a exemplo do de tensão, daquele decorrente. Pode parecer não haver sentido em questionar sobre força já que ela nos é tão íntima. Mesmo assim, quando aprofundamos a questão, constatamos que nosso conhecimento a seu respeito ainda é limitado, como será mostrado.

As considerações a seguir preocupam-se exclusivamente com as, assim chamadas, forças mecânicas.

2 O Conceito de Força entre Estudantes

Como motivação a este trabalho, foi distribuído um questionário junto a estudantes de engenharia da Universidade de São Paulo, de todos os anos, constando de duas perguntas: o que é e como se mede força? Os

resultados estão mostrados nas tabelas I e II. As respostas foram enquadradas segundo algumas palavras chaves. Estas podem representar mais de uma resposta.

Como se percebe, a maioria dos estudantes entrevistados definiu força como sendo uma interação entre corpos (46), ou aquilo que altera o estado de movimento de um corpo (42). Muitos (31) invocaram a 2^a Lei de Newton para conceituar força e um outro conjunto significativo de estudantes chama de força o que é capaz de causar deformação. Percebe-se que bem poucos atribuíram à força um conceito intuitivo (1) ou não definível (5).

A tabela II mostra claramente que o dinamômetro foi eleito entre os estudantes (56) como o instrumento usado para medir força. Outro tanto apoiou-se na 2^a Lei de Newton para quantificá-la (28). Menos de 10% dos entrevistados acham que a medição de força é realizada de modo indireto.

Os resultados deste pequeno questionário nos mostram a inabilidade dos estudantes de tratarem conceitos que fundamentam a ciência e técnica. As causas disto são complexas, relacionadas também a como a ciência estuda os seus objetos, embora não possa deixar de ser observado que uma importante causa é maneira como a ensinamos.

Quando afirmamos que $F = ma$, ou que o som é uma vibração mecânica, ou que o calor pode ser tratado como um tipo de energia mecânica, ou que o valor medido de tensão é o, estamos sempre transmitindo uma ciência dogmática e, portanto, que não admite o questionamento da veracidade dos mesmos. Este dogmatismo, que só a duras penas tem sido superado, transforma a ciência não em um meio de compreensão da realidade mas em detentora da verdade.

Curso de Engenharia	Elet.	Prod/Mec Nv/Mecat	Mec	Mec	Total
Ano	1ª	2ª/3ª	4ª	5ª	-
Nº de questionários	49	40	27	20	136
ma	9	12	120	-	31
aquilo que altera o estado de movimento	19	11	7	5	42
um tipo de alteração entre os corpos	18	11	5	12	46
aquilo que causa deformação	6	6	6	1	19
forma de energia o que pode realizar trabalho	5	1	-	1	7
indefinível	6	-	-	-	6
que pode mudar estado físico	1	-	-	4	5
ente matemático	1	-	2	-	3
conceito intuitivo	1	-	-	-	1
não existe	-	1	-	-	1

Tabela 1- *Resumo das respostas de estudantes de engenharia à questão: O que é força?*

Curso de Engenharia	Elet.	Prod/Mec Mecatron	Mec	Mec	Total
Ano	1ª	2ª	4ª	5ª	-
Nº de questionários	49	8	27	20	104
dinamometro	30	5	16	5	56
medição de massa ou aceleração	9	1	11	7	28
instrumento tipo mola por comparação	5	-	2	2	9
medida indireta	-	2	2	4	8
deformação	-	2	2	4	8
fórmulas matemáticas	3	-	2	2	7
medição direta	4	-	-	-	4
	-	2	-	1	3

Tabela 1- *Resumo das respostas de estudantes de engenharia à questão: Como se mede força?*

Aprender que ciência não é toda verdade mas sim a busca de, é saber que não é correto dogmatizar, é compreender que ao educador cabe incitar a dúvida e não estabelecer a certeza. Assim procedendo ver-se-á um quadro reverso daquele aqui constatado junto aos estudantes, e que consiste no objetivo principal a ser alcançado. Para tanto este artigo é uma pequena contribuição.

3 Força na Filosofia Grega [1]

Força manifesta-se sobre alguma coisa e só é possível pensar em sua origem, conceito, se percebermos uma separação entre nós e o mundo.

Na antigüidade a natureza era concebida como uma aos homens, viva, animada. Era então de se esperar não haver sentido questões sobre força ou sobre o que causava os vários movimentos.

É somente com Heraclitus (486 a. C.?) que o conceito de força começa a receber alguma atenção. Este a considera um elemento constituinte básico da realidade física.

Empedocles (444 a. C.?), pai da doutrina dos quatro elementos, hoje chamados aristotélicos, e Anaxágoras (500? - 428? a. C.) vêm força como o agente que atua em elementos primários imutáveis, criando assim toda a diversidade do universo. Esta força transformadora seria externa à matéria, um tipo de espírito que causa o

movimento desta e a refina, conferindo-lhe individualidade.

Os quatro elementos (terra, fogo, água, ar), para Empedocles, deviam ser unidos por dois tipos de força: amor (philia) e luta (neikos). Um ser permeado de amor seria aquele em que seus quatro elementos básicos estão em harmonia.

A luta manifestando-se atua no sentido da degradação e o ser se contrai. O processo de integração entre philia e neikos manifestaria-se na respiração.

Platão (427? — 347 a. C.) usa a palavra dynamis para denotar força e a concebe como aquilo que individualiza uma substância, a torna sensível a nós. Assim dynamis vem a ser também cor, temperatura, forma, dureza, etc...

Aristóteles (384—322 a. C.) enuncia uma lei que relaciona força e velocidade. Para ele os movimentos eram ou naturais ou forçados e força era o que acelerava aqueles [2]. Força seria o agente que consegue trazer ao repouso algo que está em movimento por sua própria tendência, ou vice-versa. Aristóteles também fala de elementos que se dirigem ao seu lugar natural. Elementos que sobem e descem, leves e pesados, que ele associava a dois tipos de manifestação de forças: graves e leves [3].

4 Da Vinci

Em Leonardo da Vinci (1452—1514) acentua-se a preocupação com o que vem a ser força, se ela existe como algo independente, por quanto tempo ela atua e outras questões.

Para da Vinci [4], força é uma virtude espiritual, uma potência invisível, a qual, por acidente, externa violência e é a causa do movimento. Força nasce (e vive) por violência e morre para a liberdade; e quanto maior, mais prontamente se consome; maior sua "potência" maior seu desejo pela morte. O corpo nasce do morrer do movimento e o movimento da morte da força.

Da Vinci já fazia distinção entre peso e força. O peso é corpóreo e material, a força incorpórea e espiritual.

5 Galileu

O pai da ciência moderna, Galileu Galilei (1564—1642) rejeita conjecturas acerca da essência do conceito de força conforme ele mesmo expressa, através de Salviati [5]:

"Não me parece ser este o momento oportuno para empreender a investigação da causa da aceleração do movimento natural, a respeito do qual vários filósofos apresentavam diferentes opiniões, reduzindo-a alguns à aproximação do centro; outros ainda, a certa extensão do meio ambiente, o qual, ao fechar-se por detrás do móvel, vai pressionando e projetando o móvel continuamente... Por ora, é suficiente ao nosso autor que entendamos que ele quis investigar e demonstrar algumas propriedades de um movimento acelerado (qualquer que seja a cauxa de aceleração)..."

Assim procedendo Galileu passa da filosofia às medidas experimentais, passo fundamental ao início da ciência moderna [6].

6 Newton

Isaac Newton (1642—1727), por sua vez, manipula o conceito de força e a quantifica em sua 2ª lei.

Talvez, em acordo com alguns críticos [7] que enfatizam o quanto Newton era convicto de que o universo como um todo não podia ser explicado mecanicamente e sim religiosamente, é que o conceito newtoniano de força é tão impreciso, além de puramente cinemático.

Em verdade Newton confundiu sua 1ª lei com sua definição IV [8], [9], resultando em um conceito incompleto de força. Isto pode ser constatado comparando sua definição IV “Uma força impressa é uma ação exercida sobre um corpo, de modo a mudar seu estado, seja de repouso, ou de movimento uniforme em linha reta”, com sua 1ª lei; “Todo corpo continua em seu estado de repouso, ou de movimento uniforme em uma linha reta, a menos que ele seja compelido a mudar tal estado por uma força impressa nele” [10].

Esta tautologia newtoniana é digna de nota para aclarar o fato de que não é simples definir algo tão evidente e, simultaneamente, tão fugidio como força. Citando Feynman [11]: “O real conteúdo da Lei de Newton é este; que força é suposta ter algumas propriedades independentes, em adição a lei $F = ma$; mas as específicas propriedades independentes que a força tem não foram completamente descritas por Newton ou por ninguém mais, e portanto a lei física $F = ma$ é uma lei incompleta”.

7 Hooke

Outro personagem importante na “história da força” foi Robert Hooke (1635—1703) que, como é sabido, muito se aproximou da lei da gravitação universal. Para tanto baseou seu sistema de mundo em três proposições anunciadas em 1666 (cit. em [12]):

I — Que todos os corpos pesados não têm somente gravitação de suas partes para o seu próprio centro, mas que também eles mutuamente se atraem dentro de sua esfera de ação.

II — Que todos os corpos tendo um movimento simples, continuarão a se mover em linha reta, a menos que sejam continuamente defletidos dela por alguma força estranha que os obrigue a descreverem um círculo, uma elipse ou alguma outra curva.

III — Que esta atração é tão maior quanto mais próximos estejam os corpos. Como proposição em que tais forças diminuem por um aumento da distância, eu próprio não descobri isto, embora eu tenha feito alguns experimentos para este propósito. Eu deixo isto a outros, que tenham tempo e conhecimento suficiente para esta tarefa”.

Em 1678, 12 anos após a apresentação à Royal Society de seu sistema de mundo, Hooke publica o artigo “De Potentiâ Restitutiva” que contém resultados de seus experimentos com corpos elásticos, concluindo que: “...É muito evidente que a Regra ou Lei da Natureza em qualquer corpo elástico (springing body) é que a força ou potência que o restitui à sua posição natural é sempre proporcional à distância ou espaço que desta ele é removido...” (cit. em [12]).

Assim, em uma mesma época, surgem três modos distintos de quantificar força, um via Newton — $F = ma$, outro com a sua lei de gravitação — $F = G m_1 m_2 / r^2$ e o terceiro pela lei de Hooke — $F = K.x$. Tal distinção, que em última análise é refletida pela estática e pela dinâmica, pode trazer sérios problemas aos que não a reconhecem. Por exemplo, acreditando-se ser $F = ma$ como explicar o grande esforço necessário para empurrar uma parede que não se move? Ou mesmo empurrar um móvel a velocidade constante?

Salientar a necessária distinção grosseira entre forças estáticas e dinâmicas é fundamental para compreendermos melhor que o conceito de força pode não se acomodar a uma lei única.

8 Concepções mais Modernas

Na época de Newton e depois dele, muitos outros filósofos manifestaram-se sobre o conceito em questão. Ralph Cudworth (1617—1688) defende uma concepção de força que tenha fugir do dualismo mente/matéria cartesiano [1] e afirma: “Por conseguinte, desde que nenhuma de todas as coisas são produzidas casualmente, ou por um mecanismo da matéria não guiado, nem o próprio Deus pode ser pensado fazendo todas as coisas imediatamente e miraculosamente; pode-se muito bem concluir que há uma natureza plástica abaixo Dele que, como um inferior e subordinado instrumento, executa laboriosamente aquela parte da Providência, que consiste no regular e ordenado movimento da matéria”.

Leibniz (1646—1716) fala de força como “...contendo uma certa atividade ou enteléquia e é meio termo entre a faculdade de agir e a ação em si...” (cit. em [1]), enquanto Euler (1707—1783) a considera uma causa estranha que altera o estado de um corpo [13].

Mais para o fim do século XIX, alguns filósofos começaram a desenvolver uma mecânica cuja formulação prescindia do conceito de força e usavam apenas sua definição matemática $F = ma$. Esta tendência tem como precursores Maupertuis (1698—1759) e Berkeley (1685—1753) e tomou forma nos trabalhos de Kirchoff (1824—1887), Hertz (1857—1894) e, principalmente, Mach (1838—1916). Citando Berkeley: “Força, gravidade, atração e termos similares são convenientes para propósitos de raciocínio e para computação de movimento dos corpos móveis, mas não para a compreensão da natureza em si do movimento” (cit. em [1]).

Para Berkeley força possui o mesmo status em ciência que os epiciclos em astronomia; embora usar tais conceitos levem a resultados corretos, não se deve supor que eles façam parte da natureza última dos fenômenos.

Atualmente algumas tendências de pensamento têm defendido um conceito psicológico de força [14], talvez em uma tentativa de expressar o fato de que só nos é possível questionar força por sentirmos em nós próprios a sua manifestação.

Um filósofo importante nesta linha foi Thomas Reid (1710—1796) cujos trabalhos científico-filosóficos divergiram de Descartes (1596—1650) e Kant (1724, 1804) pela defesa do “Sensualismo e Espiritualismo” [9]. Sua filosofia coloca o homem com seus sentidos em importante posição. “É muito provável que a concepção

ou idéia de potência ativa e de causas eficientes, seja derivada de nosso esforço voluntário em produzir efeitos; e que, se nós não fôssemos conscientes de tal esforço, nós não teríamos concepção sobre tais causas ou potência ativa e, conseqüentemente, nenhuma convicção da necessidade de uma causa para cada mudança que nós observamos na natureza" (cit. em [1]).

O que Reid afirma, dito de outro modo, é que somente a nossa consciência do esforço nos faz questioná-lo. É através de nossa capacidade de sentirmos força que podemos conjecturar que ela é causa do movimento.

Em analogia com Reid, e supondo que não pudéssemos sentir o vento, como explicaríamos o balançar das árvores?

Ainda nesta perspectiva cita-se de Biran: "O protótipo de idéia de força é encontrado em nosso próprio querer" e Schopenhauer (1788—1860) que afirma ser a noção de força a última a ser questionada já que tal conceito tem sua origem não nos fenômenos, mas vem de dentro, de nossa imediata consciência (cit. em [1]).

Por fim, acrescente-se o que Bertrand Russel entendia por força: "Força é a causa suposta da aceleração... Aceleração é uma mera ficção matemática, um número, não um fato físico... Força, se ela é uma causa, é a causa de um efeito que nunca existiu" [15].

9 Força e Sua Medida

Como já apresentado na tabela II, a maioria dos estudantes que responderam ao questionário, acredita que o dinamômetro é o instrumento usado para a medição de força. Isto confirma o caráter dogmático do ensino atual e o quão tais dogmas são bem recebidos pelos estudantes.

Não é difícil constatar que o dinamômetro é um instrumento que mede o deslocamento, ou seja, o efeito provocado por aquilo que chamamos de força. De igual modo, pode-se classificar todos os outros meios de medição de força e/ou tensão como sendo indiretos. Assim sendo, não é possível medir força diretamente mas somente os seus efeitos. Nada mais próprio para um conceito tão controverso quanto uma medição indireta.

De modo algum deixa de ser útil a medição indireta de força, porém é preciso salientar este fato junto aos estudantes, talvez como meio de mostrar certos limites de quantificação. Tal característica de medição também se aplica às tensões, ou seja, só é possível medir as deformações e, apenas se desejável, atribuir àquelas as causas destas.

Deveríamos então referirmos à medição de um efeito quando dizemos que uma força mede F , ou sua intensidade é F . Seria mais correto dizer que o efeito medido equivale a x vezes um efeito padrão, ao qual se atribui uma força F' . Logo, o valor da causa do efeito medido é xF' . Para simplificação é mais correto dizer: uma força equivale a... do que: uma força mede...

10 Considerações Finais

Afinal, o que vem a ser força?

Como foi visto, o conceito de força foi se alterando ao longo da história, sendo aquela considerada desde a causadora da diversidade presente na natureza até uma mera ficção. Isto mostra que não é fácil defini-la, mas

algumas observações podem ser feitas.

Força é uma expressão da Natureza. É o meio que Esta usa para nos ensinar o valor da ação. É através desta manifestação que vencemos a passividade, que transformamos, que desejamos. É por meio da força que desenvolvemos o nosso querer. Num mundo sem forças não haveria o que desejar.

Força é a contra-ação à transformação, à mudança de uma dada configuração. É um conceito centrado no homem, naquilo que ele sente como oposição ao seu ato de mudar.

Toda transformação realizada pelo homem exige dele um esforço interior, que só é percebido como tal pela existência de algo que a este esforço reage. Tal reação chamamos de força, palavra esta presente em todas as culturas.

Não é de se estranhar, então, que toda alteração do estado de equilíbrio que o homem percebeu ao seu redor, foi por ele relacionada à força. Antigamente, porém, não se atribuía a esta a causa das transformações, talvez pela intimidade que o homem tinha com a Natureza.

A partir de uma ciência mais analítica e observacional, passa-se a considerar, de uma maneira geral, força como causa dos movimentos, fato reforçado por leis que, ainda hoje muitos acreditam, a quantificavam.

A mecânica de Mach (e de outros) mostrou não haver necessidade de considerá-la como causa do movimento. A isto contribui o fato que força não precede o movimento, no máximo é concomitante a ele (vide da Vinci).

Mesmo sendo possível a construção de uma mecânica que não utiliza tal conceito, a ciência atual prefere a atitude oposta. O modo como esta a tem quantificado apresenta severas limitações, apontadas no ítem anterior, e que se tornam ainda mais evidentes quando se considera o agente que a causa.

Como foi observado, a noção de força parte de nosso íntimo e, portanto, a sua intensidade é particular a cada um. Assim, uma mesma força, quantificada com os limites aqui ressaltados, exige diferentes esforços em acordo com o que ou quem executa a ação. Uma pessoa pode ter muita facilidade em transportar um peso que, para uma outra, pode até mesmo ser impossível. Ora, neste caso, a força é representada por um mesmo número mas o esforço é totalmente diferente. A intensidade do esforço está em acordo com as condições físicas e psicológicas do agente transformador.

Como confirmação final da necessidade e utilidade da distinção entre força e esforço, ressalta-se que ainda não é possível responder com precisão à pergunta: quantos animais serão necessários para acionar um móvel?

Todo o texto objetivou mostrar que é preciso refletir sobre os conceitos usados pela ciência e pela técnica. Cabe aos professores destacar a necessidade desta reflexão junto aos seus alunos, para que estes aprendam, cada vez mais e melhor, a pensar.

11 Agradecimentos

Agradeço aos professores do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de São Paulo, por aplicarem os questionários junto aos seus alunos e, em especial, ao Prof. J. L. Junqueira pelas estimulantes discussões a mim proporcionadas.

12 Referências Bibliográficas

- [1] Jammer, Max, Concepts of Force - A study in the Foundations of Dynamics. Harvard University, Press, 1957.
- [2] Aristóteles, On the Heavens. Great Books of the Western World, Robert M. Hutchins. Editor in Chief, Encyclopedia Britannica, Inc., 1971.
- [3] Alves, Marcílio, Espaço Geométrico para Forças Periféricas, Série monografias do Depto de Eng^a Mecânica da USP, 1989.
- [4] da Vinci, Leonardo, I Libri di Meccanica, Nellan Ricostruzione ordinata di Arturo Uccelli. Editora Ulrico Hopli, 1939.
- [5] Galileu, Galilei, Duas Novas Ciências, tradução e notas: Mariconda, L. e Mariconda, P. R., 2nd, Nova Stella Editorial, 1988.
- [6] Comunicação pessoal do Prof. J. L. Junqueira, PMC — USP.
- [7] Burt, E. A., The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science, a Historical and Critical Essay, N. Y., 1954.
- [8] Mach, Ernst, The Science of Mechanics: a critical and historical account of its development. Transl. by Thomas J. Mc Cormeck, London, Open Court, 1942.
- [9] Lehrs, Ernst, Man or Matter - Introduction to a Spiritual Understanding of Nature on the Basis of Goethe's Method of Training Observation and Thought, 3th Edition, revised and enlarged, Rudolf Steiner Press, 1985.
- [10] Newton, Isaac, Sir Isaac Newton's Mathematical Principles of Natural Philosophy and his System of the World. Transl. by Andrew Motte in 1792, revised by Florian Cajori, University of California Press, 1946.
- [11] Feynman, R. P., Leighton, P. B., Sands, M. — The Feynman Lectures on Physics. Addison Wesley Publishing Company Inc., 1963.
- [12] Timoshenko, Stephen P. — History of Strength of Materials. Mc Graw-Hill Publishing Company Ltd., 1953.
- [13] Euler, Leonard, Reflexions sobre el Espacio, la Fuerza y la Materia. Traducción Ana Rioja, Alianza Editorial, 1985.
- [14] The Encyclopedia of Philosophy, Paul Edwards, Editor in Chief. The Macmillan Company & The Free Press, N. Y., Collier-Macmillan Limited, London, 1967.
- [15] Russel, Bertrand, The Principles of Mathematics, W. W. Norton & Company, Inc. 2nd edition, 1903.

Definições e Cálculos de Velocidades em Processos Fermentativos

Walter Borzani ¹

Borzani, Walter. Escola de Engenharia de Mauá do Instituto Mauá de Tecnologia: Definições e cálculos de velocidades específicas em processos fermentativos, Rev. Ensino Eng. São Paulo 9(1/2): 33-47, 1^o/2^o sem. 1990.

Este artigo tem por finalidade mostrar em que condições as definições de velocidades específicas usualmente adotadas podem ser aplicadas a casos reais.

Velocidades específicas, Cinética de processos fermentativos.

Borzani, Walter. Definitions and calculations of specific rates in fermentation processes. Rev. Ensino Eng. São Paulo 9(1/2): 33-47, 1^o/2^o sem. 1990.

The purpose of this article is to show under what conditions the usually adopted definitions of specific rates can be applied to actual systems.

Specific rates, Fermentation kinetics.

1 - Introdução

As velocidades específicas de crescimento de microrganismo, de formação de um produto e de consumo de substrato em um processo fermentativo, são parâmetros importantes no estudo da cinética desse processo.

Em um dado instante t do processo em apreço, essas velocidades são comumente definidas do seguinte modo [1]:

a) velocidade específica de crescimento do microrganismo:

$$\mu_X = \frac{1}{X} \frac{dX}{dt} \quad (1)$$

b) velocidade específica de formação do produto:

$$\mu_P = \frac{1}{X} \frac{dP}{dt} \quad (2)$$

c) velocidade específica de consumo do substrato:

$$\mu_S = - \frac{1}{X} \frac{dS}{dt} \quad (3)$$

sendo X , P , e S respectivamente, as concentrações do microrganismo, do produto e do substrato no instante considerado.

Nessas definições, dX/dt , dP/dt e $-dS/dt$ são, respectivamente, as velocidades de crescimento do microrganismo, de formação do produto e de consumo do substrato no instante t .

Na aplicação das definições representadas pelas equações (1) a (3) é preciso não esquecer que o volume do meio deve ser constante e, ainda, que não deve haver introdução nem retirada de microrganismo, de produto e de substrato do reator (esta "retirada" de materiais é, por vezes, consequência de arraste ou de evaporação, conforme o caso). Se estas condições não forem obedecidas, dX/dt , dP/dt e $-dS/dt$ não serão as velocidades de crescimento do microrganismo, de formação do produto e de consumo do substrato, respectivamente.

Além disso, é preciso lembrar que, enquanto a concentração microbiana é medida em relação ao volume de meio em fermentação, as concentrações de produto e de substrato são quase sempre determinadas no líquido isento de células. Em outras palavras, sendo, no instante t :

M_X = massa de microrganismo (material seco) existente no fermentador;

M_P = massa do produto existente no fermentador;

M_S = massa de substrato existente no fermentador;

V_T = volume de meio em fermentação;

V_L = volume de meio isento de células; tem-se:

$$X = \frac{M_X}{V_T} \quad (4)$$

$$P = \frac{M_P}{V_L} \quad (5)$$

$$S = \frac{M_S}{V_L} \quad (6)$$

Decorre, do que foi resumidamente exposto, a necessidade, principalmente em cursos de Engenharia Bioquímica, de adotar definições mais gerais e, em seguida, mostrar que as definições (1) a (3) poderão ser aplicadas quando determinadas condições forem obedecidas.

2. Definição de velocidade específica

Se o intervalo de tempo dt , contado a partir do instante t , as variações das massas de microrganismo (material seco), de produto e de substrato, como consequência da atividade microbiana, forem, respectivamente, $(dM_X)_m$, $(dM_P)_m$ e $(dM_S)_m$, define-se:

a) velocidade específica de crescimento do microrganismo no instante t :

$$\mu_X = \left(\frac{1}{M_X} \right) \cdot \frac{(dM_X)_m}{dt} \quad (7)$$

b) velocidade específica de formação de produto no instante t :

$$\mu_P = \left(\frac{1}{M_X} \right) \cdot \frac{(dM_P)_m}{dt} \quad (8)$$

c) velocidade específica de consumo de substrato no instante t :

$$\mu_S = - \left(\frac{1}{M_X} \right) \cdot \frac{(dM_S)_m}{dt} \quad (9)$$

3. Relação entre V_T e V_L

O volume de meio em fermentação, em um dado instante t , é dado por:

$$V_T = V_L + V_C \quad (10)$$

sendo V_C o volume ocupado pelas células naquele instante.

Indicando com σ o teor de matéria seca do microrganismo e com ρ a massa específica do microrganismo úmido, teremos:

$$V_C = \frac{M_X}{\sigma \cdot \rho} = X \cdot \frac{V_T}{\sigma \cdot \rho} \quad (11)$$

As equações (10) e (11) conduzem a:

$$V_L = V_T \left(1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho} \right) \quad (12)$$

equação esta que nos permite estabelecer um critério para poder verificar em que condições V_T e V_L podem ser considerados “praticamente iguais”.

Suponhamos, para fixar idéias, que o método analítico utilizado na determinação da concentração do produto (P) nos permita afirmar que, com uma certa probabilidade, o valor dessa concentração pertence ao intervalo $P(1 \pm \alpha)$. Nestas condições, a massa de produto será $V_L \cdot P(1 \pm \alpha)$. Se o valor $V_T \cdot P$ (que é maior do que $V_L \cdot P$) estiver contido nesse intervalo, podemos dizer que V_L e V_T são “praticamente iguais”. Em outras palavras, V_L e V_T serão considerados “praticamente iguais” se:

$$V_L \cdot P = (1 + \alpha) > V_T \cdot P \quad (13)$$

As expressões (12) e (13) conduzem a:

$$X < \sigma \cdot \rho \cdot \frac{\alpha}{1 + \alpha} \quad (14)$$

Se a (14) for obedecida, V_T e V_L serão considerados "praticamente iguais".

No caso de levedura, por exemplo, os valores de σ e ρ são, em média, iguais a 0,30 e $1,1 \times 10^3 \text{ g} \cdot \ell^{-1}$, respectivamente. Se o valor de α for 0,02 (isto é, se uma incerteza de 2% afeta a medida de P), a (14) nos dará:

$$X < 6,5 \text{ g} \cdot \ell^{-1}$$

ou seja, se α concentração microbiana for inferior a $6,5 \text{ g} \cdot \ell^{-1}$ (material seco), os valores de V_T e V_L serão considerados praticamente iguais.

4. Fermentação em batelada

4.1. Velocidade específica de crescimento do microrganismo

Consideremos o sistema em um dado instante t durante o andamento da fermentação. As equações (4) e (7) conduzem a:

$$\mu_X = \frac{1}{X} \cdot \frac{dX}{dt} + \frac{1}{V_T} \left(\frac{dV_T}{dt} \right) \quad (15)$$

Várias são as causas que podem acarretar uma variação apreciável do volume de meio em fermentação, devendo ser citadas:

- adição de solução de ácido ou de hidróxido para controle do pH;
- adição de anti-espumante;
- evaporação e/ou arraste de materiais;
- formação de produto que acarrete variação de volume (etanol, por exemplo).

Se não houver variação de volume ($dV_T/dt = 0$) resulta:

$$\mu_X = \frac{1}{X} \cdot \frac{dX}{dt} \quad (16)$$

A título de exemplo, a Fig. 1 apresenta as curvas de crescimento do microrganismo e de aumento de volume do meio (por adição de anti-espumante e de solução de hidróxido para controle do pH) em um processo fermentativo. Se quisermos conhecer a velocidade específica de crescimento do microrganismo no instante $t = 4\text{h}$, teríamos, pela (15):

$$\mu_X = \frac{1}{3,6} \cdot 1,16 + \frac{1}{10,11} \cdot 0,067 = 0,33\text{h}^{-1}$$

A aplicação da (16) daria:

$$\mu_X = 0,32\text{h}^{-1}$$

Levando-se em conta a incerteza que afeta o valor da velocidade, a influência da variação do volume, neste caso, pode ser desprezada.

4.2 Velocidade específica de formação do produto

Pelas equações (5) a (12) tem-se:

$$M_P = P \cdot V_T \left(1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho} \right) \quad (17)$$

Logo:

$$\frac{dM_P}{dt} = V_T \left(1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho} \right) \frac{dP}{dt} + P \left[\left(1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho} \right) \left(\frac{dV_T}{dt} \right) - \left(\frac{V_T}{\sigma \cdot \rho} \right) \frac{dX}{dt} \right] \quad (18)$$

Combinado a (4), a (8) e a (18) vem:

$$\mu_P = \left(1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho} \right) \frac{1}{X} \cdot \frac{dP}{dt} + \frac{P}{X} \left[\left(1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho} \right) \left(\frac{1}{V_T} \right) \left(\frac{dV_T}{dt} \right) - \frac{1}{\sigma \cdot \rho} \cdot \frac{dX}{dt} \right] \quad (19)$$

que nos permite calcular μ_P em cada instante.

Se a variação de V_T for desprezível ($dV_T/Dt \cong 0$), teremos:

$$\mu_P = \left(1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho} \right) \frac{1}{X} \cdot \frac{dP}{dt} - \frac{P}{\sigma \cdot \rho} \cdot \frac{1}{X} \cdot \frac{dX}{dt} \quad (20)$$

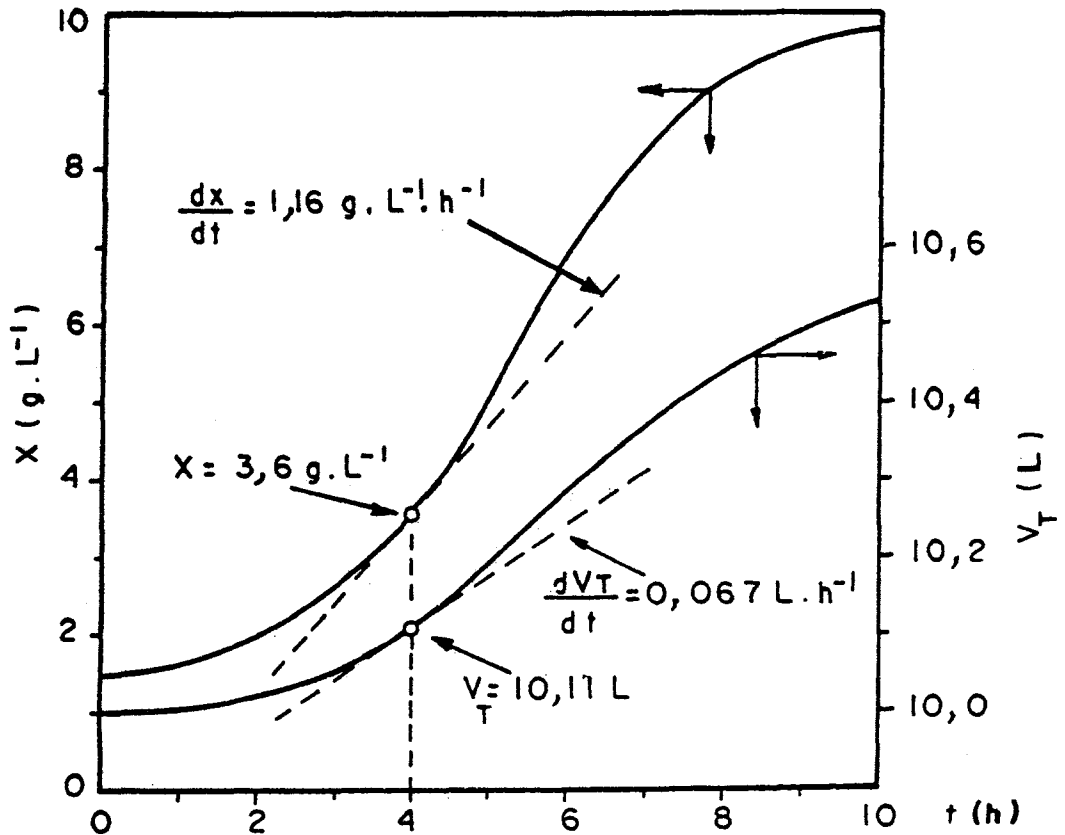


Fig.1 - Variação, com o tempo, da concentração microbiana (X) e do volume total de meio (V_T) em uma fermentação em batelada.

Se a concentração microbiana for suficientemente baixa (isto é, $X \ll \sigma \cdot \rho$):

$$M_P = P \cdot V_T$$

e, então:

$$\mu_P = \frac{1}{X} \cdot \frac{dP}{dt} + \frac{P}{X} \cdot \frac{1}{V_T} \left(\frac{dV_T}{dt} \right) \quad (22)$$

Finalmente, se $V \cong \text{cte.}$ e $X \ll \sigma \cdot \rho$, vem:

$$\mu_P = \frac{1}{X} \cdot \frac{dP}{dt} \quad (23)$$

4.3. Velocidade específica de consumo de substrato.

Não são raros os casos em que a concentração de substrato, determinada com auxílio de um método analítico apropriado, é maior do que a concentração de substrato realmente assimilável pelo microrganismo.

Nestas condições, sendo, um dado instante t :

M_S = massa de substrato assimilável;

M'_S = massa de substrato não assimilável;

M''_S = massa de substrato determinada pelo método analítico adotado;

tem-se:

$$M_S = M''_S - M'_S \quad (24)$$

Indicando com S'' a concentração de substrato determinada analiticamente, resulta:

$$M_S = S'' \cdot V_T \left(1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho} \right) - M'_S \quad (25)$$

Considerando que M'_S é constante durante todo o processo fermentativo ($dM'_S/dt = 0$), a (25) fornece:

$$\frac{(dM_S)_m}{dt} = \frac{d}{dt} \left[S'' \cdot V_T \left(1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho} \right) \right] \quad (26)$$

As expressões (9) a (26) conduzem a:

$$-\mu_P = \left(1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho} \right) \frac{1}{X} \cdot \frac{dS''}{dt} + \frac{S''}{X} \left[\left(1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho} \right) \frac{1}{V_T} \left(\frac{dV_T}{dt} \right) - \frac{1}{\sigma \cdot \rho} \cdot \frac{dX}{dt} \right] \quad (27)$$

Três casos particulares, análogos aos examinados no item 4.2, podem aqui ser considerados:

- a) $V_T \equiv \text{cte}$
- b) $X \ll \sigma \cdot \rho$
- c) $V_T \equiv \text{cte. e } X \ll \sigma \cdot \rho$

Neste último caso chega-se a:

$$-\mu_S = \frac{1}{X} \cdot \frac{dS''}{dt} \quad (28)$$

5. Fermentação em batelada alimentada

A Fig. 2 representa, esquematicamente, o sistema que será considerado neste item.

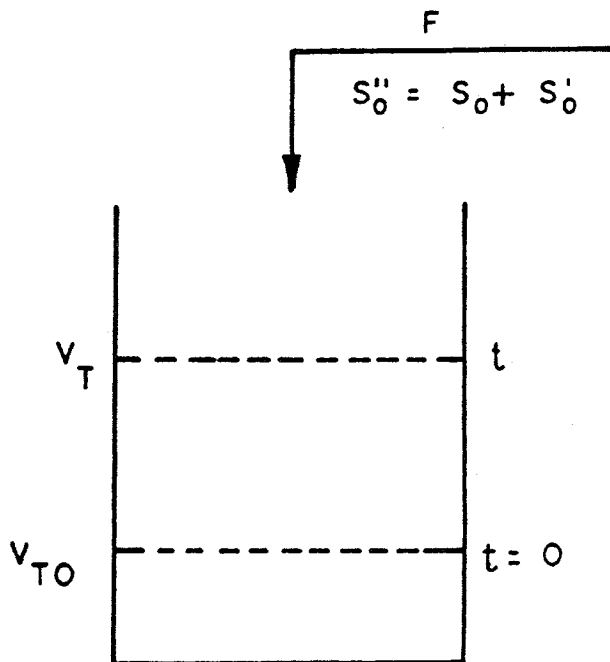


Fig.2 - Representação esquemática de uma fermentação em batelada alimentada.

Sejam:

V_{T0} = volume do inóculo;

F = vazão de alimentação do fermentador no instante t ;

S''_0 = concentração de substrato, determinada analiticamente, no meio enviado ao fermentador;

S_0 = concentração de substrato, assimilável pelo microrganismo, no meio enviado ao fermentador;

S'_0 = concentração de substrato, não assimilável pelo microrganismo, no meio enviado ao fermentador;

V_T = volume de meio em fermentação instante t .

Neste caso pode-se escrever:

$$V_T = V_{T_0} + \int_0^t F \cdot dt + v \quad (29)$$

sendo v a variação de volume do meio por outros motivos que não a alimentação do fermentador (ver item 4.1). Consequentemente:

$$\frac{dV_T}{dt} = F + \frac{dv}{dt} \quad (30)$$

5.1. Velocidade específica de crescimento do microrganismo

Já vimos que as equações (4) e (7) permitem concluir:

$$\mu_X = \frac{1}{X} \cdot \frac{dX}{dt} + \frac{1}{V_T} \cdot \frac{dV_T}{dt} \quad (15)$$

que, combinada com as expressões (29) e (30), leva a:

$$\mu_X = \frac{1}{X} \cdot \frac{dX}{dt} + \left[F \cdot \frac{dv}{dt} \right] \cdot \left[V_{T_0} + \int_0^t F \cdot dt + v \right]^{-1} \quad (31)$$

Se o valor de v for desprezível ($v \approx 0$), teremos:

$$\mu_X = \frac{1}{X} \cdot \frac{dX}{dt} + F \cdot \left[V_{T_0} + \int_0^t F \cdot dt \right]^{-1} \quad (32)$$

que nos permite calcular μ_X , em cada instante do processo, durante a fase de enchimento do reator.

Suponhamos, como exemplo numérico, o caso representado na Fig. 3. Essa figura mostra a variação, com o tempo, da

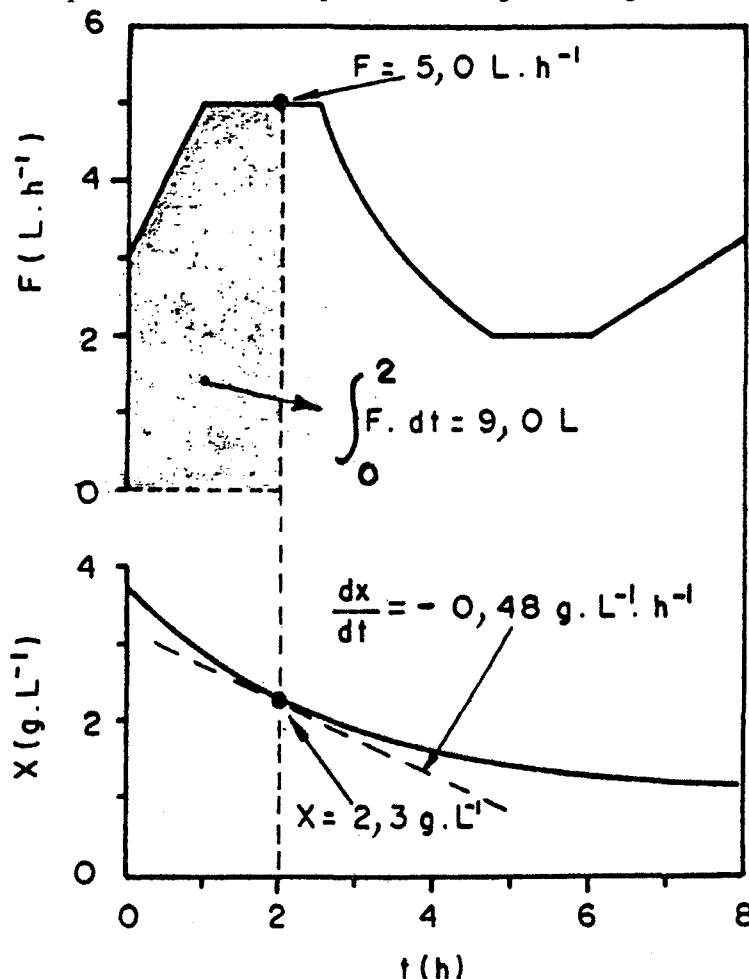


Fig.3 - Variação, com o tempo, da concentração microbiana (X) e da vazão de alimentação do reator (F) em um processo fermentativo em batelada alimentada.

vazão de alimentação do reator e da concentração microbiana durante a fase de enchimento. Admitamos que V_{T_0} (volume do inóculo) seja igual a 2,0 l e que nos interesse calcular μ_X no instante $t = 2$ h. Teremos:

$$\mu_X = \frac{-0,48}{2,3} + \frac{5,0}{11,0} = 0,25h^{-1}$$

5.2. Velocidade específica de formação do produto

As equações (19), (29) e (30) conduzem a:

$$\mu_P = \left(1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho}\right) \cdot \frac{1}{X} \cdot \frac{dP}{dt} + \frac{P}{X} \left\{ \left(1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho}\right) \left[F + \frac{dv}{dt} \right] \left[V_{T_0} + \int_0^t F \cdot dt + v \right]^{-1} - \frac{1}{\sigma \cdot \rho} \cdot \frac{dX}{dt} \right\} \quad (33)$$

No caso, bastante freqüente, de ser $X \ll \sigma \cdot \rho$ e $v \cong 0$, teremos:

$$\mu_P = \frac{1}{X} \cdot \frac{dP}{dt} + \frac{P}{X} \cdot F \left[V_{T_0} + \int_0^t F \cdot dt \right]^{-1} \quad (34)$$

5.3. Velocidade específica de consumo do substrato

Façamos inicialmente o balanço material, no intervalo de tempo $t \rightarrow t + dt$, da fração de substrato não assimilável pelo microrganismo. Teremos:

$$\boxed{\text{VARIAÇÃO DA MASSA DO SUBSTRATO NÃO ASSIMILAVEL NO REATOR}} = \boxed{\text{MASSA DE SUBSTRATO NÃO ASSIMILAVEL INTRODUZIDA NO REATOR}}$$

$$V_L \cdot dS' = S_0 \cdot F \cdot dt$$

$$\frac{dS'}{dt} = \frac{F \cdot S_0}{V_L} = F \cdot S_0 \left[V_T \left(1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho}\right) \right]^{-1} \quad (35)$$

Passemos agora ao balanço material da fração assimilável do substrato pelo microrganismo, no mesmo intervalo de tempo:

$$\boxed{\text{VARIAÇÃO DA MASSA DO SUBSTRATO ASSIMILAVEL, NO REATOR}} = \boxed{\text{MASSA DE SUBSTRATO ASSIMILAVEL INTRODUZIDA NO REATOR}} + \boxed{\text{VARIAÇÃO DE MASSA DE SUBSTRATO ASSIMILAVEL, PELA AÇÃO MICROBIANA}}$$

$$V_L \cdot dS = S_0 \cdot F \cdot dt + (dM_S)_m$$

$$\frac{(dM_S)_m}{dt} = V_L \cdot \frac{dS}{dt} - F \cdot S_0$$

$$-\mu_S = \frac{1}{M_X} \cdot \frac{(dM_S)_m}{dt} = \frac{V_L}{X \cdot V_T} \cdot \frac{dS}{dt} - \frac{F \cdot S_0}{X \cdot V_T} = \left(1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho}\right) \frac{1}{X} \cdot \frac{dS}{dt} - \frac{F \cdot S_0}{X \cdot V_T} \quad (36)$$

Mas:

$$S = S'' - S'$$

Logo

$$\frac{dS}{dt} = \frac{dS''}{dt} - \frac{dS'}{dt} \quad (37)$$

As equações (35) e (37) levam a:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{dS''}{dt} - \frac{F \cdot S_0}{V_T \left(1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho}\right)} \quad (38)$$

Substituindo a (38) na (36), vem:

$$-\mu_s = \left(1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho}\right) \frac{1}{X} \frac{dS}{dt} - \frac{F \cdot S_0}{X \cdot V_T} \quad (39)$$

No caso particular de ser $X \ll \sigma \cdot \rho$ e $v = 0$, a (39) nos dá:

$$\mu_s = \frac{F \cdot S_0}{X} \left[V_T \int_0^t F \cdot dt \right]^{-1} - \frac{1}{X} \cdot \frac{dS}{dt} \quad (40)$$

6. Fermentação contínua em reator de mistura

Consideremos o reator de mistura, esquematicamente representado na Fig. 4, em que se realiza uma fermentação do fermentador.

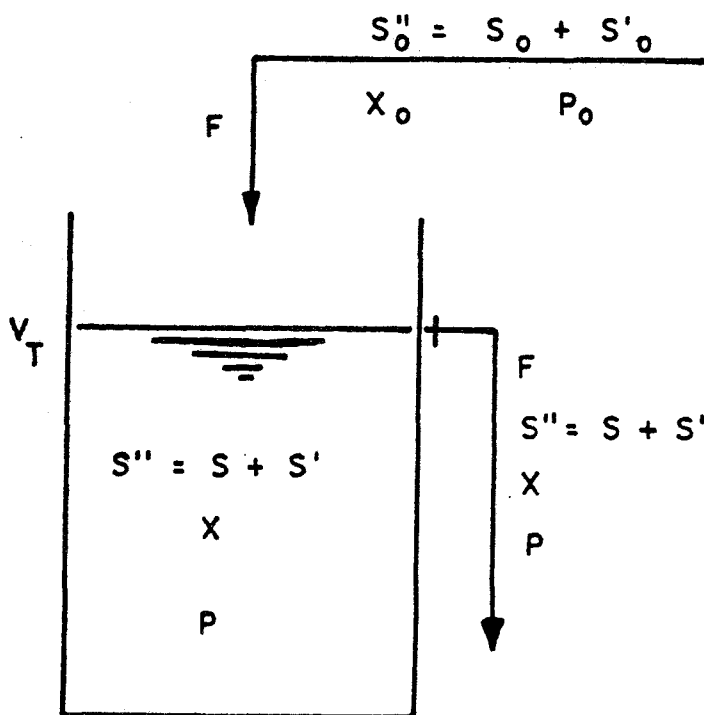


Fig.4 - Representação esquemática de uma fermentação por processo contínuo

Neste caso, V_T é o volume de meio em fermentação contido no reator ($V_T = \text{constante}$), X_0 é a concentração microbiana e P_0 é a concentração de produto no meio enviado ao fermentador. A relação $F/V_T = D$ é a vazão específica de alimentação do fermentador.

6.1. Velocidade específica de crescimento do microrganismo

O balanço material do microrganismo, no intervalo de tempo $t \rightarrow t + dt$, pode ser representado com indicado a seguir:

VARIACÃO DE MASSA DE MICRORGANISMO NO REATOR	=	MASSA DE MICRORGANISMO INTRODUZIDA NO REATOR	+	MASSA DE MICRORGANISMO PRODUZIDA NO REATOR	-	MASSA DE MICRORGANISMO RETRADA DO REATOR
---	---	---	---	---	---	---

$$V_T dX = X_0 \cdot F \cdot dt + (dM_X)_m - X \cdot F \cdot dt$$

$$\frac{(dM_X)_m}{dt} = V_T \frac{dX}{dt} + F(X - X_0) \quad (41)$$

E o valor de μ_X será:

$$\mu_X = \frac{1}{M_X} \cdot \frac{(dM_X)_m}{dt} = \frac{1}{X} \cdot \frac{dX}{dt} + D \left(1 - \frac{X_0}{X}\right) \quad (42)$$

Quando não houver entrada de microrganismo no reator ($X_0 = 0$), a (42) nos dará:

Fig.4 - Representação esquemática de uma fermentação por processo contínuo

$$\mu_X = \frac{1}{X} \cdot \frac{dX}{dt} + D \quad (43)$$

e, finalmente, se o regime for permanente em relação a X ($dX/dt = 0$), a (43) fornece:

$$\mu_X = D \quad (44)$$

6.2. Velocidade específica de formação do produto

Um balanço material análogo ao feito no item 6.1, no caso do produto, conduz a:

$$V_L \cdot dP = P_0(F \cdot dt) \left(1 - \frac{X_0}{\sigma \cdot \rho}\right) + (dM_P)_m - P(F \cdot dt) \left(1 - \frac{1}{\sigma \cdot \rho}\right) \quad \therefore$$

$$\frac{(dM_P)_m}{dt} = V_T \left(1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho}\right) \frac{dP}{dt} + F \left[P \left(1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho}\right) - P_0 \left(1 - \frac{X_0}{\sigma \cdot \rho}\right) \right] \quad \therefore$$

$$\therefore \mu_P = \left(1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho}\right) \frac{1}{X} \cdot \frac{dP}{dt} + \frac{D}{X} \left[P \left(1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho}\right) - P_0 \left(1 - \frac{X_0}{\sigma \cdot \rho}\right) \right] \quad (45)$$

No caso em que $X_0 = 0$, $P_0 = 0$ e $X \ll \sigma \cdot \rho$, termos:

$$\mu_P = \frac{1}{X} \cdot \frac{dP}{dt} + \frac{D \cdot P}{X} \quad (46)$$

Se, além disso, o regime for permanente em relação ao produto ($dP/dt = 0$)

$$\mu_P = \frac{D \cdot P}{X} \quad (47)$$

6.3. Velocidade específica de consumo do substrato

Consideremos, em primeiro lugar, a fração de substrato não assimilável pelo microrganismo. O correspondente balanço material conduz a:

$$V_T \left(1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho}\right) dS = S_0(F \cdot dt) \left(1 - \frac{X_0}{\sigma \cdot \rho}\right) - S(F \cdot dt) \left(1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho}\right) \quad \therefore$$

$$\therefore \frac{dS}{dt} = D \left[\frac{1 - \frac{X_0}{\sigma \cdot \rho}}{1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho}} S_0 - S \right] \quad (48)$$

que, quando $X_0 = 0$ e $X \ll \sigma \cdot \rho$, dá:

$$\frac{dS}{dt} = D(S_0 - S) \quad (49)$$

O balanço material da fração assimilável do substrato permite escrever:

$$\begin{aligned} V_T \left(1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho}\right) dS &= S_0 (F \cdot dt) \left(1 - \frac{X_0}{\sigma \cdot \rho}\right) + (dM_{S_m} - S (F \cdot dt) \left(1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho}\right) S \quad \therefore \\ \therefore \frac{(dM_{S_m})}{dt} &= V_T \left(1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho}\right) \frac{dS}{dt} - F \left[\left(1 - \frac{X_0}{\sigma \cdot \rho}\right) S_0 - \left(1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho}\right) S \right] \\ \therefore -\mu_s &= \left(1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho}\right) \frac{1}{X} \cdot \frac{dS}{dt} - \frac{D}{X} \left[\left(1 - \frac{X_0}{\sigma \cdot \rho}\right) S_0 - \left(1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho}\right) S \right] \end{aligned} \quad (50)$$

Lembrando que:

$$S = S'' - S' \quad \therefore \frac{dS}{dt} = \frac{dS''}{dt} - \frac{dS'}{dt} \quad (51)$$

e levando em conta a (48), vem:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{dS''}{dt} - D \left[\frac{1 - \frac{X_0}{\sigma \cdot \rho}}{1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho}} S_0 - S' \right] \quad (52)$$

Substituindo a (52) na (50), teremos:

$$\mu_s = \frac{D}{X} \left[1 - \frac{X_0}{\sigma \cdot \rho} S_0 - \left(1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho}\right) S' \right] - \left(1 - \frac{X}{\sigma \cdot \rho}\right) \frac{1}{X} \cdot \frac{dS''}{dt} \quad (53)$$

No caso particular de ser $X_0 = 0$ e $X \ll \sigma \cdot \rho$:

$$\mu_s = \frac{D}{X} (S_0 - S') - \frac{1}{X} \cdot \frac{dS''}{dt} \quad (54)$$

se o regime for permanente em relação ao substrato ($dS''/dt = 0$), a (54) leva a:

$$\mu_s = \frac{D(S_0 - S'')}{X} \quad (55)$$

7. Referência Bibliográfica

[1] LUEDEKING, R. Fermentation Process Kinetics. In: Biochemical and Biological Engineering Science, N. Blakebrough (Editor), vol.1, p.205, Academic Press, London (1967)

ORIENTAÇÃO AOS AUTORES E COLABORADORES DA REVISTA DE ENSINO DE ENGENHARIA

1 OBJETIVOS E CONTEUDO

A Revista de Ensino de Engenharia, editada pela Associação Brasileira de Ensino de Engenharia — ABENGE, está aberta à coletividade que atua nas instituições brasileiras e aos autores do exterior, ligados de alguma forma ao Brasil pelos assuntos, contatos institucionais, afinidades culturais e outras vinculações.

O conteúdo da Revista se compõe de:

- | | |
|------------------|----------------------|
| a) Forum ABENGE; | c) Comunicações |
| b) Artigos; | d) Cartas à redação. |
| | e) Resumos de Teses |

1.1 Forum ABENGE

Consiste de depoimentos, análises, debates sobre problemas específicos de relevância e atualidade no ensino de engenharia, organizado e programado sob a orientação da Diretoria da ABENGE.

1.2 Artigos

Correspondem a trabalhos originais ou divulgados previamente de forma restrita, abordando aspectos educacionais, científicos, tecnológicos, políticos, administrativos, no campo do ensino de engenharia.

1.3 Comunicações

Matéria de texto extenso sob forma de relato, contendo informações de caráter educacional, científico, tecnológico, político, administrativo, no campo do ensino de engenharia, relacionada com eventos ou atividades de grupo, ou expressando opiniões, diretrizes, normas, etc., a critério do Grupo Editorial.

1.4 Cartas à redação

Compreendem comunicações curtas, comentários, críticas, sugestões sobre matéria publicada pela Revista ou outros assuntos correlatos.

1.5 Resumos de Teses

Os resumos de teses apresentados são obtidos junto às agências financiadoras de pós-graduação.

2 CONDIÇÃO PARA PUBLICAÇÃO DOS ARTIGOS E COMUNICAÇÕES

As contribuições sob forma de artigos ou comunicações, com antecedência à publicação, são submetidas à apreciação do "Corpo de Consultores Editoriais", composto de especialistas em ensino, particularmente na área de engenharia, e devem observar as normas de apresentação dos originais.

3 NORMAS PARA APRESENTAÇÃO DOS ORIGINAIS

O texto das contribuições é apresentado em três vias, datilografado com espaço duplo, com as margens de 35 mm, em folha de papel ofício, formato A-4 (210 x 300 mm), cuja remessa é feita para:

Prof. Marcius F. Giorgetti, editor responsável
Escola de Engenharia de São Carlos, USP

Caixa Postal 359
13560 - S. Carlos, SP, Brasil.
Telefone (0162) 71-2234; telex (0162) 275 USPO-BR

3.1 Línguas e extensão do texto

Os trabalhos de autores brasileiros ou de outros países de língua portuguesa devem ser redigidos em português. Os trabalhos originários de países ibero-americanos devem ser redigidos em português ou espanhol. Trabalhos de outras origens poderão ser apresentados em inglês.

A extensão de cada artigo ou comunicação não deve ultrapassar 15 páginas, datilografadas em espaço duplo, em papel ofício A-4.

3.2 Estrutura do texto

Os artigos e comunicações devem observar a seguinte estrutura e partes:

- título em português (ou espanhol) e inglês;
- nome do autor ou autores, com a vinculação, qualificação profissional e endereço para correspondência;
- estrutura, com as partes identificadas em numeração progressiva, compreendendo:
 - introdução;
 - desenvolvimento do assunto, com as divisões a critério do autor ou autores;
 - conclusões e/ou recomendações.
- referências bibliográficas normalizadas, observando as normas da ABNT (orientação pode ser obtida com os bibliotecários das instituições);
- resumo em português (ou espanhol) e inglês (obedecendo as normas da ABNT), com 300 palavras, contendo no máximo 5 (cinco) palavras-chave em português (ou espanhol) e inglês; identificando as proposições básicas do trabalho.

3.2.1 Complementos do texto

As ilustrações, tabelas, gráficos, com as respectivas legendas, devem ser apresentadas em folhas separadas, com indicação no texto onde deve inserir-se. Os desenhos devem ser em nanquim preto, permitindo-se colagem.

As fotografias, dentro das especificações para clichê, são em branco e preto.

4 SEPARATAS

De cada artigo ou comunicação são enviados gratuitamente 10 separatas ao autor ou autores.

5 INFORMAÇÕES E OUTRAS ORIENTAÇÕES

Maiores informações e outros detalhes de esclarecimentos são atendidos pela Redação, mediante solicitações dirigidas ao Prof. Marcius F. Giorgetti, editor responsável, no endereço indicado no item 3.