

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE FÍSICA

O MÉTODO KELLER E SUA APLICAÇÃO NO ENSINO

DE FÍSICA GERAL NA UNIVERSIDADE\*

Paulo Henrique Dionisio

Dissertação realizada sob a orientação do Dr. Fernando C. Zawislak e apresentada ao Instituto de Física da UFRGS em preenchimento parcial dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Física.

\* Trabalho parcialmente financiado pelas seguintes Instituições: Coordenação do Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior e Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico.

Porto Alegre

1976

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Fernando C. Zawislak, pela orientação e pelo apoio recebidos;

ao Prof. Marco Antonio Moreira, por sua valiosa colaboração;

aos professores e monitores que participaram da realização da experiência;

a Ana Neri Juliano Nunes e Luisa Zafaneli , que datilografaram o trabalho;

a todos quantos, com sua amizade e seu incentivo, nos impeliram a completar a tarefa.

Porto Alegre, janeiro de 1976

Paulo Henrique Dionísio

## SINOPSE

O Método Keller é analisado como uma possível solução para os problemas do ensino básico de Física na Universidade. É feita uma descrição minuciosa do sistema e expõe-se sua fundamentação teórica, com base nos princípios da Teoria do Reforço.

É descrita uma experiência em que se comparam alunos submetidos ao Método Keller e ao ensino convencional por aulas expositivas, quanto aos seguintes aspectos: nível de aquisição de conhecimentos, retenção dos conhecimentos adquiridos, índice de aprovações, índice de desistências, atitude perante a Física e opinião sobre o curso.

Não se verificou melhoria apreciável nos níveis de aprendizagem e de retenção, embora ocorresse um aumento no índice de aprovações. Os alunos mostraram-se, em geral, favoráveis ao novo sistema de ensino.

Os alunos das turmas Keller declararam dispende mais tempo no estudo de Física, o que, em alguns casos, pode ter prejudicado seu desempenho em outras disciplinas. Observou-se ainda que o sistema, da forma como vem sendo usado, prende demasiadamente o aluno ao livro de texto, não estimulando a pesquisa por conta própria em outras fontes de informação.

Conclui-se que o Método Keller é uma alternativa válida para o ensino. Ao optar pelo novo sistema, o professor deve ainda levar em conta a disponibilidade de tempo e de recursos para a produção do material necessário, bem como a existência de monitores em número suficiente.

## ABSTRACT

An analysis is made of the Keller Plan as a solution to problems of teaching basic Physics at University level. The system is described in detail, including its basis in Reinforcement Theory.

An experiment is described in which students following the Keller Plan were compared with others following the same course given by conventional lectures. Comparison was based on the following measures: level of achievement; level of retention; pass rate; rate of withdrawals; opinion about Physics; opinion about the course.

While an increase in the pass rate was obtained, this was not reflected in any appreciable improvement in the levels of achievement or retention. In general, the students showed themselves favorable to the new system of instruction.

The students in the groups following the Keller Plan reported that they had spent more time studying Physics, which, in some cases, could have had adverse effects on their performance in other disciplines. It was also observed that the system, in its present form, focusses the student too closely on the textbook, not stimulating the search for other sources of information.

It is concluded that the Keller Plan can be used to provide a viable system of instruction at this level but that, before opting to use it, consideration should be given to the availability of time and resources for production of the necessary material, and to the availability of proctors.

## Í N D I C E

I - INTRODUÇÃO	1
II - O MÉTODO KELLER - HISTÓRICO E DESCRIÇÃO	8
III - O MÉTODO KELLER - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
IV - OBJETIVOS ESPECÍFICOS E METODOLOGIA DA PESQUISA	46
V - DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA - EXPOSIÇÃO, ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	54
Índice de Desistências	63
Índice de Aprovações	66
Aquisição de Conhecimentos	69
Retenção de Conhecimentos	74
Atitude Perante a Física	82
Opinião a Respeito do Curso e do Sistema de Ensino Usado	85
VI - COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES	104
APÊNDICES	111
A - INSTRUÇÕES GERAIS AOS ALUNOS	112
B - INSTRUÇÕES GERAIS AOS MONITORES	117
C - ROTEIRO DE UMA UNIDADE	124
D - EXEMPLO DE TESTE DE UMA UNIDADE	127
E - EXEMPLO DE SOLUÇÕES PARA O MONITOR	129
F - GRÁFICO DO PROGRESSO INDIVIDUAL	132
G - PRÉ-TESTE	133
H - TESTE DE TERMODINÂMICA	144
I - TESTE DE RETENÇÃO	150
REFERÊNCIAS	159

## I - INTRODUÇÃO

O sistema de ensino mais freqüentemente utilizado em nossas instituições educacionais consiste, certamente, na transmissão de conhecimentos por meio de aulas expositivas, sendo a aprendizagem do aluno avaliada em algumas verificações periódicas, eventualmente em um exame final. Tal sistema, ao qual nos referiremos no presente trabalho como "sistema convencional de aulas expositivas", tem sido, no entanto, criticado por muitos educadores modernos. Sem pretender aprofundar a discussão em torno do mesmo, mencionaremos, a seguir, algumas das principais críticas que lhe são feitas, especialmente aquelas que sentimos mais de perto no exercício do ensino de Física Geral na Universidade.

Antes de mais nada, o sistema é considerado anacrônico. Com efeito, nós o herdamos de uma época em que a bibliografia era escassa e de difícil acesso, mas é comum ainda hoje verem-se professores recitando suas aulas, enquanto os alunos empenham-se em tomar anotações nem sempre fiéis, quando muitas vezes o que está sendo dito en contra-se condensado em um único livro de texto.

É certo que a aula expositiva possui vantagens. Um bom professor pode tornar mais facilmente assimilável um conteúdo complexo, transmitir informações detalha das ausentes dos textos didáticos ou ensinar procedimentos

aprendidos mediante vivência pessoal com o assunto. Mesmo assim, a eficácia da aula dependerá não apenas de seu conteúdo, mas também de uma série de qualidades pessoais do professor, necessárias a uma boa comunicação oral e à manutenção do interesse da classe, bem como de fatores ligados ao aluno e ao meio ambiente.

Uma grande variedade de recursos audiovisuais permite hoje ao professor melhorar a eficácia de suas aulas. No entanto, o uso de tais recursos não altera um fato básico, inerente ao próprio sistema convencional de aulas expositivas: o professor é a fonte de informações e os alunos são receptores mais ou menos passivos. Tal sistema presta-se melhor à transmissão de conhecimentos específicos, mas não ao desenvolvimento da habilidade de usá-los em situações práticas ou em encadeamentos lógicos. Ademais, em uma época em que os conhecimentos se multiplicam vertiginosamente em todas as áreas, é essencial ao indivíduo ser capaz de selecionar e manusear as fontes de informações disponíveis; o uso exclusivo de aulas expositivas como recurso de ensino pode ser prejudicial ao aluno, na medida em que o torna dependente de uma única fonte de informações.

Critica-se, também, o fato de o ensino convencional não levar em conta a heterogeneidade das classes. Quando um professor planeja seu curso, o faz pensando nas capacidades de um "aluno médio", mas poucos são os alunos que efetivamente se ajustam a essa figura hipotética.

A maioria dos alunos fica acima ou abaixo do nível e ritmo impostos às aulas, sendo infrutífera a tentativa de adaptar a exposição teórica às necessidades de cada um. E atualmente, quando um número crescente de alunos atinge a Universidade, enfrentamos, no ensino básico de Física, grande dificuldade com a heterogeneidade de nível em sua formação anterior. As deficiências de conhecimentos básicos abrangem um largo espectro e é impossível ao professor supri-las, todas, antes de expor o assunto de seu curso propriamente dito.

Outra dificuldade, também decorrente do aumento da população estudantil, é a heterogeneidade do corpo docente. A mesma disciplina passa a ser ministrada por diversos professores, cada um com sua visão peculiar do assunto e sua escala de valores particular, sendo extremamente difícil obter-se uma unidade de ensino e avaliação. O fato de o mesmo assunto receber enfoques diferentes nas diversas turmas de uma mesma disciplina não é em si uma desvantagem, nem implica, necessariamente, em um desnível na aprendizagem dos alunos, mas pode favorecer uma desigualdade nos critérios de avaliação. Desta forma, em um regime de completa autonomia dos professores, poder-se-ia chegar ao extremo de a aprovação do aluno depender não apenas de seu desempenho, mas também de quem é o seu professor. Temos usado em nossa disciplina um sistema que garante certa unidade de avaliação, mas apresenta sérias dificuldades de execução: cada prova é elaborada e discutida por todo o

corpo docente e depois aplicada à totalidade dos alunos; há, então, necessidade de prever horários comuns e salas para todas as turmas ao mesmo tempo, bem como fiscais auxiliares para os professores que possuem muitos alunos; na fase de correção, cada professor se encarrega de avaliar determinadas questões de todas as provas, o que se constitui em um trabalho estafante (sempre que possível, fugimos às questões de múltipla escolha).

Há também a questão do relacionamento humano em disciplinas de massa. Os professores já não conhecem mais todos os seus alunos. Cada aluno passa a ser um número em uma relação e todo o sistema de ensino se transforma em algo mecânico e impessoal. Adotando-se o sistema tradicional de ensino e avaliação, a única forma de evitar um verdadeiro caos administrativo é o estabelecimento de normas rígidas e irrecorríveis, sem possibilidade de análise de casos especiais, a fim de evitar a abertura de precedentes. Esta política tem levado a um relacionamento insustentável entre professores e alunos, com sérios reflexos negativos na qualidade do ensino.

E há, finalmente, a questão das aulas de laboratório. Suponhamos uma turma de cinquenta alunos que em dado momento do curso deva ter uma aula prática. Admitindo-se que os alunos trabalhem em grupos de no máximo quatro, pelo menos doze conjuntos completos do equipamento necessário deverão estar disponíveis simultaneamente. Nestas condições, além de exigir-se um alto investimento em equipa-

mento, o professor não conseguirá orientar efetivamente os doze grupos. Os alunos não tirarão da aula o proveito que se espera e será provável a ocorrência de danos à aparelhagem devido ao seu mau uso.

Para fazer frente a todas essas dificuldades, necessitamos encontrar sistemas de ensino que valorizem a iniciativa pessoal do aluno, em que lhe seja possível exercer atividade própria, sob a devida orientação do professor; que possibilitem o diagnóstico e a correção de falhas na sua formação básica; em que o nível de atividade e o ritmo de progresso no curso possam ser adequados às características (e até mesmo às conveniências) individuais; que permitam certa flexibilidade na mecânica de avaliação, evitando-se submeter toda a massa de alunos a verificações de conhecimento em um mesmo horário e local; em que seja possível obter unidade de ensino e avaliação para todas as turmas de uma mesma disciplina, sem que com isso se desvalorize a participação dos professores responsáveis por elas; que não anulem a possibilidade de relacionamento pessoal e de intercâmbio de experiências entre as pessoas envolvidas; em que haja possibilidade de o aluno pelo menos verificar e ilustrar experimentalmente as leis e princípios mais importantes, após estudá-los teoricamente.

Com vistas à solução de tais problemas, estão sendo desenvolvidos atualmente sistemas de ensino cuja principal característica é a individualização dos processos que conduzem à aprendizagem. Dentre tais sistemas desta

ca-se o Método Keller<sup>(1) (2) (3) (4)</sup>, por sua rápida disseminação, pela popularidade que vem granjeando e pelos bons resultados relatados por aqueles que o experimentam.

O Método Keller tem sido experimentado entre nós desde o 1º semestre de 1973, quando foi aplicado a uma turma da disciplina Física II. Desde então, seu uso tem sido ampliado nesta disciplina e estendido a outras disciplinas do curso de graduação em Física. É nosso objetivo, neste trabalho, descrever o sistema, expor sua fundamentação teórica e relatar uma pesquisa realizada no 2º semestre de 1973. No decorrer do trabalho, no entanto, nos valeremos muitas vezes de nossa experiência pessoal e de observações realizadas ao longo de três anos de uso do Método Keller no ensino de Física II. Pretendemos, desta forma, contribuir para a análise das potencialidades desse sistema de ensino e, conseqüentemente, para a solução do problema geral acima configurado.

O Capítulo II apresenta um breve histórico e uma descrição detalhada do sistema; no Capítulo III, expõe-se a sua fundamentação teórica, com base nos princípios da Teoria do Reforço de Skinner<sup>(5) (6) (7)</sup>; No Capítulo IV, relacionam-se os objetivos específicos da pesquisa realizada e fixa-se a metodologia a ser seguida no decorrer da mesma; a apresentação, análise e interpretação dos resultados colhidos no decorrer da experiência estão no Capítulo V; as conclusões finais do trabalho estão no Capítulo VI. Nos Apêndices há exemplos do material escrito necessã-

rio ao funcionamento de um curso pelo Método Keller e dos instrumentos de medida utilizados no decorrer da pesquisa.

Uma observação final: A Teoria do Reforço de Skinner é usada ao longo de todo o trabalho como sistema de referência teórico, servindo como justificativa dos procedimentos usados em um curso Keller e como base para a interpretação dos resultados obtidos. Mas isto não significa necessariamente sua aceitação irrestrita pelo autor, pois reflete apenas a preocupação de estampar a imagem exata do Método Keller, na forma como foi concebido e projetado por seus criadores.

## II - O MÉTODO KELLER - HISTÓRICO E DESCRIÇÃO

Em 1962, dois psicólogos americanos, Fred S. Keller e J.G.Sherman, e dois brasileiros, Carolina M.Bori e Rodolfo Azzi, estavam encarregados de organizar um departamento de Psicologia na recém implantada Universidade de Brasília. Segundo relatou posteriormente o Prof. Keller<sup>(1)</sup>, tinham quase completa liberdade de ação, estavam insatisfeitos com os métodos convencionais de ensino e eram partidários do ponto-de-vista teórico da Psicologia Comportamental; diante da tarefa de organizar cursos completamente novos, era quase natural que buscassem novas possibilidades de aplicação dos princípios da Teoria do Reforço ao processo de ensino.

O método de ensino que resultou dos esforços deste grupo passou com sucesso pelos primeiros testes na própria Universidade de Brasília<sup>(2)</sup>. O grupo, no entanto, dissolveu-se logo após, continuando cada um a desenvolver o sistema na instituição para onde se dirigiu. Passado algum tempo, tal sistema de ensino estava largamente disseminado nos Estados Unidos sob as denominações de "Keller Plan", "Keller System", "Personalized System of Instruction" (abreviadamente, PSI), "self-paced course" e outras menos comuns. No Brasil, onde o desenvolvimento do sistema se fez mais lentamente, ele é hoje conhecido como Método Keller ou Curso Programado Individualizado.

O Método Keller é hoje aplicado extensivamente, havendo relatos de curso nas mais diversas áreas (Ciências Exatas, Psicologia, Filosofia, Línguas etc.), para os mais diversos níveis (desde a escola primária até a pós-graduação) e nos mais diversos locais do mundo. A literatura a respeito é bastante farta e nos Estados Unidos edita-se um boletim informativo periódico, "PSI Newsletter" (4), em vias de transformar-se em revista especializada no assunto.

Ao iniciar-se um curso convencional, o professor sabe de antemão que poucos alunos aprenderão quase tudo o que for ensinado, a maior parte aprenderá um pouco, alguns aprenderão quase nada. Insatisfeitos com este fato, Keller e seus colaboradores consideraram a possibilidade de levar, pelo menos, a maior parte dos alunos à aprendizagem de todo o conteúdo, desde que o curso fosse conduzido de forma adequada. Sua proposição básica foi, portanto, melhorar a eficácia do ensino, o que se traduziria por uma aprendizagem mais efetiva e por uma elevação nos índices de aprovação. Em outras palavras, enquanto os resultados de um curso convencional distribuem-se aproximadamente segundo uma curva normal, o grupo de Keller tentaria obter uma distribuição concentrada nos graus mais elevados. Outra intenção básica que norteou seus esforços foi o estabelecimento de um sistema de ensino que proporcionasse maior satisfação pessoal a todas as partes envolvidas.

O Método Keller é um sistema de ensino indi-

vidualizado, no qual a transmissão de conhecimentos pelo professor através de aulas expositivas deixa de existir, devendo o aluno realizar, por conta própria, a maior parte das atividades que levam à aprendizagem, guiando-se por instruções escritas que recebe do professor. A fundamentação psicológica do sistema é a Teoria do Reforço de Skinner, e sua tônica é a otimização das contingências de reforço positivo e a minimização das punições, ansiedades e frustrações no decorrer da aprendizagem.

Para usar o Método Keller, o professor deve subdividir o programa de seu curso em unidades e preparar, para cada unidade, um roteiro de estudo e uma bateria de testes. O roteiro esclarece o aluno quanto aos objetivos de aprendizagem da unidade e lhe indica as leituras e atividades por meio das quais atingirá tais objetivos. A bateria de testes é utilizada para avaliar o grau de aprendizagem do aluno. Para a aplicação e correção dos testes, bem como para dar aos alunos a necessária orientação individual, o professor será auxiliado por monitores.

O programa de atividades dos alunos no curso segue o fluxograma da Figura 1. No local e nos horários de aula, o professor e os monitores estarão à disposição dos alunos que necessitarem de esclarecimentos ou que desejarem submeter-se a testes. Quando um aluno se apresentar para testagem, receberá ao acaso um dos testes da unidade que preparou, o qual será corrigido em sua presença logo após completado. Se o desempenho do aluno for julgado

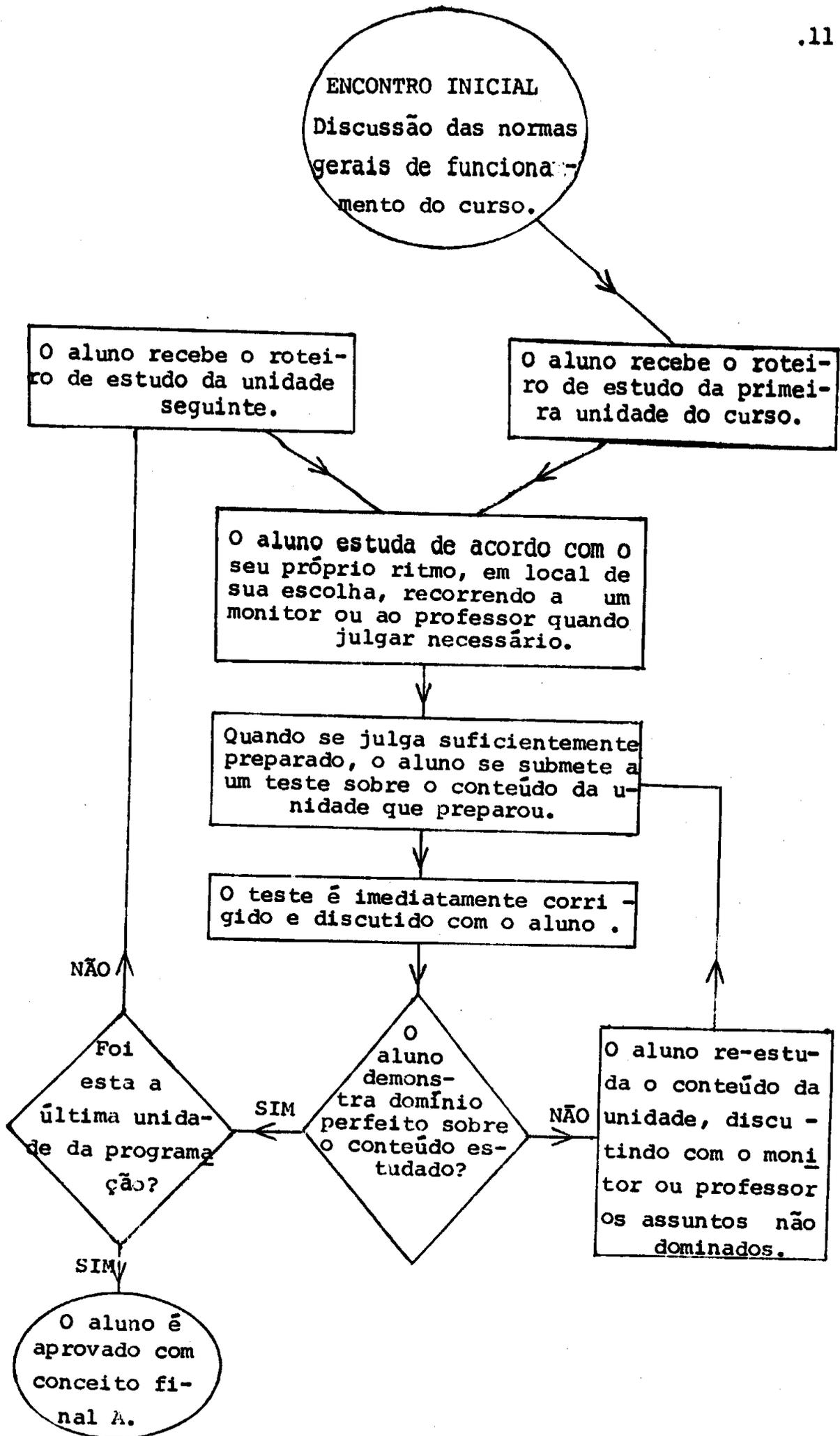


FIG. 1 - Fluxograma do andamento do aluno em um Curso Progra-  
mado Individualizado.

NOMES	UNIDADES																	TOTAL
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	
Ana Maria																		
Bárbara	14/8	23/8	4/9	6/9	27/9	29/9												
Denise	14/8	23/8	6/9	15/9														
Cristina	11/8	16/8	23/8	30/8	11/9	15/9	22/9											
Márcia	14/8	21/8	28/8	1/9	11/9	15/9	27/9											
Paulo Roberto	16/8																	
Paulo Renato	25/8	1/9	6/9	13/9	25/9	29/9												
Alexandre	11/8	16/8	1/9	6/9	25/9	29/9												
Luiz Augusto	11/8	16/8	23/8	30/8	11/9	15/9	18/9	27/9										
Carlos	14/8	23/8	11/9	18/9														
Roberto	14/8	28/8	6/9	11/9	22/9	27/9												
Luiz Fernando	16/8	25/8	15/9	22/9														
José	18/8	23/8	1/9	15/9	27/9	29/9												

QUADRO 1 - Quadro Geral de Controle de uma turma pequena. Em cada retângulo consta a data em que o aluno venceu a unidade correspondente. Este quadro fica afixado na sala de aula e é mantido permanentemente atualizado.

satisfatório, seu sucesso será anotado em um quadro geral de controle (Quadro 1), afixado na parede da sala, e poderá passar à unidade seguinte; caso contrário, será aconselhado a estudar melhor os tópicos em que falhou.

Segundo Keller<sup>(1)</sup>, cinco características básicas deste novo sistema de ensino o distinguem mais nitidamente dos métodos convencionais de ensino:

1. Ritmo próprio - O aluno progride no curso com velocidade adequada à sua habilidade, capacidade e disponibilidade de tempo, sem necessidade de prender-se a um cronograma pré-estabelecido de conteúdos a assimilar e de verificações a prestar. Desta forma, o aluno mais rápido ou melhor preparado não marca passo à espera dos demais colegas, enquanto que o aluno mais lento ou menos preparado dispõe do tempo necessário para assimilar todo o conteúdo ou para sanar as falhas de base que, porventura, existam em sua formação anterior.

2. Domínio perfeito de cada passo como condição para seguir adiante - Em um curso programado individualizado, os alunos avançam no conteúdo através de etapas bem delimitadas, representando cada etapa um progresso sobre as anteriores em termos de aquisição de conhecimentos, compreensão de conceitos, desenvolvimento de habilidades, qualidade de desempenho, etc. Dentro deste esquema, só se permite a passagem do aluno a uma etapa posterior uma vez satisfeitas com perfeição as exigências prescritas na etapa anterior.

3. Uso de palestras e demonstrações como veículo de motivação - As aulas expositivas, em que o professor transmite conhecimentos e informações à classe, não ocorrem em um curso programado individualizado, uma vez que os alunos não estudam, todos, o mesmo conteúdo ao mesmo tempo. O professor poderá, no entanto, usar palestras, demonstrações e filmes como recursos de motivação. Nestas ocasiões, não serão abordados necessariamente tópicos específicos do curso, mas, de preferência, procurar-se-á dar aos alunos uma visão das aplicações, implicações e perspectivas dos assuntos estudados. A freqüência não será obrigatória nem os assuntos tratados serão exigidos nos testes.

4. Ênfase à palavra escrita na comunicação entre professores e alunos - Não havendo aulas expositivas e não estando todos os alunos a estudar o mesmo assunto ao mesmo tempo, é conveniente que todas as instruções, roteiros de estudo, complementações ao livro de texto etc sejam transmitidos por escrito aos alunos.

5. O papel dos monitores - Os monitores são os intermediários entre o professor e os alunos. São eles que esclarecem grande parte das dúvidas, orientam o estudo dos alunos, corrigem os testes e conduzem os alunos ao longo da programação. Sem o uso dos monitores não seria possível corrigir de imediato todos os testes, multiplicar as oportunidades de avaliação e exercer uma tutela efetiva sobre os alunos. A presença dos monitores, a natureza das funções que desempenham e sua importância dentro do siste-

ma constituem, talvez, a característica mais marcante do Método Keller.

A comunicação entre o professor e o corpo discente se processa, então, principalmente pela palavra escrita. Na medida em que o curso envolve um número maior de alunos, cresce, também, o número de monitores; embora seja essencial que o professor mantenha reuniões periódicas com seus monitores, faz-se também necessário comunicá-lhes, por escrito, uma série de instruções específicas. Devido à grande importância do material escrito, necessário ao funcionamento de um curso programado individualizado, descreveremos, a seguir, as peças de que se compõe tal material, ao mesmo tempo que discutiremos brevemente algumas normas que devem ser seguidas em sua preparação. Este assunto está tratado, em detalhes, nas referências (8) e (9).

As diversas etapas a seguir no planejamento e preparação do curso podem ser assim enumeradas:

- definição e ordenação dos objetivos de aprendizagem;
- subdivisão do programa em unidades;
- preparação dos testes de avaliação de cada unidade;
- redação dos roteiros para cada unidade;
- redação das folhas de soluções para os monitores;
- redação das Instruções Gerais aos Alunos;
- redação das Instruções Gerais aos Monitores.

A primeira etapa requer do professor uma análise cuidadosa dos conteúdos e objetivos de seu curso. A definição dos objetivos deve ser feita de forma operacional<sup>(10) (11)</sup>, isto é, a redação de cada um deles deve deixar claro que tipo de resposta se deseja que o aluno seja capaz de dar após estudar o assunto, qual o comportamento que o professor deseja implantar no aluno. A definição operacional dos objetivos de um curso serve a três propósitos: em primeiro lugar, guia o professor na seleção das atividades e recursos mediante os quais o aluno realizará a aprendizagem; em segundo lugar, fornece ao aluno uma informação exata sobre o que dele se espera, que desempenho deve apresentar e que tarefas deve ser capaz de realizar a fim de merecer a aprovação; finalmente, fornece, tanto ao professor quanto ao aluno, critérios precisos para avaliar os progressos alcançados.

Após definidos, os objetivos deverão ser colocados em uma seqüência lógica, de modo a permitir ao aluno alcançá-los um a um, de forma natural. Se o professor basear seu curso em um único livro de texto, poderá usar como critério a própria ordem em que os assuntos aparecem no livro; se diversos textos forem usados no curso, ou se o professor quiser redigir suas próprias apostilas, um critério comum consiste em comparar diversos autores e usar a seqüência mais freqüente.

Uma vez ordenados os objetivos, o professor os agrupará em "unidades". A quantidade e a extensão das

unidades é um aspecto crítico do planejamento de um curso programado individualizado. Unidades pequenas, cobrindo um número reduzido de objetivos, permitem a realização de testes mais minuciosos, o que leva a uma certeza maior do domínio do aluno sobre o conteúdo, bem como a uma identificação mais fácil e imediata de suas deficiências. Mas, o número de unidades do curso é limitado pelo número de sessões de testes disponíveis; aconselha-se que o número de unidades seja entre metade e um terço das sessões de testes, dando ao aluno uma margem de uma a duas repetições por unidade.

Estabelecidas as unidades do curso e definidos os objetivos em cada uma delas, passará o professor à redação dos testes, por meio dos quais será avaliado o domínio do aluno sobre seu conteúdo. Costuma-se, em geral, preparar de três a cinco testes para cada unidade, equivalentes em dificuldade e cobrindo cada um deles todo o conteúdo da unidade. Os testes devem ser de duração relativamente curta, para que haja tempo de corrigi-los e discuti-los imediatamente com o aluno. Qualquer tipo de questão pode ser usado, desde a múltipla escolha até as questões discursivas. Podem-se, também, introduzir variações ocasionais na forma de avaliação, como, por exemplo, entrevistas ou arguições orais. O essencial, no entanto, é que o teste, seja qual for sua forma, possa indicar fielmente se o aluno atingiu ou não os objetivos da unidade.

O roteiro da unidade deve dar ao aluno condi

ções de atingir sozinho o domínio do conteúdo correspondente. A redação do roteiro inicia com a indicação do número de ordem da unidade, do assunto a ser estudado e do(s) capítulo(s) do(s) livro(s) de texto a que se refere. Segue-se uma introdução, cuja função é motivar o estudo do assunto, destacar sua importância, relacioná-lo com o que já se estudou e com o que ainda será estudado e indicar os aspectos mais importantes dentro da própria unidade. Deve-se, então, enumerar os objetivos de aprendizagem visados, bem como indicar ao aluno o procedimento a seguir para atingí-los. O procedimento sugerido pode constar de leituras, experiências, questões e problemas a resolver, estudo programado etc.

Aconselha-se redigir os objetivos, os testes e o procedimento sugerido nesta ordem, pois assim será mais fácil mantê-los coerentes. Um professor que preparasse o procedimento antes dos testes poderia, por exemplo, sobrecarregar o aluno com o estudo de tópicos que depois não seriam efetivamente avaliados; ou poderia ser tentado a avaliar nos testes atividades constantes do procedimento, mas não explicitadas nos objetivos. É claro que podem ser indicadas no roteiro leituras e atividades complementares, com o fim de dar aos alunos mais interessados recursos para ampliarem seus conhecimentos; mas tal material não será avaliado nos testes e esta condição deve ser expressa claramente. Nos Apêndices C e D encontram-se um modelo de roteiro para uma unidade e um exemplo de teste de avaliação.

A folha de soluções para os monitores contém as soluções dos testes, a indicação dos critérios de correção e outras instruções necessárias. No caso de avaliação por entrevista, os monitores receberão um roteiro para realização da mesma. No Apêndice E há um modelo de folha de soluções para o monitor.

As Instruções Gerais aos Alunos (ver Apêndice A), distribuídas no primeiro dia de aula, devem conter uma descrição minuciosa do sistema, de como se espera que o aluno se comporte no curso, das condições de aprovação e do papel do professor e dos monitores. Devem especificar o conteúdo do curso, os textos a serem utilizados, o número de unidades, o assunto de cada unidade, enfim, todas as informações necessárias para que o aluno entenda e acompanhe o curso. Pode-se sugerir um cronograma de passagem pelas unidades, a fim de orientar o estudante quanto ao ritmo de progresso, procurando evitar que se atrase em demasia; ou pode-se, simplesmente, dar a cada aluno um "gráfico do progresso individual" (Apêndice F), por meio do qual poderá controlar seu ritmo.

As Instruções Gerais aos Monitores (Apêndice B) procuram situá-los no contexto do curso e transmiti-lhes todas as informações e instruções específicas de que necessitem para o desempenho de suas funções.

Para completar esta exposição resta, ainda, discutir alguns aspectos: o que se entende por "domínio perfeito em cada passo", que funções desempenham os testes

no sistema e que critérios usar na atribuição dos conceitos finais do curso.

O domínio perfeito do conteúdo de uma unidade é a condição única para passagem à unidade seguinte. Isto não significa, no entanto, que o aluno deva apresentar um teste impecável. Em um teste de cinco questões, por exemplo, o monitor poderá encontrar três corretas, uma com a resposta mal redigida e outra com um engano pouco significativo. Sendo o teste corrigido em presença do aluno, o monitor poderá arguí-lo, dando oportunidade de retratar-se; mediante respostas satisfatórias, o aluno será aprovado (o monitor poderá, eventualmente, solicitar-lhe que responda novamente as questões duvidosas, a fim de habituar o aluno a elaborar, por escrito, respostas corretas). E há também o reverso: em presença de um teste perfeito, o monitor deverá arguir o aluno sobre uma ou duas questões, a fim de certificar-se de que não está diante de respostas meramente decoradas. Em suma, o monitor aprovará o aluno quando estiver convencido do domínio deste sobre o assunto da unidade.

Uma das funções do teste é, então, determinar se o aluno satisfaz as condições necessárias para seguir adiante. É diferente das verificações convencionais, por não ser definitivo. No ensino convencional, o aluno sai de uma verificação rotulado com um conceito irrecorrível, que influenciará irremediavelmente em seu conceito final, não importando se ele realmente sabia mais do que pô-

de mostrar na única oportunidade que teve. No Método Keller, o teste é um indicador da aprendizagem realizada e o aluno que falha não deve ser penalizado, mas terá sempre uma nova oportunidade de ajustar-se às condições previamente estabelecidas pelo professor.

Por outro lado, a realização freqüente e a correção imediata dos testes permite pôr a descoberto os aspectos deficientes na formação do aluno, que podem, então, ser sanados antes que se acumulem irremediavelmente. No ensino convencional, as verificações englobam geralmente uma parte extensa do conteúdo, não sendo tão eficientes na detecção de falhas na aprendizagem; e quando chegam a ser devolvidas ao aluno, o curso já avançou o suficiente para que as deficiências apontadas já tivessem exercido influência negativa na aprendizagem posterior.

Os testes possuem, então, a função de diagnosticar falhas e orientar um estudo corretivo. Sob este aspecto, o Método Keller assemelha-se aos sistemas de ensino baseados na "Aprendizagem com Mestria" ("Mastery Learning")<sup>(12)</sup>. Em tais sistemas, o conteúdo é também dividido em unidades e usam-se dois tipos de avaliação: a avaliação formativa, representada por testes de caráter diagnóstico, parte integrante do processo de aprendizagem e sem influência no conceito final do aluno; e a avaliação somativa, de caráter final, que determina a aprovação ou reprovação do aluno. A denominação "Aprendizagem com Mestria" vem do fato de que, também em tais sistemas, a mes-

tria em cada passo é condição para passar adiante. No entanto, o Método Keller se diferencia desses sistemas por fazer uso extensivo dos princípios da Teoria do Reforço, tanto na programação do conteúdo quanto nas situações de classe.

Segundo o fluxograma da Fig. 1, o aluno que completa todas as unidades recebe conceito final A. Mas esta política, além de não indicar como proceder com os alunos que não atingem o final da programação, não é adotada com unanimidade pelos professores de cursos programados individualizados. Enumeremos, a seguir, algumas alternativas possíveis. Adotemos como referência a escala de conceitos usada em nossa Universidade: três conceitos de aprovação, A, B e C; e dois conceitos de reprovação, D e E.

a) Pode-se convencionar, por exemplo, que o aluno que completa 100% da programação recebe A; o que completa entre 85% e 99% recebe B; o que completa entre 60% e 85% recebe C; e assim por diante. Quem adota esta sistemática parte do princípio de que, se um aluno em um curso convencional obtém média final 6,0 e recebe conceito C mediante um domínio de em média 60% do conteúdo, um aluno que em um curso programado individualizado completa 60% das unidades também domina 60% do conteúdo e pode ser igualmente aprovado. Tal política não pode, é claro, ser usada quando as unidades possuem forte relação seqüencial, isto é, quando as unidades iniciais são apenas passos auxiliares que levam à aprendizagem dos conteúdos mais impor-

tantes, estes localizados ao final da programação.

b) Pode-se estipular um número mínimo de unidades, digamos 70%, como condição para submeter-se a um exame sobre o conteúdo apenas das unidades não completadas. O conceito final será dado em função do número de unidades completadas e do desempenho no exame. Este é o procedimento por nós utilizado. Acreditamos que o aluno que completa determinado número de unidades assimilou realmente o conteúdo delas de forma aceitável, mas consideramos essencial exigir do aluno, pelo menos, uma visão geral do restante do assunto.

c) Pode-se exigir exame final de todos os alunos, mesmo dos que cumpriram a programação até o final. O conceito final será definido, também neste caso, pelo número de unidades completadas e pelo desempenho no exame. Dois pontos de vista podem sustentar tal procedimento. Por um lado, crêem alguns que o domínio demonstrado pelo aluno nas unidades não representa um domínio real do conteúdo, o qual só pode ser avaliado colocando-se o aluno diante de situações mais complexas do que as questões dos testes. Por outro lado, consideram outros que a subdivisão do conteúdo em unidades dá ao aluno um conhecimento parcelado, não favorecendo uma visão geral do assunto; o exame final seria, então, uma atividade integradora, por meio da qual o estudante globalizaria os conhecimentos adquiridos.

d) O procedimento mais coerente com os princípios básicos do Método Keller seria permitir aos alunos

prossequirem na programação sem solução de continuidade, não importando quantos períodos letivos fossem necessários para chegar ao final. Mas, há contra isto a estrutura administrativa da Universidade, que fixa a duração das disciplinas em semestres e impõe interrupções correspondentes às férias escolares, durante as quais seria difícil conseguir, até mesmo, o concurso de monitores. Tentamos, em 1974, um esquema conciliatório: alunos que não obtiveram a aprovação em Física II no 1º semestre foram dados oficialmente como reprovados, mas, ao se apresentarem para repetir a disciplina no 2º semestre, receberam permissão para reiniciarem duas ou três unidades atrás do ponto onde haviam parado. Mas, muitos alunos, devedores de menos da metade das unidades, não aproveitaram devidamente o benefício, vindo a retomar o curso apenas na segunda metade do semestre, o que lhes acarretou alguns problemas de readaptação. Além disso, alunos que iniciaram o curso naquele semestre passaram a despreocupar-se em terminá-lo no decorrer do mesmo, o que causou uma redução no índice semestral de aprovação. Isto não significaria, necessariamente, um prejuízo em termos de aprendizagem, mas decidimos abandonar a experiência, em parte em decorrência da longa interrupção de verão que sobreviria, em parte temerosos de um futuro congestionamento da disciplina.

### III - O MÉTODO KELLER - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo J.G.Sherman<sup>(13)</sup>, o Método Keller sofreu em suas origens duas influências maiores: a primeira delas foi a Instrução Programada e a outra teria sido o Brasil e os brasileiros.

Pode-se traçar um paralelo entre as características do Método Keller e da Instrução Programada<sup>(2)</sup>. Em ambos os sistemas, é feita uma análise inicial da estrutura do conteúdo e uma subdivisão em etapas; exige-se do aluno uma resposta ativa; há uma preocupação com a perfeição da resposta do aluno, que é avaliada imediatamente; e permite-se ao aluno progredir de acordo com seu ritmo próprio. No Método Keller, no entanto, as etapas são maiores e cada uma delas pode envolver atividades complexas, como leituras, seções de laboratório, resoluções de problemas; as respostas que se exigem dos alunos são também mais complexas, pois consistem de testes completos; e a avaliação pode não ser uma mera comparação com a resposta correta, mas implica geralmente em uma defesa verbal, por parte do aluno, de seus pontos de vista.

A razão da similaridade entre o Método Keller e a Instrução Programada está no fato de serem ambos baseados na Teoria do Reforço de Skinner<sup>(5) (6) (7)</sup>. Não nos cabe, aqui, expor ou discutir em detalhes esta teoria, mas apenas estabelecer em linhas gerais algumas relações entre

seus princípios básicos e os procedimentos usados no Método Keller. Iremos, portanto, apresentando as definições e princípios apenas na medida em que se fizerem necessários a tal propósito. Na exposição que se segue, termos técnicos ou expressões consagradas no âmbito da Teoria são sublinhados ao aparecerem pela primeira vez.

O comportamento dos indivíduos subdivide-se em duas grandes categorias: o comportamento respondente ou reflexo e o comportamento operante. No comportamento reflexo, a apresentação de um estímulo ao sujeito elicia neste uma resposta. Por exemplo, a sensação de alimento na boca elicia salivação. O alimento na boca é um estímulo primário ou incondicionado para a resposta de salivar, no sentido de que sua propriedade de elicitar tal resposta não depende de "aprendizagem" ou condicionamento anterior. Pode-se, no entanto, condicionar um reflexo, associando-se repetidamente um estímulo neutro a um estímulo primário, de modo que ambos passem a elicitar a mesma resposta. A visão de uma bela fruta de cera, por exemplo, pode elicitar salivação; neste caso, a percepção visual da fruta adquiriu a função de estímulo por ter sido, na história anterior do sujeito, associada muitas vezes com a própria ingestão da fruta. Quando ocorre condicionamento, o estímulo, a resposta e o reflexo que ambos constituem são ditos condicionados. Pode-se também extinguir um reflexo condicionado, bastando para isto que o estímulo condicionado passe a ser repetidamente apresentado ao sujeito sem associação com o es

tímulo primário; com o tempo, a percepção visual da fruta de cera não mais eliciará salvação, pois não terá sido seguida da ingestão da fruta.

O comportamento respondente (ou pavloviano) relaciona-se, principalmente, com a economia interna do organismo. Já o comportamento operante refere-se mais às ações do organismo sobre o meio ambiente. Enquanto um respondente (ou reflexo) aciona principalmente as glândulas e os músculos lisos, um operante aciona, geralmente, os músculos estriados que comandam o esqueleto. A Teoria do Reforço tem por objetivos analisar, descrever e controlar o comportamento operante dos seres vivos.

Uma resposta operante não é eliciada por um estímulo que se possa de alguma forma identificar. O sujeito simplesmente possui um certo repertório de respostas e, ocasionalmente, uma delas é emitida. Se se quiser condicionar um operante, deve-se esperar que o sujeito emita a resposta desejada, para então reforçá-la imediatamente\*. Pode-se reforçar uma resposta por meio de reforçadores positivos ou de reforçadores negativos. Reforçador positivo é um objeto ou evento que, APRESENTADO consistentemente ao su-

---

\* Se se quiser condicionar uma resposta ausente do repertório habitual do sujeito, há meios de induzir a sua emissão, para então reforçá-la. O procedimento usado para tal fim denomina-se modelagem e é descrito na página 36.

jeito APÓS a emissão de uma determinada resposta, produz um AUMENTO na freqüência com que ela ocorre. Reforçador negativo é um objeto, evento ou situação de caráter aversivo ao sujeito que, SUPRIMIDA consistentemente APÓS a emissão de uma dada resposta, produz um AUMENTO na freqüência com que ela ocorre. Quando a resposta desejada passa a ocorrer com uma freqüência aceitável, diz-se que ela foi condicionada.

No comportamento operante, o termo "estímulo" tem um significado diferente do caso respondente. O estímulo não elicia a resposta, mas simplesmente identifica para o sujeito a ocasião em que ela será eventualmente reforçada. Por exemplo, uma criança pede balas ao pai e as recebe quando ele está sorridente, mas não quando está preocupado; no caso, a criança é o sujeito, a resposta emitida pelo sujeito é "pedir balas", o reforço consiste em dar balas à criança e as expressões do pai são os estímulos. A expressão sorridente do pai passa, então, a identificar para a criança a ocasião em que receberá balas se as pedir, ou seja, a ocasião em que a resposta "pedir balas" será reforçada. Diz-se, então, que o sorriso do pai é o estímulo discriminativo (abreviadamente,  $S^D$ ) para a resposta "pedir balas", enquanto que a expressão preocupada do pai é um estímulo delta (abreviadamente,  $S^\Delta$ ) para a mesma resposta. Uma vez que a discriminação se estabeleceu, diz-se que o comportamento da criança está sob controle de estímulos; ou seja, os estímulos (expressões faciais do pai) contro-

lam a probabilidade de ocorrência da resposta "pedir balas".

Para completar a apresentação dos elementos básicos da Teoria do Reforço, resta ainda definir o termo punição. Punições são objetos ou eventos de caráter aversivo ao sujeito que, APRESENTADOS consistentemente APÓS a emissão de uma dada resposta, provocam uma REDUÇÃO na frequência com que ela ocorre.

Nem todos os especialistas concordam com a distinção que fizemos entre reforçadores positivos, reforçadores negativos e punições. Alguns, por exemplo, incluem as punições entre os reforçadores negativos. Outros observam que a retirada de um reforçador positivo, já apresentado ao sujeito durante algum tempo, é também uma punição. Outros ainda consideram como punição até mesmo a não-apresentação do reforçador positivo. E há quem afirme não serem as punições capazes de reduzir a frequência das respostas às quais se seguem. No entanto, no âmbito deste trabalho, usaremos as definições dadas, por melhor corresponderem às noções usuais de recompensas (reforçadores positivos) e punições. O significado de todas estas expressões se tornará mais claro no decorrer da própria exposição.

O comportamento dos indivíduos é, portanto, controlado por suas próprias conseqüências; esta é a proposição básica da Teoria do Reforço. Mas, tal comportamento é mais complexo do que a simples emissão de uma certa resposta frente a determinado estímulo, diante do qual já foi

consistentemente reforçada. O que ocorre, em geral, é a associação de vários elementos em uma sucessão denominada de cadeia de estímulos e respostas. Em um experimento clássico com animais, um chimpanzé foi treinado para pressionar uma alavanca em sua jaula, mediante o que recebia uma ficha que, inserida em uma "máquina de comprar", proporcionava-lhe uma passa-de-uva. Em uma cadeia, cada par de respostas sucessivas é interligado por um elemento que ao mesmo tempo serve de reforçador para a resposta que o antecede e de  $S^D$  para a resposta que o sucede. No exemplo, a resposta de pressionar a alavanca é reforçada pela visão da ficha e essa visão é o  $S^D$  para apanhá-la; a sensação da ficha na mão reforça a resposta de apanhá-la e controla a resposta de inserí-la na máquina de comprar; e assim por diante.

Vejamos agora como se aplicam os procedimentos da Teoria do Reforço em um curso programado individualizado. A entrega do Roteiro da 1.<sup>a</sup> Unidade do curso, ao aluno, inicia uma cadeia de estímulos e respostas. Esse texto é o estímulo que controla a resposta de estudar os trechos indicados e perfazer as tarefas sugeridas no primeiro item do Procedimento. A sensação de completar estas tarefas reforça a primeira resposta e funciona como  $S^D$  para a resposta seguinte, ou seja, estudar os trechos indicados e perfazer as tarefas sugeridas no segundo item do Procedimento. Ao chegar ao último item, a sensação de completá-lo reforça a resposta de seguir o Roteiro e controla a resposta de submeter-se a um teste sobre a Unidade. Esta última respos

ta, o desempenho do teste, será avaliada pelo monitor e, se julgada satisfatória, será fortemente reforçada pela aprovação do monitor, pela anotação no quadro geral de controle da classe e pela entrega ao aluno do roteiro da Unidade seguinte. Este roteiro será o  $S^D$  para uma nova resposta, repetindo-se o ciclo até o final da programação.

Analisado o assunto sob este aspecto, a avaliação é o elemento que comanda a apresentação ao aluno de poderosos reforçadores, em consequência da emissão de respostas adequadas. De acordo com a Teoria do Reforço, se se quiser aumentar a probabilidade de ocorrência de uma resposta, deve-se reforçá-la imediatamente; esta é a razão da ênfase que se dá, no Método Keller, à avaliação imediata. O teste deve ser corrigido de imediato e, em caso de aprovação, todos os reforçadores programados devem ser apresentados, sem demora, ao aluno. Em caso de desempenho insatisfatório, o monitor destacará aspectos positivos do teste e indicará um estudo corretivo, de modo que o aluno não se sinta penalizado. A avaliação é, também, o elemento que comanda o início de uma nova cadeia; evitar que haja quebra de continuidade da seqüência de respostas do aluno é outra razão para fazê-la imediata.

A descrição acima não é completa. Em primeiro lugar, há elos secundários da cadeia que não foram mencionados; um especialista em Teoria do Reforço faria uma descrição mais minuciosa, em que cada um dos passos mencionados seria subdividido em um número bem maior de estímulo-

los e respostas, de modo que a cadeia real seria bem mais longa. Em segundo lugar, esta cadeia linear, em que o aluno emite sempre a resposta desejada e é imediatamente reforçado, raramente ocorre, mas é freqüente a emissão de respostas não previstas. Deve-se proceder, neste caso, à diferenciação da resposta.

O procedimento de diferenciação da resposta consiste em reforçar apenas a resposta que se deseja obter, de modo a aumentar a sua probabilidade de ocorrência, ignorando-se simplesmente as respostas indesejadas, de modo a extingüí-las. A resposta cuja probabilidade é aumentada é dita diferenciada.

Um aluno, por exemplo, comparece em classe para solicitar esclarecimentos sobre um problema indicado no Roteiro. Este comportamento deve receber reforçadores positivos (a atenção e os esclarecimentos necessários), pois o aluno responde, diante do estímulo (o Roteiro), da maneira desejada (procura assimilar o conteúdo da Unidade). Mas, pode acontecer que o aluno passe a recorrer demasiadamente ao monitor, tentando obter a solução de exercícios fáceis antes de tentar solucioná-los por esforço próprio, mesmo antes de estudar o assunto, numa clara tentativa de obter uma "aula particular". Esta resposta deve ser ignorada pelo monitor, que não esclarecerá o aluno, mas simplesmente lhe indicará as seções do livro-texto que tratam do assunto. Com o tempo, o aluno desenvolverá maior iniciativa, tentando solucionar os problemas por esforço próprio, recorrendo ao

monitor apenas quando realmente necessário; teremos, então, obtido a diferenciação da resposta desejada.

Mencionamos, acima, a possibilidade de extinguir uma resposta, simplesmente deixando de apresentar ao sujeito qualquer reforçador após a sua emissão. Este procedimento pode ser usado em classe para corrigir uma série de distorções no comportamento dos alunos. As seguintes atitudes são respostas típicas emitidas pelos alunos em um curso programado individualizado, que podem, com um pouco de habilidade, ser extintas mediante o procedimento indicado: solicitar esclarecimentos durante o desenrolar dos testes; apresentar soluções decoradas às questões dos testes (o procedimento de extinção, no caso, consiste em não permitir ao aluno a passagem à unidade seguinte); tentar sensibilizar os monitores, demonstrando excessiva ansiedade no decorrer dos testes ou mencionando problemas particulares no momento da correção; submeter-se a testes sem preparo suficiente, a fim de obter do monitor a solução das questões no momento da correção; e assim por diante.

Há, no entanto, respostas que não podem ser meramente ignoradas pelo professor. Há alunos, por exemplo, que recebem o roteiro da unidade e passam muito tempo preparando-se para o teste, com medo da reprovação. São alunos ansiosos e problematizados; sua ansiedade e seu medo funcionam certamente como reforçadores negativos, cuja presença tentarão suprimir. Mas, se muitos alunos nesta situação acabam por lançar-se um dia ao teste, alguns deles simplesmente abandonarão o curso se o professor não provi-

denciar alguns estímulos extra que controlem a resposta desejada. Será necessário muita habilidade do professor na apresentação de estímulos e reforçadores, até que tais alunos passem a agir normalmente e a assumir os testes com naturalidade.

O uso de punições como recurso para eliminar respostas indesejáveis deve ser minimizado. Na ocorrência de casos em que se caracterize uma tentativa de burla, ou quando a atitude inadequada de um aluno possa comprometer a atividade da classe, talvez se deva recorrer à punição, mas de modo geral o procedimento de extinção é suficiente. O monitor deve mesmo tomar cuidado para que a não-aprovação em um teste não se configure como punição, mas deve fazer sentir ao aluno que ele ainda não atingiu completamente os objetivos da Unidade, não cabendo, portanto, a passagem à Unidade seguinte (o que se constituiria em reforçar uma resposta insatisfatória).

Até aqui, expusemos como a Teoria do Reforço pode ser utilizada em um curso programado individualizado para manter o aluno sob controle dentro do curso, levando-o a realizar as tarefas e a seguir os passos programados pelo professor. O professor aparece, então, como um organizador de contingências capazes de controlar, réforçar e eliminar respostas, de acordo com um plano pré-estabelecido, contingências estas que serão administradas aos alunos com o auxílio de monitores. Mas, os mesmos princípios aplicam-se, também, ao ensino do conteúdo da disciplina propria-

mente dito.

Muitas vezes, para atingir determinado objetivo de aprendizagem deve-se desenvolver no aluno uma discriminação, ou seja, deve-se colocar seu comportamento sob controle de estímulos. Seja, por exemplo, o objetivo: "distinguir entre associações em série e em paralelo de resistores". A técnica de ensino a ser utilizada pelo professor é o procedimento de treino de discriminação, por meio do qual a apresentação ao aluno de uma associação em série, se tornará  $S^D$  para a resposta "em série" e  $S^A$  para a resposta em paralelo, enquanto que a apresentação de uma associação em paralelo assumiria funções opostas. O procedimento de treino de discriminação poderia consistir, no caso, da apresentação ao aluno de uma sucessão de associações de resistores, sendo a resposta "em série" reforçada em presença de associações em série e extinta em presença de associações em paralelo, e, sendo a resposta "em paralelo" reforçada em presença de associações em paralelo e extinta em presença de associações em série.

O objetivo seguinte a ser atingido no curso poderia ser: "analisar uma associação mista de resistores em termos de associações em série e em paralelo". É pouco provável que um aluno, diante de uma associação mista relativamente complexa, consiga logo analisá-la corretamente, de modo a podermos reforçar sua resposta, diferenciando-a. Quando queremos implantar respostas ainda inexistentes no repertório do sujeito, usamos o procedimento denominado modelagem ou aproximações sucessivas.

O procedimento de modelagem consiste em escolher, no repertório de respostas que o sujeito já apresenta, uma que se relacione de alguma forma com a resposta final desejada. Por exemplo, a resposta escolhida pode ser pré-requisito para a emissão da resposta final. O primeiro passo consiste em diferenciar a resposta escolhida, tornando bastante elevada a sua probabilidade de ocorrência; com isto, modificar-se-á o repertório do sujeito, observando-se o aparecimento de novas respostas, sendo pelo menos uma delas mais próxima da resposta final. Esta nova resposta será também diferenciada e assim, por meio de aproximações sucessivas, consegue-se modelar no sujeito a resposta final desejada.

No exemplo, o aluno, que já aprendeu a identificar associações em série e em paralelo isoladamente, será provavelmente capaz de reconhecer sua presença em uma associação mista muito simples; esta será justamente a resposta inicial a ser diferenciada no procedimento de modelagem. Depois, apresentando-se ao aluno associações mistas progressivamente mais complicadas, iremos diferenciando respostas cada vez mais próximas da resposta final desejada. Quando for atingido o grau de complexidade pré-estabelecido, teremos modelado no aluno, por um procedimento de aproximações sucessivas, a resposta de analisar associações mistas de resistores.

A resolução de problemas pode, em geral, ser descrita em termos de uma cadeia de estímulos e respostas.

Consideremos, por exemplo, o seguinte objetivo de aprendizagem: "calcular a resistência equivalente de uma associação mista de resistores". A proposição de um problema relativo a tal objetivo consiste na apresentação, ao aluno, de uma associação mista desconhecida. Para que o aluno aprenda a resolver o problema, deve-se fazer com que desenvolva a seguinte cadeia: a apresentação da associação de resistores é o  $S^D$  para analisá-la em termos de associações em série e em paralelo; feita a análise, o reconhecimento das associações simples que compõem o problema reforça a resposta de analisar e funciona como  $S^D$  para aplicar, a cada tipo de associação, a fórmula correspondente para o cálculo da resistência equivalente; a obtenção das resistências parciais reforça a resposta de calcular e controla a resposta de reagrupá-las; a repetição do processo culmina com a obtenção da resistência total da associação-problema, e este sucesso reforça a resposta de resolver problemas.

No exemplo acima, vê-se que um comportamento complexo que se queira implantar no repertório do aluno, qual seja a solução de determinado tipo de problemas, é na verdade constituído pelo encadeamento de respostas simples, as chamadas Unidades de comportamento. As unidades de comportamento são estabelecidas por meio de procedimentos adequados (treino de discriminação, diferenciação de respostas e modelagem) e após combinadas na cadeia. É claro que um aluno bem treinado na solução desses problemas não irá fazer minuciosamente todas as etapas descritas, mas poderá

combiná-las em passos maiores e até mesmo resolver o problema como um todo, como se fosse uma única unidade de comportamento. Para este aluno a solução do problema é, na verdade, uma unidade de comportamento bem estabelecida, que poderá ser associada a outras unidades de comportamento igualmente complexas em uma outra cadeia mais complexa ainda. Tem-se assim um processo de assimilação progressiva de conteúdo, que culminará com a consecução dos objetivos terminais da disciplina.

Neste ponto talvez resida a diferença fundamental entre a Instrução Programada e o Método Keller. O autor de Instrução Programada procura analisar os comportamentos a serem estabelecidos até as suas unidades fundamentais, até os "átomos de comportamento", implantando-os um a um por meio de certo número de "quadros" ("frames") e relacionando-os à medida que surgem. O professor que planeja um curso programado individualizado não se preocupa, em geral, com as associações estímulo-resposta elementares; procura fazer com que os alunos adquiram respostas já de certo grau de complexidade (que constituem os objetivos de cada Unidade) por meio de um estudo orientado mais ou menos convencionalmente, aperfeiçoando-as ou relacionando-as com outras respostas complexas nas unidades seguintes.

As respostas que se exigem de um aluno para que seja aprovado em uma unidade relacionam-se, então, com os conteúdos que se seguem no curso de duas maneiras. Ou são passos intermediários em um processo de modelagem (e

serão, portanto, extintas nas unidades seguintes em favor de respostas mais elaboradas), ou serão associadas a outras respostas em uma cadeia. As respostas adquiridas nas unidades finais guardarão estes mesmos tipos de relação com os conteúdos das disciplinas seguintes do currículo ou com a aprendizagem profissional e pessoal do indivíduo fora da escola.

Todo um processo de modelagem pode ficar com prometido se não se souber o momento exato de interromper o reforçamento de uma resposta intermediária já diferenciada e começar a diferenciação da resposta seguinte; é essencial que uma resposta já esteja diferenciada em alto grau para, só então, começar a extinguí-la em favor de uma nova resposta. Da mesma forma, uma resposta que não esteja perfeitamente implantada no repertório do indivíduo e sob completo controle de estímulos não poderá ser associada a outras respostas em uma cadeia, pois se constituirá em um elo fraco. Estas são as razões pelas quais se deve insistir em que um aluno domine perfeitamente uma unidade do curso antes de permitir-lhe passar à unidade seguinte.

Algumas das objeções feitas ao Método Keller são dirigidas essencialmente à própria Teoria do Reforço. Segundo alguns críticos, por exemplo, não se consegue ensinar nada de fundamental por este sistema, mas apenas condicionar o comportamento dos alunos, levando-os a realizarem mecanicamente as tarefas estabelecidas. No contexto da Teoria do Reforço, no entanto, não é possível estabelecer di-

ferença entre aprendizagem e condicionamento; a única coisa observável é o comportamento do aluno e só ele pode ser levado em conta por quem queira assumir um posicionamento científico. Em outras palavras, a Teoria do Reforço estuda a correlação entre variáveis independentes controláveis (as contingências externas) e variáveis dependentes observáveis (as respostas do sujeito), ensinando como manipular tais contingências para condicionar os comportamentos desejados, sem supor ou cogitar da ocorrência de processos mentais internos concorrentes ou paralelos ao condicionamento, embora também não negue a possibilidade de existirem tais processos. E, uma vez que o aluno passe a exibir os comportamentos desejados, será impossível decidir se o condicionamento trouxe como consequência algum tipo de compreensão mais profunda do conteúdo ou se ficou limitado a um treinamento superficial. Por outro lado, um professor que considere a aprendizagem como algo mais profundo e transcendente do que o condicionamento e que ensine de acordo com esta filosofia, ficará afinal limitado a avaliar os comportamentos emitidos pelos alunos, sem saber se realmente alcançou seu intento.

Esta discussão já ultrapassa os limites a que nos propusemos no presente trabalho. Mencionemos de passagem, no entanto, que operações mentais tão complexas quanto a formação de um conceito, a generalização, a abstração e a transferência são passíveis de interpretação no contexto da Teoria do Reforço, que indica como arranjar contingên

cias externas capazes de condicionar os comportamentos usualmente considerados como a evidência de que tais operações se realizaram na mente do indivíduo. Os interessados encontrarão o assunto desenvolvido na bibliografia já referida.

Mencionemos, também de passagem, uma possibilidade para os que não aceitam o modelo de aprendizagem proposto pela Teoria do Reforço. Podem-se programar contingências com o fim exclusivo de controlar o andamento e a atividade do aluno no curso, mas não com o objetivo de levá-lo à aprendizagem do conteúdo. Ou seja, pode-se introduzir em classe toda a sistemática de trabalho característica do Método Keller, mas o conteúdo específico do curso pode ser organizado e apresentado ao aluno segundo o modelo proposto por qualquer outra teoria de aprendizagem. Na verdade, a maior parte dos usuários do PSI o encara apenas como uma forma aperfeiçoada e racional de conduzir um curso, em que a atividade do aluno atinge um nível elevado e estácionário, mas o conteúdo continua sendo apresentado por meio de um livro de texto convencional; os cursos por nós mesmos oferecidos não têm fugido a este padrão. Esta possibilidade permite ao pesquisador de ciências comportamentais e de educação transformar o curso programado individualizado em excelente laboratório, uma vez que facilita o controle de muitas variáveis, possibilita a observação minuciosa do aluno e dá oportunidade à verificação experimental de, praticamente, qualquer teoria de aprendizagem.

Outra objeção comum: em um curso programado individualizado, o aluno, embora ativo no processo de aprendizagem, limita-se a fazer o que está sugerido no roteiro; aprende como um robô, da forma como o professor decidiu ensinar e apenas o que o professor programou. Quem faz tal objeção gostaria de desenvolver no aluno o espírito de iniciativa, o hábito de tomar decisões e a capacidade de escolher e usar livremente as fontes de informação. Mas é possível obter tudo isto com o Método Keller, talvez mais eficazmente do que em cursos convencionais, se o professor souber usar adequadamente a técnica denominada esmaecimento ("fading").

Esmaecimento é um procedimento pelo qual uma resposta, originalmente sob controle de um dado estímulo, é colocada sob controle de um estímulo novo. Consiste em ir reforçando a resposta em presença de estímulos gradualmente diferentes, até que ela esteja condicionada em presença do estímulo final. O procedimento é análogo à modelagem, mas lá o que muda gradualmente é a resposta reforçada, enquanto que aqui é o estímulo discriminativo.

A aplicação do esmaecimento, no caso em foco, consiste em modificar pouco a pouco o procedimento sugerido. Nos primeiros roteiros, cada item do procedimento levará a um objetivo de aprendizagem. O primeiro passo consiste em esmaecer esta relação, até o ponto em que o procedimento é apresentado globalmente, sem menção específica aos objetivos. No segundo passo, as indicações do procedimento vão sendo pouco a pouco suprimidas, até o ponto em que o

roteiro se reduz à introdução, aos objetivos e à bibliografia sugerida. Neste ponto, o aluno já se orientará na bibliografia sozinho e escolherá seu próprio caminho até os objetivos. A seguir, poder-se-á aumentar progressivamente a bibliografia indicada e estimular o aluno a buscar novas fontes por conta própria, chegando-se então ao pondo desejado.

É claro que cada resposta adequada do aluno deve ser convenientemente reforçada, a fim de que o comportamento realmente se estabeleça. Dentro do curso, os reforçadores serão a passagem pelas unidades, a aprovação no curso e o reconhecimento do professor, dos monitores e dos colegas. Mas, uma vez fora do curso, quando tais reforçadores deixarem de atuar, não será o comportamento extinto? A manutenção do comportamento é discutida na bibliografia indicada. Espera-se, no entanto, que a satisfação de atingir objetivos, de aprender coisas novas, a possibilidade de usar os conhecimentos adquiridos, o reconhecimento de outras pessoas e outros fatores semelhantes passem a atuar como reforçadores, mantendo indefinidamente o comportamento de estudar. O indivíduo poderá, então, passar a colocar objetivos para si próprio, auto-estimulando-se para o estudo, numa espécie de procedimento de auto-controle que substituirá o controle do professor.

Objeta-se também que o sistema transforma o indivíduo em um aprendiz de coisas feitas, sem dar margens à criatividade. Parece, em verdade, que o Método Keller,

como de resto o sistema convencional de ensino, ajusta-se melhor a transmissão de conhecimentos. Mas, na medida em que o indivíduo aprende a propor objetivos que vão além dos conhecimentos que já adquiriu, vale dizer, na medida em que o indivíduo torna-se capaz de formular novos problemas para si próprio, poderá eventualmente emitir respostas originais, criar soluções e produzir conhecimentos. Não podemos afirmar que seja este o caminho pelo qual se chega à produção intelectual. Até este ponto a Teoria do Reforço não dispõe de evidências experimentais e a maioria dos psicólogos não admite que o ser humano possa ser assim reduzido a uma "máquina de se comportar".

Finalmente, uma objeção de caráter ético. A Teoria do Reforço é apontada como base de alguns dos processos denominados "lavagem cerebral". Para certas pessoas, o Método Keller não ensina, mas submete o aluno a um desses processos e constitui, portanto, uma violência a sua liberdade e a sua condição de ser humano. Skinner observa, no entanto, que o controle do comportamento do indivíduo por contingências externas é inevitável. Se o aluno não for controlado pela instituição educacional, o será pelo grupo familiar ou social em que vive, ou por agências de caráter religioso, político e econômico, pelo Estado, etc. É verdade que Skinner não descarta a possibilidade de o indivíduo desenvolver procedimentos de auto-controle ou de contra-controle<sup>(5)</sup>. Esta discussão no entanto, também transcende aos objetivos deste trabalho e a mencionamos ape

nas para não cometer uma omissão importante. O leitor interessado deverá recorrer à bibliografia específica sobre o assunto.

As objeções levantadas acima, embora tenham ficado sem uma solução definitiva, não invalidam a realização de experiências com o Método Keller, pois não se dirige diretamente a ele como sistema de ensino. São objeções que se localizam no âmbito da própria Psicologia da Aprendizagem e de Filosofia, pois referem-se à interpretação dos processos de aprendizagem e às conseqüências éticas ou morais do uso da Teoria do Reforço. Talvez a própria aplicação do sistema, em caráter experimental e com fins de pesquisa, venha a auxiliar na solução destas questões. Nos capítulos seguintes, relataremos uma experiência feita com um curso programado individualizado no ensino de Física Geral, bem como as conclusões a que se pôde chegar.

#### IV - OBJETIVOS ESPECÍFICOS E METODOLOGIA DA PESQUISA

Na Introdução deste trabalho, mencionamos uma série de dificuldades que, ao menos no que concerne ao ensino de Física Geral na Universidade, não têm sido adequadamente superadas mediante o uso do sistema convencional de aulas expositivas e afirmamos que o Método Keller tem sido proposto como uma possível solução. Com efeito, pelo exposto nos Capítulos 2 e 3, não é difícil ver que os cursos programados individualizados, quer pela sistemática de trabalho que introduzem na sala de aula, quer pela base psicológica sobre a qual se assentam, oferecem ao professor uma série de instrumentos que permitem controlar o nível de atividade e o grau de aprendizagem do estudante.

Mas tal base psicológica, a Teoria do Reforço, dispõe ainda hoje de evidências experimentais bastante limitadas. Seu uso tem sido muito bem sucedido na implantação de comportamentos bastante complexos em animais. Seus princípios têm funcionado com êxito razoável na cura de alguns casos patológicos, como a modificação do comportamento de crianças-problema ou de adultos com sérios distúrbios mentais ou emocionais. Pessoas com quase nenhuma capacidade mental ou habilidade motora têm sido treinadas a desenvolverem alguma atividade útil à comunidade em que vivem, mediante procedimentos análogos aos descritos no Capítulo 3. Mas não está, ainda, determinado com exatidão como as contingências externas agem sobre seres humanos adultos

e normais: se realmente controlam o comportamento, que classes de respostas são moldáveis, como o indivíduo pode reagir ao controle e que efeitos colaterais podem ocorrer. Desta forma, é lícito fazerem-se determinadas previsões sobre os resultados práticos do uso da Teoria do Reforço, via Método Keller, nas situações de classe, mas há necessidade de realizar pesquisas com o fim de determinar a efetivação de tais previsões.

Propondo-nos a realizar pesquisas em torno do Método Keller, temos um objetivo imediato, qual seja testá-lo como solução para os problemas de ensino mencionados na Introdução. Mas, ao fazê-lo, estaremos indiretamente colaborando para aumentar a soma de evidências experimentais a respeito da Teoria do Reforço. Nosso trabalho vincula-se então, por um lado, à pesquisa fundamental em Psicologia Experimental e Teoria da Aprendizagem e, por outro, à busca de soluções práticas e eficazes para o ensino de Física Geral. Há, então, uma variada gama de fatores a serem estudados, todos eles relevantes para uma análise conclusiva sobre a validade e a conveniência do uso da Teoria do Reforço e do Método Keller, que vão desde a eficãcia do sistema em promover a aprendizagem até a eventual produção de efeitos colaterais, alguns talvez nocivos ao estudante. Ante a impossibilidade de atacarmos globalmente problema tão amplo, limitar-nos-emos ao estudo de fatores mais ligados à realização dos objetivos do ensino de Física Geral; e adotaremos, como sistemática de trabalho, o es

tabelecimento de comparações entre o Método Keller e o sistema convencional de aulas expositivas. Dentro desta linha, selecionamos para estudo algumas questões, a nosso ver as mais relevantes para uma comparação inicial entre os dois sistemas, as quais podem ser propostas da maneira que segue.

Há alguma diferença observável entre alunos submetidos ao Método Keller e ao sistema convencional de aulas expositivas, no que diz respeito:

- 1) ao índice de desistências?
- 2) ao índice de aprovação?
- 3) ao grau de aprendizagem do conteúdo?
- 4) ao grau de retenção do conteúdo aprendido?
- 5) a eventuais mudanças de atitude frente ao assunto do curso?
- 6) à reação ao sistema de ensino a que foram submetidos?

Não vamos, portanto, propor hipóteses de trabalho que impliquem na superioridade de um ou outro sistema; pretendemos, antes, realizar uma pesquisa de caráter exploratório que poderá eventualmente levar a conclusões desse tipo, mas cujo objetivo inicial é simplesmente tentar esclarecer a dependência das variáveis acima como funções dos dois tratamentos mencionados. Mesmo assim, é interessante perguntar que respostas se esperam obter para essas questões, supondo como válidos os princípios e proce

dimentos básicos do Método Keller. Tais respostas poderão guiar-nos na análise dos resultados obtidos no decorrer da experiência.

Em um curso programado individualizado, os alunos estão sujeitos a uma série de contingências externas, programadas pelo professor com o fim específico de levá-los a realizarem as atividades prescritas e a seguirem os passos pré-estabelecidos; tais contingências são os estímulos, que dão ocasião a respostas, e os reforçadores, que se seguem a respostas adequadas. Além disso, o progresso no curso é cadenciado por uma subdivisão adequada do conteúdo em unidades mais ou menos curtas; os alunos recebem ampla atenção individual; há preocupação em detetar suas falhas de formação e orientar sua correção em tempo hábil. Pode-se esperar, em razão destes fatores, um menor índice de desistências e uma percentagem maior de aprovações sob o Método Keller. Pode-se mesmo conjecturar que os alunos mais carentes, aqueles que normalmente não conseguiriam acompanhar um curso convencional, serão os mais beneficiados por esses fatores, mantendo-se no curso e chegando ao final em condições de obterem aprovação.

A subdivisão do conteúdo em unidades provê um estudo mais detalhado, minucioso e contínuo, enquanto no curso convencional o aluno pode passar muito tempo sem "ver" a matéria, para "ingerir" uma dose maciça nos dois ou três dias que antecedem a verificação. O procedimento sugerido nos roteiros das unidades sistematiza o estudo, mas

no curso por aulas expositivas o aluno só pode contar com uma orientação geral verbalmente transmitida pelo professor. A exigência de domínio sobre todo o conteúdo da unidade leva a um estudo completo, mas o critério de aprovação por percentagem de acertos em uma prova muito abrangente pode permitir a aprovação de um aluno com formação deficiente. É lícito prever, então, que os alunos do Método Keller realizarão uma aprendizagem mais completa, profunda e duradoura.

No Método Keller, procuram-se reduzir ao mínimo as ansiedades, frustrações e fracassos nos processos de aprendizagem e avaliação. Os roteiros das unidades, em sua introdução, procuram interligar os assuntos, justificar o estudo e motivar o aluno. Há ampla oportunidade para troca de idéias entre alunos, monitores e professores. Os monitores são, em geral, alunos que fizeram o curso pelo Método Keller e obtiveram algum destaque, sendo, pois, naturalmente motivados para o estudo do conteúdo da disciplina e favoráveis ao sistema de ensino usado; por se localizarem em um plano intermediário entre professor e alunos, conseguem mais facilmente transmitir a estes tais sentimentos. As condições são, então, de um modo geral, mais propícias a uma vantagem para o curso programado individualizado também no que se refere às duas últimas questões propostas.

A descrição minuciosa da experiência realizada e o relato dos resultados colhidos são o objeto do capítulo

tulo seguinte. É oportuno, no entanto, estabelecer já algumas diretrizes básicas a serem seguidas na realização da pesquisa.

Em consonância com os objetivos a que nos propusemos, trabalharemos com uma variável independente, o tratamento aplicado aos alunos (que pode assumir os "estados" Método Keller ou Sistema Convencional de Aulas Expositivas) e seis variáveis dependentes (índice de desistências, índice de aprovação, nível de aprendizagem, nível de retenção, atitude perante a Física, reação ao curso e ao sistema de ensino de modo geral). Ao estabelecermos a forma pela qual cada uma destas seis variáveis depende do tratamento, estaremos respondendo as seis questões anteriormente propostas, ao menos no que se refere à disciplina e à população em estudo.

Na análise dos resultados, usaremos a terminologia e as convenções usuais nos textos de Estatística e de pesquisa educacional. Denominaremos de "grupo experimental" ao grupo de alunos tratados pelo Método Keller e de "grupo de controle" ao grupo de alunos submetidos ao curso convencional. Anotaremos por  $H_0$  a hipótese de igualdade entre os grupos; assim, ao estudarmos determinada variável, aceitar a hipótese  $H_0$  significa admitir que tal variável não depende do tratamento aplicado e que diferenças eventualmente observadas entre alunos de grupos diversos são resultado de mera flutuação estatística.  $H_1$  é a hipótese alternativa; rejeitar  $H_0$  e aceitar  $H_1$  significa admitir que

as diferenças existentes entre os grupos não podem ser atribuídas apenas à flutuação estatística e que, portanto, a variável em estudo depende do tratamento. Optaremos pela rejeição de  $H_0$ , isto é, admitiremos a existência de uma diferença real entre os grupos, sempre que pudermos fazê-lo ao nível de significância 0,05; isto é, sempre que a probabilidade de estarmos fazendo uma opção errada seja no máximo igual a 5%; ou seja, sempre que  $p$  (probabilidade de que as diferenças observadas entre os grupos sejam mero resultado de flutuação estatística) seja igual ou inferior a 5%. A determinação de  $p$  depende do tamanho e da forma de obtenção das amostras em estudo, da natureza da variável sob análise, do tipo de dados colhidos e do uso de um teste estatístico adequado.

Como nossa intenção não é testar a hipótese de superioridade de um grupo sobre o outro, mas sim pesquisar a ocorrência de diferenças entre os grupos, usaremos sempre testes estatísticos bicaudados; isto é,  $p$  representará a soma das probabilidades de os resultados observados ocorrerem, sob  $H_0$ , com vantagem para qualquer dos grupos.

Ao tentarmos estabelecer a significância estatística de diferenças observadas entre os grupos, usaremos testes estatísticos não-paramétricos. O uso de testes paramétricos requer, além de outras condições restritivas, que as amostras sejam retiradas aleatoriamente de uma população cujos escores obedecem a uma distribuição normal, o que não será nosso caso, como veremos na descrição da experiência.

Uma excelente discussão introdutória dos assuntos relacionados com a análise estatística de dados encontra-se nos capítulos iniciais do livro "Nonparametric Statistics" de S. Siegel<sup>(14)</sup>.

## V - DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA - EXPOSIÇÃO, ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

A experiência que iremos relatar foi realizada no decorrer do segundo semestre de 1973, na disciplina Física II (FIS 103). Esta disciplina foi, naquele semestre, ministrada no Instituto de Física para alunos dos cursos de Matemática, Física, Química, Engenharia e Geologia, registrando-se a matrícula de 278 alunos, dos quais 251 efetivamente iniciaram o curso (é normal que cerca de dez por cento dos alunos matriculados não cheguem sequer a comparecer às aulas). Os alunos foram subdivididos em oito turmas, quatro das quais, totalizando 122 alunos, usaram o Método Keller enquanto as quatro restantes, com 129 alunos, usaram o Sistema Convencional de Aulas Expositivas. Trabalharam na disciplina quatro professores, cada um responsável por uma turma "Keller" e uma "não-Keller", na mesma faixa horária, porém em dias diferentes. O curso teve 16 semanas de duração e seu conteúdo abrangeu Termodinâmica e Eletromagnetismo, usando-se o livro de Halliday & Resnick<sup>(15)</sup> como texto.

As turmas convencionais tinham aulas de duas horas três vezes por semana, nas quais o professor usava ocasionalmente recursos audiovisuais (diapositivos, transparências, "film-loops") para auxiliar a exposição, esta baseada estritamente nos Roteiros de Unidades usados pelas turmas individualizadas. A avaliação processou-se nestas

turmas por meio de seis verificações, aproximadamente quinzenais, não havendo exame final. Foi considerado aprovado o aluno que obteve média final seis em uma escala de zero a dez. As questões das provas eram discursivas (questões de resposta aberta e problemas a resolver).

Quatro vezes no semestre as turmas convencionais tiveram uma sessão de laboratório, na qual foi dada aos alunos oportunidade de lidarem com instrumentos de medidas elétricas e de ilustrarem na prática alguns tópicos já estudados teoricamente. Nestas ocasiões, os alunos foram subdivididos em grupos de no máximo quatro, trabalhando cada grupo com um "kit" completo da experiência. Cada aluno recebia, então, uma apostila programada<sup>(16)</sup>, cuja função era recapitular a teoria e indicar o procedimento experimental a seguir, mas a atividade prática era desenvolvida em conjunto. O laboratório não foi avaliado especificamente, mas era de consenso geral que a realização da experiência, na medida em que ilustrava e elucidava a teoria, contribuía para um melhor desempenho do aluno nas verificações.

Para as "turmas Keller", o conteúdo da disciplina foi subdividido em 17 unidades, sendo 13 teóricas e quatro de laboratório. Preparou-se para cada unidade teórica uma bateria de quatro testes, todos eles compostos de questões discursivas. Cada turma foi subdividida em grupos de dez a doze alunos, indicando-se um monitor para cada grupo. Desta forma, cada aluno tinha seu monitor, ao qual

recorria para esclarecer dúvidas, solicitar e avaliar os testes ou receber orientação, ficando o professor como uma segunda instância na sala de aula. Por outro lado, cada monitor efetuava os registros e controlava o andamento de seu grupo no curso. Três vezes por semana, professor e monitores estavam por duas horas a disposição dos alunos, tendo havido ao todo 43 oportunidades de testes. Os alunos que completaram as 17 unidades receberam conceito final A; os que completaram no mínimo 12 unidades foram submetidos a um exame versando apenas sobre as unidades não completadas, variando o conceito final em função do número de unidades vencidas e do desempenho no exame. Os que não completaram 12 unidades foram automaticamente considerados reprovados.

Ao chegar a uma unidade de laboratório, o aluno recebia uma apostila programada e um "kit", os mesmos utilizados nas turmas convencionais. Como, no entanto, os alunos não progrediam todos no mesmo ritmo, havia a oportunidade de realizarem a experiência sozinhos, ou no máximo a dois, podendo contar com maior assistência do monitor e tendo seu desempenho avaliado antes de passar à unidade seguinte. Para avaliar o laboratório, o monitor recebia orientação específica.

Com o fim de estabelecer comparação entre as turmas convencionais e as individualizadas, submetemos os alunos aos seguintes instrumentos:

- questionário inicial
- pré-teste
- teste sobre Termodinâmica
- teste sobre Eletricidade
- teste sobre Eletromagnetismo
- questionário final
- teste de retenção

O questionário inicial compunha-se de três partes. A primeira parte visava colher dados pessoais sobre os alunos; na segunda parte, o aluno podia externar sua concepção do que seja um bom curso de Física; na terceira parte, procurou-se captar a opinião do aluno com relação à Física, a sua importância e à necessidade de estudá-la.

O pré-teste (Apêndice G) versou sobre tópicos de Matemática e Mecânica considerados básicos para a aprendizagem dos conteúdos de nossa disciplina. Os testes sobre Termodinâmica (Apêndice H), Eletricidade e Eletromagnetismo visaram justamente avaliar o rendimento do aluno nessas áreas durante o curso. o teste de retenção (Apêndice I) versou sobre todo o conteúdo da disciplina. Todos esses testes compunham-se de questões de escolha múltipla.

A fim de que se possa analisar a qualidade dos testes como instrumentos de medida, agrupamos na tabela 1 uma série de dados a seu respeito. A fidedignidade de um teste é uma medida da precisão dos resultados por ele fornecidos; os escores obtidos em um teste de elevada fide

	Nº DE QUESTÕES	CORRELAÇÃO PAR-ÍMPAR	FIDELIDADE ESTIMADA	Nº DE ALUNOS NA AMOSTRA
Pré-teste	40	0,56	0,72	241
Teste sobre Termodinâmica	18	0,56	0,72	156
Teste sobre Eletricidade	16	0,30	0,46	137
Teste sobre Eletromagnetismo	16	0,34	0,51	73
Teste de Retenção	10	0,38	0,56	156
	25	0,57	0,73	

TABELA 1 - Características dos testes de conhecimento utilizados como instrumentos de medida. Os números referentes ao teste de retenção foram obtidos quando de sua primeira aplicação, três meses após o término do curso. Cálculos realizados com o auxílio do Computador HP-2100 do Instituto de Física.

dignidade possuem alto grau de repetibilidade. Para estimar a fidedignidade de nossos testes, procedemos da forma seguinte: cada teste foi aplicado a determinado número de alunos, computando-se depois, para cada aluno, dois escores, um relativo às questões de numeração par e outro relativo às questões de numeração ímpar. Calculou-se, então, a correlação estatística entre os escores pares e ímpares de todos os alunos. O coeficiente de correlação é um número que pode variar entre  $-1$  e  $+1$ . Um coeficiente elevado e positivo significa uma pronunciada relação linear entre os escores par e ímpar, um coeficiente nulo significa a inexistência de qualquer relação entre os escores e um coeficiente elevado e negativo significa também uma pronunciada relação linear entre os escores, porém com coeficiente angular negativo. A fidedignidade do teste é estimada com base no seguinte pressuposto: a correlação entre os escores pares e ímpares é uma medida aproximada da repetibilidade dos resultados, e, portanto, da fidedignidade de cada meio teste. A Fórmula de Spearman-Brown permite então avaliar a fidedignidade que se obteria para cada meio teste dobrando o seu número de questões, ou seja, permite estimar a fidedignidade do teste inteiro. O coeficiente de fidedignidade de um teste pode assumir valores entre  $0$  e  $+1$ . Todo o procedimento acima descrito encontra-se detalhado na referência 17. Os dados relativos ao teste de retenção encontram-se separados em duas linhas: na primeira, separamos as

questões de Termodinâmica, como se constituíssem um teste independente; a segunda refere-se ao teste inteiro.

As fidedignidades encontradas são relativamente baixas; deve-se isto principalmente ao pequeno número de questões usadas. Mas todas as correlações par-ímpar diferem significativamente de uma correlação nula ao nível 0,01<sup>(18)</sup>; isto é, a afirmativa de que existe alguma correlação entre os escores pares e ímpares acarreta uma margem de erro de no máximo 1%. cremos, desta forma, que o pré-teste pode ser utilizado como um indicador do grau de preparação dos alunos para enfrentarem a disciplina Física II e que os demais testes fornecem com precisão razoável uma medida do nível de desempenho dos alunos.

Dois tipos de questionário final foram preparados, um para as turmas individualizadas e outro para as turmas convencionais, ambos subdivididos em duas partes. A primeira parte dos dois questionários era idêntica à segunda parte do questionário inicial, de modo a poder-se detectar uma mudança na concepção do aluno sobre o que seja um bom curso de Física. As doze primeiras questões da segunda parte de ambos os questionários finais eram também idênticas à terceira parte do questionário inicial, de modo a evidenciar-se uma eventual mudança na atitude do aluno perante a Física, a sua importância e a necessidade de estudá-la. As questões restantes da segunda parte não eram comuns, mas procuravam caracterizar a reação do aluno face ao curso a que foi submetido, de um modo geral.

O questionário inicial e o pré-teste foram aplicados a todos os alunos que iniciaram o curso. Os questionários finais foram aplicados a todos os alunos que terminaram o curso. Os testes de aquisição e retenção de conhecimentos, no entanto, deveriam ser aplicados a duas amostras de alunos convenientemente escolhidas, de modo a serem válidas as conclusões baseadas em seus resultados. O procedimento ideal seria escolher aleatoriamente dois grupos de alunos dentre os matriculados na disciplina, e aplicar a cada grupo um tipo de tratamento; isto, no entanto, não era viável, já que não tínhamos controle algum sobre a opção do aluno quanto à turma na qual se inscreveria. Decidimos, então, proceder a um pareamento ("matching") baseado em dados do questionário inicial e nos escores do pré-teste. Assim, suponhamos que um determinado aluno de uma "turma Keller" tivesse obtido um escore  $x$  no pré-teste, não fosse repetente, trabalhasse além de estudar e cursasse um número  $y$  de disciplinas. Procurou-se, então, na turma convencional situada na mesma faixa horária e sob responsabilidade do mesmo professor, um aluno não repetente que trabalhasse, cursasse aproximadamente o mesmo número de disciplinas e tivesse obtido aproximadamente o mesmo escore no pré-teste. Formamos, com este procedimento, 63 pares, ou seja, obtivemos duas amostras de 63 alunos, uma nas "turmas Keller" (amostra experimental) e outra nas turmas convencionais (amostra de controle), equivalentes em relação às variáveis faixa horária, professor, escore no

pré-teste, ser ou não repetente, trabalhar afora estudar e número de disciplinas cursadas.

Tanto os alunos do grupo de controle como os do grupo experimental foram informados de que havia uma pesquisa em andamento e de que os testes de Termodinâmica, Eletricidade e Eletromagnetismo, a serem aplicados paralelamente às verificações de grau e aos testes de mestria (conforme o caso), não teriam influência alguma na atribuição dos conceitos finais da disciplina. A aplicação dos testes foi feita de acordo com o seguinte esquema: no grupo de controle, os alunos os faziam em conjunto, na aula imediatamente após a última verificação de grau relativa ao conteúdo; no grupo experimental, cada aluno os fazia individualmente, após concluir a última unidade relativa ao conteúdo. Registre-se que, no grupo experimental, poderia ter havido comunicação entre os alunos com relação às questões dos testes; podemos afirmar, no entanto, que isto não ocorreu, pois os testes eram realizados sem consulta, não eram devolvidos, eram suficientemente longos para que não pudessem ser memorizados e não havia interesse em conhecê-los de antemão, já que seus resultados não influiriam no conceito do aluno.

O teste de retenção foi aplicado à guiza de um pré-teste na disciplina Física III, no 1º semestre de 1974, de modo a fornecer dados sobre os alunos participantes da experiência 3 meses após haverem sido aprovados no curso, e foi reaplicado ao final do semestre, de modo a

fornecer dados sobre os mesmos alunos sete meses após o curso.

Passemos, a seguir, à apresentação, análise e interpretação dos dados colhidos no decorrer da experiência, seguindo a mesma ordem em que foram propostas as questões no Capítulo IV. Nas páginas que se seguem, limitaremos-nos quase sempre ao ocorrido na presente experiência, sem tentar generalizar resultados ou pretender inferir o que ocorreria mediante o uso do Método Keller em circunstâncias diversas. Às vezes, entretanto, julgaremos oportuno comentar alguns tópicos de um modo mais geral, baseados em observações e experiências pessoais com o sistema ao longo de outros períodos letivos que não o 2º semestre de 1973.

#### Índice de Desistências

A tabela 2 apresenta o índice de desistências nas turmas experimentais e de controle. Foram considerados desistentes os alunos que iniciaram o curso, ou seja, chegaram a participar das atividades didáticas em um dos grupos, mas abandonaram o curso no decorrer das cinco primeiras semanas, dentro do prazo de cancelamento. Considerando-se apenas os pares formados por "matching", vê-se que houve menos desistências entre os alunos submetidos ao Método Keller; considerando-se o total de alunos matriculados, a percentagem de desistências é levemente inferior no curso convencional. A fim de analisar a significância estatística destas diferenças, os dados foram organizados em

População	Grupo	Nº de Alunos	Nº de Desistentes	% de Desistência	X <sup>2</sup>	P
Pares formados por "matching"	Experimental	63	9	14,3	1,287	entre 25% e 30%
	Controle	63	15	23,8		
Todos os alunos	Experimental	122	31	25,4	0,011	entre 90% e 95%
	Controle	129	31	24,0		

TABELA 2 - Índices de desistências nos grupos experimental e de controle, considerados apenas os alunos pertencentes aos pares formados por "matching" (parte superior) e o total de alunos da disciplina (parte inferior). Em ambos os casos, as diferenças observadas não podem ser consideradas estatisticamente significativas.

duas tabelas de contingência 2x2 (dois grupos de alunos, experimental e controle, classificáveis em duas categorias, desistentes e não desistentes). Para cada tabela, calculou-se o valor de  $\chi^2$  usando-se a expressão 6.4 da referência 14; os valores de p foram determinados mediante consulta à tabela C do Apêndice do mesmo livro e à tabela da pg. 612 da referência 19. Em ambos os casos, p é maior do que 5%, de modo que devemos aceitar a hipótese  $H_0$ : não houve diferença estatisticamente significativa entre os alunos submetidos ao Método Keller e ao ensino convencional, no que diz respeito ao índice de desistências.

Vê-se, então, que não se concretizou a previsão feita no capítulo anterior. Mesmo assim, consideramos satisfatórios os resultados obtidos, uma vez que a maioria das publicações se refere à procrastinação, e consequentemente ao elevado índice de desistências, como um dos grandes problemas dos cursos individualizados; alguns professores, na tentativa de preveni-la, chegam a tomar medidas contrárias às próprias características do sistema (por exemplo, o estabelecimento de prazos para vencer determinadas unidades, em franco desacordo com a liberdade de ritmo).

Em nosso caso, não tomamos nenhuma medida especial contra a procrastinação. Podemos, então, atribuir o baixo índice de desistências à forma como o curso foi planejado e executado: número adequado de unidades, número suficiente de oportunidades de teste, atividade dos monito -

res em nível satisfatório, contingências de reforço convenientemente programadas e administradas. Uma explicação possível para o fato de não termos obtido índices inferiores aos do curso convencional seria o conteúdo excessivo e variado da disciplina, que impediu a construção de unidades em um crescendo de dificuldade e, conseqüentemente, um entrosamento mais fácil do aluno com o curso.

#### Índice de Aprovação

A tabela 3.a mostra os índices de aprovação dos grupos experimental e controle, em relação ao número de alunos que iniciaram o curso; a tabela 3.b mostra os mesmos índices em relação ao número de alunos que se mantiveram após o prazo de cancelamento.

Em primeiro lugar, devemos ressaltar que os índices apresentados dependem fortemente das condições estabelecidas para aprovação em ambos os grupos, já expostas anteriormente; se, por exemplo, houvesse um exame final sobre todo o conteúdo, obrigatório para todos os alunos da disciplina, é provável que tais índices fossem diferentes. No entanto, na medida em que consideramos razoáveis nossos critérios de aprovação, é válido analisar os resultados obtidos.

O cálculo de  $\chi^2$  e a obtenção dos valores de p para as tabelas 3 foram feitos de forma análoga aos casos da tabela 2. Vê-se que a probabilidade de as frequências obtidas ocorrerem sob  $H_0$  é bastante pequena; podemos

População	Grupo	Nº de Alunos	Nº de Aprovados	Percentagem de Aprovação	X <sup>2</sup>	p
Pares formados por "matching"	Experimental	63	49	77,8	9,895	entre 0,1% e 0,5%
	Controle	63	31	49,2		
Todos os alunos	Experimental	122	86	70,5	17,631	<0,1%
	Controle	129	56	43,4		

TABELA 3.a - Índices de aprovação nos grupos experimental e de controle, considerados apenas os alunos pertencentes aos pares formados por matching (parte superior) e o total de alunos da disciplina (parte inferior). As diferenças observadas são estatisticamente significativas.

População	Grupo	Nº de Alunos	Nº de Aprovados	Percentagem de Aprovação	X <sup>2</sup>	p
Pares formados por "matching"	Experimental	54	49	90,7	8,790	entre 0,1% e 0,5%
	Controle	48	31	64,6		
Todos os alunos	Experimental	91	86	94,5	33,283	<0,1%
	Controle	98	56	57,1		

TABELA 3.b - Análoga à tabela 3.a, descontando-se, porém, em cada grupo, os alunos desistentes. As diferenças observadas são estatisticamente significativas.

então, admitir que houve diferença significativa quanto aos índices de aprovação, confirmando-se a previsão feita no Capítulo 4. Mas o que realmente se destaca são os elevados índices de aprovação entre os alunos do curso individualizado que não desistiram nas primeiras semanas (tabela 3.b). Aparentemente, o Método Keller levou os alunos a avaliarem bem cedo suas reais possibilidades, o que se constituiu certamente em uma vantagem: por um lado, o aluno não ficou ocupado com uma disciplina que, por uma razão ou outra, não estava ainda apto a enfrentar, em detrimento de outras onde seu aproveitamento pode ter sido melhor; por outro lado, o professor não necessitou dispensar atenção, nem ministrar provas, nem corrigir provas de alunos que de qualquer forma não obteriam aprovação, como ocorreu no curso convencional.

Em termos comportamentais, pode-se inferir que os alunos, uma vez colocados sob controle das contingências de reforço, foram conduzidos com grande probabilidade de êxito até às condições de aprovação. O momento crítico do curso, aquele em que praticamente se decidiu seu rendimento, foi justamente no começo, quando alguns alunos escaparam ao controle e desistiram.

Pode-se também conjecturar que os alunos mais beneficiados com o Curso Programado Individualizado foram justamente os mais carentes, aqueles que seriam reprovados se o curso fosse conduzido de forma convencional. Nossos dados, no entanto, não se prestam a uma análise mais minu-

ciosa deste aspecto, já que a tentativa de separar em cada grupo, com base no pré-teste, sub-grupos de alunos de nível superior e inferior levou-nos a amostras demasiado pequenas.

Não podemos, obviamente, generalizar as conclusões acima, com base apenas nos dados relatados. Resultados semelhantes, contudo, foram obtidos nos semestres subsequentes, de modo que julgamos razoável atribuir certo grau de generalidade ao que foi dito acima. Especialmente no que se refere à aparente vantagem da adoção do Método Keller com alunos de menores potencialidades, embora nenhuma pesquisa tenha sido desenvolvida com o fim específico de esclarecer este aspecto, parece-nos que pelo menos determinados tipos de dificuldades são mais facilmente superados desta forma. Pudemos observar muitos alunos que, após repetidos insucessos, lograram aprovação na disciplina cursando-a pelo sistema individualizado. As dificuldades apareceram sempre com alunos que, por motivos que desconhecemos, não se dispuseram a adaptar-se, ou resistiram mesmo, ao sistema.

#### Aquisição de Conhecimentos

As tabelas 4.a, b e c mostram os resultados obtidos mediante a aplicação dos testes de Termodinâmica, Eletricidade e Eletromagnetismo, de acordo com o esquema já exposto. Utilizamos a mediana<sup>(18)</sup> como medida da tendência central dos escores (número de acertos) obtidos; por definição, metade dos elementos do grupo apresenta escores acima e metade abaixo da mediana.

Grupo	Nº de Alunos	Mediana	Nº de Questões	T	Z	P
Experimental	50	11,25	18	127	4,29	<0,006%
Controle	50	8,00				

TABELA 4.a - Resultado da aplicação do teste de Termo dinâmica para 50 dos 63 pares originais. A diferença é estatisticamente significativa.

Grupo	Nº de Alunos	Mediana	Nº de Questões	T	Z	P
Experimental	43	10,00	16	264,5	2,51	1,2%
Controle	43	8,06				

TABELA 4.b - Resultado da aplicação do teste de Eletricidade para 43 dos 63 pares originais. A diferença é estatisticamente significativa.

Grupo	Nº de Alunos	Mediana	Nº de Questões	T	Z	P
Experimental	22	9,50	16	74,5	-	>5%
Controle	22	9,50				

TABELA 4.c - Resultado da aplicação do teste de Eletromagnetismo para 22 dos 63 pares originais. A diferença não é significativa - va ao nível 0,05.

Grupo	Nº de Alunos	Mediana	T	P
Experimental	22	10,5	44,5	<5%
Controle	22	8,5		

TABELA 5.a - Resultado da aplicação do teste de Termodinâmica, levando-se em conta apenas os 22 pares que permaneceram até o final da experiência. A diferença é estatisticamente significativa ao nível 0,05.

Grupo	Nº de Alunos	Mediana	T	P
Experimental	22	10,63	58	<5%
Controle	22	8,14		

TABELA 5.b - Resultado da aplicação do teste de Eletricidade, levando-se em conta apenas os 22 pares que permaneceram até o final da experiência. A diferença é estatisticamente significativa ao nível 0,05.

Para estabelecer comparação entre os grupos, escolhemos o "Wilcoxon Matched-Pairs Signed Ranks Test"<sup>(14)</sup>. É um teste estatístico não-paramétrico, apropriado ao caso em que a amostragem é feita por pareamento (amostras dependentes). Ao aplicar-se o teste, deve-se primeiro calcular a diferença entre os escores de um mesmo par, ordenando-se então os pares e atribuindo-se um peso a cada par, de acordo com a diferença apresentada. O valor de T, a variável característica do teste, é calculado em função dos pesos, de modo que o teste não leva em conta os escores brutos em si, mas sim o fato de os elementos do par apresentarem uma grande ou pequena diferença entre seus escores. Quando N, o número de pares cujos elementos apresentam escores diferentes, é maior do que 25, a distribuição T tende a uma distribuição normal caracterizada pela variável Z. Os valores de p podem ser obtidos mediante consulta aos apêndices A ( $N > 25$ ) ou G ( $N \leq 25$ ) da referência 14

Para os testes de Eletricidade e Termodinâmica, obtivemos  $p < 5\%$ , de forma que podemos considerar a existência de uma diferença estatisticamente significativa, com vantagem para o grupo experimental. Esta vantagem, no entanto, foi ficando reduzida com o passar do tempo, a ponto de desaparecer no teste de Eletromagnetismo.

Observe-se, em primeiro lugar, que o número de pares se reduziu de teste para teste; isto ocorreu porque, sempre que um aluno em um dos grupos não se apresentou para testagem, o escore de seu par não foi considerado

no outro grupo, de modo a manter o pareamento inicial. Contribuíram para isto dois fatores:

a) Desistências. Já foi visto que o número de desistentes entre os alunos pareados foi maior no grupo de controle (tabela 2). A diferença não foi considerada estatisticamente significativa, isto é, o fato não foi tomado como uma vantagem líquida para o Método Keller, pois o valor encontrado para  $p$  (entre 25% e 30%) foi maior do que 5%. Isto significa que falhamos em rejeitar  $H_0$ ; mas não significa que devamos aceitar  $H_0$  em definitivo. De fato, há ainda uma larga margem de probabilidade de que os índices de desistência encontrados não se devam a mero arranjo casual, mas tenham sofrido influência do tratamento. Nestas condições, as desistências podem muito bem ter ocorrido no sentido de favorecer o grupo de controle.

b) À medida que alguns alunos não desistentes do grupo convencional viam reduzidas suas possibilidades de aprovação, tornavam-se menos assíduos às aulas e não havia mais oportunidade de testá-los. Foram ficando, então, apenas os pares que envolviam os melhores alunos do grupo de controle.

Em suma, ocorreu durante a experiência um efeito de mortalidade nas amostras em estudo, cujo resultado foi favorecer o grupo de controle em relação ao experimental. Corrobora esta afirmação o fato de que a mediana do grupo experimental manteve-se sempre um pouco acima de

50% de acertos, enquanto que a mediana do grupo de controle evoluiu desde um valor mais baixo até um valor mais alto.

Mais uma vez parece evidente que foram os alunos mais carentes os mais beneficiados com o Curso Programado Individualizado: eles devem ter obtido melhor rendimento no grupo experimental, tanto que, enquanto permaneceram na amostra, colaboraram para uma efetiva vantagem sobre o grupo de controle.

Mas a mortalidade não foi o único fator relevante. As tabelas 5.a e 5.b são análogas às tabelas 4.a e 4.b, mas levam em conta apenas os 22 pares que se mantiveram até o final. O fator mortalidade foi agora excluído, mas as diferenças continuam sendo significativas, pois  $p$  ainda é menor do que 5% (na verdade, quase atinge este valor); e os grupos tendem à igualdade, o que se evidencia pelo crescimento progressivo do valor de  $T$  para esses 22 pares.

Em suma, todas as observações feitas na seqüência de tabelas 4.a, b e c são também válidas na seqüência 5.a, 5.b e 4.c. Como na primeira seqüência os valores de  $p$  são bem menores, vê-se que a mortalidade é um fator determinante; como na segunda seqüência os valores de  $p$  são bem maiores, mas ainda significativos, vê-se que há outros fatores, além da mortalidade, determinando o comportamento dos grupos.

Que outros fatores poderiam levar à progres-

siva igualdade entre os grupos, quando, pelo exposto no Capítulo anterior, seria de esperar uma vantagem ao longo de todo o curso para o grupo experimental ? Uma explicação possível<sup>(20)</sup> estaria no fato de a programação do conteúdo ter sido idêntica para ambos os grupos, baseada no livro de texto. Embora um grupo fosse submetido à instrução individualizada, esta não atendeu especificamente às diferenças individuais, já que as unidades eram as mesmas para todos os alunos. Desta forma, enquanto o conteúdo do curso era relativamente simples e até certo ponto já conhecido, os fatores apontados no Capítulo anterior determinaram a diferença. Porém, à medida que o conteúdo se foi tornando mais complexo e a dificuldade foi aumentando, tais fatores não foram mais suficientes para dar vantagem ao grupo experimental. Os dados relativos à retenção do conteúdo poderão confirmar esta hipótese.

#### Retenção de Conhecimento

A tabela 6.a mostra o resultado da aplicação do teste de retenção aos alunos pareados, três meses e sete meses após o final do curso. A redução observada no número de pares deveu-se a diversos motivos: alguns elementos dos pares originais não foram aprovados em Física II, e não estavam portanto matriculados em Física III, onde os testes foram aplicados; outros alunos, mesmo aprovados, não se matricularam em Física III; alguns matriculados em Física III não compareceram à primeira aula, quando o tes-

Grupo	Primeiro Teste de Retenção			Segundo Teste de Retenção				
	Nº de Alunos	Mediana	T	P	Nº de Alunos	Mediana	T	p
Experimental	18	12,17	65	>5%	6	13,00	-	-
Controle	18	12,17			6	10,00		

TABELA 6.a - Resultado da aplicação do teste de Retenção, três meses (primeiro teste) e sete meses (segundo teste) após o final do curso, levando-se em conta os pares originais. No primeiro caso não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos; no segundo caso o reduzido número de pares não permitiu um tratamento estatístico adequado. O teste compunha-se de 25 questões.

Grupo	Primeiro Teste de Retenção				Segundo Teste de Retenção					
	Nº de Alunos	Mediana	U	Z	P	Nº de Alunos	Mediana	U	Z	P
Experimental	59	12,23	1179	0,61	54,2%	29	11,43	303,5	0,55	58,2%
Controle	43	12,37				23	11,00			

TABELA 6.b - Análoga à tabela 6.a, porém sem levar em conta o pareamento inicial. Em nenhum caso foi possível observar diferença estatisticamente significativa entre os grupos.

te foi aplicado à guiza de pré-teste; a drástica redução da amostra na última testagem explica-se pelas desistências dentro da própria Física III e pelo fato de alguns alunos, já tendo alcançado a média de aprovação nesta disciplina, não comparecerem à última aula, quando o teste foi reaplicado.

Vê-se que, na primeira testagem, os grupos apresentaram a mesma mediana. O valor da probabilidade de ocorrência de tais escores sob  $H_0$ , determinado mediante aplicação do Teste de Wilcoxon, já anteriormente referido, é evidentemente elevado, de forma que temos que concluir pela igualdade dos grupos. Na segunda testagem, o número de pares não foi suficiente para um tratamento estatístico adequado.

Na tabela 6.b estão os dados referentes a todos os alunos que, aprovados em Física II, submeteram-se aos testes de retenção, sem levar em conta se pertenciam ou não aos pares formados por "matching". Para comparar estatisticamente os escores dos grupos, usamos o "Mann-Whitney U Test" (14), que é também não-paramétrico, mas adequado ao caso em que as amostras são independentes entre si; é este o caso presente, já que nesta tabela não é levado em conta o pareamento. Vê-se que, mesmo nestas condições, não foi possível estabelecer diferença entre os grupos.

A tabela 7 resume outra tentativa de evidenciar alguma diferença de comportamento entre os grupos. Foram levados em conta apenas os alunos que se submeteram ao

teste de retenção em ambas as ocasiões em que foi aplicado, analisando-se a variação dos escores, aluno por aluno, de uma testagem para outra.  $M_1$  representa a mediana de cada grupo na primeira testagem,  $M_2$  na segunda. O teste de Wilcoxon foi escolhido para verificar a significância das variações observadas, uma vez que, como cada aluno serviu como seu próprio controle, as amostras são dependentes. Não consideramos o efeito de regressão estatística, uma vez que o mesmo deve ter afetado ambas as amostras de forma mais ou menos equivalente. Mais uma vez, no entanto, as diferenças não são estatisticamente significativas, isto é, os alunos dos dois grupos mantiveram igualmente seus escores de uma testagem para outra.

Grupo	Nº de Alunos	$M_1$	$M_2$	T	p
Experimental	28	11,75	11,25	116,5	>5%
Controle	22	11,67	11,33	96,0	>5%

TABELA 7 - Variação dos escores dos grupos experimental e de controle da primeira para a segunda aplicação do teste de retenção. Nenhum dos grupos apresentou variação dos escores, ao longo do tempo, estatisticamente significativa ao nível 0,05.

Antes de mais nada, ressaltamos que a meta dos professores, tanto nas turmas individualizadas como

nas convencionais, foi sempre a realização dos objetivos de aprendizagem enumerados nos roteiros. As questões das verificações e dos testes, em ambos os grupos, bem como as questões do teste de retenção, visaram sempre esses objetivos. Desta forma, não procuramos avaliar uma influência mais profunda do método de ensino sobre a estrutura mental do aluno, mas apenas medir a capacidade do sistema em levar à emissão dos comportamentos que constituíam os objetivos específicos do curso. Em outras palavras, o teste de retenção procurou detectar diferenças quanto ao grau do conhecimento adquirido, quanto ao nível de compreensão de fatos específicos, de leis e de princípios gerais e quanto à capacidade de resolver problemas baseados em padrões previamente sugeridos; mas não avaliou a capacidade de realizar operações mentais mais complexas, como a transferência para problemas diferentes dos padrões, a análise de situações novas, a avaliação dos procedimentos aprendidos. Não sabemos, portanto, se os sistemas de ensino usados agiram de forma diferente sobre a estrutura mental dos alunos, se um deles levou a algum tipo de compreensão mais profunda. Esta seria uma questão importante do ponto de vista de pesquisa educacional, mas à qual não temos condições de responder.

As tabelas 6 e 7, olhadas em conjunto, revelam que o conhecimento adquirido pelos alunos de qualquer dos grupos, ao nível em que o medimos, foi consideravelmente retido. Tanto três quanto sete meses após o curso, meta

de dos alunos testados puderam acertar no mínimo cerca de metade das questões propostas. A tabela 7, especialmente, revela que a pequena queda nas medianas não pode sequer ser considerada estatisticamente significativa.

Mas o que realmente surpreende é a inexistência de vantagem para o grupo experimental, em franco desacordo com a previsão feita no Capítulo anterior. Devemos concluir novamente que os fatores lá apontados não foram suficientes para promover uma aprendizagem mais duradoura.

A explicação, mais uma vez, pode estar no fato de, embora o processo de aprendizagem ter sido individualizado, a programação do conteúdo não ter levado em conta aspectos individuais, tendo sido essencialmente a mesma nos dois grupos.

Em termos comportamentais, podemos dizer que a programação de contingências externas foi usada no curso programado individualizado apenas com o fim de controlar o andamento do aluno no curso, levando-o a realizar os passos previstos e a chegar ao final da programação. Mas não foi usada na programação do conteúdo, com o fim específico de levar ao condicionamento de respostas corretas, ou seja, de promover a aprendizagem; não se tentou, por exemplo, determinar que respostas já estavam presentes no repertório do aluno para, a partir delas, obter as respostas finais desejadas, através de um procedimento de modelagem. Desta forma, o efeito das contingências de reforço só se fez sentir onde elas efetivamente estiveram presentes no controle das desistências e na obtenção de mais aprovações. Mas

não se obteve aprendizagem mais efetiva nem mais duradoura, pois para tal fim específico não se programaram contin  
gências de reforço.

O teste de Termodinâmica, aplicado no decorrer do curso, revelou um desempenho melhor do grupo de experiência, mesmo quando se consideraram apenas os alunos que chegaram ao final do semestre (tabela 5.a). Em vista disso, consideramos a possibilidade de se notar alguma diferença ao menos na retenção desta parte do conteúdo. Organizamos, então, tabelas análogas às 6.a, 6.b e 7 com os es  
cores apenas das questões de Termodinâmica do teste de retenção, mas os resultados foram idênticos aos já relatados. Este fato, a nosso ver, não se enquadra perfeitamente na Teoria do Reforço, como passamos a expor.

No âmbito da Teoria do Reforço, faz-se diferenças entre esquecimento e extinção. Extinção, como já foi definido anteriormente, é o processo mediante o qual uma resposta deixa de existir no repertório do sujeito, me  
diante a ausência continuada de reforçadores; o  $S^D$  é apresentado ao sujeito, mas a resposta sob seu controle não é reforçada, sendo então extinta. Esquecimento consistiria em, durante muito tempo, impedir o aparecimento da resposta, isto é, não apresentar ao sujeito o  $S^D$ , de forma a fazê-lo esquecer a relação entre ele e a resposta. Mas a experiência demonstra que, pelo menos no que diz respeito a animais, o esquecimento não ocorre: pombos treinados a bicarem um disco para obterem alimento procederão exatamente

desta maneira anos depois, mesmo que durante esse tempo não tenham sido privados de alimento e nem visto o disco; se se quiser retirar esta resposta do repertório do pombo, dever-se-á extingui-la, de preferência condicionando em seu lugar uma resposta incompatível.

Como explicar que alunos inicialmente melhor condicionados a responderem questões sobre Termodinâmica passem a demonstrar, após algum tempo, um desempenho relativamente mais pobre?\* Mantendo-nos estritamente dentro do esquema da Teoria do Reforço, parece-nos difícil encontrar uma resposta satisfatória. Mas as condições limitadas de nossa experiência não nos permitem apontar o fato como uma evidência definitiva contra a Teoria; devemos antes interpretá-lo como uma sugestão para pesquisas posteriores, projetadas especificamente para esclarecer este aspecto.

De qualquer forma, uma explicação alternativa e bem mais consistente para este resultado poderia ser dada em termos da Teoria de Aprendizagem de David Ausubel<sup>(21)</sup>.

Não cremos ser necessário prolongar o assunto, mas essa teoria admite a possibilidade de se processar uma aprendizagem não-significativa e de curta permanência ("rote learning"), quando os novos conteúdos não se relacionam de alguma forma com a estrutura cognitiva pré-existente do aluno. Em nosso caso, os alunos do grupo experimental teriam sofrido uma instrução individualizada, mas não uma programação individualizada, já que não houve a preocupação de associar os novos conhecimentos à estrutura

---

\* Estamos descartando a hipótese, a nosso ver inverossímil, de que os alunos do grupo de controle tenham melhorado seu desempenho no decorrer do tempo.

cognitiva anterior de cada um; o Método Keller teria, então, favorecido a aprendizagem não-significativa de alguns conteúdos, que não foram retidos pelo estudante, de forma a estabelecer-se a igualdade de desempenho entre os grupos algum tempo depois.

### Atitude Perante a Física

Como já foi dito, havia doze questões comuns aos questionários inicial e final de ambos os grupos, cuja função era evidenciar uma eventual mudança de atitude dos alunos com relação à Física, a sua importância e a necessidade de estudá-la. Estas questões foram formuladas sob a forma de afirmações e os alunos foram solicitados a assinalar, ao lado de cada uma delas, uma dentre as opções CF (concordo fortemente), C (concordo), SO (sem opinião), D (discordo) ou DF (discordo fortemente). Eis as doze afirmações propostas:

- 1) A Física é uma disciplina importante para todas as carreiras da área tecnológica.
- 2) Gostei muito de estudar Física na última disciplina (de Física) que cursei.
- 3) Especificamente para o meu curso, a Física pouco contribui em termos de formação profissional.
- 4) O estudo da Física desenvolve o raciocínio.
- 5) Física deveria ser disciplina optativa, exceto para alunos do curso de Física.

- 6) Não gosto de estudar Física.
- 7) Um curso de Física é útil para qualquer pessoa que o faça.
- 8) Física é uma disciplina muito difícil.
- 9) Não gostaria de cursar outra disciplina de Física.
- 10) Certos hábitos de estudo adquiridos em cursos de Física serão muito úteis em outros cursos.
- 11) Se Física II fosse disciplina optativa para meu curso, não me matricularia nela.
- 12) Conhecer um pouco de Física é fundamental para que se possa entender a civilização atual.

55 alunos no grupo de controle e 82 no grupo experimental responderam os questionários de início e de fim de curso. Pode-se expressar numericamente a opinião global de cada grupo sobre o assunto, a cada aplicação do questionário, por meio de um escore baseado na Escala de Leikert<sup>(22)</sup> para este tipo de questão. Se uma afirmação for favorável ao objeto em estudo, atribui-se peso 5 à opção CF, 4 à opção C, 3 a SO, 2 a D e 1 a DF; se a afirmação for desfavorável, os pesos são atribuídos de maneira inversa: 1 para CF, 2 para C, 3 para SO, 4 para D e 5 para DF. Desta forma, atribui-se a cada questão respondida por determinado aluno um escore entre 1 e 5, e a média dos escores das doze questões refletirá a atitude do aluno em relação ao tema das afirmações. A média dos escores individuais refletirá a atitude do grupo frente ao tema das afirmações. Note-se que o escore assim obtido poderá variar en

tre 1 (que representará uma atitude francamente desfavorável) e 5 (que refletirá uma posição fortemente favorável), sendo o escore 3 representativo de uma posição neutra.

Os escores assim obtidos para ambos os grupos, a cada aplicação do questionário, encontram-se na tabela 8. Note-se que todos os escores refletem atitudes favoráveis, embora o grupo de controle tenha manifestado uma pequena queda no decorrer do curso. Para testar a significância estatística das variações ocorridas dentro de cada grupo, usamos o Teste de Wilcoxon, com cada aluno atuando como seu próprio controle, de forma análoga ao que foi feito na tabela 7. Concluímos que a queda observada nos escores do grupo de controle foi estatisticamente significativa ao nível 0,05, enquanto que os escores do grupo experimental têm praticamente 80% de probabilidade de serem devidos à flutuação estatística. Confirmou-se, então, a previsão feita no Capítulo anterior, já que, de certa forma, houve vantagem para o grupo experimental.

É interessante o fato de que o grupo experimental demonstrou, já de início, uma atitude mais favorável. As turmas "Keller" foram escolhidas apenas por conveniência de professores e monitores, e os alunos só souberam da escolha após a aplicação do questionário inicial e do pré-teste. Estudamos a composição dos grupos quanto a variáveis como curso, trabalhar afora estudar, repetência em Física I, repetência em Física II, conceito de aprovação em Física I e professor anterior, que poderiam determi

Grupo	Número de Alunos	Questionário	Escore	T	Z	p	Sentidos da Mudança
Controle	55	Inicial	3,87	384	2,09	3,7%	p/pior
		Final	3,75				
Experimental	82	Inicial	4,00	1435,5	0,26	79,5%	não houve
		Final	4,00				

TABELA 8 - Escores de Leikert obtidos pelos grupos experimental e de controle, nos questionários inicial e final, relativos ao tópico "atitude perante a Física" e análise estatística das variações observadas.

nar a diferença inicial, mas nada de importante pôde ser observado. O fato fica, portanto, sem explicação, mas não cremos que possa de alguma forma prejudicar as observações realizadas, a não ser pela circunstância de se tornar difícil ao grupo experimental demonstrar, ao final do curso, uma atitude ainda mais favorável.

#### Opinião a Respeito do Curso e do Sistema de Ensino Usado

Havia dez questões que constavam da segunda parte do questionário inicial e da primeira parte dos questionários finais, cuja função era evidenciar possíveis mudanças ocorridas na concepção dos alunos sobre o que seja um bom curso de Física. Três destas questões, as de número 1, 9 e 10, versavam sobre o sistema de ensino e as demais sobre componentes específicos do curso. Iniciaremos expondo e comentando os resultados das três questões anteriormente referidas; os números indicam a frequência de respos

tas em cada item, dadas pelos alunos de cada grupo nos questionários inicial e final (I e F, respectivamente). Lembremos que foram computados 55 questionários no grupo de controle e 82 no grupo experimental.

Questão 1 - Qual das maneiras abaixo você acha mais apropriada para que você entenda um determinado conceito de Física ?

	CONTR.		EXP.	
	I	F	I	F
a) Uma aula teórica, onde o assunto é abordado mais fenomenologicamente.	7	3	7	6
b) Uma aula teórica, onde o assunto é apresentado através de manipulação das relações matemáticas envolvidas, seguida de resolução de problemas.	28	30	15	5
c) Uma breve exposição seguida de discussão.	4	2	10	5
d) Apresentação do assunto através de demonstrações, filmes, diapositivos, etc.	1	9	13	10
e) Um roteiro para estudo individual, juntamente com a oportunidade de discutir suas dúvidas com o professor.	8	7	32	49
f) Respostas múltiplas ou em branco.	7	4	5	7

Os números acima refletem o fato de que o grupo de controle manteve-se satisfeito com o seu sistema de ensino (opção b), embora chame a atenção o aumento verificado nas respostas à opção d (conseqüência do uso em classe de recursos audiovisuais), enquanto que o grupo de experiência adotou, ao final do semestre, uma atitude fran

camente favorável ao curso individualizado (opção e).

Note-se, novamente, a manifestação de uma diferença inicial entre os grupos, cada um manifestando preferência pelo sistema que iria usar; não conhecemos as causas do fato, mas cremos que ele não invalida os resultados obtidos, especialmente porque a tendência foi de radicalizar ainda mais as posições iniciais. Esta mesma circunstância se repetirá com relação a outras questões relatadas.

Questão 9 - Imagine a seguinte situação: Num determinado curso o professor não dá aulas, mas para cada assunto do conteúdo da disciplina ele prepara um programa detalhado , contendo:

- 1) Uma pequena introdução ao assunto.
- 2) Os objetivos que o aluno deve atingir após estudar o assunto.
- 3) Um roteiro contendo, secção por secção do livro de texto, indicações sobre o que o aluno deve ler , quais as perguntas que deve responder e quais os problemas que deve resolver.

Além disso, o roteiro contém ainda indica - ções bibliográficas complementares ao livro de texto.

Após entregar o programa aos alunos, o professor diz a eles que estudem individualmente o conteúdo do programa e coloca-se à disposição, nos horários de aula, para discutir, também individualmente, as dúvidas que os alunos tiverem. Finalmente, ele diz aos alunos que quando

se sentirem suficientemente preparados, apresentem-se para fazer um teste individual sobre o assunto estudado.

Em sua opinião, este método, sem aulas, proporcionaria condições para os alunos aprenderem o assunto?

SIM

NÃO

TALVEZ

EM BRANCO

CONTR.		EXP.	
I	F	I	F
24	36	54	76
10	2	2	-
21	17	25	6
-	-	1	-

Questão 10 - Comparado com um método tradicional, onde o conteúdo do curso é apresentado através de aulas, você acredita que o método acima (referido na questão 9) seria:

MAIS EFICIENTE

IGUALMENTE EFICIENTE

MENOS EFICIENTE

NÃO SEI

EM BRANCO

CONTR.		EXP.	
14	19	34	67
11	15	13	10
12	9	3	1
17	11	27	4
1	1	5	-

Com relação às questões 9 e 10, duas observações importantes. Em primeiro lugar, o grupo experimental evoluiu para uma quase completa confiança na instrução individualizada. Em segundo lugar, dentro do próprio grupo

de controle houve mudança no sentido de valorizá-la, considerando-a mesmo mais eficiente do que a instrução convencional. Parece ter havido certa filtragem de opinião, fato este que reforça nossa confiança nos resultados obtidos; os alunos do Método Keller poderiam ter respondido, conscientemente ou inconscientemente, sob influência de fatores como tendência de agradar ao professor ou sentimento de importância por terem sido incluídos no grupo experimental, mas os alunos do curso convencional apenas refletiram o que era de consenso geral.

Passemos agora às 7 questões restantes desta parte dos questionários.

Questão 2 - Num curso de Física (no qual é adotado um livro de texto), para compreender um assunto você julga que as aulas teóricas, nas quais o professor expõe esse assunto, são:

	CONTROLE		EXPERIMENTAL	
	Inicial	Final	Inicial	Final
( ) fundamentais	19	14	10	1
( ) muito úteis	23	32	20	18
( ) úteis	13	9	50	50
( ) desnecessárias	0	0	2	12
em branco	0	0	0	1

Questão 3 - Quanto às aulas de problemas, nas quais o professor resolve problemas-modelo, você acredita que são:

- ( ) fundamentais  
 ( ) muito úteis  
 ( ) úteis  
 ( ) desnecessárias  
 em branco

CONTROLE		EXPERIMENTAL	
Inicial	Final	Inicial	Final
23	21	11	8
24	25	29	25
8	8	39	35
0	1	3	14
0	0	0	0

Questão 4 - Quanto às aulas de laboratório, sua opinião é que são:

- ( ) fundamentais  
 ( ) muito úteis  
 ( ) úteis  
 ( ) desnecessárias  
 em branco

12	1	28	27
20	14	29	23
18	35	24	32
5	4	1	0
0	1	0	0

Questão 5 - Quanto ao estudo individual, no livro de texto, você julga que é:

- ( ) fundamental  
 ( ) muito útil  
 ( ) útil  
 ( ) desnecessário  
 em branco

34	40	58	62
15	8	17	15
5	7	6	5
1	0	0	0
0	0	1	0

Questão 6 - Quanto a resolver, você mesmo, os problemas indicados pelo professor, você acredita que é:

- ( ) fundamental  
 ( ) muito útil  
 ( ) útil  
 ( ) desnecessário  
 em branco

30	26	40	41
20	20	34	31
5	7	7	10
0	1	0	0
0	1	1	0

Questão 7 - Quanto à definição de objetivos do curso, você acredita que é:

- ( ) fundamental  
 ( ) muito útil  
 ( ) útil  
 ( ) desnecessária  
 em branco

CONTROLE		EXPERIMENTAL	
Inicial	Final	Inicial	Final
15	18	23	36
19	19	38	27
17	13	16	17
2	3	2	1
2	2	3	1

Questão 8 - Quanto à indicação de bibliografia suplementar, onde você possa ver o assunto sob outro ponto de vista, elucidá-lo ou aprofundá-lo, você acredita que é:

- ( ) fundamental  
 ( ) muito útil  
 ( ) útil  
 ( ) desnecessária  
 em branco

5	4	13	3
18	15	32	12
28	30	35	58
4	6	2	9
0	0	0	0

Vê-se que tanto as aulas teóricas quanto as de problemas (questões 2 e 3) foram sensivelmente desvalorizadas pelo grupo experimental, o que não ocorreu com o grupo de controle, em coerência com as questões anteriormente analisadas, especialmente a de número 1. Quanto às aulas de laboratório, foram consideravelmente desvalorizadas pelo grupo de controle, onde mais de 30% dos alunos deixaram de marcar "fundamentais" ou "muito úteis", crescendo de igual quantidade a opção "úteis"; no grupo experimental, manifestou-se a mesma tendência, mas em escala pra

ticamente insignificante. Na verdade, parece-nos que o problema das aulas de laboratório foi satisfatoriamente resolvido no curso programado individualizado, onde cada experiência foi considerada como uma unidade independente, devidamente inserida na estrutura do curso e na seqüência do conteúdo, bem como convenientemente avaliada. E se não houve uma valorização do laboratório pelos alunos das turmas Keller, talvez seja porque o mesmo não tinha por função levar o aluno à descoberta ou à aprendizagem de novos conteúdos, mas apenas ilustrar e verificar o que já fora aprendido nas unidades teóricas.

O estudo individual no livro de texto melhorou levemente em ambos os grupos, o oposto ocorrendo com a solução de problemas por conta própria; tais variações, no entanto, foram insignificantes. A definição operacional de objetivos melhorou no grupo experimental. É notável, no entanto, a queda, sob o Método Keller, da bibliografia suplementar. Aparentemente, os roteiros sugeridos mantiveram os alunos presos ao livro de texto, e o estudo em outras fontes foi considerado desnecessário, uma vez que era dispensável para obter aprovação nos testes. Isto, no entanto, não deve ser considerado como um efeito do sistema de ensino, mas apenas como uma circunstância de nosso curso, que foi programado com o fim específico de levar o aluno ao domínio do material contido no livro de texto.

As doze primeiras questões da segunda parte dos questionários finais já foram analisadas no tópico "Atitude Perante a Física". Passaremos agora a relatar as questões restantes, que se referem à avaliação do curso e do sistema de ensino utilizado, iniciando pelo questionário do grupo experimental. Os números expressam a frequência com que ocorreram respostas em cada opção apresentada.

Questões de 13 a 40 da 2ª parte do Questionário Final, Grupo Experimental

	CF	C	SO	D	DF
13) Gostaria de cursar Física III numa turma onde fosse usado o mesmo método adotado neste semestre.	35	20	11	13	3
14) Recomendaria a meus amigos que ainda não fizeram Física II que o façam numa turma onde será usado esse método.	31	24	15	11	1
15) Acho que esse método exige maior estudo do que os métodos convencionais usados em outras disciplinas.	47	29	0	6	0
16) Uma das vantagens desse curso é a de que cada aluno pode trabalhar de acordo com seu próprio ritmo.	39	33	3	5	2
17) Acho que esse curso foi muito mais fácil do que teria sido o mesmo curso ministrado de maneira convencional.	16	14	13	31	8

- 18) Num curso convencional eu teria tido maior oportunidade de conhecer e interagir com meus colegas de aula.
- 19) Acho que teria aprendido mais se tivesse cursado Física II numa outra turma da disciplina, com método convencional.
- 20) Não gostaria que muitas disciplinas usassem esse método.
- 21) Mesmo podendo repetir um teste, acho injusto o critério de "ter que acertar tudo".
- 22) O ambiente em classe foi muito mais agradável do que em outros cursos.
- 23) Acho que, de um modo geral, o professor foi, nesse curso, mais acessível do que em cursos convencionais.
- 24) Não gostaria de cursar outra disciplina com esse método.
- 25) A descoberta "por acaso" de algumas questões dos testes fazia com que eu procurasse realmente entender a resposta e não apenas memorizá-la.
- 26) Esse método exige que o aluno estude a matéria mais a fundo do que em métodos convencionais.
- 27) A subdivisão do programa em unidades impediu um pouco a formação de uma idéia global do conteúdo.
- 28) Não tive nesse curso a atenção individual que gostaria de ter tido.
- 29) As discussões com os monitores foram muito valiosas.

CF	C	SO	D	DF
0	7	12	42	21
0	1	11	40	30
13	29	12	18	10
9	26	12	26	9
36	24	14	6	2
42	33	4	2	1
2	12	13	34	21
25	45	8	4	0
42	36	3	1	0
3	6	5	49	19
0	4	5	38	35
32	36	10	3	1

- 30) De um modo geral, meu monitor foi justo comigo na correção dos testes.
- 31) Os roteiros de cada unidade não foram suficientemente claros para que os alunos pudessem guiar-se por eles.
- 32) De um modo geral, meu monitor não demonstrou ter sobre a matéria um domínio pelo menos igual ao que me foi exigido.
- 33) Muitas vezes as questões dos testes não corresponderam aos objetivos da unidade.
- 34) A correção dos testes pelo monitor foi menos rigorosa do que teria sido (ou foi) a correção pelo professor.
- 35) Os testes de uma mesma unidade nem sempre foram equivalentes.
- 36) Nas discussões com o monitor, este esforçou-se para tirar minhas dúvidas.
- 37) As unidades de laboratório foram bem inseridas na estrutura do curso e proporcionaram boas ilustrações do conteúdo estudado em outras unidades.
- 38) Se o mesmo conteúdo houvesse sido subdividido em mais unidades, meu progresso no curso teria sido facilitado.
- 39) A introdução ao roteiro de cada unidade possibilitou a formação de uma visão global do conteúdo.
- 40) A exigência de, em média, uma unidade por semana é razoável.

CF	C	SO	D	DF
31	42	7	2	0
0	0	8	48	26
1	1	10	39	31
1	9	10	37	25
1	8	19	29	25
8	37	12	20	5
37	33	10	1	1
28	41	7	5	1
2	7	24	36	13
19	49	11	2	1
12	46	2	17	5

As questões 13, 14 e 24 refletem a satisfação geral dos alunos com o curso individualizado: 55 dos 82 alunos fariam (e recomendariam que se fizessem) outras disciplinas, de Física ou não, pelo mesmo sistema. A questão 20 parece contradizer as anteriores: 42 alunos não gostariam que muitas disciplinas usassem o sistema. Mas isto se explica com base nas questões 15 e 17: a quase totalidade dos alunos concorda em que se exigiu maior estudo do que em cursos convencionais, e uma sensível maioria acha o curso mais difícil do que seria pelo sistema convencional. Desta forma, o uso do Método Keller em muitas disciplinas, simultaneamente, seria uma carga excessiva para o aluno, esta a razão das respostas à questão 20.

As questões 19 e 26 são um depoimento importante. A grande maioria dos alunos declara ter realizado um estudo mais profundo e uma aprendizagem mais efetiva do que em um curso convencional. Embora os resultados de medidas de desempenho não tenham revelado muita diferença entre os grupos experimental e controle (especialmente nos testes de retenção, onde não houve diferença), esta reação dos alunos não é contraditória: muitos deles não teriam sequer obtido aprovação em um curso convencional, o que se comprova pela superioridade observada nos índices de aprovação.

As questões 18 e 22 ressaltam o aspecto social dos cursos programados individualizados. Se esta variável for considerada relevante pelo professor, o resulta

do parece indicar a conveniência do sistema.

O ritmo próprio, é apontado pelos alunos como uma vantagem, na questão 16. Já outra característica básica do método, a mestria em cada passo (questão 21) divide as opiniões.

A questão 25 é sutil. Nem sempre foi "por acaso" que os alunos descobriram questões dos testes. Uma conversa com colegas que já haviam passado pela unidade era sempre providencial... No entanto, a acreditar nos alunos, mesmo assim era necessário entender a resposta, e não apenas memorizá-la, para conseguir sucesso frente ao monitor. Cabe a pergunta: que diferença fez conhecer a questão com antecedência, se no final o aluno foi, de qualquer forma, capaz de demonstrar o desempenho esperado ?

Este é um dos aspectos preferidos pelos que contestam o Método Keller. Segundo eles, a disseminação entre os alunos das questões de testes, e mesmo de suas respostas, permite a aprovação de alunos mal preparados e invalida completamente o sistema. Do ponto de vista da fundamentação teórica, no entanto, o importante é que o aluno se torne capaz de realizar as tarefas prescritas, com o grau de perfeição pré-estabelecido pelo professor, não importando muito como tenha ele chegado a isto. Somos de opinião que se deve manter, a respeito do assunto, uma posição intermediária. Por um lado, encarar com naturalidade o fato de que os testes se dessememam, sem tentar coibi-lo, o que de resto seria impraticável. Por outro lado, diver -

sificar os testes ao máximo, desde que mantida sua coerência com os objetivos e com o grau de dificuldade estabelecidos para a unidade, de modo a não desvirtuar a sua função. E sobretudo zelar pela qualidade da avaliação feita pelos monitores: orientá-los devidamente, revisar, ao menos periodicamente, as correções, insistir em que os alunos sejam argüidos até demonstrarem o domínio do assunto e a compreensão das respostas dadas.

Mencionamos, no Capítulo II, uma objeção frequente aos cursos programados individualizados: a subdivisão do conteúdo em unidades estanques, estudadas uma a uma pelo aluno, dificulta a formação de uma idéia global do conteúdo. Nas questões 27 e 39, contudo, os alunos discordaram desta objeção, apontando a introdução aos roteiros como um recurso eficaz. Em primeiro lugar, devemos mencionar que, em nossa disciplina, somos favorecidos por um conteúdo fortemente seqüenciado, sendo praticamente impossível a alguém estudar assuntos novos desligando-se completamente dos anteriores; além disso, um dos objetivos da última unidade consiste justamente em aplicar globalmente, na solução de problemas, as leis físicas previamente estudadas. Mas a objeção mencionada pode ser superada mesmo quando o conteúdo não apresenta forte relação seqüencial: além do uso adequado das introduções aos roteiros, há o recurso já mencionado do exame final; talvez a solução mais acertada seja a introdução de unidades de revisão ao longo do curso.

Nas questões restantes, os alunos declaram haver recebido adequada atenção individual tanto do professor quando dos monitores, a atividade e o nível dos monitores foram considerados satisfatórios, a organização do curso, de um modo geral, obteve aprovação. Vale ressaltar um aspecto positivo: a organização do laboratório (questão 37) recebeu ampla aprovação; e um negativo: muitos alunos assinalaram que os testes de uma mesma unidade nem sempre foram equivalentes (questão 35).

Fica, portanto, a impressão geral de que os alunos receberam bem a adoção do sistema na disciplina. A única objeção de peso por eles levantada é a necessidade de dedicar-se muito ao curso, o que pode vir em detrimento de outras disciplinas; parece ser este o preço a pagar-se pela elevação dos índices de aprovação.

De um modo geral, este mesmo ambiente de satisfação foi observado nos semestres ulteriores. A mesma objeção acima mencionada voltou a ser a única restrição séria à adoção generalizada do Método Keller. A suspeita levantada no Capítulo IV, de que o uso extensivo dos procedimentos da Teoria do Reforço em classe pudesse de alguma forma afetar negativamente os alunos, parece, então, não se haver concretizado.

Vejamos, agora, como reagiram os alunos que, no mesmo semestre, cursaram Física II pelo Sistema Convencional de Aulas Expositivas.

Questões de 13 a 32 da 2ª parte do Questionário Final, Grupo de Controle

- 13) Gostaria de cursar Física III com o mesmo sistema tradicional de aulas expositivas adotado em minha turma neste semestre.
- 14) Recomendaria a meus amigos que ainda não fizeram Física II que o façam numa turma onde será usado este mesmo sistema.
- 15) De um modo geral, estudei Física II apenas na véspera das provas.
- 16) Não tive muitas oportunidades de conhecer e interagir com meus colegas de aula.
- 17) A existência de um cronograma rígido leva o aluno a adaptar-se ao ritmo do curso, evitando que ele fique para trás.
- 18) O sistema de ensino adotado não permite que o aluno supra suas deficiências de conteúdo antes que as mesmas influenciem negativamente em sua aprovação.
- 19) Tive sempre acesso fácil ao professor quando necessitei consultar e tirar dúvidas.
- 20) O sistema de ensino adotado em minha turma neste semestre favorece a aquisição dos conceitos básicos da Física pelo aluno.

CF	C	SO	D	DF
19	14	9	10	3
12	11	21	11	0
12	20	1	14	8
4	20	6	16	9
8	20	11	12	4
8	14	16	15	2
19	24	9	2	1
8	31	9	6	1

- 21) O sistema de aulas expositivas favorece a aquisição de uma idéia global do conteúdo da disciplina.
- 22) Não tive neste curso a atenção individual que gostaria de ter tido.
- 23) Nas verificações, exigiram-se conhecimentos em nível mais elevado do que os transmitidos em aula pelo professor.
- 24) As aulas de laboratório foram bem inseridas na estrutura do curso.
- 25) As aulas de laboratório proporcionaram boas ilustrações do conteúdo estudado nas aulas expositivas.
- 26) O nível das verificações foi sempre compatível com o do livro de texto.
- 27) Se ao invés de sei verificações longas houvesse sido realizado um número relativamente maior de verificações mais curtas, o meu aproveitamento na disciplina teria sido melhor.
- 28) Estudar em média o conteúdo de um capítulo do livro de texto por semana foi uma exigência razoável.
- 29) Seria melhor se fossem usados mais recursos audio-visuais em aula.
- 30) Seria melhor se o professor houvesse realizado algumas experiências demonstrativas.
- 31) Os graus que obtive nas avaliações representam fielmente o que sei sobre o conteúdo das mesmas.

CF	C	SO	D	DF
8	34	9	4	0
2	6	9	28	10
1	9	3	29	13
2	13	20	14	6
4	13	14	19	5
9	43	3	0	0
14	10	18	11	2
7	36	8	4	0
7	16	23	9	0
4	23	23	4	1
2	15	8	24	6

32) Gostaria que fossem indicados outros textos onde pudesse ver os mesmos as suntos de outra forma.

CF	C	SO	D	DF
6	19	24	6	0

Nas questões 13 e 14, os alunos do grupo de controle revelam uma opinião levemente favorável ao sistema de ensino usado; recordemos que, em questões semelhantes, o grupo experimental manifestou-se amplamente favorável ao curso individualizado. Outros aspectos do curso salientados como positivos: o nível das avaliações (questões 23 e 26), acessibilidade do professor e atenção individual (questões 19 e 22), o ritmo do curso (questão 28), as potencialidades do sistema (questões 20 e 21). Surpreende-nos a satisfação dos alunos com a atenção individual recebida, uma vez que as aulas foram conduzidas de forma convencional e as turmas não eram pequenas.

Aspectos do curso salientados como negativos: pobreza de recursos utilizados (questões 29, 30 e 32), reduzido número de verificações (questão 27), fidedignidade dos graus atribuídos (questão 31), impossibilidade de suprir deficiências em tempo hábil (questão 18) e funcionamento do laboratório (questões 24 e 25). Note-se que tais restrições, por um lado, referem-se a problemas praticamente insolúveis em cursos convencionais (exceto, talvez, a fidedignidade dos graus atribuídos). Mas, por outro lado, devem ter sido colocadas pelos alunos sob influência do que se observava no grupo experimental. Sobretudo a inconformi

dade com os graus obtidos deve ter surgido em virtude do elevado número de conceitos A e B atribuídos aos alunos do Método Keller. Desta forma, embora os resultados observados evidenciem falhas do sistema convencional de ensino, talvez ocorressem de forma diferente na ausência de um curso Keller paralelo.

Apenas para completar, as questões 15 e 17 revelam certa incapacidade do sistema de cadenciar o estudo dos alunos, enquanto a questão 16 revela uma pobre interação social em classe.

## VI - COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

É oportuno iniciar este capítulo mencionando alguns fatores que podem ter limitado a validade de nossa experiência. O procedimento de "matching", por exemplo, é bastante limitado pela impossibilidade de se fazer um pareamento em um número grande de variáveis, ou mesmo por não se saber exatamente quais as variáveis mais relevantes. Tivemos, certamente, problemas de amostragem, já que os grupos experimental e de controle acusaram comportamentos diferentes sob alguns aspectos, como foi verificado no questionário inicial. As fidedignidades dos testes de conhecimento, mostradas na Tabela 1, não podem ser consideradas completamente satisfatórias. Também os questionários, usados como instrumentos de medida de atitudes e opiniões, podem ter sua precisão e sua validade contestadas. Por último, os questionários finais foram aplicados somente aos alunos que terminaram o curso, desprezando-se, então, a opinião dos desistentes. Não podemos, em virtude do exposto, considerar os resultados obtidos como absolutamente fidedignos, como também não sabemos até que ponto eles seriam válidos para outras populações, outras disciplinas ou outros períodos letivos. No entanto, embora não tenhamos repetido a experiência nos semestres ulteriores, o Método Keller continuou a ser aplicado, tendo sido possível observar a repetição de alguns fatos e a confirmação de algumas

conclusões, de modo que nos consideramos capacitados a opinar sobre a viabilidade e as potencialidades do sistema, ao menos no que se refere ao ensino básico de Física Geral em nossa Universidade.

Resumimos, a seguir, alguns tópicos importantes.

1. É comum encontrarem-se relatos de experiências com ensino individualizado em que houve muitas desistências e em que a procrastinação se constituiu em problema de certa gravidade. Cremos que tais ocorrências não são típicas de cursos programados individualizados, mas podem ser controladas mediante contingências externas adequadamente programadas e ministradas aos alunos, bem como mediante um curso organizado de forma racional e exequível.

2. No Método Keller, os alunos são levados a bem cedo avaliarem suas reais possibilidades. Os que não se sentem capacitados a progredir, desistem; mas, dentre os que permanecem no curso, raros são os que não obtêm aprovação. Já nos cursos convencionais, muitos alunos permanecem ligados ao curso até o final, mas acabam reprovados. Há aí uma vantagem do Método Keller que, numa espécie de seleção prévia, libera professores e alunos de continuarem investindo tempo, esforço e atenção em busca de um objetivo que de qualquer forma não será alcançado.

3. Aparentemente, são os alunos menos capacitados os que mais se beneficiam com o sistema. Uma vez colocados sob o controle de contingências, são levados a tra

balhar de forma a se recuperarem de suas deficiências, logrando obter aprovação.

4. Nos testes de retenção de conhecimento, não foi possível detetar qualquer diferença de desempenho entre alunos aprovados na disciplina por um ou outro sistema. O índice de aprovação, no entanto, é maior entre os submetidos ao Método Keller. Este sistema tem permitido, então, melhorar consideravelmente o rendimento da disciplina, uma vez que permite aprovar maior número de alunos, sem reduzir o nível de desempenho.

5. A forma como os alunos responderam aos questionários finais parece evidenciar que o curso não os pressionou excessivamente, tendo muitos demonstrado satisfação com o curso e expresso o desejo de que outras disciplinas usassem o mesmo sistema. Em outras palavras, o resultado dos questionários, bem como observações pessoais dos professores em classe, permitem afiançar que o uso da Teoria do Reforço, via Método Keller, não produziu efeito colateral algum nocivo aos alunos, afora, é óbvio, o fato de restringir sua liberdade mediante o controle do comportamento por contingências externas.

Além dessas considerações, que emergiram diretamente do trabalho realizado, cabe ainda perguntar se o Método Keller pode satisfazer às condições impostas na Introdução para que um sistema de ensino substitua com vantagens o sistema convencional.

O Método Keller valoriza a iniciativa pesso-

al e a atividade individual do aluno. Da forma como vem sendo usado, no entanto, mantém o aluno preso ao texto e às instruções do professor, não estimulando a pesquisa por conta própria em outras fontes de informações. Tal fato pode não ser relevante, se o objetivo do curso consiste apenas em transmitir certo conjunto de conhecimentos ou desenvolver determinadas habilidades, mas é fundamental quando se trata da formação cultural do estudante. Os procedimentos mediante os quais esta dificuldade poderia ser superada já foram mencionados no Capítulo III e cremos que o estudo destes aspectos seria uma forma interessante de continuar este trabalho.

As demais condições impostas no Capítulo I são satisfeitas pelo Método Keller: possibilidade de diagnóstico e correção de falhas em tempo hábil, adequação do ritmo às características individuais, flexibilidade da mecânica de avaliação, ênfase ao aspecto social no desenvolvimento do curso e racionalização das aulas de laboratório. A unidade de ensino para todas as turmas de uma mesma disciplina é satisfatoriamente obtida mediante o uso dos mesmos roteiros, testes, instruções e procedimentos de classe. A participação dos professores é valorizada, pois podem dividir entre si a tarefa de programar e organizar o curso, além de exercerem a supervisão das atividades em classe. Pode surgir certa diversificação nos critérios de avaliação, que passa a ser feita por muitos monitores, mas tal dificuldade pode ser superada por um bom entrosamento en-

tre os professores e pelo uso de instruções específicas e minuciosas aos monitores.

Há ainda fatores de ordem prática a serem levados em conta na análise comparativa dos dois sistemas de ensino, dentre os quais salienta-se o investimento de esforço no preparo do material do curso. Em nosso caso, o trabalho de redação de roteiros, testes, folhas de soluções e instruções foi dividido entre os quatro professores da disciplina, e cremos que seria por demais oneroso se apenas um de nós devesse arcar com toda a tarefa; há, naturalmente, a atenuante de se poder usar o mesmo material, eventualmente com pequenas adaptações, durante alguns períodos letivos. O professor deve, ainda, acompanhar de perto as atividades em classe, trabalhar junto aos alunos, orientar os monitores, verificar, ao menos ocasionalmente, a qualidade da avaliação por estes realizada. A existência de facilidades de datilografia e impressão e a disponibilidade de recursos para gastos com papel são outros fatores que devem ser levados em conta.

A disponibilidade de monitores é outro fator essencial. A relação de um monitor para cada dez ou doze alunos, por nós utilizada, mostrou-se adequada.

Não há necessidade de usar como monitores apenas alunos aprovados com brilhantismo na disciplina; alunos medianos, devidamente instruídos e orientados, podem exercer a contento a função. Mas é essencial que o professor disponha de monitores em número suficiente e que neles

deposite confiança, sob pena de acabar ele próprio assumindo as funções de monitor, deixando o curso praticamente acéfalo. Não temos tido problemas com o recrutamento de monitores. Muitos alunos exercem a função voluntariamente por um ou dois semestres, pois esta é uma forma de aperfeiçoarem seus conhecimentos e de experimentarem o magistério.

Há ainda a considerar a aplicabilidade do sistema ao ensino de massa. Não é conveniente trabalhar com grandes turmas (de 80 a 100 alunos), mesmo dispondo do número adequado de monitores, pois o professor perde muito de seu controle sobre a classe. O mais acertado parece ser subdividir a população inteira em turmas de 50 a 60 alunos, cada turma funcionando independentemente das demais com 4 a 6 monitores e sob supervisão de um professor. Em disciplinas com muitos alunos, a viabilidade do sistema poderá, então, vir a ser prejudicada por dificuldades de entrosamento entre os muitos professores responsáveis pelas diversas turmas.

Em resumo, o uso do Método Keller requer aproximadamente o mesmo pessoal docente que um curso conduzido de forma convencional, mas exige maiores investimentos com a produção de material escrito e monitores. Em compensação, possibilita aumentar o rendimento da disciplina, ao lado de outras vantagens já mencionadas. Mas não é possível estabelecer uma nítida vantagem de um sistema sobre o outro; devem ser encarados como alternativas à disposição do professor, que optará em função dos objetivos que

deseja alcançar, dos recursos disponíveis, até mesmo de seu grau de satisfação com o sistema que vem usando.

Trabalhos como o nosso, em que se procuram estabelecer comparações entre ensino individualizado e ensino convencional, são importantes como ponto de partida para a avaliação da nova alternativa proposta. Em virtude, no entanto, de serem ambos os sistemas fundamentalmente diferentes, sendo praticamente impossível estabelecer a superioridade de um ou de outro, tal sistemática tem sido ultimamente abandonada. As novas linha de pesquisa buscam conhecer melhor a dependência entre variáveis internas do sistema; por exemplo, nossa experiência sugere que seria importante determinar que tipo de aluno melhor se adapta ao Método Keller, ou que operações mentais são mais facilmente desenvolvidas mediante seu uso. Questões como estas, uma vez respondidas, permitiriam ao professor optar pelo curso programado individualizado quando realmente esta fosse a alternativa mais indicada. E não é impossível que o próprio ensino convencional venha a beneficiar-se com tais pesquisas, incorporando inovações propostas no curso individualizado; a definição operacional de objetivos é um exemplo de procedimento que pode ser utilizado em qualquer tipo de ensino.

APÉNDICES

APÊNDICE A  
INSTRUÇÕES GERAIS AOS ALUNOS

Talvez você já tenha ouvido falar no método Keller. É um método de ensino diferente, que foi usado, em caráter experimental, numa das turmas de Física II no semestre passado. A receptividade entre os alunos foi excelente, e isso nos levou a usar tal método novamente neste semestre, porém não apenas com uma turma, mas com quatro. E a sua é uma delas.

As características básicas desse novo sistema de ensino são as seguintes:

- 1) O conteúdo do curso está dividido em unidades.
- 2) Para cada unidade existe um guia de estudo contendo os objetivos da unidade e sugestões detalhadas de como estudar a unidade.
- 3) No estudo da unidade você contará com a assistência de um monitor e do professor.
- 4) Quando você se sentir suficientemente preparado, você pode apresentar-se ao seu monitor para um teste escrito baseado nos objetivos definidos para a unidade.
- 5) Se você for aprovado nesse teste, você receberá o material da próxima unidade, e assim por diante.
- 6) Se você não for aprovado, isso não acarretará punição alguma. Você simplesmente deverá estudar a unidade novamente e submeter-se a um novo teste.
- 7) O que interessa é que você demonstre domínio sobre o conteúdo da unidade, independentemente do número de testes necessários para isso.
- 8) Completando todas as unidades até o final do semestre, você será aprovado com conceito A.
- 9) Não completando todas as unidades, você deverá submeter-se a um exame e seu conceito final será atribuído em função do número de unidades completas e do resultado do exame.

10) Algumas unidades consistirão em experiências de laboratório. Nessas unidades usar-se-á instrução programada e os testes serão orais.

Creemos que os 10 itens acima já lhe deram uma idéia de como o método funciona. Todavia, você deve ter ainda algumas dúvidas e, por isso, os esclarecimentos abaixo são necessários.

#### AULAS

Três vezes por semana, durante um período de duas horas, você terá à disposição seu monitor e o professor para pedir explicações, fazer testes e receber material. Por tradição, e talvez por conveniência administrativa, estes períodos de duas horas serão chamados "aulas". Você não encontrará, no entanto, o professor ou um dos monitores dando aulas para um grupo. Você encontrará apenas pessoas fazendo testes ou discutindo informalmente a matéria de ensino.

Algumas atividades em grupo como, por exemplo, duas ou três sessões de revisão do conteúdo ou de filmes, poderão ocorrer durante o curso. Tais atividades, no entanto, serão previamente anunciadas e seu conteúdo não será exigido em testes.

#### MONITORES

Uma das características fundamentais desse método é o uso de monitores. Os monitores são alunos mais adiantados do que você e que saíram-se bem nesse curso em anos anteriores. Os monitores serão orientados pelo professor e estarão à sua disposição no horário de aulas para dar-lhe atendimento individual, para corrigir seus testes, etc. Não pense, no entanto, que os monitores são gênios capazes de responder qualquer pergunta sua. Eles conhecem muito bem a matéria e estarão sempre dispostos a ajudá-lo, mas talvez em alguns casos tenham que recorrer ao professor para responder-lhe alguma pergunta.

### PROFESSOR

O papel do professor neste curso é bastante diferente daquele ao qual você está acostumado. O professor será o organizador das condições de aprendizagem e não um emissor de conhecimento. Ele redigirá os guias de estudo e os testes, orientará os monitores e acompanhará em todos os passos o andamento do curso. Além disso, o professor estará também à sua disposição nos horários de aula.

### TESTES

Em cada unidade existirão várias versões equivalentes do teste da unidade. Ao apresentar-se para fazer o teste você receberá uma das versões (ao acaso). Para ser aprovado no teste de uma unidade, você deverá demonstrar completo domínio do conteúdo, ou seja, terá que responder corretamente todas as questões. Isto não quer dizer, no entanto, que você poderá ser reprovado por um simples erro de cálculo ou por uma resposta incompleta ou mal expressa. Não, o teste será corrigido pelo monitor, em sua presença e, sempre que a resposta não for muito clara ou se tratar de simples engano, o monitor lhe pedirá explicações orais. Por outro lado, como as questões dos testes dentro de pouco tempo não mais serão segredo, esteja preparado para eventuais perguntas do monitor acerca de questões que você respondeu corretamente. O que se quer é que você aprenda, e não que decore respostas ou soluções.

A aprovação num teste é pré-requisito irrevogável para passar à unidade seguinte.

### EXAME

Para os alunos que não completarem todas as 17 unidades do curso, mas que completarem pelo menos as 12 primeiras, será realizado um exame final. Esse exame será individual e seu conteúdo será fixado oportunamente. Não queremos, no entanto, que você se preocupe com esse exame; o que quere-

mos é que você complete todas as unidades e receba o seu merecido conceito A.

#### QUADRO DE AVISOS

Todas as informações referentes ao curso e, portanto, de seu interesse, serão afixadas no quadro de avisos do curso, a ser colocado na sala de aula. Habitue-se a olhar este quadro periodicamente a fim de manter-se a par do andamento do curso. Em nenhum caso você poderá argumentar que não foi avisado, ou não sabia, de alguma coisa divulgada no quadro de avisos.

#### RITMO PRÓPRIO

Como você já deve ter concluído, neste curso você poderá trabalhar de acordo com seu próprio ritmo. Você poderá estudar quando quiser, fazer testes quando quiser, vir à aula quando quiser, etc. Lembre-se, no entanto, que você pode trabalhar quando quiser, mas tem que trabalhar. Você receberá posteriormente um calendário aconselhado para o término de unidades e um gráfico para controlar seu próprio progresso. Fora disso, a responsabilidade é sua. Cabe a você determinar seu ritmo de trabalho.

#### UNIDADES

Encontra-se abaixo a relação das 17 unidades do curso. Parece ser um número elevado, mas não se assuste: você terá amplas condições de completar todas as unidades; e se não obtiver um A, é porque não se esforçou muito, ou por motivo de força maior (doença, por exemplo).

#### UNIDADES

- I - Temperatura e Primeiro Princípio da Termodinâmica.
- II - Teoria Cinética dos Gases.
- III - Segundo Princípio da Termodinâmica.

- IV - Carga Elétrica e Força Elétrica.
- V - Campo Elétrico.
- VI - Laboratório: Medidas Elétricas.
- VII - Lei de Gauss.
- VIII - Potencial Elétrico - Capacitores.
- IX - Laboratório: Estudo de um Campo Elétrico.
- X - Corrente Elétrica - Resistência Elétrica - Força Eletromotriz.
- XI - Laboratório: Resistores Lineares e não Lineares.
- XII - Campo Magnético.
- XIII - Lei de Ampère e Lei de Biot-Savart.
- XIV - Lei de Faraday.
- XV - Indutância.
- XVI - Laboratório: Indução Eletromagnética.
- XVII - Lei de Gauss do Magnetismo - Corrente de Deslocamento - Equações de Maxwell.

Avaliação nas unidades 6, 9, 11 e 16: Essas unidades consistem de experiências de laboratório. Você deve realizar as experiências seguindo o roteiro da unidade e, após realizar a experiência, apresentar-se ao seu monitor para o teste da unidade. Nessas unidades o teste será oral e, como sempre, baseado nos objetivos da unidade. Se você for aprovado, poderá passar à unidade seguinte. Caso contrário, deverá repetir a experiência e submeter-se a novo teste, até ser aprovado.

APÊNDICE B  
INSTRUÇÕES GERAIS AOS MONITORES

I - O comportamento humano é controlado por suas conseqüências

Nesta afirmativa se resume a fundamentação teórica do Método Keller. Quando um aluno prepara convenientemente um assunto e sai-se bem em um teste, você coloca um S no teste dele, e isto o induz a preparar bem o assunto seguinte, para receber outro S no próximo teste. Desta forma, o comportamento apresentado pelo aluno (responder corretamente ao teste) teve como conseqüência imediata o S, que controlou a atitude seguinte do aluno, levando-o a estudar para o próximo teste. Eventos como o seu S, que aumentam a freqüência do comportamento ao qual se seguem, são chamados de reforçadores positivos.

Atenção individual e elogios funcionam também como reforçadores positivos. Por outro lado, quando você coloca um N em um teste, negando ao aluno licença para progredir no curso, você está contribuindo para extinguir um comportamento indesejável, qual seja, submeter-se a teste sem preparo suficiente. Em um curso pelo Método Keller, procura-se fazer com que as atitudes negativas sejam simplesmente ignoradas, evitando-se uma punição direta, mas evitando também qualquer forma de recompensa; isto basta para extinguí-las.

Outra faceta importante do método é a modelagem do comportamento do aluno. Por isso, a idéia de gradatividade é fundamental no sistema. As instruções vão diminuindo gradativamente, de modo que o aluno vá pouco a pouco aprendendo a estudar sozinho; a exigência nos testes vai aumentando gradativamente, e assim por diante.

O estudo de fenômenos como reforçamento positivo, extinção de respostas e modelagem de comportamento faz parte

do ramo da Psicologia denominada "Teoria do Reforço". Esta teoria está longe de ser completa e sofre ainda a oposição de muitos psicólogos. A descrição dada acima de tais fenômenos é muito simplista e serve apenas para dar a você uma idéia nada rigorosa do tipo de relações envolvidas.

O uso de reforçadores adequados nos momentos oportunos é, então, a essência do Método Keller. O papel do professor no curso é programar as contingências reforçadoras que, aplicadas aos alunos, controlarão o comportamento deles, levando-os a aprenderem o assunto e a apresentarem de sempenho satisfatório nos testes. Mas, se o professor é o programador das contingências reforçadoras,

OS MONITORES É QUE ADMINISTRAM TAIS CONTINGÊNCIAS.

Por isto,

O SUCESSO DE UM CURSO KELLER DEPENDE PELO MENOS 50% DOS MONITORES.

O professor programa o curso, mas em aula você é quem vai lidar com o aluno. Por isso, grande é a sua responsabilidade. Uma atitude equivocada sua, uma aprovação imerecida, uma reprovação precipitada, e tudo o que já se conseguiu com um aluno será posto a perder. Prepare-se adequadamente, aja de acordo com as instruções, seja responsável, ESTA É A SUA PARTE. Em classe, o professor deve ficar livre para observar, orientar, coordenar, corrigir o trabalho dos monitores. Em caso de dúvida, não tome atitude alguma sem consultar o professor. Ele lhe dará instruções, lhe orientará, lhe ensinará, ESTA É A PARTE DELE.

Se você desejar ler alguns artigos sobre o Método Keller, recomendamos:

1) Keller, F.S., "Adeus, Mestre!", Ciência e Cultura 24 (3): 207-217.

2) Green, B.A., "Physics Teaching by the Keller Plan at M.I.T.", American Journal of Physics 39, 764 (1971).

## II - REGRAS GERAIS

1) à medida que as folhas de soluções forem sendo entregues, as mesmas devem ser arquivadas na pasta do monitor e sobre esta pasta você deve manter rigoroso controle.

2) Os testes feitos pelos alunos não são devolvidos. O monitor deve registrar o resultado do teste nas fichas e entregar o teste ao professor.

3) Especialmente no início, se você tiver dúvidas na correção de um teste ou no atendimento individual a um aluno, recorra ao professor.

4) Evite qualquer atrito com os alunos. Se você não puder resolver algum problema com um aluno, encaminhe-o ao professor.

5) Sua responsabilidade é ajudar o aluno a dominar o conteúdo de cada unidade. Não dê aulas, ajude.

6) O domínio do conteúdo é o único critério de aprovação.

---

OBSERVAÇÃO: Ao final do semestre, a pasta deve ser entregue ao professor com todas as folhas de solução e testes em poder do monitor.

---

## III - PROCEDIMENTO

1) DURANTE A FASE DE PREPARAÇÃO DA UNIDADE. Na preparação da unidade, você deve ter em mente que as respostas que você deverá ser capaz de dar são bastante diferentes daquelas que serão dadas pelos alunos. Tanto você como o aluno devem ter domínio sobre o conteúdo de cada unidade. O aluno, porém, dará uma única resposta, ou exemplo, a cada questão, enquanto que você deverá ser capaz de avaliar várias respostas dadas a uma mesma questão. Em outras palavras, você deverá estar realmente "por dentro" do assunto.

Você deve seguir o roteiro da unidade respondendo as

questões e resolvendo os problemas como se fosse aluno. Assim procedendo, você estará apto a dar toda a orientação a seus alunos e demonstrar que você realmente conhece o assunto. Observe que dar orientação não significa responder as questões e resolver os problemas para o aluno. Sempre que possível, você deve fazer com que o aluno chegue à resposta ou solução por si mesmo. Se você, no entanto, julgar que resolvendo um problema para o aluno ele "pegará o embalo" e resolverá os outros, proceda dessa maneira.

Procure tirar suas dúvidas em relação ao roteiro antes do contato com os alunos. Para isso, consulte o professor ou mesmo seus colegas monitores. Os alunos sabem que você também é aluno e estão advertidos de que você não é um "sabe-tudo". Mas, por outro lado, se você se mostrar muito inseguro frente aos alunos enquanto eles estiverem preparando a unidade, você perderá sua confiança.

Um "truque" muito comum, usado pelos alunos durante a fase de preparação da unidade, é pedir ao monitor que lhes resolva um certo problema não constante do roteiro. Não caia nessa armadilha! Certifique-se antes se não se trata de uma questão de um dos testes. As questões dos testes "se espalham" rapidamente e sobre isso não temos a menor restrição, mas não cabe ao monitor dar as respostas dos testes aos alunos, e sim avaliá-las.

Alguns alunos vem à aula, sentam-se num canto e começam a estudar. Não perguntam nada e você ficará crente de que estão entendendo tudo. Nem sempre isso é verdade; às vezes esses alunos são muito tímidos, não estão entendendo nada e não perguntam porque têm vergonha. Fale com esses alunos, pergunte "como está indo a coisa", pergunte se já resolveram tal problema, se têm alguma dúvida, etc. A interação inter-pessoal é muito importante no Método Keller e muitas vezes você é quem deverá provocar essa interação.

Por outro lado, alguns alunos "grudarão", querendo que você lhes explique "até as vírgulas". Nesse caso você

terá que ser suficientemente hábil para fazer com que o aluno, pouco a pouco, adquira autonomia, sem desestimulá-lo.

2) DURANTE A REALIZAÇÃO DO TESTE. Exerça um controle sobre seus alunos. Verifique se não estão fazendo o mesmo teste do colega ao lado. Evite que sejam usadas folhas extras. Procure separar os que estão fazendo testes dos que estão estudando. Não permita conversas durante o teste. Evite responder perguntas durante o teste; muitas perguntas durante o teste já indicam que o aluno está mal preparado.

3) DURANTE A CORREÇÃO. De um modo geral, a correção não deve demorar muito. Primeiramente verifique se o aluno preencheu o cabeçalho e se respondeu todas as questões. Em alguns casos os alunos tomam testes somente para ver quais são as questões, rabiscam alguma coisa e dirigem-se ao monitor para corrigir o teste a fim de obter as respostas das questões. Não perca tempo com esses alunos, simplesmente diga-lhes amavelmente que ainda não estão suficientemente preparados e devem tentar outra vez. Se uma ou duas questões estão em branco, pergunte ao aluno porque não respondeu a questão e dê-lhe uma chance de pensar mais um pouco (se ele quiser), dizendo-lhe para retornar dentro de alguns minutos.

Se o aluno respondeu todas as questões, dê uma rápida olhada em toda a prova antes de iniciar a correção questão por questão. Em alguns casos essa rápida olhada será suficiente para ver se o aluno está ou não bem preparado. Se várias questões estiverem erradas, você não deve perder muito tempo, pois certamente o aluno não está apto; mas não deixe de aproveitar a oportunidade para destacar as respostas corretas. Isso poderá servir-lhe de estímulo para que tente novamente.

Se apenas uma ou duas questões não estiverem inteiramente corretas ou bem redigidas, você deve discutí-las com o aluno e, dependendo da discussão, aprovar o aluno. Se o

problema for de redação, você deve pedir ao aluno que redija a resposta corretamente. Alguns alunos apresentam respostas corretas mas usam um "português horrível", não sabem se expressar. É claro que você não vai reprová-lo por causa disso, mas torne-se pouco a pouco cada vez mais exigente em relação à redação de respostas claras, soluções bem ordenadas, etc. Com isso você estará modelando o comportamento de escrever do aluno.

Destaque e elogie as respostas corretas e seja hábil ao dizer que uma resposta está errada. A correção dos testes é um ponto crítico do sistema. Se o aluno é aprovado de imediato, ele se entusiasma e logo se apresenta para o teste seguinte; a reprovação, porém (na verdade não se trata de reprovação, pois o aluno simplesmente tem que repetir o teste) pode ser frustrante e fazer com que o aluno desapareça.

Vamos agora a um ponto importante: respostas corretas não significam necessariamente que o aluno tenha domínio do conteúdo da unidade. Ele pode simplesmente ter memorizado a resposta, pois já conhecia a questão através de outros colegas. É importante então que você faça uma pequena entrevista durante a correção. Faça algumas perguntas para verificar se o aluno realmente atingiu os objetivos correspondentes.

O fato de conhecer de antemão uma ou outra questão do teste não tem nada de mais, o importante, ao dar a resposta, é que o aluno tenha realmente atingido o objetivo. Pode ocorrer, portanto, que você tenha que dar um "não" para um teste com todas as respostas corretas. Nesse caso você deve deixar bem claro ao aluno que ele não atingiu os objetivos. A memorização deve ser desestimulada, o aluno deve aos poucos compreender que tentar saber as questões e memorizá-las para o teste não é boa política. Após corrigir alguns testes você detetará facilmente esses casos.

Durante a correção dos testes, consulte a folha de respostas do monitor somente quando for necessário. Se você consultar a folha de respostas a todo instante, o aluno ficará "meio desconfiado". A folha de respostas ser-lhe-á dada com antecedência, de modo que você poderá preparar-se para a correção, mas, se isso não acontecer, peça ao professor que corrija o teste.

O momento da correção é, sem dúvida, uma ótima oportunidade para aprendizagem, mas se o aluno der uma resposta completamente errada, a pior coisa que você pode fazer é dar-lhe diretamente a resposta certa. Se você simplesmente se tornar uma "fonte de respostas certas", o aluno deixará de lado a programação e passará unicamente a consultá-lo. Por outro lado, uma resposta sua no momento apropriado poderá ser altamente eficiente para a aprendizagem do aluno.

Uma observação final: para a maioria dos alunos, esse sistema de avaliação é completamente novo. Portanto, sua exigência nos testes deve aumentar gradativamente; se você for exatamente rigoroso desde a 1<sup>a</sup> unidade, a "mortalidade" pode ser grande. Por outro lado, "não banque o honzi-  
nho" passando todo mundo.

**OBSERVAÇÃO FINAL:** É impossível dar-lhe de uma só vez todas as instruções necessárias. Você pode tirar mais algumas dúvidas com os professores ou com monitores mais experientes, mas somente com a prática é que você vai aprender a enfrentar todas as situações. Procure orientar o aluno dentro do sistema, levando-o a um estudo consciente e proveitoso. Evite aprová-lo sem o domínio completo da unidade. **RECORRA AO PROFESSOR SEMPRE QUE NECESSÁRIO.**

APÊNDICE C  
ROTEIRO DE UMA UNIDADE

UNIDADE VII  
LEI DE GAUSS

(Texto: Halliday & Resnick, vol. II, cap. 28)

I - INTRODUÇÃO

Na unidade anterior, você aprendeu a calcular campos e létricos usando apenas a definição de campo e a Lei de Coulomb, ou seja, usando essencialmente a expressão  $E = q/4\pi\epsilon_0 r^2$ .

Na presente unidade, o cálculo de campos elétricos será feito de maneira mais sofisticada, ou seja, através da Lei de Gauss. Esta Lei é uma das mais importantes do eletromagnetismo; na verdade, é a primeira das quatro equações básicas do eletromagnetismo (equações de Maxwell).

Apesar, no entanto, de tratar-se de uma lei geral (e fundamental), você verá que na prática sua aplicabilidade se restringe a distribuições simétricas de carga. Isto não significa, no entanto, que a Lei de Gauss não seja válida para distribuições não-simétricas. A lei é válida em qualquer situação, mas quando não há simetria sua aplicabilidade ao cálculo de campos elétricos é bastante restrita.

II - OBJETIVOS

Ao término desta unidade você deverá ser capaz de:

1) Calcular, usando diretamente a definição matemática, fluxos elétricos através de superfícies abertas ou fechadas.

2) Enunciar verbalmente a Lei de Gauss, em termos de fluxo elétrico e carga contida numa superfície gaussiana.

3) Escrever a Lei de Gauss em sua forma integral e identificar cada um dos termos nela contidos.

4) Calcular, usando a Lei de Gauss, a carga elétrica

contida em uma superfície fechada, dado o campo elétrico ou o fluxo elétrico através da superfície.

5) Calcular, usando a Lei de Gauss, fluxos elétricos a través de superfícies fechadas, conhecida a distribuição es pacial de cargas.

6) Aplicar a Lei de Gauss a distribuições simétricas de cargas (simetria esférica, cilíndrica ou planar) com o fim de calcular campos elétricos.

7) Decidir se o cálculo do campo elétrico devido a uma dada distribuição de cargas deve ser procedido usando-se a Lei de Gauss ou a Lei de Coulomb.

### III - PROCEDIMENTO SUGERIDO

#### 1) Objetivo 1

- a) Leia a secção 28-1.
- b) Responda as questões 1 e 5.
- c) Resolva os problemas 3 e 5.

#### 2) Objetivos 2,3,4 e 5

- a) Leia as secções 28-2 e 28-4.
- b) Procure memorizar o enunciado da Lei de Gauss e a sua expressão analítica na forma integral, identificando todos os seus termos.
- c) Responda as questões 6 e 11.

#### 3) Objetivos 6 e 7

- a) Leia as secções 28-3 e 6, analisando detidamente todos os exemplos apresentados.
- b) Responda a questão 7.
- c) Resolva o problema 6.
- d) Responda as questões 13 e 15.
- e) Resolva os problemas 8,9,10,16,19 e 20.
- f) Resolva o seguinte problema: Uma casca esférica, não condutora, de raio interno a e raio externo b, está carregada com uma densidade volumétrica de cargas variável, do tipo  $\rho(r) = K/r^2$ , onde K é uma constante. a) Calcular a

carga total contida na casca esférica. b) Calcular o campo elétrico nas regiões  $r < a$ ,  $a < r < b$ ,  $r > b$ .

4) Problemas opcionais: Como exercício, sugere-se ainda que os problemas 14, 17, 22 e 25 sejam também resolvidos.

5) Leitura opcional

a) A leitura das secções 28-5 e 28-7, embora recomendada, é considerada opcional, não sendo o seu conteúdo exigido em testes.

b) Para aprofundamento ou simplesmente para ver como o assunto desta unidade é abordado em outros textos, sugere-se:

ALONSO & FINN, Fundamental University Physics, vol. II, secções 16-2, 16-3 e 16-4 (nesta secção, a Lei de Gauss é apresentada na sua forma diferencial).

FEYNMAN, The Feynman Lectures on Physics, vol. II, secções 3-1, 3-2, 3-3, 4-5, 4-6, 4-7 e 4-8.

6) Respostas dos problemas pares

$$8) \text{ a) } E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}, \quad \text{b) } E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2},$$

c) não      d) sim      e) sim      f) não      g) não

$$10) E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \text{ entre as lâminas, } E = 0 \text{ externamente.}$$

$$16) E = \lambda/2\pi\epsilon_0 r, \quad r > R; \quad E = 0, \quad r < R$$

$$20) E = 0, \quad r < a; \quad E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{qa}{r^2}, \quad a < r < b,$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{qa+qb}{r^2}, \quad r > b.$$

Resposta ao problema adicional

$$\text{a) } q = K 4\pi(b-a)$$

$$\text{b) } r < a: E_0 \quad a < r < b: E = K(r-a)/\epsilon_0 r^2$$

$$r > b: E = K(b-a)/\epsilon_0 r^2$$

## APÊNDICE D

## EXEMPLO DE TESTE DE UMA UNIDADE

## UNIDADE VII

## TESTE C

- 1) a) Escreva a Lei de Gauss em sua forma integral e identifique cada uma das grandezas que aparecem nela.  
b) Enuncie verbalmente a Lei de Gauss em termos de fluxo elétrico e carga contida em uma superfície gaussiana, relacionando este enunciado com a forma integral do item a).
- 2) Em uma região do espaço, há um campo elétrico radial representado por linhas de força que divergem da origem 0 de um sistema de coordenadas e cujo módulo é dado por  $E(r) = Kr$ , onde  $K$  é uma constante e  $r$  é a distância do ponto onde se calcula o campo até a origem 0. Calcule a carga contida em uma esfera de raio  $R$  centrada em 0.
- 3) Uma carga puntiforme é colocada no centro de uma superfície gaussiana esférica. O fluxo  $\phi_E$  será alterado se for adicionada uma segunda carga próxima e do lado externo da superfície gaussiana? Justifique.
- 4) Constrói-se, com material isolante, um longo cilindro oco de raios interno  $R_1$  e externo  $R_2$ . O cilindro é então carregado com uma densidade volumétrica  $\rho$  uniforme de cargas.
  - a) Determine o campo elétrico fora do cilindro, na porção maciça do cilindro e dentro da cavidade interna.
  - b) Faça um gráfico do campo elétrico em função da distância ao eixo do cilindro.

- 5) Considere o problema de calcular o campo elétrico produzido por um anel uniformemente eletrizado, em um ponto qualquer situado sobre seu eixo de simetria. Você resolveria este problema usando a Lei de Gauss ou a Lei de Coulomb (integração direta)? Justifique sua resposta.

## APÊNDICE E

## EXEMPLO DE SOLUÇÕES PARA O MONITOR

## UNIDADE VII

## TESTE C

- 1) a)  $\epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = q$ ;  $\epsilon_0$  - constante de permissividade do vácuo;  $\vec{E}$  - campo elétrico nos pontos da superfície gaussiana;  $d\vec{S}$  - vetor elemento de superfície;  $q$  - carga líquida encerrada na gaussiana.

Observação: Se o aluno escrever apenas  $\vec{E}$  = campo e/ou  $q$  = carga, perguntar que campo e/ou carga são estes.

- b) O fluxo elétrico  $\phi_E$  através de qualquer superfície hipotética fechada (superfície gaussiana) é dada por (depende apenas de)  $q/\epsilon_0$ , onde  $q$  é a carga líquida encerrada na superfície. Levando em conta a definição matemática de fluxo de campo elétrico ( $\phi_E = \int \vec{E} \cdot d\vec{S}$ ), vê-se que este enunciado corresponde à expressão analítica do item a).

- 2) Sendo o campo elétrico radial, as linhas de força de  $\vec{E}$  atravessarão perpendicularmente a superfície esférica de raio  $R$  e, além disso,  $|\vec{E}|$  será constante sobre a mesma superfície e valerá  $KR$ .

Então,  $\phi_E$  através da superfície valerá

$$\phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \oint E \, dS \cos 0^\circ = E \oint dS = E \cdot 4\pi R^2 = K4\pi R^3.$$

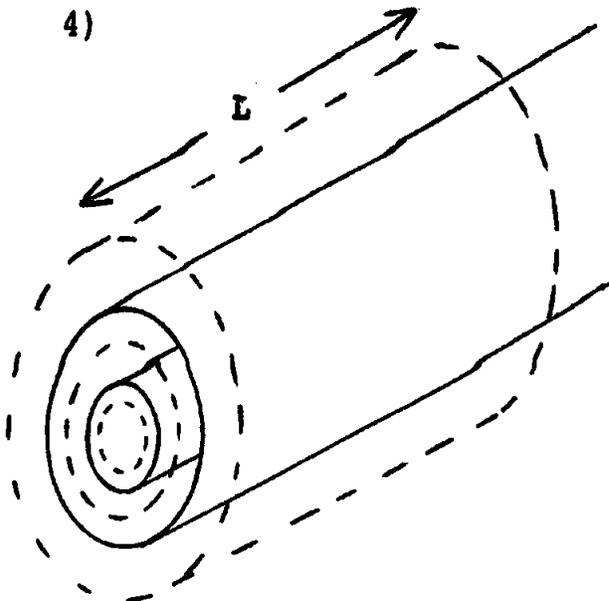
Pela Lei de Gauss,

$$q = \epsilon_0 \phi_E = 4\pi \epsilon_0 K R^3$$

- 3) Não. Pela Lei de Gauss ( $q = \epsilon_0 \phi_E$ ) o fluxo  $\phi_E$  depende apenas da carga líquida existente dentro da Gaussiana. Observação: A resposta pode ser dada em termos de linhas de força, pois se a carga for colocada externamente à superfície gaussiana, o número de linhas de força

do campo da carga externa que entra na gaussiana é igual ao que sai, não alterando portanto o fluxo total inicial.

4)



Na figura, as linhas cheias representam o cilindro e as linhas tracejadas representam gaussianas cilíndricas de comprimento L.

a<sub>1</sub>)  $r > R_2$ :

$$\phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \int E dS \cos 0^\circ$$

$$\phi_E = E \cdot 2\pi r L$$

$$q = \rho V = \rho \pi (R_2^2 - R_1^2) L$$

$$q = \epsilon_0 \phi_E \therefore \rho \pi L (R_2^2 - R_1^2) = \epsilon_0 E \cdot 2\pi r L \therefore E = \rho (R_2^2 - R_1^2) / 2\epsilon_0 r$$

$$a_2) \epsilon_0 \phi_E = \epsilon_0 E \cdot 2\pi r L = q' \quad (a < r < b)$$

$$q' = \rho V' = \rho \pi (r^2 - R_1^2) L$$

$$E = q' / 2\pi \epsilon_0 r L = \rho (r^2 - R_1^2) / 2\epsilon_0 r$$

$$a_3) \epsilon_0 \phi_E = \epsilon_0 E \cdot 2\pi r L = q'' = 0 \quad (r < a)$$

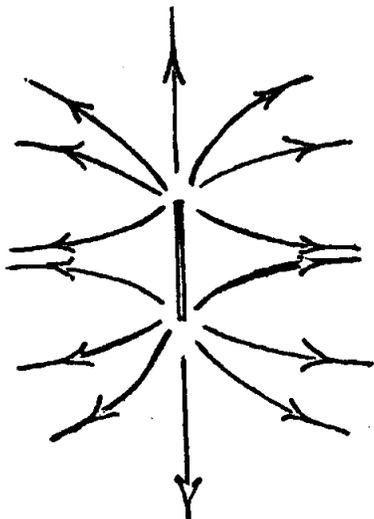
$$E = 0$$

b)

$$\frac{\rho (R_2^2 - R_1^2)}{2\epsilon_0 R_2}$$

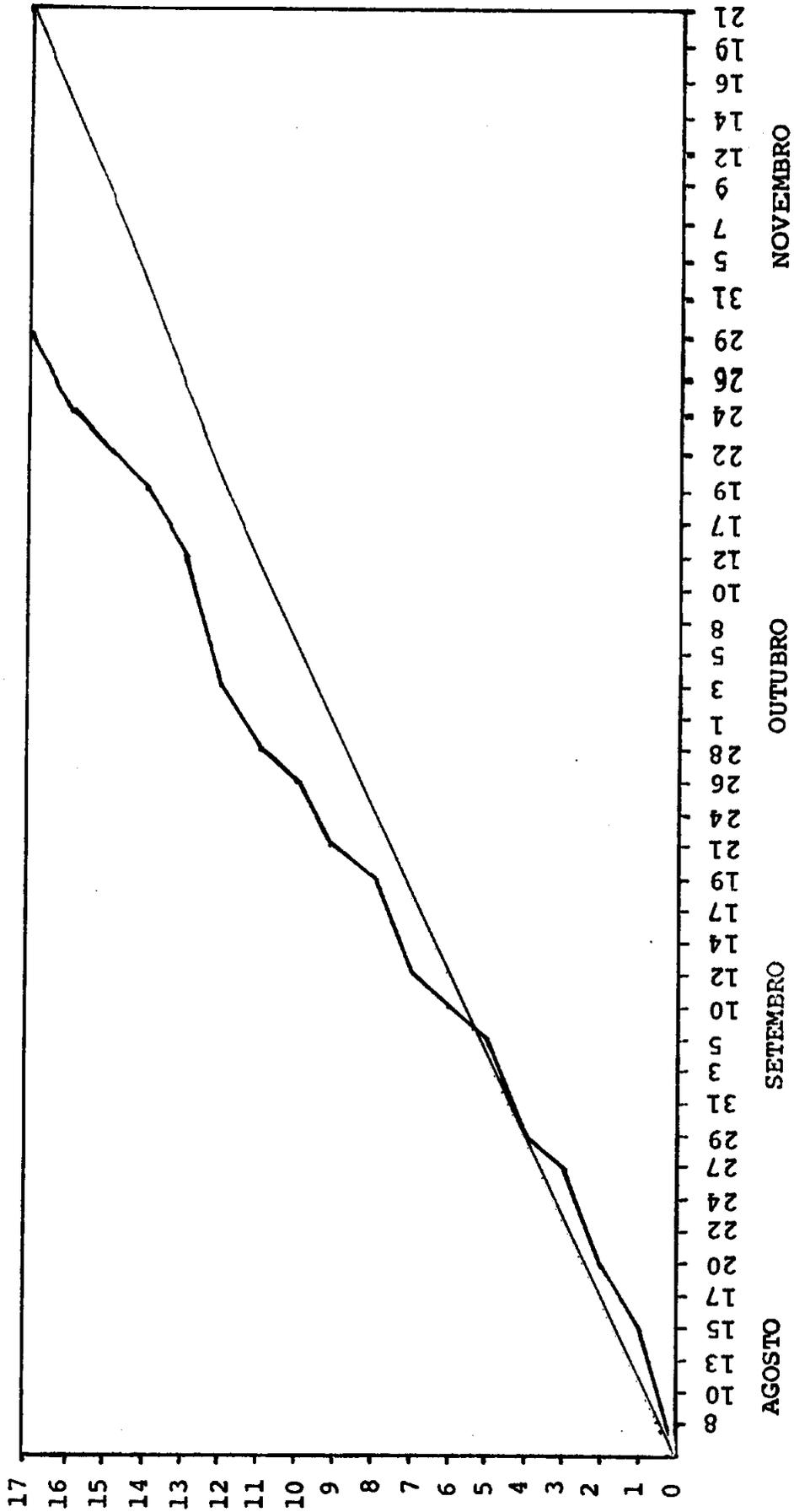
Observações: As gaussianas usadas devem ser especificadas. Pedir ao aluno para mostrar que os resultados são coerentes em  $r = R_1$  e  $r = R_2$ . Não aceitar resposta do item a<sub>2</sub>) em função de  $q'$ . No item a<sub>3</sub>) não aceitar a resposta de que  $E = 0$  simplesmente porque  $q'' = 0$ : exigir, como passo intermediário, a solução da integral.

5)



A figura representa o anel visto de perfil (representado pelo segmento central) e um traçado aproximado de suas linhas de força. A análise destas linhas de força mostra a impossibilidade de se traçar uma superfície fechada passando por P e envolvendo o anel, de tal forma que  $\oint \vec{E} \cdot d\vec{S}$  seja facilmente calculável. Portanto, não se pode usar a Lei de Gauss e o campo do anel deve ser calculado por integração direta.

GRÁFICO DO PROGRESSO INDIVIDUAL



(oportunidades para fazer testes)

A linha reta central representaria o andamento de um aluno que progredisse em ritmo constante. A linha quebrada representa o progresso de um aluno típico.

## APÊNDICE G

## PRÉ-TESTE

Escolha a melhor alternativa para cada questão proposta.

## 1ª PARTE

1) Se  $N = (6 \times 10^{24}) \cdot (4 \times 10^{-5}) / (8 \times 10^{-12})$ , então N vale:

- a)  $3 \times 10^7$ .
- b)  $3 \times 10^{-7}$ .
- c)  $3 \times 10^{31}$ .
- d)  $3 \times 10^{10}$ .

2) Qual dos valores abaixo não é igual a 2 ?

- a)  $(2^2)^{1/2}$
- b)  $2 \times 4^0$
- c)  $(2^{1/2})^{-2}$
- d)  $(\sqrt{2})^3 \times (\sqrt{2})^{-1}$

3) Se  $\frac{1}{A} = \frac{1}{B} + \frac{1}{C}$ , então A vale:

- a)  $B + C$ .
- b)  $1/B + C$ .
- c)  $BC/B + C$ .
- d)  $B + C/BC$ .

4) O logaritmo de m na base m vale:

- a) zero.
- b) 1.
- c) m.
- d)  $m^2$ .

5) O logaritmo de 1 na base 2 vale:

- a) 2.
- b) 1.
- c) -1.
- d) zero.

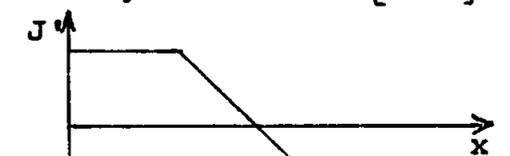
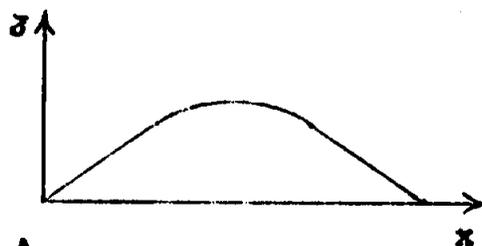
6) Se  $\ln x = a$  e  $\ln y = b$ , então  $a-b$  vale:

- a)  $\ln(x-y)$ .
- b)  $\ln(y-x)$ .
- c)  $\ln(x/y)$ .
- d)  $\ln(y/x)$ .

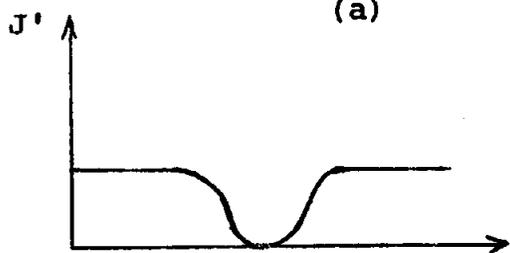
7) Considere as seguintes funções de  $\theta$ :  $\sin(90^\circ-\theta)$ ,  $\cos(90^\circ-\theta)$ ,  $\sin(90^\circ+\theta)$ ,  $\cos(90^\circ+\theta)$ ; seu valores, em função de  $\sin \theta$  e  $\cos \theta$ , são, respectivamente:

- a)  $\cos \theta, -\sin \theta, -\cos \theta, -\sin \theta$ .
- b)  $-\cos \theta, -\sin \theta, -\cos \theta, \sin \theta$ .
- c)  $\cos \theta, \sin \theta, \cos \theta, -\sin \theta$ .
- d)  $\cos \theta, \sin \theta, \cos \theta, \sin \theta$ .

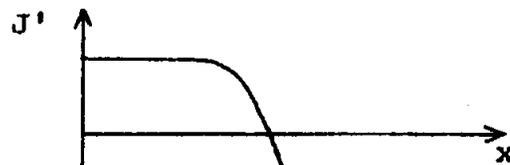
8) Na figura ao lado, temos o gráfico de uma função  $J=f(x)$ . Dos gráficos abaixo, qual melhor representa a função  $J'(x) = d[f(x)]/dx$  ?



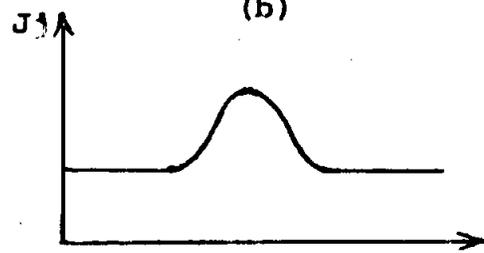
(a)



(c)



(b)



(d)

9) Quanto vale  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{2x - 1}{3x + 5}$  ?

- a)  $\infty$ .
- b)  $2/3$ .
- c)  $1/5$ .
- d)  $1/8$ .

10) Quanto vale  $\lim_{x \rightarrow \infty} x/(x^2 + a^2)^{1/2}$  ?

- a)  $1/a$ .
- b)  $1$ .
- c)  $a$ .
- d)  $\infty$ .

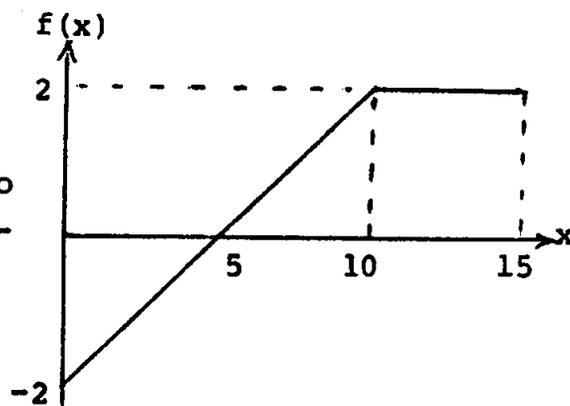
11) Quanto vale  $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1 - \cos x}{x}$  ?

- a)  $-1$ .
- b)  $1$ .
- c) zero.
- d)  $\infty$ .

12) Quanto vale  $\frac{d}{dx} [\text{sen}(ax^2)]^4$  ?

- a)  $4 [\text{sen}(ax^2)]^3$ .
- b)  $4 [\text{sen}(ax^2)]^3 \cdot \cos(ax^2)$ .
- c)  $8 ax [\text{sen}(ax^2)]^3$ .
- d)  $8 ax [\text{sen}(ax^2)]^3 \cos(ax^2)$ .

As questões 13 e 14 referem-se ao gráfico ao lado, em que é representada uma certa função  $f(x)$ .



13) Quanto vale  $\int_0^{12} f(x) dx$  ?

- a) 4.
- b) 10.
- c) 14.
- d) 20.

14) Quanto vale  $\int_5^{15} f(x) dx$  ?

- a) 5.
- b) 10.
- c) 15.
- d) 20.

15) Seja  $\int_0^a dx/(a^2-x^2)^{1/2}$ . Efetuando-se sobre esta integral a mudança de variável  $x \rightarrow a \sin \theta$ , obtém-se, finalmente:

- a)  $\int_0^a d\theta$ .
- b)  $\int_0^{\pi/2} d\theta$ .
- c)  $\int_0^a dx/a \cos \theta$ .
- d)  $\int_0^{\pi/2} dx/a \cos \theta$ .

16) Considere as afirmações abaixo:

- I) O espaço percorrido por um corpo para ir de um ponto a até um ponto b pode ser obtido pela integral de linha da velocidade do corpo sobre a trajetória seguida pelo corpo desde a até b.
- II) O trabalho realizado por uma força para deslocar um corpo de a até b pode ser obtido pela integral de linha da força sobre a trajetória seguida pelo corpo desde a até b.

III) A energia gasta para deslocar um corpo de a até b pode ser obtida pela integral de linha da potência dissipada sobre a trajetória seguida pelo corpo desde a até b.

Estã(ão) correta(s):

- a) apenas II.
- b) apenas I e II.
- c) apenas I e III.
- d) todas.

## 2ª PARTE

- 17) O produto escalar de dois vetores A e B, cujas direções formam um ângulo  $\theta$  é um escalar cujo valor é dado por:
- a)  $|\vec{A}||\vec{B}| \sin \theta$ .
  - b)  $|\vec{A}||\vec{B}| \cos \theta$ .
  - c)  $A \cdot B \sin \theta$ .
  - d)  $A \cdot B \cos \theta$ .
- 18) O produto vetorial de dois vetores A e B, cujas direções formam um ângulo  $\theta$  é um vetor cujo módulo é dado por:
- a)  $|A||B| \sin \theta$ .
  - b)  $|A||B| \cos \theta$ .
  - c)  $A \times B \sin \theta$ .
  - d)  $A \times B \cos \theta$ .
- 19) A direção desse vetor:
- a) é paralela ao plano determinado por  $\vec{A}$  e  $\vec{B}$ .
  - b) faz um ângulo  $\theta$  com o plano determinado por  $\vec{A}$  e  $\vec{B}$ .
  - c) é perpendicular ao plano determinado por  $\vec{A}$  e  $\vec{B}$ .
  - d) situa-se na bissetriz do ângulo entre  $\vec{A}$  e  $\vec{B}$ .

- 20) Se um corpo em repouso é levemente afastado de sua posição e tende, através de oscilações, a voltar à posição inicial, diz-se que ele está em equilíbrio:
- estável.
  - indiferente.
  - instável.
  - harmônico.
- 21) Por densidade volumétrica de uma grandeza física, entende-se a quantidade dessa grandeza:
- por unidade de massa.
  - contida no volume de um corpo.
  - por unidade de volume.
  - contida num volume infinitesimal.
- 22) Dada uma barra cilíndrica, muito fina, de comprimento  $L$  e de densidade linear  $\rho(x)$  variável em função de  $x$ , para calcular a massa da barra usar-se-ia a expressão:
- $m = \rho(x) \cdot L$ .
  - $m = \rho(x) / L$ .
  - $m = \rho(x) \int_0^L dx$ .
  - $m = \int_0^L \rho(x) dx$ .
- 23) O conjugado, ou momento, de uma força  $\vec{F}$  que atua num ponto material  $P$ , cuja posição em relação à origem  $O$  de um sistema de coordenadas é dada por um vetor posição  $\vec{r}$  em relação à origem  $O$ , é definido por:
- $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$ .
  - $|\vec{\tau}| = |\vec{r}| |\vec{F}| \cos \theta$ .
  - $\vec{\tau} = \vec{r} \cdot \vec{F}$ .
  - $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} \sin \theta$ .

- 24) Sendo  $\theta$  o ângulo entre os vetores  $\vec{r}$  e  $\vec{F}$ , medido no sentido anti-horário a partir de  $\vec{r}$ , a rotação provocada pelo conjugado terá sentido anti-horário se:
- a)  $180^\circ < \theta < 360^\circ$ .
  - b)  $0^\circ < \theta < 180^\circ$ .
  - c)  $0 < \theta < 270^\circ$ .
  - d)  $90^\circ < \theta < 360^\circ$ .
- 25) A fim de manter-se um corpo em movimento circular uniforme é necessário aplicar-lhe:
- a) uma força centrípeta e uma centrífuga.
  - b) uma força gravitacional e uma centrípeta.
  - c) uma força centrífuga.
  - d) uma força centrípeta.
- 26) A aceleração de um corpo em movimento circular uniforme é constante:
- a) somente em intensidade.
  - b) somente em direção.
  - c) tanto em intensidade como em direção.
  - d) nem em intensidade nem em direção.
- 27) Suponha um corpo rígido em movimento circular uniforme. Uma partícula a uma distância  $R$  do eixo de rotação, tem uma:
- a) velocidade angular proporcional a  $R$ .
  - b) velocidade angular inversamente proporcional a  $R$ .
  - c) velocidade tangencial proporcional a  $R$ .
  - d) velocidade tangencial inversamente proporcional a  $R$ .

- 28) De acordo com a 2<sup>a</sup> Lei de Newton, a aceleração adquirida por um corpo de massa  $m$  sob a ação de uma força  $\vec{F}$  é:
- a) diretamente proporcional à massa e inversamente proporcional à força.
  - b) diretamente proporcional ao produto  $F \cdot m$ .
  - c) inversamente proporcional à massa e diretamente proporcional à força.
  - d) inversamente proporcional ao quociente  $F/m$ .
- 29) A ação e a reação mencionadas na 3<sup>a</sup> Lei de Newton:
- a) atuam num mesmo corpo.
  - b) atuam em corpos diferentes.
  - c) não são sempre iguais mas têm, necessariamente, a mesma linha de ação.
  - d) são necessariamente de mesma intensidade mas podem não ter sentidos opostos.
- 30) Sendo  $\vec{p}$  a quantidade de movimento de um corpo, na expressão  $\vec{X} = \frac{d\vec{p}}{dt}$  a grandeza  $\vec{X}$  representa:
- a) aceleração.
  - b) força.
  - c) impulso.
  - d) velocidade.
- 31) Sendo  $U$  uma energia potencial, função de posição, na expressão  $Y = - \frac{dU}{dx}$  a grandeza  $Y$  representa:
- a) energia.
  - b) força.
  - c) velocidade.
  - d) trabalho.

- 32) Quando se eleva um corpo verticalmente e com movimento uniforme até uma altura  $h$  em relação ao solo, a variação da energia potencial do corpo é igual:
- ao trabalho realizado sobre o corpo.
  - à variação de energia cinética do corpo.
  - à variação da quantidade de movimento do corpo.
  - ao produto de sua massa pela altura  $h$ .
- 33) Seja  $U$  a função energia potencial de um ponto material. Quando  $U$  é constante o ponto material está em equilíbrio:
- estável.
  - instável.
  - indiferente.
  - indeterminado.
- 34) O trabalho realizado por uma força  $F(x)$  ao mover um corpo de  $x_1$  a  $x_2$  é dado por:
- $W = \int_{x_1}^{x_2} F(x) dx.$
  - $W = F(x) (x_2 - x_1).$
  - $W = F(x) (x_1 - x_2) \cdot \cos \theta.$
  - $W = \int_{x_1}^{x_2} F(x) dx_1 dx_2.$
- 35) Seja  $\tau$  o módulo do momento instantâneo, exercido por uma força  $\vec{F}$  sobre um corpo rígido, em relação a um eixo fixo que passa pela origem. Se o corpo girou de um ângulo infinitesimal  $d\theta$ , o trabalho exercido na rotação foi:
- $dW = \vec{\tau} \times d\vec{\theta}$
  - $dW = \vec{\tau} \cdot d\vec{\theta}.$
  - $dW = \int \tau d\theta.$
  - $dW = d\tau d\theta.$

- 36) Uma força é dita conservativa quando o trabalho por ela realizado sobre um corpo que se move entre dois pontos dados:
- a) é nulo.
  - b) é positivo.
  - c) é negativo.
  - d) não depende da trajetória.
- 37) A cada ponto situado no campo gravitacional da Terra pode-se associar um vetor chamado vetor intensidade do campo gravitacional. Fisicamente, este vetor representa:
- a) a intensidade da força gravitacional no ponto considerado.
  - b) a aceleração que um corpo experimentaria se fosse abandonado nesse ponto.
  - c) a força resultante sofrida por um corpo abandonado nesse ponto.
  - d) a energia potencial gravitacional associada a esse ponto.
- 38) A cada ponto do campo gravitacional pode-se também associar um escalar, o potencial gravitacional. Fisicamente, o potencial gravitacional representa:
- a) a intensidade da força gravitacional no ponto considerado.
  - b) a energia potencial gravitacional, por unidade de massa, de um corpo colocado nesse ponto.
  - c) a energia potencial do campo gravitacional.
  - d) a aceleração que um corpo experimentaria se fosse abandonado nesse ponto.
- 39) A energia potencial de um corpo de massa  $m$  num campo gravitacional criado por outro de massa  $M$  é:

$$a) U(r) = -G \frac{Mm}{r}.$$

$$b) U(r) = G \frac{Mm}{r^2}.$$

$$c) U(r) = (M+m)g.r.$$

$$d) U(r) = -G \frac{(M+m)}{r}.$$

40) Um ponto material efetua um movimento harmônico simples quando oscila em torno de sua posição de equilíbrio sob a ação de uma força:

a) nula.

b) proporcional a sua distância até a posição de equilíbrio.

c) inversamente proporcional à distância até a posição de equilíbrio.

d) constante e não nula.

## APÊNDICE H

## TESTE DE TERMODINÂMICA

Marque a melhor alternativa para cada questão proposta.

- 1) Dados dois corpos de substâncias e massas diferentes, po rêm em equilíbrio térmico entre si, pode-se dizer que :
- a) eles têm capacidades térmicas diferentes.
  - b) eles estão à mesma temperatura.
  - c) eles armazenam quantidades de calor diferentes.
  - d) eles estão em equilíbrio térmico com o meio ambiente.
  - e) há fluxo de calor entre eles.

- 2) O calor específico de uma substância é dado, em função da temperatura, pela equação

$$c = a + bt,$$

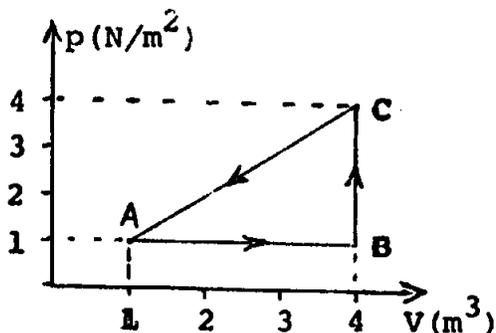
onde a e b são constantes e t é a temperatura em graus centígrados. A quantidade de calor por unidade de massa necessária para elevar a temperatura da substância de  $0^{\circ}\text{C}$  a  $T^{\circ}\text{C}$  vale:

- a)  $aT + bT^2$
  - b)  $aT + 2bT^2$
  - c)  $a + bT$
  - d)  $a + bT^2/2$
  - e)  $aT + bT^2/2$
- 3) Um recipiente contém 50g de água a  $10^{\circ}\text{C}$ . Derrama-se nele 50g de água a  $50^{\circ}\text{C}$  e a temperatura resultante é  $20^{\circ}\text{C}$ . Qual a capacidade térmica do recipiente ?
- a)  $200 \text{ cal}/^{\circ}\text{C}$
  - b)  $150 \text{ cal}/^{\circ}\text{C}$
  - c)  $100 \text{ cal}/^{\circ}\text{C}$
  - d)  $50 \text{ cal}/^{\circ}\text{C}$
  - e)  $10 \text{ cal}/^{\circ}\text{C}$

- 4) De acordo com o primeiro princípio da Termodinâmica, quando um gás se expande adiabaticamente:
- a) a variação de energia interna é nula.
  - b) o trabalho realizado pelo gás é nulo.
  - c) o sistema cede calor.
  - d) a variação de energia interna é negativa.
  - e) o trabalho realizado sobre o gás é negativo.

- 5) O trabalho líquido realizado pelo gás no ciclo da figura vale:

- 3,0 J
- 4,5 J
- 3,0 J
- 4,5 J
- 9,0 J



- 6) O calor trocado pelo gás com o meio ambiente, ao percorrer o ciclo completo da questão 5, vale:
- 3,0 J
  - 4,5 J
  - 9,0 J
  - 3,0 J
  - 4,5 J
- 7) No trajeto ABC, ainda no ciclo da questão 5, o gás recebe 10 J de calor. A variação de energia interna entre A e C vale:
- zero
  - 3 J
  - 7 J
  - 10 J
  - 13 J

- 8) Da equação de estado de um gás ideal concluímos que:
- a) a pressão é diretamente proporcional ao volume.
  - b) o volume é inversamente proporcional à temperatura.
  - c) o produto da pressão pelo volume é diretamente proporcional à temperatura
  - d) o produto da pressão pelo volume é inversamente proporcional ao número de moléculas.
  - e) o produto da pressão pelo volume é constante.
- 9) Segundo a Teoria Cinética dos Gases, a temperatura de um gás pode ser interpretada de tal forma que:
- a) o trabalho realizado por um gás é diretamente proporcional à temperatura absoluta do gás.
  - b) a energia cinética média de translação das moléculas de um gás é diretamente proporcional à temperatura absoluta do gás.
  - c) a velocidade média de translação das moléculas de um gás é diretamente proporcional à temperatura absoluta do gás.
  - d) a energia cinética de translação de todas as moléculas de um gás é a mesma numa dada temperatura absoluta.
  - e) a quantidade de calor armazenada em um gás é diretamente proporcional à temperatura absoluta do gás.
- 10) Segundo a teoria Cinética dos Gases, a energia interna de um gás perfeito depende:
- a) somente da pressão.
  - b) somente do volume.
  - c) somente da temperatura.
  - d) da pressão e da temperatura.
  - e) da temperatura e do volume.

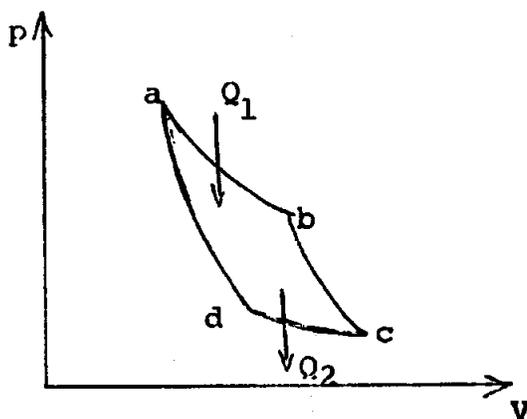
11) Segundo a Teoria Cinética dos Gases, os calores específicos de um gás perfeito:

- a) dependem somente da pressão.
- b) dependem somente da temperatura.
- c) dependem da pressão e da temperatura.
- d) dependem do volume e da temperatura.
- e) não dependem da pressão, volume ou temperatura e são iguais para todos os gases perfeitos.

12) Quais das afirmações abaixo estão corretas ?

- I) Toda transformação isotérmica é reversível.
  - II) Toda transformação reversível é isotérmica.
  - III) Transformações adiabáticas podem ser reversíveis ou irreversíveis.
- a) apenas I e II
  - b) apenas I e III
  - c) apenas II e III
  - d) todas
  - e) nenhuma

13) Qual das afirmações abaixo não é válida para um ciclo de Carnot ?



- a) A variação de energia interna é nula em um ciclo completo.
- b) O rendimento do ciclo é igual a 1.
- c) As transformações ab e cd são isotérmicas.
- d) O ciclo é reversível.
- e) A variação de entropia é nula em um ciclo completo.

- 14) Um motor que trabalha de acordo com um ciclo de Carnot absorve  $Q_1 = 300$  cal de uma fonte quente a  $500^\circ\text{K}$  e devolve  $Q_2$  a uma fonte fria a  $400^\circ\text{K}$ . Quanto vale  $Q_2$  ?
- a) 375 cal
  - b) 300 cal
  - c) 240 cal
  - d) 80 cal
  - e) 60 cal
- 15) Qual o rendimento do motor da questão 14) ?
- a) -0,40
  - b) 0,20
  - c) 0,44
  - d) 1,00
  - e) 2,27
- 16) Qual o trabalho realizado pelo motor da questão 14) em um ciclo ?
- a) 30 cal
  - b) 40 cal
  - c) 50 cal
  - d) 60 cal
  - e) 70 cal
- 17) Considere as seguintes afirmações:
- I) É impossível a uma máquina, por si só, conduzir calor de um corpo a outro de temperatura mais elevada.
  - II) É impossível uma transformação cujo único resultado final seja a conversão em trabalho do calor retirado de uma fonte que esteja sempre à mesma temperatura.
  - III) Uma transformação natural sempre ocorre no sentido de aumentar a entropia do conjunto sistema mais meio ambiente.

- a) Apenas I e II estão corretas.
- b) Apenas I e III estão corretas.
- c) Apenas II e III estão corretas.
- d) Todas estão corretas.
- e) Nenhuma está correta.

18) Dentre as variáveis termodinâmicas,  $Q$  (calor),  $W$  (trabalho),  $U$  (energia interna) e  $S$  (entropia), o seguinte par é constituído de variáveis de estado:

- a)  $Q$  e  $W$
- b)  $Q$  e  $S$
- c)  $W$  e  $S$
- d)  $U$  e  $W$
- e)  $U$  e  $S$

## APÊNDICE I

### TESTE DE RETENÇÃO

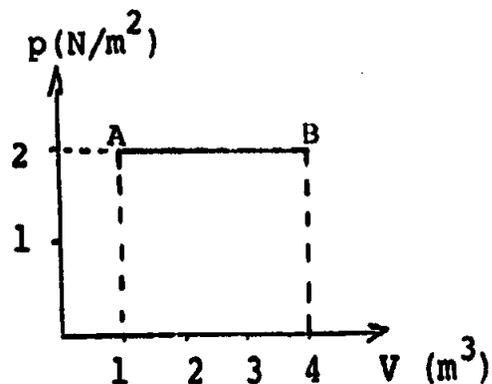
Escolha a melhor alternativa para cada questão proposta.

#### 1ª parte: CALOR E TERMODINÂMICA

- 1) O calor específico de um corpo depende:
  - a) apenas da substância de que é feito.
  - b) apenas de sua massa.
  - c) apenas de seu volume
  - d) de sua massa e da substância de que é feito.
  - e) de seu volume e da substância de que é feito.
  
- 2) Dados dois corpos de substâncias e massas diferentes, porém em equilíbrio térmico entre si, pode-se dizer que:
  - a) eles têm capacidades térmicas diferentes.
  - b) eles armazenam quantidades de calor diferentes,
  - c) eles estão à mesma temperatura.
  - d) eles estão em equilíbrio térmico com o meio ambiente.
  - e) há fluxo de calor entre eles.
  
- 3) Considere os seguintes dados a respeito de um determinado objeto:  
calor específico:  $0,6 \text{ cal/g}^\circ\text{K}$   
massa: 30 g  
densidade:  $2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$   
Qual a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura deste objeto de  $10^\circ\text{C}$  para  $20^\circ\text{C}$  ?
  - a) 0,2 cal
  - b) 5 cal
  - c) 6 cal
  - d) 180 cal
  - e)  $12 \times 10^3 \text{ cal}$

4) Um gás sofre a transformação isobárica representada na figura ao lado. Pode-se afirmar que:

- O gás realiza sobre o meio ambiente um trabalho de 8 J.
- O meio ambiente realiza sobre o gás um trabalho de 8 J.
- O gás realiza sobre o meio ambiente um trabalho de 6 J.



- O meio ambiente realiza sobre o gás um trabalho de 6 J.
- O trabalho envolvido na transformação é nulo.

5) No decorrer de determinada transformação termodinâmica, um gás recebe uma quantidade de calor equivalente a 7 J e realiza um trabalho de 4 J. De acordo com o Primeiro Princípio da Termodinâmica, sua energia interna:

- aumenta de 3 J.
- diminui de 3 J.
- aumenta de 7 J.
- diminui de 7 J.
- aumenta de 11 J.

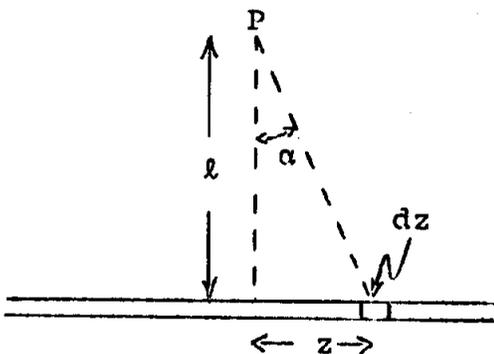
6) Um gás recebe cinco calorias a volume constante. De acordo com o Primeiro Princípio da Termodinâmica:

- a energia interna do gás aumenta de cinco calorias.
- o gás realiza sobre o meio ambiente um trabalho de 5 calorias.
- o meio ambiente realiza sobre o gás um trabalho de 5 calorias.
- a energia interna do gás diminui de cinco calorias.
- a variação da energia interna do gás dependerá de seu calor específico.

- 7) Da equação de estado de um gás ideal concluímos que:
- a) a pressão é diretamente proporcional ao volume.
  - b) o volume é inversamente proporcional à temperatura.
  - c) o produto da pressão pelo volume é diretamente proporcional à temperatura.
  - d) o produto da pressão pelo volume é inversamente proporcional ao número de moléculas.
  - e) o produto da pressão pelo volume é constante.
- 8) Segundo a Teoria Cinética dos Gases, qual das grandezas abaixo é diretamente proporcional à temperatura absoluta de um gás ?
- a) o trabalho realizado pelo gás.
  - b) a energia cinética média de translação das moléculas.
  - c) a velocidade média de translação das moléculas.
  - d) a quantidade de calor armazenada no gás.
  - e) a quantidade de movimento média das moléculas.
- 9) Segundo a Teoria Cinética dos Gases, a energia interna de um gás perfeito depende:
- a) somente da pressão.
  - b) somente do volume.
  - c) somente da temperatura.
  - d) da pressão e da temperatura.
  - e) da temperatura e do volume.
- 10) Um motor térmico que funciona de acordo com um ciclo de Carnot absorve  $Q_1 = 300$  cal de uma fonte quente e devolve  $Q_2 = 200$  cal a uma fonte fria. Qual o trabalho realizado pelo motor em um ciclo completo ?
- a) 100 cal
  - b) 200 cal
  - c) 250 cal
  - d) 300 cal
  - e) 500 cal

## 2ª parte: ELETRICIDADE

- 11) Dizer que a carga elétrica é uma grandeza que se conserva significa dizer que:
- a carga líquida encerrada por qualquer superfície fechada é nula.
  - a carga elétrica é quantizada.
  - a carga total de um corpo neutro é zero.
  - a carga total de um sistema isolado é constante.
  - não é possível retirar cargas elétricas de um corpo.
- 12) Fisicamente, o vetor intensidade de campo elétrico num ponto de um campo elétrico representa:
- a força que atuaria numa massa de prova colocada no ponto.
  - a força que atuaria numa carga de prova colocada no ponto.
  - a aceleração que seria adquirida por uma massa de prova colocada no ponto.
  - a aceleração que seria adquirida por uma carga de prova colocada no ponto.
  - o número de linhas de força que passam pelo ponto.
- 13) Qual das expressões abaixo você tomaria como ponto de partida para o cálculo do campo elétrico de uma distribuição linear infinita de cargas de densidade  $\lambda$ , no ponto P ?



$$c) dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\lambda dz}{(z^2 + l^2)} \cos \alpha$$

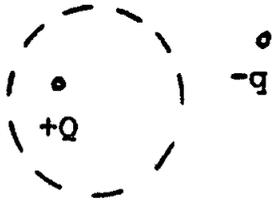
$$d) dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\lambda dz}{l^2} \cos \alpha$$

$$a) dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\lambda dz}{(z^2 + l^2)}$$

$$b) dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\lambda dz}{(z^2 + l^2)^{1/2}} \cos \alpha$$

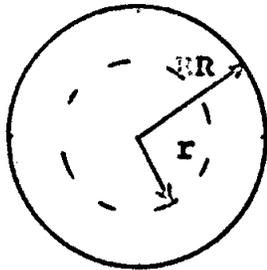
$$e) dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\lambda dz}{z^2}$$

- 14) A figura mostra uma carga elétrica  $+Q$  encerrada por uma superfície gaussiana esférica. Próximo à superfície, do lado de fora, existe uma carga  $-q$ . Quanto ao fluxo elétrico através da superfície fechada, pode-se dizer que:



- a) é nulo.  
 b) é positivo.  
 c) é negativo.  
 d) depende dos módulos de  $+Q$  e  $-q$ .  
 e) depende do raio da superfície gaussiana e da localização exata das cargas.

- 15) Uma distribuição de cargas elétricas é constituída por uma esfera isolante de raio  $R$  uniformemente carregada com carga total  $Q$ . Aplicando a Lei de Gauss ( $\epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = q$ ) para calcular o campo elétrico  $\vec{E}$  a uma distância  $r$  do centro ( $r < R$ ), obtêm-se a seguinte equação:

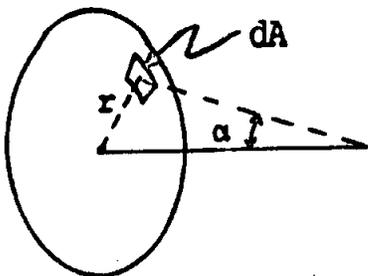


- a)  $\epsilon_0 E 4\pi r^2 = Q$   
 b)  $\epsilon_0 E 4\pi r^2 = Qr^3/R^3$   
 c)  $\epsilon_0 E 4\pi r^2 = Q R^3/r^3$   
 d)  $\epsilon_0 E 4\pi R^2 = Qr^3/R^3$   
 e)  $\epsilon_0 E 4\pi R^2 = Q$

- 16) A diferença de potencial elétrico entre dois pontos de um campo elétrico é igual:
- a) ao trabalho necessário para deslocar uma carga unitária de um ponto ao outro.  
 b) ao trabalho necessário para trazer uma carga unitária desde o infinito até cada um dos pontos.

- c) ao produto do campo elétrico na região pela distância entre os pontos.
- d) à diferença de energia potencial elétrica entre os pontos.
- e) à força necessária para deslocar uma carga de prova de um ponto ao outro.

- 17) Para calcular o potencial produzido nos pontos do eixo de um disco uniformemente carregado com densidade superficial de carga  $\sigma$ , qual das expressões abaixo você tomaria como ponto de partida ?



- a)  $dV = \sigma dA / 4\pi\epsilon_0 (x^2 + r^2)$
- b)  $dV = \sigma dA / 4\pi\epsilon_0 (x^2 + r^2)^{1/2}$
- c)  $dV = \sigma dA \cos \alpha / 4\pi\epsilon_0 (x^2 + r^2)^{1/2}$
- d)  $dV = \sigma dA \cos \alpha / 4\pi\epsilon_0 (x^2 + r^2)$
- e)  $dV = \sigma dA / 4\pi\epsilon_0 x$
- 18) Considere a seguinte afirmativa: "O trabalho necessário para levar uma carga de um ponto a outro em um campo elétrico não depende do caminho percorrido entre os dois pontos". Esta afirmativa
- a) não é válida em situação alguma.
- b) só é válida para campos elétricos uniformes.
- c) só é válida para campos que dependem do inverso do quadrado da distância.
- d) só é válida para cargas que se deslocam sobre superfícies equipotenciais.
- e) é sempre válida em eletrostática.
- 19) Qual a afirmativa correta ?
- a) A capacidade de um capacitor depende da carga e da diferença de potencial.

- b) A Lei de Ohm é expressa matematicamente pela relação  $V = RI$ .
- c) A resistência elétrica dos condutores ôhmicos depende apenas de suas características geométricas.
- d) A capacidade de um capacitor depende apenas de suas características geométricas.
- e) A potência dissipada por um resistor é diretamente proporcional à sua resistência.

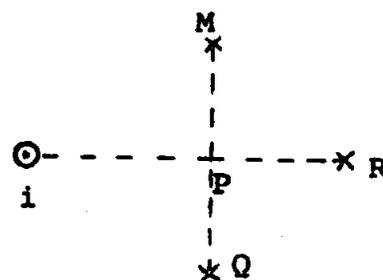
3ª parte: ELETROMAGNETISMO

- 20) Em uma certa região do espaço (onde se fez vácuo) há um campo magnético uniforme e estacionário que aponta para baixo. Uma partícula carregada penetra nesta região movendo-se horizontalmente. A trajetória descrita pela partícula será:
- a) uma reta.
  - b) uma elipse contida em um plano horizontal.
  - c) uma elipse contida em um plano vertical.
  - d) uma circunferência contida em um plano horizontal.
  - e) uma circunferência contida em um plano vertical.
- 21) Em uma certa região do espaço (onde se fez vácuo) há um campo magnético uniforme e estacionário que aponta para baixo. Uma partícula carregada penetra nesta região, movendo-se verticalmente. A trajetória descrita pela partícula será:
- a) uma reta.
  - b) uma elipse contida em um plano horizontal.
  - c) uma elipse contida em um plano vertical.
  - d) uma circunferência contida em um plano horizontal.
  - e) uma circunferência contida em um plano vertical.

22) Uma corrente elétrica percorre um condutor retilíneo de comprimento infinito e determina o aparecimento de um campo magnético  $\vec{B}$  em um ponto a uma distância  $r$  do condutor. Duplicando a corrente no condutor, o campo magnético em um ponto à distância  $3r$  terá módulo igual a:

- a)  $2/3 B$ .
- b)  $3/2 B$ .
- c)  $B$ .
- d)  $2 B$ .
- e)  $3 B$ .

23) Um condutor retilíneo muito longo é atravessado por uma corrente elétrica  $i$ , como mostra a figura ao lado. Uma agulha imantada é colocada no ponto  $P$  e pode girar em todas as direções. Pode-se afirmar que, após a agulha ter atingido o equilíbrio, seu polo norte apontará:



- a) ao longo do condutor, no sentido da corrente.
- b) para o condutor.
- c) para Q.
- d) para R.
- e) para M.

24) De acordo com a Lei de Faraday, a força eletromotriz induzida num circuito é igual ao valor negativo da taxa com que varia em relação ao tempo:

- a) o fluxo magnético que atravessa a área encerrada pelo circuito.
- b) o campo magnético que atravessa a área encerrada pelo circuito.
- c) a corrente que percorre o circuito.
- d) o campo elétrico que atravessa a área encerrada pelo circuito.
- e) O fluxo elétrico que atravessa a área encerrada pelo circuito.

- 25) As linhas de força do campo elétrico devido à variação de um campo magnético uniforme que ocupa todo o espaço:
- a) têm o mesmo sentido das linhas de força do campo magnético.
  - b) têm sentido oposto ao das linhas de força do campo magnético.
  - c) formam círculos concêntricos.
  - d) formam elipses concêntricas.
  - e) são uniformes e perpendiculares às linhas de força do campo magnético.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) F.S.Keller, "Good-bye, Teacher...", Journal of Applied Behavior Analysis, 1, 79-89, 1968. Traduzido para o português em Ciência e Cultura, 24(3):207-217.
- 2) F.S.Keller, "A Programmed System on Instruction", Educational Monographs, 2, nº 1, 1969.
- 3) B.A.Green, "Physics Teaching by the Keller Plan at MIT", American Journal of Physics, 39/7, 764-775, 1971.
- 4) PSI Newsletter, Psychology Department, Georgetown University, Washington D.C.
- 5) B.F.Skinner, "Ciência e Comportamento Humano", 2<sup>a</sup> ed. , EDART-São Paulo Livraria Editora Ltda., São Paulo, 1974.
- 6) J.G.Holland & B.F.Skinner, "A Análise do Comportamento Humano", Editora Pedagógica e Universitária Ltda., São Paulo, 1974.
- 7) F.S.Keller, "Aprendizagem: Teoria do Reforço", Editora Herder, São Paulo, 1972.
- 8) D.G.Born, "Instructional Manual for Development of a Personalized Instruction Course", Center to Improve Learning and Instruction, University of Utah, Nov. 1970.
- 9) D.G.Born, "Proctor Manual", Center to Improve Learning and Instruction, University of Utah, Nov. 1970.
- 10) N.E.Gronlung, "Stating Behavioral Objectives for Classroom Instruction", The McMillan Company, New York, 1970.
- 11) R.J.Kibler, L.L.Barker and D.T.Miles, "Behavioral Objectives and Instruction", Allyn and Bacon, Inc., Boston, 1972.

- 12) J.H.Block, "Mastery Learning - Theory and Practice", Holt, Rinehart and Winston, Inc., New York, 1971.
- 13) J.G.Sherman, "PSI, an Historical Perspective", paper read the the Rocky Mountain Psychological Association, May 13, 1971.
- 14) S.Siegel, "Nonparametric Statistics for Behavioral Sciences", Kōgakusha Company Ltd., Tokio, 1956.
- 15) D.Halliday & R.Resnick, "Física", 2<sup>a</sup> ed., vols. I-II, II-1 e II-2, Ao Livro Técnico S.A., Rio de Janeiro, 1973.
- 16) M.A.Moreira, "Experiências de Laboratório Programadas Segundo o Modelo de James Gallagher", Instituto de Física da UFRGS, Relatório Interno nº 1, 1974.
- 17) R.L.Ebel, "Essentials of Educational Measurement", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1972.
- 18) G.V.Glass & J.C.Stanley, "Statistical Methods in Education and Psychology", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1970.
- 19) S.M.Selby, "Standard Mathematical Tables", 18<sup>a</sup> ed., The Chemical Rubber Co., Cleveland, Ohio, 1970.
- 20) P.H.Dionisio e M.A.Moreira: "Estudo Comparativo dos Métodos Keller e Tradicional em Termos de Conhecimento Adquirido e Índice de Desistências", Revista Brasileira de Física, vol. 5, nº 1, 131-7, 1975.
- 21) M.A.Moreira e P.H.Dionisio: "Interpretação de Resultados de Testes de Retenção em Termos da Teoria de Aprendizagem de David Ausubel", Revista Brasileira de Física, vol. 5, nº 2, 245-51, 1975.
- 22) J.W.Best, "Research in Education, 2<sup>a</sup> ed., Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1970.