

Curso sobre Condução Elétrica em Sólidos para o Ensino Médio

JUDITE F. de ALMEIDA e ERNST W. HAMBURGER

Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo SP

Recebido em 20 de Fevereiro de 1971

A course on "Conduction of Electricity in Solids" for secondary schools has been developed; it is experimental, allowing the student to infer the laws from the data obtained. The material needed is relatively cheap, about Cr\$ 180,00 (US\$ 36.00) for each group of up to 5 students. The material can be used by several groups and can also be used for other experiments in electricity. The course consists of five experiments described in separate leaflets, leading to the concept of electrical resistance and studying the variation of resistance with the dimensions of the conductor, with temperature, illumination and polarity, for metals and semiconductors. Each leaflet ends with a series of questions about the experiment; the next leaflet gives and discusses the answers and proposes a new experiment and new questions. The student can therefore work with relatively little help from the teacher. The course was tested on classes of the first and 3rd years of the "colégio" (i.e. ninth and eleventh years of school), 130 students in all. Both students and teachers liked it. A final test showed that the students had learnt concepts of electrical current, voltage and resistance and a little about the electronic model of conduction.

Desenvolvemos um curso sobre "Condução Elétrica em Sólidos" para o curso colegial (2.º ciclo), totalmente experimental; os alunos podem chegar a conclusões teóricas baseadas nas observações e dados obtidos. O material necessário é relativamente barato, perfazendo um total de aproximadamente Cr\$ 180,00 para cada grupo de até 5 alunos. O material pode ser usado por mais de uma turma e serve também para outras experiências de eletricidade. Consta o curso de cinco experiências descritas em folhetos individuais, conduzindo ao conceito de resistência elétrica e estudando a sua variação com a temperatura, com a iluminação e com a polaridade, para metais e semicondutores. Cada folheto termina com uma série de questões sobre o resultado da experiência; o folheto seguinte discute as respostas a estas questões, e propõe em seguida, nova experiência e novas questões. Assim, o aluno pode trabalhar sem muito auxílio do professor. O curso foi testado com 130 alunos do 1.º e 3.º anos do curso colegial, obtendo sucesso tanto na apreciação dos alunos como na dos professores. Um teste final mostrou que os alunos tinham fixado bem os conceitos de corrente, tensão e resistência elétrica bem como o modelo eletrônico da condução.

1. Introdução

Desenvolvemos um curso sobre "Condução Elétrica em Sólidos" para o ensino médio (2.º ciclo), onde o aluno aprende o conceito de resistência elétrica e estuda a sua variação com a temperatura, iluminação e polaridade.

O curso é de caráter experimental, sendo o material utilizado de fácil

manejo e relativamente baixo custo. A Tabela 1 indica o material utilizado com os respectivos preços. O multímetro corresponde a 73% do custo total.

Tabela 1 - Relação e preço do material por grupo de 3-5 alunos

<i>Material</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Prêço</i>
Multímetro	1	Cr\$ 130,00
Fio de cobre esmaltado n.º 31	6 metros	Cr\$ 0,30
Fio de cobre esmaltado n.º 33	6 metros	Cr\$ 0,30
Fio de cobre esmaltado n.º 35	6 metros	Cr\$ 0,30
Fio de cobre esmaltado n.º 36	6 metros	Cr\$ 0,30
Fio de cobre esmaltado n.º 37	13 metros	Cr\$ 0,65
Fio de níquel cromo n.º 30	30 metros	Cr\$ 15,00
Fio de níquel cromo n.º 32	1 metro	Cr\$ 0,50
Fio de níquel cromo n.º 34	1 metro	Cr\$ 0,50
Fio de níquel cromo n.º 36	1 metro	Cr\$ 0,50
Fio de níquel cromo n.º 38	1 metro	Cr\$ 0,50
Fio de níquel cromo n.º 40	1 metro	Cr\$ 0,50
Cilindro de madeira (10 cm de comprimento, 1 cm de diâmetro)	1	Cr\$ 0,15
Lâmpada de 7V	1	Cr\$ 0,50
Lâmpada de 2,5 V	1	Cr\$ 0,50
Lâmpada de 1,5 V	1	Cr\$ 0,50
Pilha com porta pilhas	5	Cr\$ 2,50
Becker com 600 ml	1	Cr\$ 7,00
Ebulidor	1	Cr\$ 3,00
Termômetro 0-100 (I "C)	1	Cr\$ 7,50
Resistência NTC	1	Cr\$ 1,50
Resistência LDR	1	Cr\$ 3,00
Semicondutor AA 119	1	Cr\$ 1,50
Liga (constantan ou outra)	1 metro	Cr\$ 0,70
Fio de ligação	1 metro	Cr\$ 0,30
Lâmpada de 40W com soquete e fio	1	Cr\$ 1,50

Total...Cr\$ 179,50

Consta o projeto de cinco experiências, distribuídas em seis folhetos, e o método empregado na aplicação é o seguinte: na primeira aula, cada grupo de 3 a 5 alunos recebe uma caixa contendo todo o material (Fig. 1), e cada aluno recebe o primeiro folheto, que contém uma introdução e uma experiência proposta com perguntas sobre a mesma.

Na aula seguinte, cada aluno recebe o segundo folheto contendo as respostas da primeira experiência e a descrição da segunda experiência, também com perguntas, e assim sucessivamente, até o último folheto.

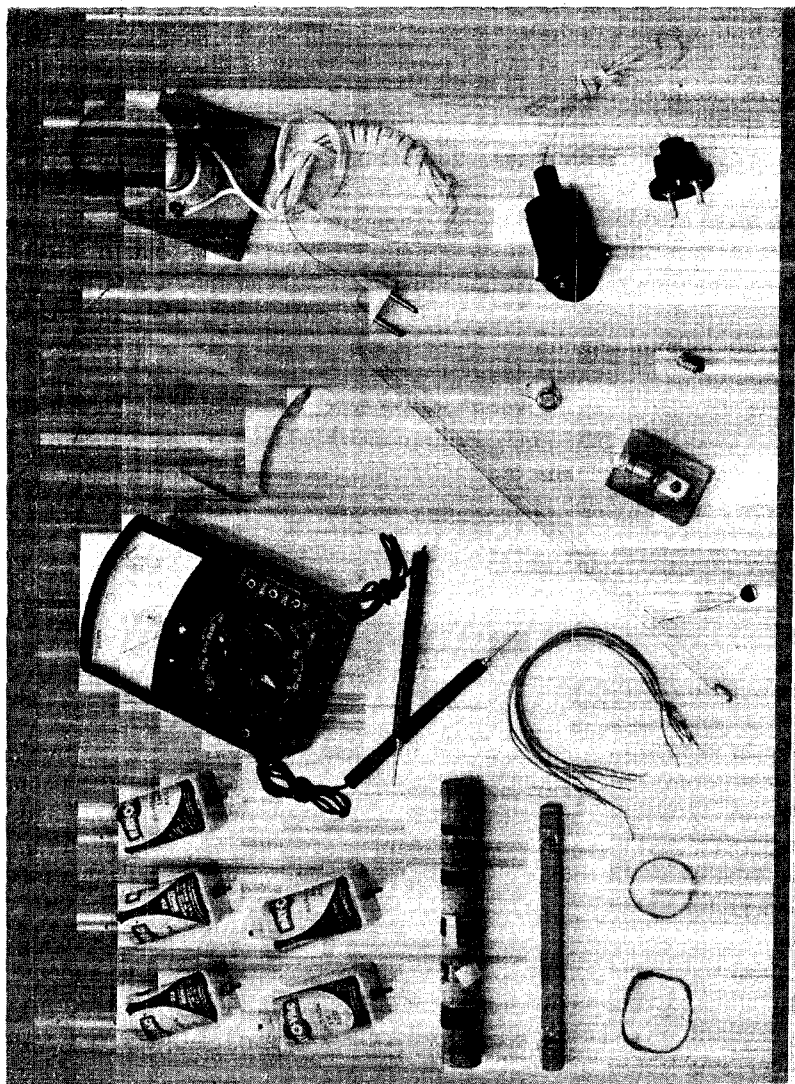


Figura 1 - Material utilizado no curso

As instruções e as respostas às experiências contidas nos folhetos possibilitam o trabalho dos alunos sem muito auxílio do professor (sem de nenhum modo excluir o professor). O número de alunos por classe, atualmente, é muito grande (40 a 50 alunos), e o professor tem pouco tempo para dedicar a cada um deles. Os alunos trabalham em grupo com o material e, no momento oportuno, o professor faz uma discussão geral dos resultados obtidos.

Existe flexibilidade na aplicação deste projeto. Por exemplo, em classes onde o número de alunos é reduzido, fica o professor com maior disponibilidade para atender a cada grupo isoladamente, e neste caso, pode-se suprimir as respostas às questões que são dadas em cada folheto, substituindo-as por uma discussão individual com cada grupo, o que permite um certo respeito à velocidade individual, fazendo com que o grupo passe ou não ao folheto seguinte.

A grande vantagem deste método sobre o curso convencional, onde se usa giz e quadro negro, tentando de certo modo impôr os conceitos, é que as conclusões teóricas são basicamente extraídas pelos alunos, dos resultados experimentais.

O tempo previsto na aplicação é de aproximadamente 10 aulas de 50 minutos.

2. Descrição do Curso

Através da primeira experiência os alunos chegam à conclusão de que a resistência de um fio é proporcional ao seu comprimento e inversamente proporcional à área de sua seção reta. A constante de proporcionalidade é a resistividade do material, e calculam o seu valor para os materiais usados, a partir das medidas que fazem. O Apêndice mostra o folheto da experiência I.

A segunda experiência é sobre condução ôhmica e não ôhmica. Inicialmente, utilizam uma resistência de fio de cobre (que é montada pelo próprio aluno) e montando os circuitos indicados (Fig. 2 e Fig. 3), variam a voltagem e medem a corrente que flui.

Feito isto, repetem a experiência substituindo a resistência de cobre por uma lâmpada de filamento de aproximadamente 7V. Da análise dos gráficos levantados a partir dos dados obtidos (Fig. 4 e Fig. 5) devem concluir

que nas condições dadas, a resistência de cobre obedece, e o filamento da lâmpada não obedece, à lei de Ohm.

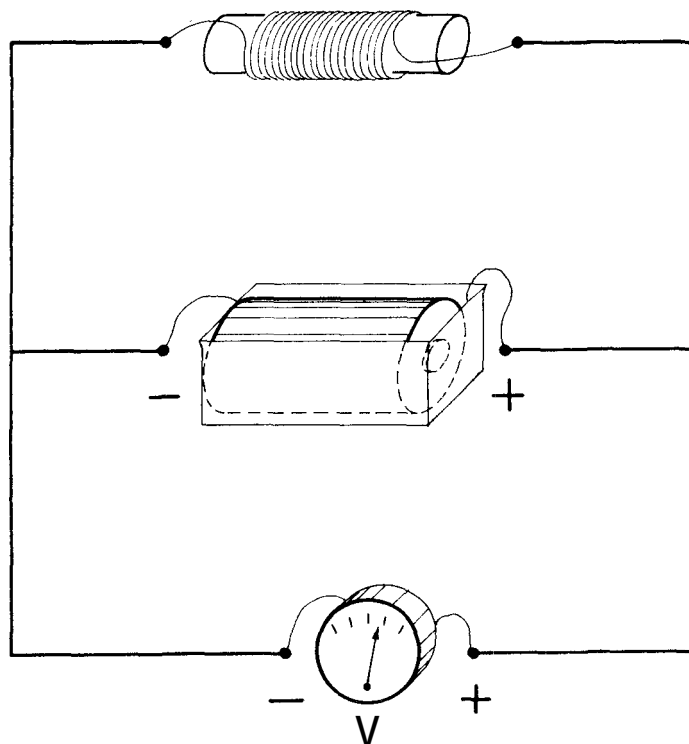


Figura 2 - Medida da voltagem

Na 3.^a experiência, estudam o efeito da temperatura sobre a condução elétrica, aquecendo e resfriando unia resistência de cobre, analisando êstes efeitos através da observação de uma maior intensidade de iluminação de uma lâmpada de 1,5V ligada ao circuito, como mostra a Fig. 6.

O estudo quantitativo do efeito da temperatura sobre a resistência de cobre é feito, mergulhando-a em um recipiente com água e gêlo e depois aquecendo o conjunto até a ebulição. Um termômetro simples indica a variação de temperatura, enquanto a variação da resistência é indicada diretamente através do ohmímetro ligado à resistência. Com êstes dados,

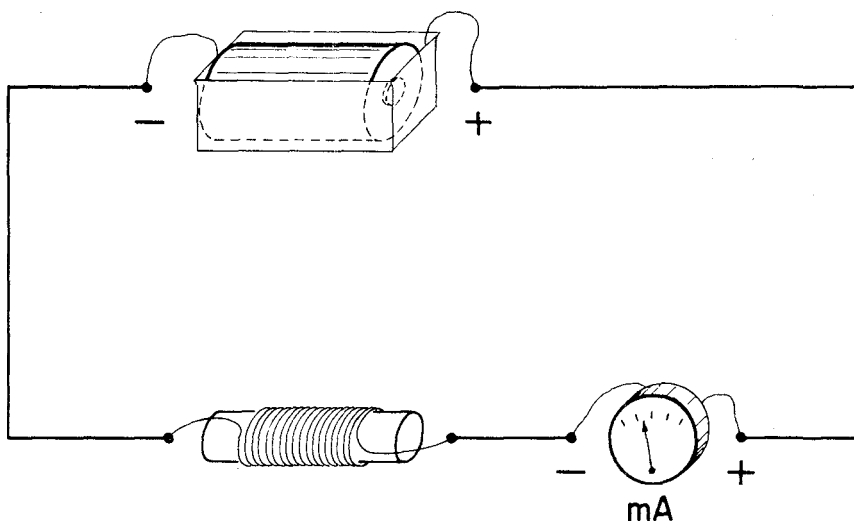


Figura 3 - Medida da corrente

representam graficamente a resistência, em função da temperatura, obtendo um gráfico como o indicado na Fig 7,

A experiência é repetida, substituindo a resistência de cobre por uma resistência NTC (*Negative Temperature Coefficient*). Verificam que o comportamento da resistência NTC é exatamente o oposto da resistência de cobre, sendo então despertados a pensar no "por que" desses diferentes comportamentos.

No folheto seguinte, após as respostas as questões, damos algumas noções acerca do movimento dos eletrons nos metais e nos não metais.

A experiência proposta em seguida é sobre cristais semicondutores. Inicialmente os alunos verificam que uma lâmpada ligada em série com uma fonte de tensão e um diodo semicondutor (AA 119), acende ou apaga, dependendo da polaridade direta ou inversa do diodo. Fazendo também medidas da corrente que flui através do diodo em função da tensão aplicada, estudam a curva característica do diodo semicondutor, através de um gráfico $I \times V$.

FIO DE COBRE

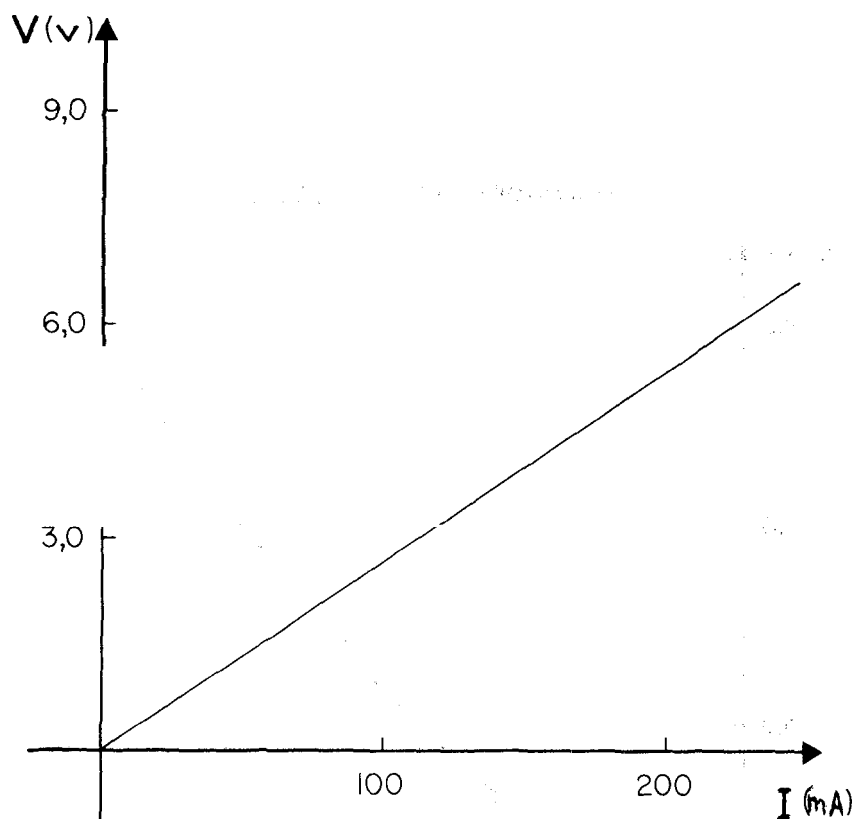


Figura 4 - Gráfico I x V para fio de cobre

A quinta e última experiência é qualitativa e mostra que uma lâmpada ligada em série com uma fonte de tensão e uma resistência LDR (*Light Dependent Resistor*) se acende quando a LDR é iluminada.

O último (sexto) folheto, traz as respostas da experiência V e algumas questões de extensão, relacionadas com as experiências realizadas.

As observações e conclusões tiradas das experiências devem incentivar a curiosidade do aluno sobre possíveis modelos da estrutura da matéria.

LÂMPADA DE FILAMENTO

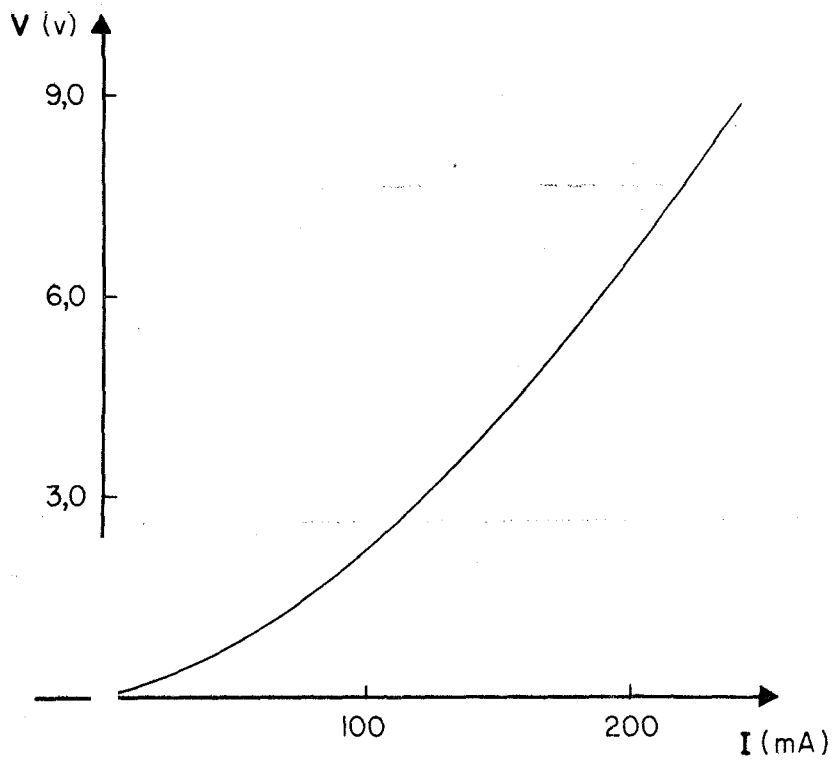


Figura 5 - Gráfico I x V para a lâmpada de filamento

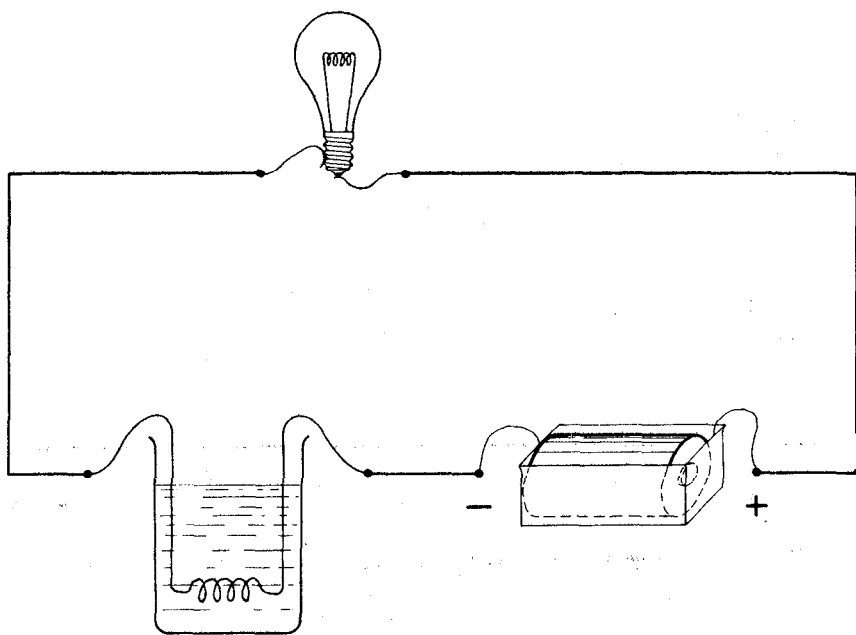


Figura 6 - Circuito para o estudo do efeito da temperatura sôbre a condução elétrica

Este circuito é utilizado para estudar o efeito da temperatura sobre a condução elétrica. A resistência elétrica do fio imerso no líquido varia com a temperatura, e a lâmpada indica a intensidade da corrente elétrica que flui pelo circuito.

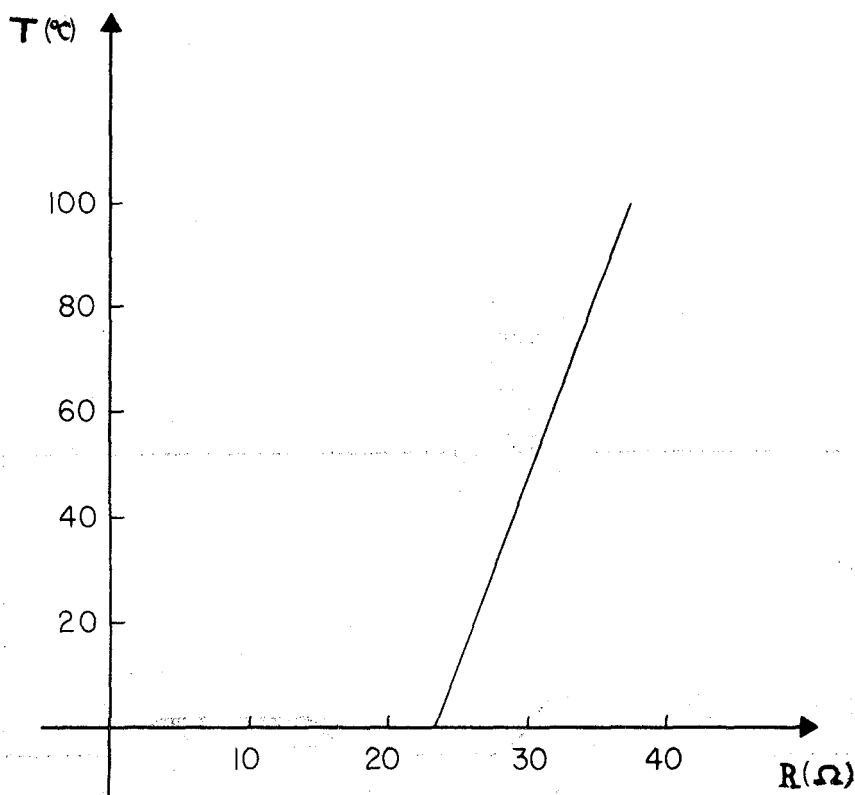


Figura 7 - Gráfico R x T para o fio de cobre

3. Resultados Obtidos

O projeto foi testado em novembro de 1969, em turmas do primeiro e terceiro anos do curso colegial, num total de 95 alunos. A análise dos resultados consistiu em ler criticamente as respostas dadas por todos os alunos a cada uma das questões. Em consequência foi alterada a redação de várias questões. A nova versão foi novamente testada em 1970, também em turmas do primeiro e terceiro anos do curso colegial, perfazendo um total de 125 alunos; os resultados obtidos desta vez, foram satisfatórios, como mostra por exemplo a Tabela 2, que dá as porcentagens de acerto às questões da experiência I. Convém ressaltar que estes alunos pertenciam

a colégios estaduais típicos da cidade de São Paulo, que não dispunham de instalações especiais. O professor levava 10 conjuntos de material para cada classe de aproximadamente 35 alunos.

Tabela 2 - Resultado da avaliação

Questões (parte A)	Acêrto %	Questões (parte B)	Acêrto %	Questões (parte C)	Acêrto %
1	96	1	96	1	67
2	88	2	94	2	65
3	90	3	94	3	63
4	94	4	83	4	75
5	84				
6	83				
7	81				

As demais experiências passaram pelo mesmo processo de avaliação e o menor índice de acêrto foi de 63%. A grande maioria das questões, entretanto, têm cerca de 90% de respostas corretas. Os índices mais baixos se referem principalmente às questões que envolvem cálculos e conversões de unidades, onde, embora conduzindo bem o raciocínio, os alunos não chegavam ao valor numérico correto, e no levantamento só consideramos as respostas estritamente corretas.

A avaliação mais científica de um curso novo como este é muito difícil. Seria necessário definir com clareza os conhecimentos dos alunos antes de se iniciar o curso, utilizar grupos de controle, etc. Parece-nos que esta sofisticação não se justifica entre nós. A situação geral do ensino médio é tão irregular e tão mal definida atualmente que é necessário confiar nas avaliações subjetivas dos professores e dos alunos além, naturalmente, do desempenho dos alunos frente às questões propostas.

No consenso geral foi muito boa a reação dos alunos que trabalhavam com entusiasmo e sem solicitar muito a orientação do professor, sendo a solicitação feita principalmente quanto ao uso do multímetro.

A aceitação dos professores a este curso se traduz nos pedidos que temos recebido de texto e relação de material, sendo que alguns pretendem aplicá-lo em Faculdades de Ciências no interior paulista.

Tabela 2

	L (em M)	D (em mm)	R (em Ω)	D^2 (em mm^2)	$1/D^2$ (em mm^{-2})
C					
O					
B					
R					
E					
N	C				
I	R				
Q	O				
U	M				
E	O				
I					

1. O que você pode dizer da resistência dos fios de mesmo comprimento, em relação ao diâmetro?
Para cada material, levante um gráfico da resistência R, em função do diâmetro D.
2. Que tipo de curva você obtém em seus gráficos?
3. E se você representa graficamente R em função de $1/D^2$, o que você obtém? Por que?
4. **Se lhe fosse** dado um fio qualquer, como você poderia identificar se é de um dos materiais usados por você na experiência?
5. A partir do gráfico, escreva a equação matemática que relaciona R e D^2 , para o cobre e para níquel cromo.
6. Caso **estabeleça** alguma relação, qual o seu significado?
7. Você pode avaliar a precisão de suas medidas?

Parte B

Utilize fios de vários comprimentos e mesmo diâmetro, de diferentes materiais, por exemplo, o cobre e o níquel cromo. Meça a resistência e o comprimento de cada um dos fios. Represente graficamente a resistência, R, como função do comprimento, L, para cada um dos materiais.

1. Que tipos de curva você obteve nos gráficos?
2. Qual a equação matemática que relaciona R com L? Escreva.
3. Que conclusões você pode tirar dessas relações?
4. Essas conclusões são válidas para fios de qualquer material?

Parte C

Você relacionou, individualmente, R com D^2 e R com L. Relacione agora R com D^2 e L simultaneamente.

1. As **relações** obtidas **numéricamente**, variam de um material para outro?

Cada material possui um valor característico para a constante de proporcionalidade, representada pela letra grega ρ (rô), que vem a ser a **resistividade elétrica** característica do material e não depende das dimensões do fio como a resistência R , e tem por unidade a resistência vezes a unidade de comprimento, pois $R = \rho L/A \therefore \rho = \frac{R \cdot A}{L}$ ou $\rho = \frac{\Omega \text{ cm}^2}{\text{cm}}$, logo, ρ é dado em $\Omega\text{-cm}$, ou $\Omega\text{-m}$, etc.

A partir dos gráficos, calcule o valor ρ para cada material, e compare-o com os valores tabelados abaixo:

Material	ρ (em $\Omega\text{-cm}$)
Cobre	$1,7 \times 10^{-6}$
Níquel cromo	100×10^{-6}

2. Qual a diferença percentual entre os valores obtidos por você e aqueles tabelados?
3. A que você atribui a possível diferença?
4. Qual dos materiais é melhor condutor? Explique o motivo de sua resposta.

ESTA OBRA FOI COMPOSTA EM TIMES ROMAN
PELO SISTEMA DE FOTO COMPOSIÇÃO (Mo-
nophoto) E IMPRESSA EM *Off-Set* PELA
DISTRIBUIDORA PAULISTA DE JORNAIS
REVISTAS, LIVROS E IMPRESSOS LTDA.
RODOVIA PRESIDENTE DUTRA, KM 387
GUARULHOS — ESTADO DE SÃO PAULO