
OBSERVANDO A FÍSICA DA NÃO-LINEARIDADE EM UM EXPERIMENTO SIMPLES⁺*

João Bernardes da Rocha Filho
Marcos Alfredo Salami
Valderez Marina do Rosário Lima
Faculdade de Física – PUCRS
Porto Alegre – RS

Resumo

Este artigo apresenta uma técnica didática simples, recomendada para o ensino de eletricidade, que permite a visualização gráfica da não-linearidade da curva de resistência elétrica por temperatura de uma mina de grafite de lápis ou lapiseira. O experimento é sugerido como complementar ao estudo da resistência elétrica de materiais relativamente lineares, como os metais, e presta-se igualmente bem para este fim. Um experimento similar é realizado com um fio de níquel-cromo (Ni-Cr) no lugar de grafite, de modo que os comportamentos podem ser comparados.

Palavras-chave: *Não-Linearidade, resistência elétrica.*

Abstract

This article presents a simple educational technique recommended for electricity teaching that allows to the graphic visualization of the non-linearity of the curve of electric resistance by the temperature of a pencil graphite mine. The experiment is suggested as a complementary approach to the

⁺ Watching non-linearity Physics on simple experiment

* *Recebido: outubro de 2006.*

Aceito: maio de 2007.

study of the electric resistance of relatively linear materials as metals, and it is useful for this purpose. A similar experiment is carried out with a nickel-chrome wire (Ni-Cr) instead of graphite, in way that the behaviours can be compared.

Keywords: *Non-linearity, electric resistance.*

I. Introdução

A experimentação é um dos bons caminhos para a concretização da aprendizagem, especialmente nas ciências, porque o experimento, entendido como atividade mediadora entre o estudante e o objeto de conhecimento, constitui um substrato sobre o qual vão ser construídos novos argumentos a respeito do conceito trabalhado. É possível dizer que o contato com o material concreto faz o aluno, num primeiro momento, ao prever o comportamento do fenômeno estudado, conscientizar-se da insuficiência de suas explicações. Na continuidade, ele tem oportunidade de reconstruir suas idéias, ampliando, assim, seus argumentos sobre o conceito estudado.

Alguns professores, porém, deixam de realizar experimentos com seus alunos por questões econômicas, de disponibilidade de recursos na escola, de tempo e de segurança, comprometendo a qualidade da educação científica dos jovens. A realidade escolar pode não favorecer a realização de experimentos, porém o professor que não aceita a “deseducação” das intermináveis aulas de quadro-negro e giz, que mais afastam do que aproximam os adolescentes das ciências, vai encontrar formas de criar situações de ensino que propiciem ao estudante a construção do conhecimento científico, evitando a aprendizagem que privilegia a memorização de nomenclaturas e leis das ciências.

Se a escola não disponibiliza recursos didáticos, ou laboratórios bem montados, o professor de Física pode construir ao longo dos anos o seu próprio conjunto de materiais e equipamentos, ou pode preparar-se para propor experimentos simples que possam ser realizados com materiais de baixo custo, obtidos pelos próprios alunos. Procederá desse modo o professor que assume a autoria de uma proposta de trabalho, recusando-se a ser mero repetidor das teorias presentes nos livros^[1].

No estudo da Física damos, geralmente, ênfase às linearidades encontradas na natureza, embora muitos dos fenômenos reais sejam não-lineares. É claro que no nível médio de ensino seria difícil promover uma abordagem amplamente complexa da ciência, porque os alunos estão ainda em fase de definição de seus futuros profissionais, e muitos não têm interesse maior na

Física. Porém, o professor do Ensino Médio pode, vez ou outra, chamar a atenção para as não-linearidades de certas grandezas físicas, até mesmo como uma forma de despertar o interesse de estudantes que acham entediante estudos envolvendo fenômenos equacionados por relações triviais, cujos resultados são matematicamente previsíveis com relativa facilidade.

Assim, este artigo sugere um experimento simples, que pode ser realizado com baixo custo e materiais usados normalmente no ensino de eletricidade, que enfatiza o comportamento não-linear da resistividade térmica da mina de grafite utilizada em lápis e lapiseiras comuns. Esse material tem sido aplicado com sucesso no ensino de Física, para a produção de resistores e capacitores^{[2][3][4]} de papel e plástico, justamente porque é disponível em qualquer lugar e faz parte do dia-a-dia de todos os estudantes, o que contribui para aproximá-los das ciências. O resultado pode ser surpreendente para os alunos, que provavelmente esperariam um comportamento linear. A metodologia usada produzirá dados que vão aguçar a curiosidade dos alunos, motivando-os para pesquisas subseqüentes, principalmente. O professor pode instigar os alunos a complementarem esse trabalho buscando informações sobre o tema em livros, revistas e internet.

II. O experimento

A técnica consiste na aplicação de correntes elétricas crescentes em uma mina de grafite de 0,5mm, com medição simultânea da tensão aplicada e da temperatura. Minas mais grossas podem ser utilizadas, porém exigem mais corrente, ou seja, fontes de alimentação maiores e mais caras. Como as minas de grafite são compostas basicamente de grafita, que é um material condutor de resistividade elevada (comparada aos metais), um fenômeno didaticamente interessante ocorre: até uma certa temperatura, a resistividade da grafita tende a cair, pois o aquecimento libera elétrons da banda de valência para a banda de condução, aumentando o número de portadores de carga móveis. Simultaneamente, a agitação térmica da estrutura prejudica o movimento dos elétrons livres, reduzindo seu *Livre Caminho Médio* (LCM), de modo que há uma temperatura a partir da qual essa perturbação, que afeta negativamente a mobilidade, ultrapassa a influência positiva da liberação de elétrons, mesmo porque há um limite para a densidade de portadores livres na banda de condução da grafita. Nesse ponto a resistividade começa a aumentar. O efeito combinado destas duas fontes de influência causa a não-linearidade observada na resistência elétrica de uma mina aquecida desde a temperatura ambiente até próximo de 1000°C.

Para a realização deste experimento o professor precisará de uma fonte de alimentação variável, capaz de produzir correntes de 3A, ou superiores, sob tensões de até 30V, ou superiores, um voltímetro e um amperímetro (se a fonte não dispuser destes instrumentos), um termômetro de termopar e uma mina fina de grafite. O experimento pode ser repetido com um fio de níquel-cromo (Ni-Cr), obtido de *resistências queimadas* de chuveiros ou torneiras elétricas, se o professor decidir comparar o comportamento da mina de grafite com o de um fio de uma liga metálica. O resultado é interessante e pode ser um desafio para os estudantes explicarem o porquê da diferença de comportamento de um para outro material. A montagem é realizada como mostra a Fig. 1.

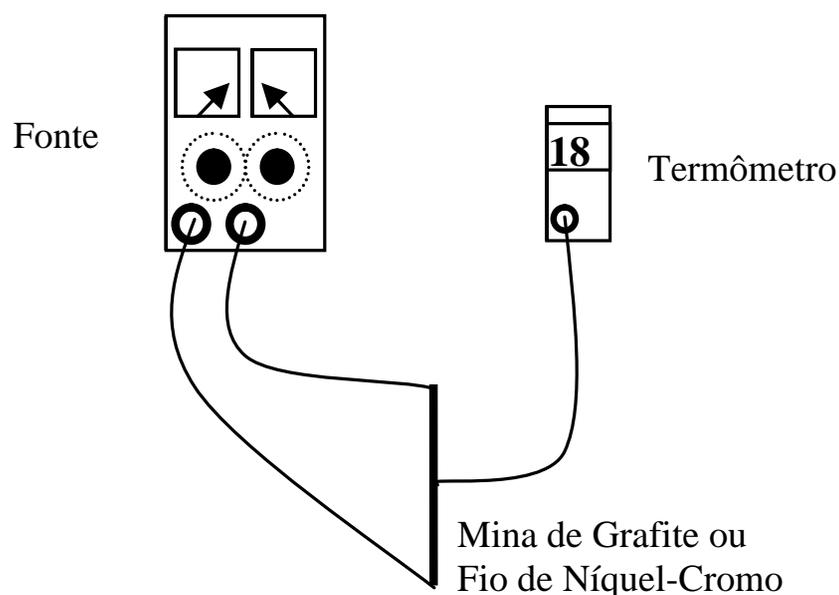


Fig. 1 – Esquema da montagem para a realização do experimento.

Se o professor dispuser de um termômetro a termopar poderá enrolar a junção na metade da mina, onde a temperatura tende a ser máxima. Como existem gradientes fortes de temperatura, especialmente quando a potência dissipada pela mina ou pelo fio de níquel-cromo é alta, o termômetro oferece apenas uma estimativa da temperatura real, porém para os propósitos didáticos esse valor aproximado é suficiente. Nesse caso, os alunos podem fazer medidas e construir uma curva de resistência em função da temperatura. Se o termômetro não estiver disponível o professor pode simplesmente solicitar que seus alunos anotem diversos valores de tensão e corrente, até ultrapassar o ponto de incandescência da mina de grafite ou do fio de níquel-cromo, utilizando esses dados para traçar a curva da resistência em função da potência. A forma do gráfico será a mesma, a não-linearidade será evidente, e os alunos poderão associar qualitativamente a potência dissipada à temperatura, especialmente

porque acima de 400°C a mina começa a emitir radiação visível, de intensidade crescente.

A tabela 1 e a Fig. 2 mostram os dados e o gráfico, respectivamente, de um experimento realizado com uma mina HB de espessura 0,5 mm. O gráfico foi construído considerando-se as duas últimas colunas da tabela 1. Pode-se perceber a não-linearidade pela concavidade da curva. As temperaturas entre parênteses, no gráfico, são interpolações obtidas por meio dos dados das medições, servindo de referência para os rótulos do eixo horizontal. A temperatura ambiente no momento do ensaio era 23°C, de modo que esta é a temperatura inicial da mina. Para cada linha a potência foi calculada multiplicando-se a tensão e a corrente, enquanto a resistência foi calculada pela sua divisão.

Tabela 1 – Valores medidos e calculados para a mina de grafite HB 0,5mm.

Tensão (V)	Valores Medidos		Valores Calculados	
	Corrente (A)	Temperatura (°C)	Potência (W)	Resistência (Ω)
0,15	0,2	35	0,03	0,75
0,30	0,4	53	0,12	0,75
0,45	0,6	77	0,27	0,75
0,59	0,8	109	0,47	0,74
0,72	1,0	144	0,72	0,72
0,84	1,2	182	1,01	0,70
0,93	1,4	205	1,30	0,67
1,05	1,6	245	1,68	0,66
1,16	1,8	280	2,09	0,64
1,28	2,0	308	2,56	0,64
1,37	2,2	343	3,01	0,62
1,50	2,4	382	3,60	0,62
1,63	2,6	427	4,16	0,62
1,75	2,8	463	4,90	0,62
1,88	3,0	508	5,64	0,62
2,07	3,2	553	6,62	0,65
2,22	3,4	570	7,55	0,65
2,73	3,6	915	9,83	0,76

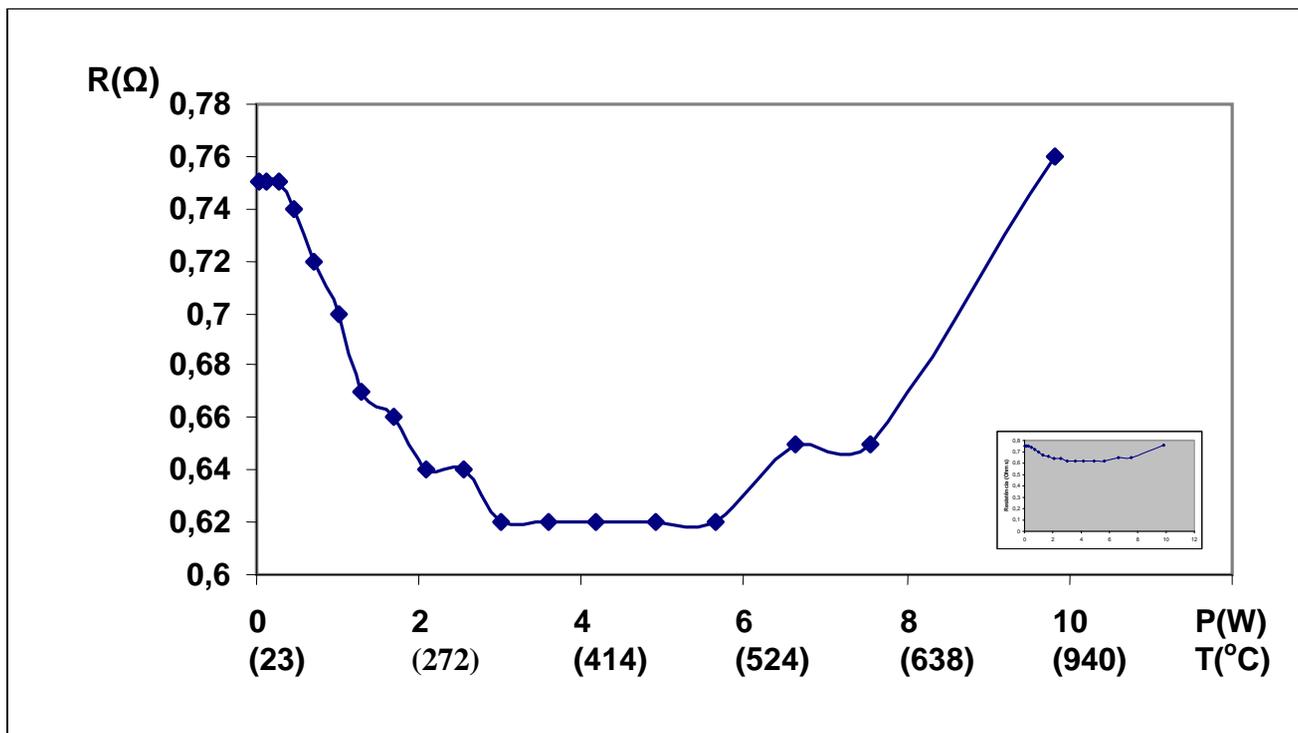


Fig. 2 – Resistência \times Potência (Temperatura) na mina de grafite HB 0,5mm. O mesmo gráfico, sem expansão no eixo vertical, pode ser visto reduzido no canto inferior direito.

Dados muito semelhantes foram obtidos com minas de 0,7mm, de 0,9mm, de 1,6mm e de 2,0mm, embora com correntes também crescentes para cada uma delas.

Na tabela 2 e na Fig. 3 são apresentados os dados e o gráfico, respectivamente, de um experimento semelhante, no qual a mina de grafite foi substituída por um fio fino de níquel-cromo, usado em uma *resistência* de mini-ducha residencial, de 220V/2kW. Nesse experimento o comportamento da resistência elétrica do fio de níquel-cromo mostra-se relativamente linear em relação à temperatura, em contraste com o comportamento da mina de grafite. Essa diferença pode ser explorada pelo professor, que tem a possibilidade de usar esses dados, e mais as dimensões físicas da mina e do fio, para determinar as resistividades dos materiais em cada temperatura, incentivando seus alunos a buscarem respostas para a explicação do fato descoberto experimentalmente. Esse gráfico foi construído a partir dos dados das colunas Temperatura ($^{\circ}$ C) e Resistência (Ω) da tabela 2, os valores de potência foram interpolados para coincidir com os valores de temperatura de referência, inversamente ao que foi feito no gráfico anterior.

Uma alternativa interessante é substituir o fio de níquel-cromo por uma lâmpada incandescente de lanternas portáteis ou de automóveis, pois as correntes envolvidas podem ser bem menores, o que é útil se o professor não

dispuser de fontes de alimentação de grande potência. O gráfico da resistência com a potência não se modifica significativamente, e os resultados didáticos são semelhantes.

Tabela 2 – Valores medidos e calculados para o fio de Ni-Cr.

Tensão (V)	Valores Medidos		Valores Calculados	
	Corrente (A)	Temperatura (°C)	Potência (W)	Resistência (Ω)
1,00	0,11	28	0,11	9,09
2,18	0,24	33	0,52	9,08
3,28	0,36	59	1,18	9,11
4,28	0,47	77	2,01	9,11
5,20	0,57	125	2,96	9,12
6,30	0,69	147	4,34	9,13
7,20	0,79	175	5,65	9,17
8,20	0,89	223	7,29	9,21
9,20	0,99	282	9,10	9,29
10,2	1,09	322	11,1	9,36
11,1	1,18	362	13,1	9,41
12,3	1,31	390	16,1	9,39
13,1	1,39	431	18,2	9,42
14,1	1,49	462	21,0	9,46
15,1	1,59	530	24,0	9,49
16,2	1,7	563	27,5	9,53
17,4	1,81	625	31,5	9,61
18,2	1,88	655	34,2	9,68
19,2	1,97	685	37,8	9,75
20,1	2,06	705	41,4	9,76
21,2	2,16	733	45,8	9,81
22,2	2,24	753	49,7	9,91
22,8	2,28	758	52,0	10,0

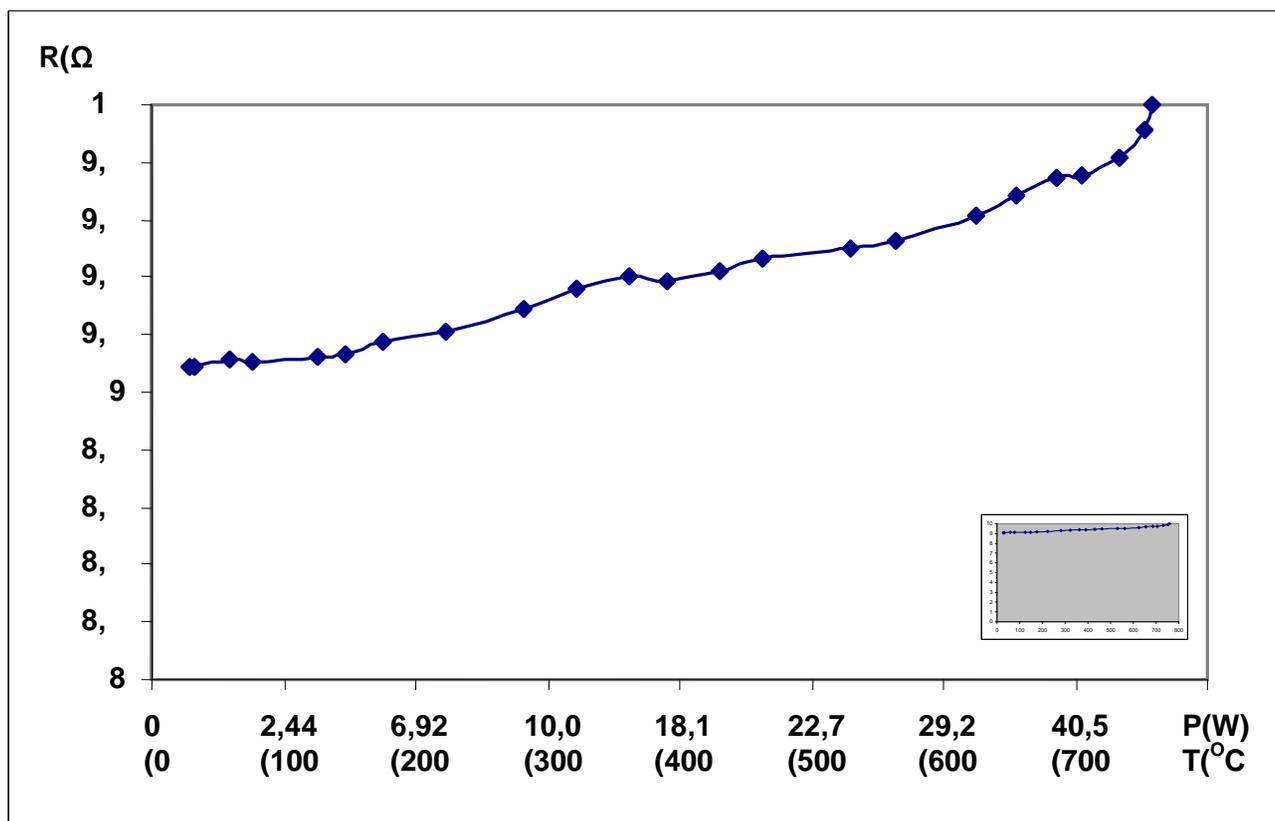


Fig. 3 – Resistência \times Potência (Temperatura) para o fio de Ni-Cr. O mesmo gráfico, sem expansão no eixo vertical, pode ser visto reduzido no canto inferior direito.

III. Considerações finais

Este artigo contém apenas uma sugestão de experimento, mas não produzirá nenhum efeito se não for realizado, e não despertar o professor para seu papel revolucionário e urgente. Apaixonar-se pelas ciências é pré-requisito para que um professor consiga que outros o façam. O resultado de um professor incapaz de apaixonar-se pela sua profissão e sua ciência é um aluno que se mostra incapaz de experimentar ou aprender Física e não consegue se interessar por ela.

O País necessita urgentemente de cerca de duzentos e cinquenta mil professores de ciências, cinquenta e cinco mil dos quais, de Física^[5]. Mas a baixíssima procura dos jovens por carreiras científicas aponta para um horizonte incerto. Muitos desses estudantes fogem das profissões relacionadas às ciências porque seus professores perderam chances preciosas de despertar neles o desejo de experimentar, insistindo em aulas teóricas cheias de equações que não fazem sentido sem o prazer da descoberta. Ironicamente, considerando que a Física estuda as leis fundamentais do universo, estende-se do infinitamente pequeno ao infinitamente grande, e está na fonte das revoluções tecnológicas da era moderna,

o mais importante produto da aula copiada é o desprezo do estudante por uma ciência que lhe parece inútil e terrivelmente chata.

Referências

- [1] DEMO, P. **Educar pela Pesquisa**. Campinas: Autores Associados, 1998.
- [2] ROCHA FILHO, J. B.; SALAMI, M., GALLI, C.; FERREIRA, M. K.; MOTTA, T. S.; COSTA, R. C. Construção de capacitores de grafite sobre papel, copos e garrafas plásticas e medida de suas capacitâncias. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 22, n. 3, p. 400-415, 2005.
- [3] SALAMI, M. A. **Resistores e capacitores com lápis, papel e plástico**. 2004. Dissertação (Mestrado) - PUCRS, Porto Alegre.
- [4] ROCHA FILHO, J. B.; COELHO, S.; SALAMI, M.; MACIEL, M. R.; SCHRAGE, P. U. Resistores de papel e grafite: Ensino experimental de eletricidade com papel e lápis. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 20, n. 2, p. 228-236, 2002.
- [5] ROCHA FILHO, J. B.; BASSO, N. R. S.; BORGES, R. M. R. **Transdisciplinaridade: a natureza íntima da educação científica**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2006 (no prelo).