
RESISTORES DE PAPEL E GRAFITE: ENSINO EXPERIMENTAL DE ELETRICIDADE COM PAPEL E LÁPIS*

João Bernardes da Rocha Filho
Suzana Coelho
Faculdade de Física –PUCRS
Marcos Salami
MCT – PUCRS
Marília Rangel Maciel
Pedro Ubirajara Schrage
Alunos do Colégio Estadual Júlio de Castilhos
Porto Alegre – RS

Resumo

Este artigo apresenta um desenvolvimento realizado na PUCRS, em julho e agosto de 2002, envolvendo a viabilidade da utilização de resistores feitos de grafite depositado sobre papel, para a aprendizagem experimental de eletricidade, especificamente em relação aos conteúdos “resistividade e cálculo de resistência equivalente de associações em série e em paralelo de resistores”. Tal técnica permite ao estudante manipular ludicamente variáveis envolvidas na definição de resistência elétrica, além de criar e modificar livremente associações de resistores, utilizando unicamente um multímetro, papel e lápis, e tem potencial para acelerar seu processo de compreensão e aprendizagem desses conteúdos porque é agradável, simples, barata e promove o engajamento e a livre participação de todos os alunos.

Palavras-chave: *Ensino de Física, experimentação, resistência elétrica.*

I. Introdução

O conceito de resistência elétrica e o procedimento de cálculo de resistência equivalente de associações de resistores não é, tradicionalmente, um conteúdo de Física considerado difícil pelos estudantes do Ensino Médio, talvez porque o nível típico de conhecimentos exigidos nas avaliações incluía, preponderantemente, a aplica-

* Publicado no Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 20, n. 2, ago. 2003.

ção direta de equações. Como a elaboração matemática desse conteúdo pode ser relativamente simples –incluindo apenas soma de frações e um pouco de álgebra– e abordagens descritivas ou qualitativas nem sempre são incluídas como complemento à aplicação de fórmulas, é possível que uma parcela dos estudantes adquira habilidades limitadas à realização mecânica dos cálculos envolvendo resistividade e associações de resistores, sem que ocorra a apropriação da fenomenologia correspondente. Por esse motivo, é imprescindível que as escolas ofereçam oportunidades de aprendizagem experimental, inclusive porque:

“Estudos adicionais sobre habilidades de experimentação mostram que elas se relacionam intimamente com as habilidades de pensamento formal [...] sabemos também que a maioria dos recém adolescentes e muitos jovens adultos ainda não atingiram a plenitude de sua capacidade de raciocínio formal”. (PADILLA, 1988, p. 165)

Professores atentos à possibilidade de perda de sincronismo entre o conhecimento teórico e o aplicado podem optar, por exemplo, por proporcionar a seus alunos práticas experimentais que enfatizem a descrição qualitativa dos fenômenos, reforçando as relações de interdependência das variáveis resistência, resistividade, comprimento e área de seção reta dos condutores. Mesmo nesses casos, entretanto, o enfoque dado pelo professor às aulas experimentais pode caracterizar-se pela preponderância de práticas envolvendo associação de resistores, em detrimento das relações entre resistência e dimensões do condutor, por razões de ordem pragmática: a facilidade com que podem ser realizadas montagens, empregando simplesmente multímetros e resistores de filme de carbono –muito baratos e disponíveis em todas as cidades brasileiras, seja em lojas especializadas, seja na sucata de aparelhos eletrônicos– e a dificuldade intrínseca em desenvolver experimentos econômicos envolvendo a relação entre a resistência elétrica e as dimensões do condutor.

Embora a experimentação relacionada à associação de resistores usando componentes comerciais seja adequada aos propósitos educacionais, raramente experimentos envolvendo a relação entre resistência elétrica e as dimensões são realizados, porque não é trivial produzir alteração nas variáveis dimensionais de componentes comerciais, nem é prático alterá-las em fios metálicos. Uma proposta de experimentação didática que possa contemplar a criação e a manipulação de resistores, além da medição das resistências elétricas individuais e resultantes de associações pode ser, então, uma técnica útil à implementação de práticas pedagógicas orientadas para a promoção de aprendizagens significativas, preenchendo uma lacuna da didática experimental. O desenvolvimento descrito neste artigo apresenta, justamente, uma opção metodológica que oferece aos professores de Física do Ensino Médio a possibilidade de realizar, tanto experimentos de associação de resistores, quanto experimentos en-

volvendo dimensões e resistência elétrica, utilizando apenas lápis, papel e multímetros comerciais de baixo custo. Ainda que a economia dessa técnica, em relação a procedimentos experimentais que envolvam associação de resistores comerciais, não seja significativa, dado o preço acessível desses componentes, ela pode ser utilizada concomitantemente pelos professores que já dispõem de conjuntos de resistores de filme de carbono, ou resistores de níquel-cromo, pois apresenta pelo menos três vantagens complementares importantes:

a) possui um potencial promissor para despertar o interesse dos alunos e motivar a aprendizagem, pois lhes oferece a prerrogativa de construir seus próprios resistores e associações, de forma lúdica e criativa;

b) envolve medições de resistência elétrica com possibilidade de atuação sobre variáveis dimensionais, que não são realizadas corriqueiramente no Ensino Médio, permitindo uma compreensão experimental da relação entre a geometria do condutor e sua resistência elétrica;

c) permite que o professor de Física desenvolva um trabalho interdisciplinar com os professores de Química, já que a espessura da camada de grafite depositado sobre o papel tem, normalmente, algumas dezenas de nanômetros, sendo constituída por um número relativamente pequeno de átomos, cuja dimensão é alvo de estudos naquela disciplina.

II. Criando e analisando resistores de papel e grafite

Os resistores de papel e grafite descritos neste artigo são construídos simplesmente desenhando-os sobre uma folha comum de caderno. Não são necessários recortes, colagens ou qualquer outra operação além do desenho e da medição. Como se sabe, a grafita é um material condutor, embora sua resistividade seja relativamente elevada quando comparada com a dos metais em geral. Como o grafite do lápis é constituído de grafita processada, um risco feito sobre uma superfície isolante, como o papel, por exemplo, se tiver continuidade elétrica suficiente para que se consiga medir a resistência entre dois pontos, pode ser usado como um resistor experimental, útil em laboratórios didáticos de Física.

Conseguir continuidade elétrica em um único risco, porém, pode ser difícil, em face da flexibilidade e irregularidades do papel, que acabam interrompendo o filme de grafite depositado. Nas avaliações realizadas com os grupos de estudantes e professores descritos no resumo, ficou claro que, embora experimentos satisfatórios possam ser obtidos sem muitos cuidados, os melhores resultados desta técnica não são atingidos com riscos isolados, mas com desenhos de, pelo menos, 2 mm de largura, obtidos com diversos riscos fortes de lápis com grafite mole (tipo 6B), usado em desenho, que produzem linhas bem escuras e brilhantes.

Embora praticamente qualquer trecho desenhado em grafite possa ser usado como um resistor experimental, alguns desenhos típicos são mostrados na Fig. 1, na qual R_a , R_b e R_c são exemplos de desenhos diferentes que podem ser adotados, e foram testados preliminarmente pelos grupos e turmas que nos apoiaram. Cabem aqui algumas considerações sobre a escolha da geometria dos desenhos dos resistores. O resistor R_c representa o desenho tradicional utilizado pela maioria dos livros de Física para representar resistores, assim como por grande parte dos professores no momento de abordarem o respectivo assunto. O R_b é um tipo de resistor de grafite e papel que o aluno não possuidor de muitos conhecimentos sobre o assunto tende a criar, segundo nossa experiência, provavelmente porque se trata de um desenho intuitivo. E o formato do resistor R_a foi escolhido aleatoriamente, sem preocupação prévia com sua geometria, simplesmente porque é um desenho possível. É importante destacar que o professor ou o aluno que desejar utilizar essa técnica está livre para poder investigar qualquer formato para seus resistores que não constem neste trabalho. As possibilidades são delimitadas pela imaginação, e não iremos nos deter na descrição de outros formatos pois, na compreensão dos autores, seria uma tarefa redundante.

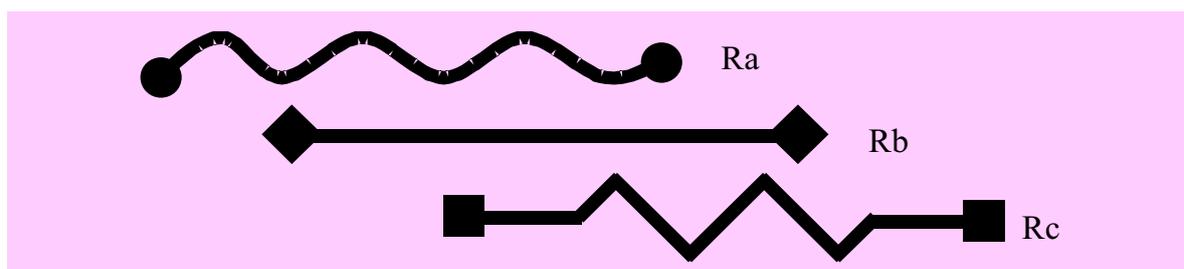


Fig. 1 - Exemplos de desenhos adequados para a aplicação da técnica resistores de papel e grafite.

Os círculos e quadriláteros que foram colocados nas extremidades dos traços dos resistores desenhados, mostrados na Fig. 1, representam um detalhe necessário: têm funções importantes para a realização da experimentação e sua necessidade ficou evidente nos testes preliminares. A ampliação da área de contato do filme de grafite com as ponteiros metálicas do multímetro usado para a medição da resistência elétrica evita que deficiências nesse contato elétrico causem instabilidade na indicação do instrumento. Além disso, os detalhes assinalam precisamente o ponto de medição, garantindo a repetitividade de medições sucessivas da resistência do mesmo resistor desenhado, minimizando a influência da resistência elétrica desses trechos de interligação na resistência final da associação. Essas terminações fazem o papel de elo de ligação do resistor desenhado com o sistema de medição ou com outros resistores. Nos resistores comerciais, estas partes de interligação são metálicas, tendo pouca influência na resistência final daqueles componentes. Como não é interessante usar metais

para unir os resistores desenhados, dado que um aumento de complexidade pode prejudicar a aplicabilidade desse experimento didático, fazer essas conexões mais largas que os próprios resistores garante que sua influência seja pequena.

Portanto, nas associações em série, paralelo e mista, é necessário que os elos de ligação entre os resistores desenhados sejam mais largos que os próprios resistores, de modo a influírem minimamente na resistência equivalente. Assim, exemplos de possíveis associações usando resistores semelhantes aos mostrados anteriormente, são dados nas Fig. 2, 3 e 4. Os grandes retângulos desenhados, unindo as extremidades dos resistores associados nas Fig. 2 e 4, destinam-se a reduzir a resistência elétrica dos trechos de união. As letras X e Y, nessas figuras, assinalam os pontos em que podem ser aplicadas as ponteiros do multímetro, com o objetivo de medir a resistência equivalente da associação. Esses formatos são sugeridos e foram aplicados pelas equipes de professores e estudantes que avaliaram a técnica, e a resistência acrescentada ao circuito pelos retângulos de interligação foi da ordem de 3% da resistência final da associação, sendo desprezível para nossos objetivos educacionais. Os exemplos de associações de resistores, mostrados a seguir, podem ser desenhados no caderno, pelo aluno, e o mesmo pode alterar estas configurações de acordo com suas dúvidas.

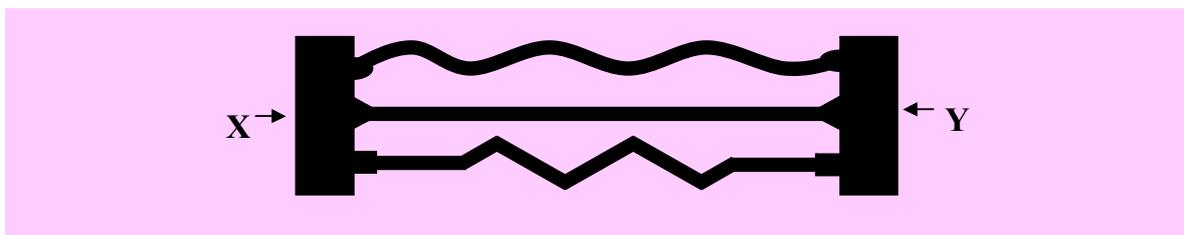


Fig. 2 - Exemplo de associação em paralelo de três resistores semelhantes aos mostrados na Fig. 1.

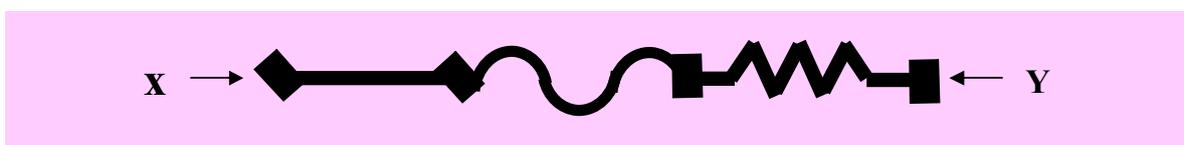


Fig. 3 - Exemplo de associação em série de três resistores semelhantes aos mostrados na Fig. 1.

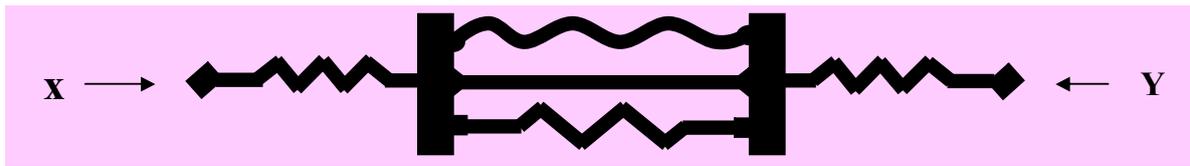


Fig. 4 - Exemplo de associação mista de cinco resistores semelhantes aos mostrados na Fig. 1.

III. Comportamento elétrico dos resistores de papel e grafite

Para testar a aplicabilidade dos resistores desenhados como alternativa aos resistores comerciais, no ensino de Física, foram realizados experimentos visando a verificação da dependência da resistência elétrica com o comprimento do resistor desenhado, assim como testes envolvendo a largura mínima dos traços que poderiam ser usados com segurança para essa técnica ou a correspondência do valor calculado com o valor medido para associações de resistores. Os dados foram recolhidos durante a apresentação da técnica aos graduandos e mestrandos e, principalmente, durante extensos testes realizados pelos auxiliares de pesquisa no Laboratório de Física do MCT/PUCRS.

Traços de 0,5 mm a 2,5 mm de espessura e 12 cm de comprimento foram feitos com grafite 6B sobre folhas de papel milimetrado, e enquanto uma ponteira do multímetro era mantida sobre uma das extremidades do traço a outra ponteira era deslizada sobre seu comprimento; a resistência indicada pelo instrumento era anotada a intervalos de 2 cm, na tabela 1. Esses experimentos produziram uma família de curvas que pode ser vista na Fig. 5, onde se evidencia a dependência entre o comprimento e a resistência elétrica para larguras de traços maiores, e que valores praticamente ideais são obtidos a partir de 2 mm de largura. A dispersão das medidas, apesar de ser muito pequena e apenas perceptível no gráfico do resistor 1, reduz-se com o aumento da largura, o que não prejudica a experimentação pois traços de 2 mm de grafite sobre papel são extremamente simples de serem obtidos.

Tabela 1 – Variação da resistência em função da distância das ponteiras de medição para resistores de papel e grafite retangulares, de 12 cm de comprimento.

Distância entre as ponteiras de medição (cm)	R ₁ largura do traço: 0,5 mm (k Ω)	R ₂ largura do traço: 1,0 mm (k Ω)	R ₃ largura do traço: 1,5 mm (k Ω)	R ₄ Largura do traço: 2,5 mm (k Ω)
2	22,6	4,9	1,8	1,3
4	50,0	9,8	3,5	2,6
6	74,8	14,9	6,1	4,0
8	103,9	19,0	9,1	5,5

10	128,0	26,2	11,4	7,4
12	148,6	33,1	14,6	9,9

Embora o comportamento linear da resistência em função da distância entre ponteiros seja fundamental para o uso didático dos resistores de papel e grafite, outro elemento determinante da aplicabilidade dos resistores desenhados é a concordância entre os valores das resistências calculadas e medidas para associações. Para verificar essa concordância, foram desenhados conjuntos de dois a sete resistores e medidas as suas resistências individuais. Em seguida, eles foram unidos em série e/ou paralelo, e foram feitas medições da resistência total das associações, do mesmo modo mostrado nas Fig. 2, 3 e 4. O resultado disso está sintetizado na tabela 2, que relaciona os valores previstos por cálculo e os que são medidos diretamente para a resistência das associações.

As pequenas divergências entre as duas últimas colunas da tabela 2 devem-se, principalmente, à resistência acrescida à associação pelas ligações entre os resistores desenhados, e podem ser utilizadas como tema de um debate crítico, ao final de uma aula experimental, quando os próprios alunos podem ser levados a discutir e explicar seus resultados. Em uma etapa posterior do processo, o professor pode explorar essas divergências como mais um recurso didático oferecido pela técnica, solicitando aos alunos que meçam as resistências das conexões, e as incluam nos cálculos.

Tabela 2 – Resistências individuais medidas e resistências calculadas e medidas para associações.

Tipo de associação de resistores	R_1 (M Ω)	R_2 (M Ω)	R_3 (M Ω)	R_4 (M Ω)	R_5 (M Ω)	R_6 (M Ω)	R_7 (M Ω)	Resistência equivalente (calculada) (M Ω)	Resistência equivalente (medida) (M Ω)
paralelo $R_1//R_2$	0,21	0,11	---	---	---	---	---	0,07	0,07
paralelo $R_1//R_2$	0,46	0,77	---	---	---	---	---	0,29	0,29
paralelo $R_1//R_2$	0,15	0,07	---	---	---	---	---	0,05	0,05
série R_1+R_2	0,23	0,17	---	---	---	---	---	0,40	0,40
série R_1+R_2	0,11	0,34	---	---	---	---	---	0,45	0,46
série $R_1+R_2+R_3$	0,39	0,54	0,43	---	---	---	---	1,36	1,39
mista $R_1+(R_2//R_4)+R_3$	0,41	0,29	0,34	0,28	---	---	---	0,89	0,92
mista $R_5//(R_3+R_4)/(R_1+R_2)$	0,20	0,34	0,19	0,20	0,32	---	---	0,13	0,13
mista $R_1+(R_2//R_3)+R_4+(R_5//R_6//R_7)$	0,76	0,75	0,57	1,42	0,84	0,60	0,58	2,72	2,75

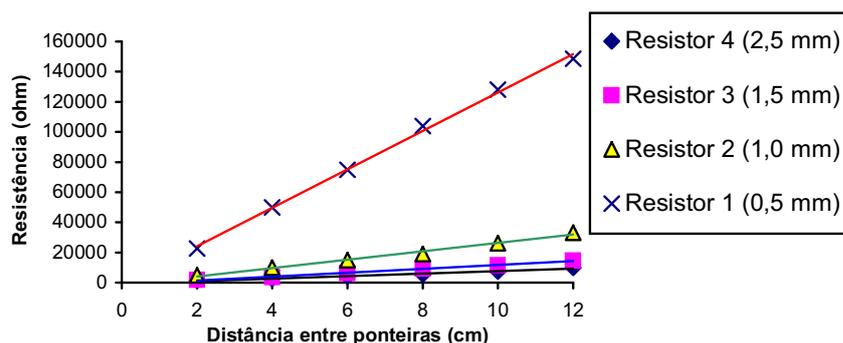


Fig. 5 - Família de curvas mostrando a dependência da Resistência x Comprimento para resistores desenhados de 12 cm de comprimento e de diferentes larguras.

Foram realizados, também, testes para averiguar se os resistores de papel e grafite apresentavam a dependência inversa esperada entre a resistência e a largura, de forma que pudessem ser utilizados para práticas experimentais que envolvessem a verificação da influência da largura do traço na resistência final. Como se pode avaliar pela tabela 2, comparando a resistência de resistores com larguras diferentes e ponteiras igualmente distanciadas, a relação inversa da resistência com a largura fica melhor caracterizada para resistores mais largos. Os experimentos realizados sugerem que esse fato esteja relacionado à relativa dificuldade em desenhar resistores com larguras pequenas e espessuras constantes e, assim, para experimentos nos quais o professor esteja interessado em explorar a relação entre a largura do resistor e sua resistência elétrica, é aconselhável que utilize desenhos com mais 5 mm de largura. Em experimentos com resistores desenhados de 10 mm e 20 mm de largura e 100 mm de comprimento, foi possível obter concordância melhor que 5 % na relação entre a resistência esperada e a medida.

IV. Conclusões

A técnica resistores de papel e grafite foi desenvolvida com o objetivo de oferecer aos alunos uma prática experimental simples e econômica, eficaz na construção de concepções úteis, que contribua substancialmente para a aprendizagem significativa de alguns conceitos em eletricidade. Para avaliar preliminarmente os efeitos de sua aplicação, a técnica foi apresentada a professores mestrandos do EDUCEM/PUCRS, a alunos de graduação em Física da FAFIS/PUCRS e a estudantes do Ensino Médio, das redes pública e privada de Porto Alegre, que participam de um programa de intercâmbio com o MCT/PUCRS.

Dentro do espírito de tentar melhorar a qualidade do ensino de Física a partir da disseminação de práticas experimentais simples, os resistores de papel e grafite representam uma técnica de baixo custo, lúdica e eficiente como auxiliar do ensino

dos conceitos de resistência elétrica e de associação de resistores. Sua difusão ao maior número possível de professores do Ensino Médio está sendo providenciada por meio deste artigo e de apresentações em seminários e oficinas. Opiniões, sugestões e críticas de colegas interessados no tema serão bem acolhidas.

V. Referências Bibliográficas

PADILLA, M. J. Habilidades processuais em ciências. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 5, n. 3, p. 162-167, 1988.