

Medidas elétricas I

O Amperímetro

Na disciplina Laboratório de Ciências vocês conheceram quatro fenômenos provocados pela passagem de corrente elétrica num condutor: a) transferência de energia térmica, b) força sobre um fio condutor com corrente perto de um ímã, c) geração de um campo magnético em torno de um fio condutor e d) reações químicas numa solução. Qualquer um destes fenômenos pode ser usado para quantificar a corrente elétrica. No Laboratório de Ciências conhecemos os amperímetros de bobina girante que usam a força sobre um condutor perto de um ímã para medir a corrente. Existem também instrumentos digitais que medem corrente de forma mais sofisticada, mas cujos valores medidos coincidem com os dos amperímetros de bobina girante.

Duas constatações experimentais justificavam interpretar as medidas feitas com os amperímetros como taxas de passagem de alguma substância (a carga elétrica):

a) As medidas de corrente num circuito de uma única malha, num circuito em série como da figura 1, não dependem do ponto da medida na malha.

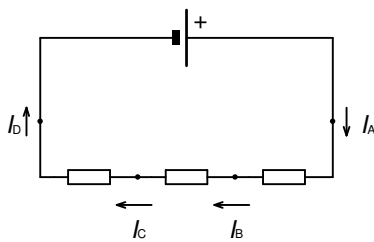


Fig. 1 Circuito de três resistores em série formando uma malha com uma fonte. A experiência mostra que as correntes nos pontos A, B, C e D são iguais. Os resistores são representados por caixas que lembram o formato dos cilindros de muitos resistores comerciais.

b) Numa bifurcação, a corrente que entra na bifurcação é igual à soma das correntes nos ramos (compare figura 2). Este fato é conhecido como regra dos nós.

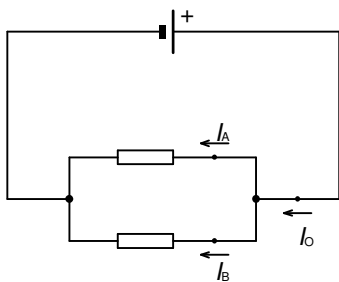


Fig.2 Circuito com ramificação de corrente. A experiência mostra que $I_0 = I_A + I_B$.

Com água passando em tubos, num regime estacionário, teríamos exatamente o mesmo comportamento com a taxa de passagem de água. É isto que nos leva a aceitar que corrente elétrica também é uma taxa de passagem de uma substância.

Tarefa 1: Verifique as afirmações a) e b) experimentalmente.

Tarefa 2: Monte o circuito da figura 3 e meça as correntes I_A e I_B com dois amperímetros usando o fundo de escala de 20 mA para os dois amperímetros para

diversas condições da fonte (Gire o botão da esquerda da fonte. Troque também a polaridade da fonte). Registre os valores no caderno de laboratório e elabore um gráfico (individual) que relacione I_A e I_B (mostre I_A no eixo vertical e I_B no eixo horizontal).

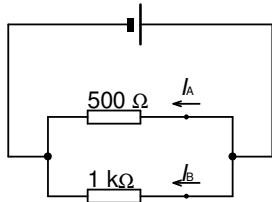


Fig. 3

Repita estas medidas substituindo o resistor de 500Ω por um de $1k\Omega$ e mostre os dados correspondentes no mesmo gráfico das medidas anteriores. Descreva verbalmente os resultados obtidos.

Tarefa 3 (individual) Elabore um relatório sucinto das tarefas 1 e 2 que explique para uma pessoa, que não conhece este roteiro e que não presenciou os experimentos, o que foi feito, quais eram as motivações das medidas e quais foram os resultados obtidos. O gráfico da tarefa 2 deve ser anexado ao relatório. (Entrega deste relatório no fim da aula)

Em qualquer verificação quantitativa de uma lei ou uma afirmação é necessário estimar os tamanhos dos possíveis erros experimentais envolvidos. Portanto a sua tarefa 1 requer conhecimento da incerteza das medidas. Há também outros detalhes que você precisa saber sobre amperímetros. Portanto leia os seguintes comentários:

Comentário 1 - Definição de uma corrente num ponto de um circuito e o sinal da corrente.

O amperímetro mede uma taxa de passagem de carga elétrica através da secção de um fio condutor. Portanto uma medida de corrente refere-se a uma determinada secção. Quando falarmos de uma corrente elétrica num circuito, devemos especificar **o ponto** no circuito que corresponde à secção. Além disso, devemos especificar a orientação da superfície da secção. O sinal da corrente é definido em relação a esta orientação. Se as cargas positivas passam no sentido da orientação da secção, contamos a corrente como positiva. A figura 4 mostra uma secção orientada num condutor e as figura 1,2 e 5 dão exemplos, como se define uma corrente I num esquema de circuito elétrico.

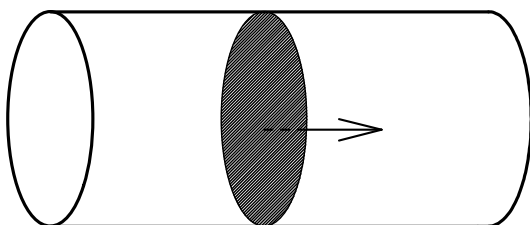


Fig. 4 Fio condutor com uma secção imaginada, à qual se refere uma definição de corrente elétrica. A seta indica a orientação da secção. Se os elétrons do metal (partículas negativas) fluírem no sentido oposto à seta, a corrente é contada como positiva.

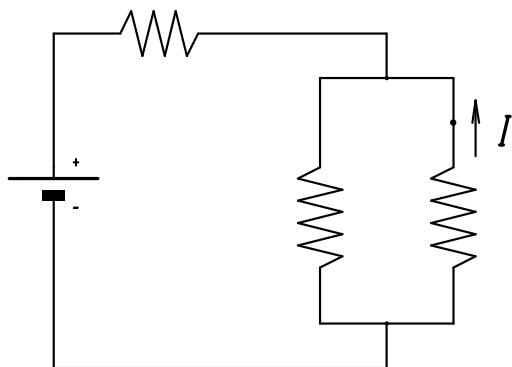


Fig. 5 Exemplo de um circuito com definição de uma corrente I num ponto do circuito. A seta faz parte da definição de I . Ela não indica em que direção flui a corrente! Ela indica a orientação da secção do fio. Nesta figura usamos outra forma de representar os resistores. Este ziguezague é predominantemente encontrado na literatura americana.

Com as polaridades dadas das fontes nas figuras 1,2 e 5, as correntes I_A, \dots, I_D da figura 1 e as correntes I_A, I_B e I_O

da figura 2 seriam positivas e a corrente I da figura 5 seria menor que zero.

Comentário 2 - Como medir com um amperímetro ?

Poder-se-ia medir a corrente num ponto de um circuito aproveitando o fato que a corrente elétrica provoca um campo magnético em torno do fio. Poderíamos, por exemplo, no circuito da figura 4 colocar um detector de campos magnéticos na posição onde está escrito o símbolo I na figura. De fato existem amperímetros que trabalham com este tipo de princípio. Mas a grande maioria dos amperímetros usa outro método. No amperímetro comum a corrente a ser medida tem que atravessar o próprio amperímetro.

Consequentemente temos que abrir o circuito no ponto da medida e inserir o amperímetro no lugar do corte. A figura 6 ilustra como se faria então a medida da corrente I no circuito da figura 4.

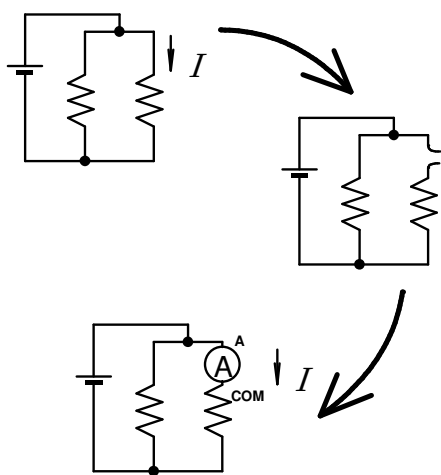


Fig. 6 Como inserir um amperímetro no circuito

O amperímetro tem dois terminais "COM" e "A". Para que o instrumento indique o sinal da corrente de acordo com a convenção descrita acima, deve-se inserir o amperímetro de tal forma que o terminal COM fique na ponta da seta e o terminal A na base da seta de orientação da secção. . **Lembre sempre:** Um amperímetro mede a corrente **num** ponto no circuito. E para medir a corrente neste ponto tem que **interromper** o circuito neste ponto e **inserir** o amperímetro fechando o circuito com o amperímetro.

Comentário 3 - Incerteza experimental do amperímetro

A incerteza nos amperímetros analógicos é dada em termos de percentagem do fundo de escala e vem escrita no instrumento (geralmente no mostrador). Nos amperímetros digitais a incerteza tem duas parcelas: uma é proporcional ao módulo da leitura e a outra, oriunda da digitalização, depende do fundo de escala. Para os nossos amperímetros digitais temos no manual a informação que a incerteza é $p\%$ do módulo da leitura mais a corrente que corresponde a uma cifra n do dígito menos significativo mostrado, onde p e n dependem do fundo de escala:

Fundo de Escala	Incerteza
20 μA *	$\pm(2\% \text{Leitura} + 3 \text{ no dígito menos significativo.})$
200 μA	$\pm(0,8\% \text{Leitura} + 1 \text{ no dígito menos significativo.})$
2 mA	
20 mA	
200 mA	$\pm(1,2\% \text{Leitura} + 1 \text{ no dígito menos significativo.})$
2 A *	

Veremos um exemplo: suponhamos que estamos medindo na faixa de 20 μA e temos a leitura 10.25 . Isto significa 10,25 μA . Então a incerteza seria $\delta I = 10,25\mu\text{A} \cdot 0,02 + 0,03\mu\text{A} = 0,235 \mu\text{A}$ e o resultado da medida $I = (10,25 \pm 0,24) \mu\text{A}$.

Comentário 4 - Cuidados especiais com amperímetros

Quando medimos uma grandeza podemos, sem querer, alterar o valor da grandeza pelo ato de medir. Por exemplo, se medirmos a espessura de uma placa de borracha com um paquímetro podemos apertar a placa com os encostos do paquímetro e esmagar a placa levando a um valor falso da espessura. Quando inserimos um amperímetro num circuito modificamos o mesmo e isto pode também alterar as correntes. Para que isto não aconteça um bom amperímetro deve ser eletricamente equivalente ao fio de cobre que interrompermos para abrir o circuito. Então devemos pensar num amperímetro como se fosse um pedaço de fio – um “fio inteligente” que registra a corrente que o atravessa. Então fazer o que está indicado na figura 6

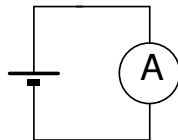


Fig. 6

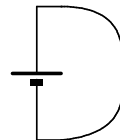


Fig. 7

é eletricamente equivalente ao circuito da figura 7 !!!!!

* Os fundos de escala de 2 μA e 2 A apenas para os instrumentos da marca Minipa.

Comentário 5 Nossos amperímetros

Os nossos amperímetros são digitais e são instrumentos de multiuso. Este tipo de instrumento é chamado de *multímetro*. Vocês devem usar os fios nas entradas “COM” e “A”. A roda de escolha de função deve ficar no setor A DC ou A=. Cuidado de não usar A ≈ ou A AC; esta última serve somente para corrente alternada (que oscila com 60 Hz). Dentro do setor de A= deve-se escolher um fundo de escala apropriado que englobe os valores que queremos medir e que seja o menor possível para permitir maior resolução do instrumento.

Comentário 6 A unidade Ampère

O padrão usado como unidade da corrente elétrica tem o nome de Ampère (nome do físico francês André-Marie Ampère) e é definido com a ajuda das duas manifestações magnéticas da corrente (corrente cria campo magnético e fio com corrente sofre força num campo magnético): Usam-se dois fios compridos que levam a mesma corrente. Um fio cria um campo magnético e o outro sofre uma força magnética. A definição de um Ampère é:

Um Ampère (1A) é a corrente estacionária que, quando mantida em dois fios retilíneos paralelos muito longos separados por uma distância de 1 m, produz entre eles uma força de interação magnética, por metro, de 2×10^{-7} N.

Lembramos que 1 N (um Newton) é a força necessária para atribuir uma aceleração de 1 m/s^2 a uma massa de 1 kg.

Comentário 7 Regras para fazer gráficos.

1) Escolher fatores de escala de tal forma que boa parte do papel seja aproveitada. Isto garante alta resolução. Não é necessário usar todo o papel. Quando se usa papel previamente quadriculado (caso do papel milimetrado) deve-se evitar o uso de fatores de escala complicados que atribuam a uma divisão do papel um valor complicado do tipo 7,3 unidades ou 3 unidades. Veja os exemplos (os gráficos são da medida de um movimento de uma partícula).

Fig. 8 Exemplo de um gráfico com boa escolha de fatores de escala

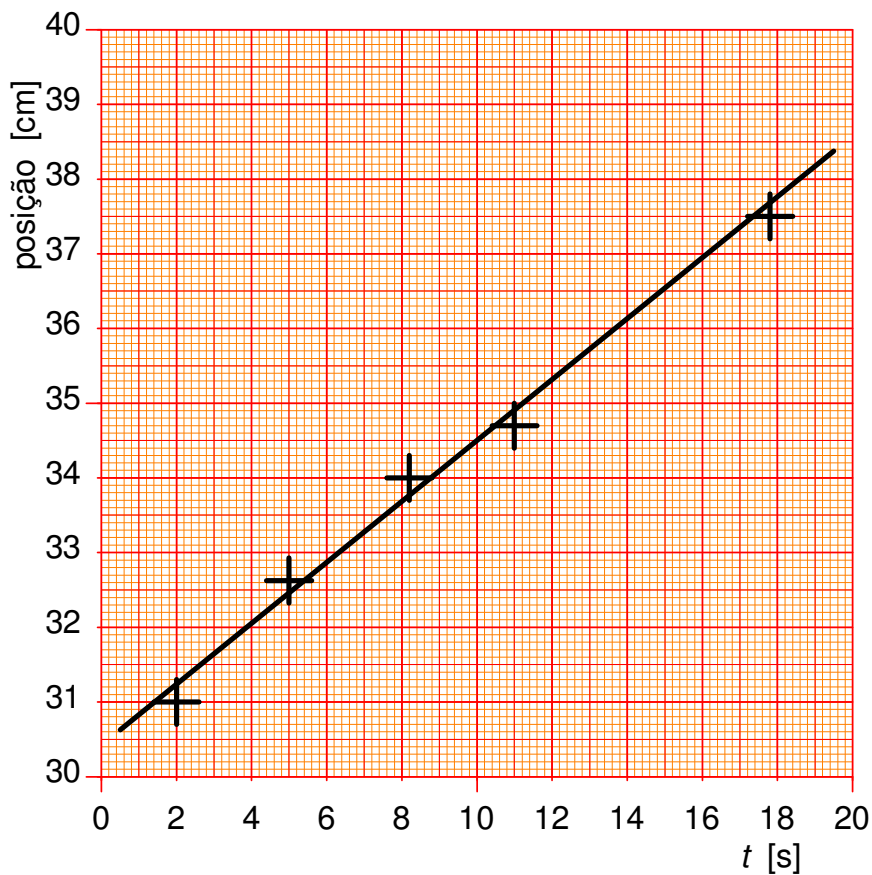
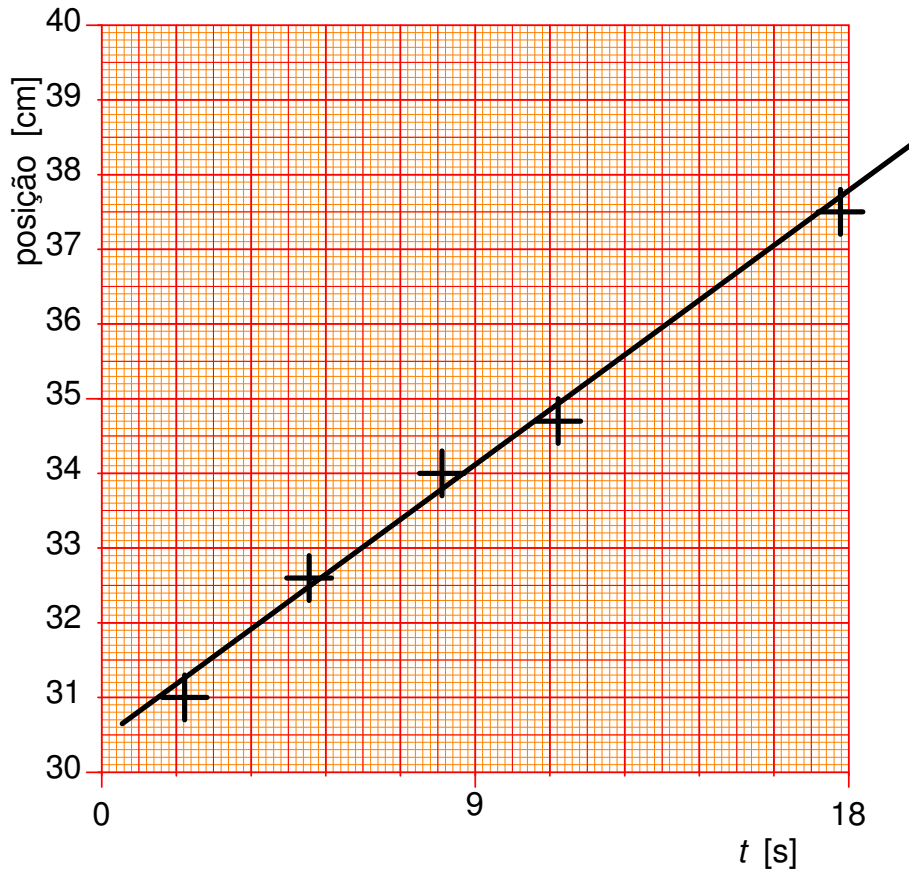


Fig. 9 Exemplo de um gráfico com péssima escolha de fator de escala no eixo t .

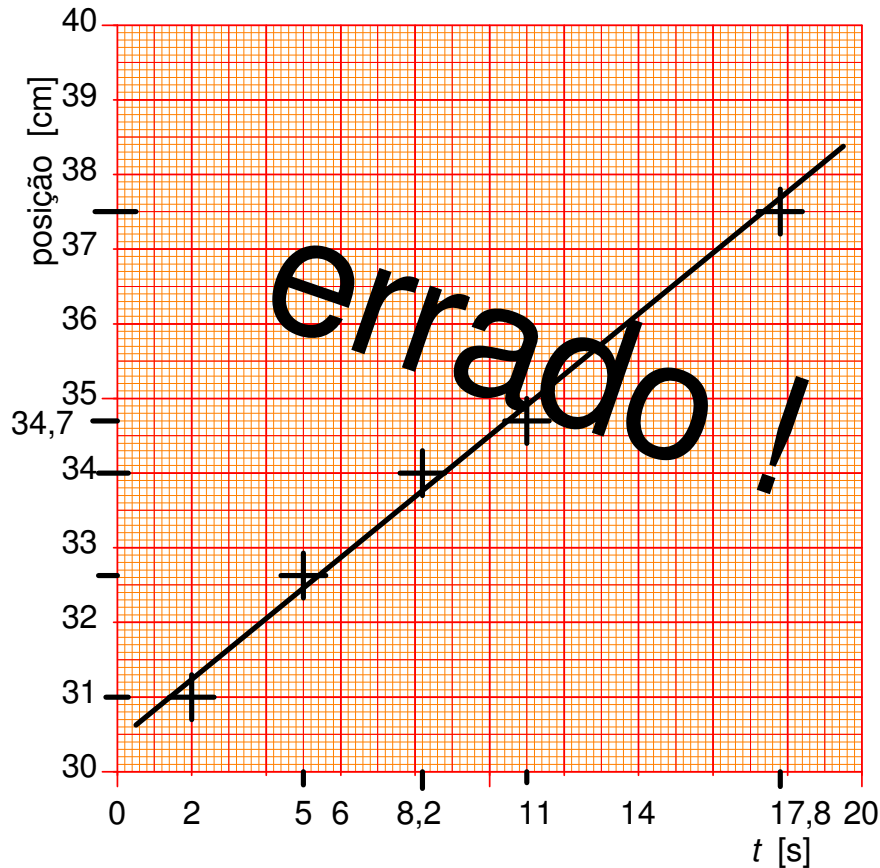


Exercício: Pegue um cronômetro e meça quanto tempo você leva para ler na reta de ajuste do gráfico 9 em que instante a partícula estaria na posição 36 cm. Depois meça o tempo de leitura no gráfico da figura 8 para determinar em que instante a partícula está na posição 34,5 cm. Experimente também com outros valores. Um gráfico serve para visualizar resultados rapidamente. O gráfico da figura 9 não cumpre esta função. Repare que uma escolha de fator de escala complicada dificulta não somente a vida da pessoa que quer ler um gráfico, mas também a sua vida quando você desenha os pontos experimentais.

2) Depois de escolher os fatores de escala e antes de marcar os pontos experimentais, crie escalas nos eixos e indique as grandezas e unidades representadas. As escalas ajudam você na hora de lançar os pontos da mesma forma como as placas nas casas ajudam o carteiro na entrega das cartas. A escala é uma seqüência regular de valores, ela não é o conjunto dos valores experimentais! Os valores

experimentais não devem aparecer nos eixos, pois eles atrapalham a visibilidade da escala. Veja o exemplo errado:

Fig. 10 Escalas nota ZERO !

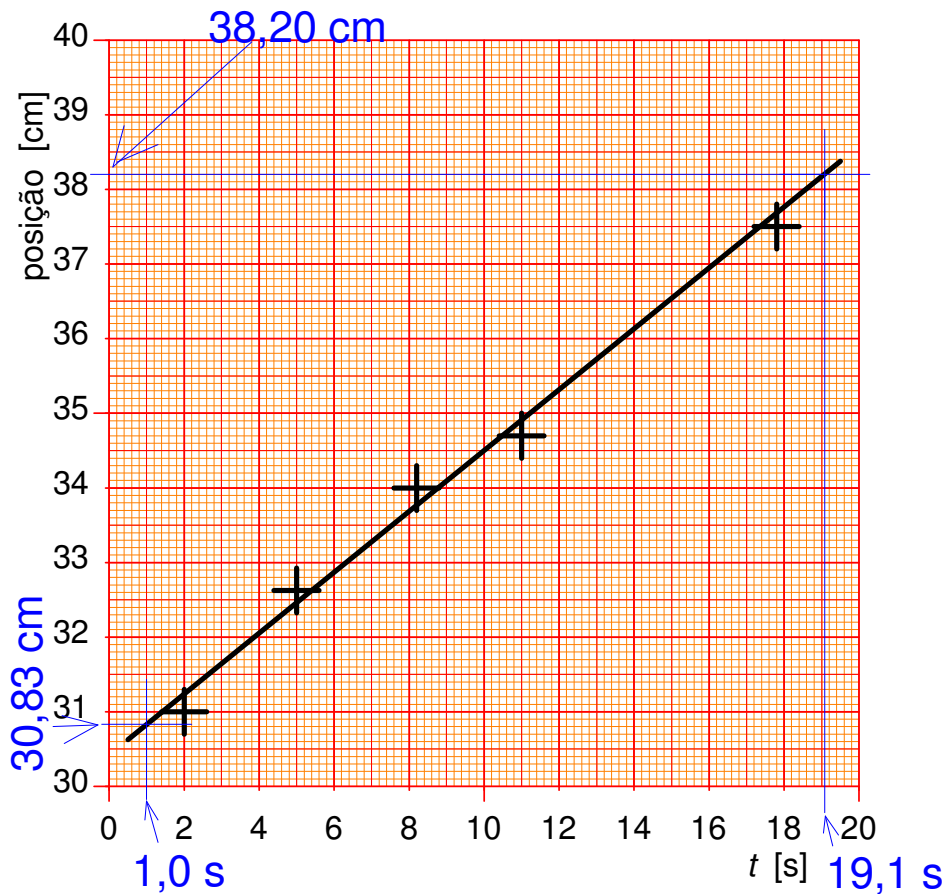


3) Com as escalas desenhadas podemos marcar os pontos experimentais. Para os matemáticos um ponto é definido pela intersecção de duas retas. Não faça bolinhas! Bolinhas pequenas podem desaparecer embaixo de uma curva de ajuste e bolas grandes permitem pouca precisão de desenho. O ideal são os símbolos “+”. Quando um gráfico contém mais de um conjunto de dados é bom usar um tipo de símbolo para cada conjunto. Podemos por exemplo usar: \times , \oplus , \otimes , \square .

4) Frequentemente temos dados que podem ser correlacionados com uma relação afim, isto é uma lei do tipo $y = A + Bx$. Isto corresponde a uma reta no gráfico. Há técnicas sofisticadas, como o método dos mínimos quadrados, para escolher os parâmetros A (o

intercepto) e B (a inclinação) da melhor maneira. Mas, muitas vezes um ajuste feito “artisticamente” permite uma determinação bastante confiável e rápida destes parâmetros. Especialmente o parâmetro B é frequentemente de interesse na física experimental. Nunca use um par de pontos experimentais para determinar a inclinação. Use dois pontos bem afastados na reta. A reta representa “democraticamente” todas as medidas. Veja o exemplo:

Fig. 11 Determinação da inclinação de reta de ajuste



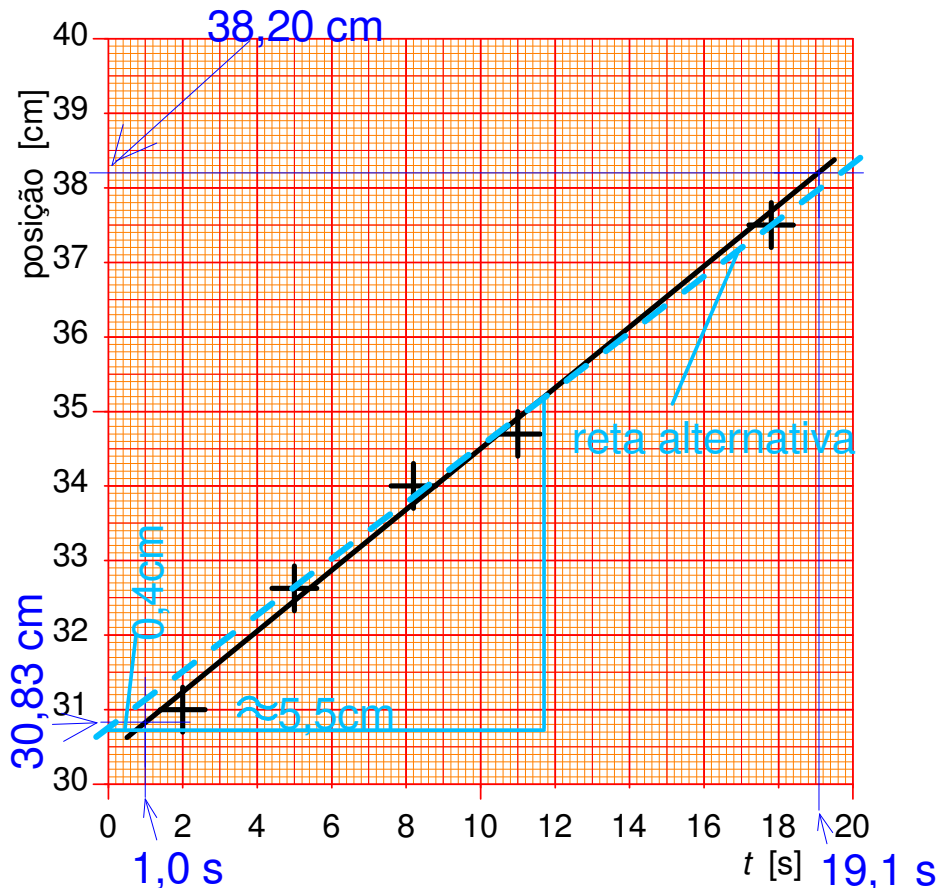
Do gráfico lemos a inclinação que corresponde à velocidade da partícula:

$$B = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{38,20 \text{ cm} - 30,83 \text{ cm}}{19,1 \text{ s} - 1,0 \text{ s}} = 0,407 \frac{\text{cm}}{\text{s}} \quad (1.1)$$

5) Estimativa gráfica da incerteza da inclinação. Para avaliar a incerteza do parâmetro B podemos acrescentar uma segunda reta de ajuste que é girada em relação à primeira. Esta *reta alternativa* não se ajusta tão bem aos dados, mas ela não deve ser absurdamente afastada. Experimentando com uma régua transparente você descobre facilmente que todo mundo chega mais ou menos na mesma avaliação. O método é bastante confiável. Para determinar a incerteza de B pode-se repetir o procedimento descrito no item anterior com a reta alternativa, o que fornece um B alternativo. A incerteza da inclinação seria então

$\delta B = |B^{\text{reta alternativa}} - B^{\text{melhor reta}}|$. Pode-se usar também um método mais rápido usando incertezas relativas, como indicado na figura 12:

Fig. 12 Determinação da incerteza da inclinação com reta alternativa



Para avaliar a diferença percentual das duas inclinações, medimos com uma régua um lado de um triângulo formado de uma horizontal, uma vertical e pela melhor reta. O triângulo deve ter o ponto de intersecção da melhor reta e da reta alternativa como um dos vértices. Medimos em seguida quanto um dos lados se altera quando substituirmos a melhor reta pela reta alternativa. Estas medidas podem ser feitas com régua em centímetros, polegadas ou qualquer unidade independente das unidades e fatores de escala no gráfico. Na figura escrevemos os valores correspondentes para explicar o método, mas você não deve escrever estas medidas nos seus gráficos para mantê-los com mais visibilidade. No nosso exemplo obtemos a incerteza relativa da inclinação:

$$\frac{\delta B}{|B|} = \frac{0,4 \text{ cm}}{5,5 \text{ cm}} \approx 7\% \quad (1.2)$$

7% de 0,407 cm/s é aproximadamente 0,03 cm/s. Desta forma o resultado será:

$$B = (0,41 \pm 0,03) \text{ cm/s} \quad (1.3)$$

O ponto de intersecção das duas retas não pode ser determinado com muita precisão, de tal forma que o dado 5,5 cm é bastante incerto. Mas, devemos lembrar que avaliação de erro não requer muita precisão. As estimativas de erro obtidas com este método costumam ficar perto de duas vezes o desvio padrão que se obtém com o método de mínimos quadrados. Se tivéssemos aplicado o método dos mínimos quadrados no conjunto de dados representados nas figuras 8 – 12 teríamos obtido o resultado

$$B = (0,40 \pm 0,02) \text{ cm/s} \quad (1.4)$$

Use os dados da tarefa 2 para praticar e determine uma inclinação para uma reta de ajuste. Neste caso sabemos que a reta deve passar pelo ponto zero e podemos impor esta condição na hora de ajustar a melhor reta e a reta alternativa.