

Física Experimental I

Confecção e Análise de Gráficos Experimentais

Papel milimetrado, Excel, Excel Online e LibreOffice Calc

Resumo teórico e guia prático

Sumário

1	Por que utilizar gráficos em Física Experimental?	3
2	Elementos essenciais de um gráfico experimental	3
2.1	Variável independente e variável dependente	3
2.2	Identificação dos eixos e unidades	3
2.3	Escala	3
2.4	Pontos experimentais	4
2.5	Barras de incerteza	4
3	Tipos de gráfico	4
3.1	Gráfico comum ou linear	4
3.2	Gráfico monolog ou semilogarítmico	4
3.3	Gráfico dilog ou log-log	5
4	Construção manual em papel milimetrado	5
4.1	Escolha da região útil da folha	5
4.2	Os eixos precisam começar em zero?	6
4.3	Procedimento recomendado	6
5	Reta média	6
6	Coeficiente angular pelo método da tangente	7
7	Gráficos em planilhas eletrônicas	7
7.1	Organização dos dados	7
8	O tipo correto: Dispersão XY	8
8.1	Por que não utilizar gráfico de linhas?	8
9	Procedimento no Microsoft Excel e Excel Online	8
10	Procedimento no LibreOffice Calc	8
11	Escalas no computador	9
12	Linha de tendência e regressão linear	9
12.1	Reta média manual versus regressão	10
13	Coeficiente de determinação R^2	10

14 Não forçar a reta pela origem sem justificativa	10
15 Gráficos monolog no computador	10
15.1 Transformação explícita	10
15.2 Escala logarítmica no eixo	11
16 Gráficos dialog no computador	11
17 Barras de erro em planilhas	11
18 Algarismos significativos	11
19 Aparência de um bom gráfico científico	12
20 Comparação entre papel milimetrado e planilha	12
21 Erros comuns	12
22 Roteiro de verificação antes de entregar um gráfico	13
23 Ideia central	13

1. Por que utilizar gráficos em Física Experimental?

Em Física Experimental, um gráfico não é apenas uma forma de apresentar dados. Ele é uma ferramenta de análise quantitativa. Uma representação gráfica bem construída permite:

- visualizar a relação entre duas grandezas;
- identificar tendências e regiões de comportamento distinto;
- verificar se os resultados são compatíveis com um modelo teórico;
- reconhecer possíveis pontos discrepantes;
- estimar parâmetros físicos a partir da inclinação ou do intercepto de uma reta;
- comparar o comportamento experimental com previsões matemáticas.

Em muitos experimentos, procura-se verificar se duas grandezas podem ser relacionadas por uma expressão linear da forma

$$y = ax + b,$$

onde a é o coeficiente angular e b é o coeficiente linear. Em outros casos, relações não lineares podem ser transformadas para uma forma linear por meio de escalas ou transformações logarítmicas.

2. Elementos essenciais de um gráfico experimental

2.1. Variável independente e variável dependente

Por convenção, a variável independente é representada no eixo horizontal e a variável dependente no eixo vertical:

$$x \longrightarrow \text{eixo horizontal}, \quad y \longrightarrow \text{eixo vertical}.$$

Se a posição de um corpo é medida em diferentes instantes, por exemplo, o tempo é normalmente tratado como variável independente e a posição como variável dependente. Escrevemos, então,

$$s = f(t).$$

2.2. Identificação dos eixos e unidades

Cada eixo deve indicar claramente a grandeza representada, seu símbolo e sua unidade. Exemplos:

$$t \text{ (s)}, \quad s \text{ (m)}, \quad F \text{ (N)}.$$

Também se pode escrever de forma mais descritiva, como *Tempo* t (s) ou *Posição* s (m).

As unidades devem aparecer no título do eixo e não repetidas junto a cada número da escala.

2.3. Escala

A escala estabelece quanto cada divisão do gráfico representa. Uma boa escala deve ser simples, legível e utilizar adequadamente o espaço disponível. São particularmente convenientes valores baseados em

$$1, \quad 2, \quad 5$$

multiplicados por potências de dez.

Exemplos práticos:

$$1 \text{ cm} = 1 \text{ s}, \quad 1 \text{ cm} = 2 \text{ s}, \quad 1 \text{ cm} = 5 \text{ N}.$$

Escalas como $1 \text{ cm} = 3,7 \text{ s}$ devem ser evitadas quando houver alternativa razoável, pois tornam a marcação e a leitura dos pontos desnecessariamente trabalhosas.

2.4. Pontos experimentais

Cada par de medidas (x_i, y_i) corresponde a um ponto do gráfico. O marcador deve ser suficientemente visível, mas não tão grande a ponto de dificultar a leitura precisa da posição.

Os pontos experimentais não devem ser unidos automaticamente por segmentos quando o objetivo é determinar uma relação funcional entre as grandezas. A sequência de segmentos que liga cada ponto ao seguinte não é, em geral, um modelo físico.

2.5. Barras de incerteza

Quando as incertezas são conhecidas, uma medida

$$x = x_i \pm \Delta x$$

pode ser representada por uma barra horizontal, enquanto

$$y = y_i \pm \Delta y$$

pode ser representada por uma barra vertical.

As barras de erro permitem avaliar visualmente se a dispersão observada é compatível com as incertezas experimentais e se uma reta ou curva proposta é razoável para o conjunto de dados.

3. Tipos de gráfico

3.1. Gráfico comum ou linear

No gráfico comum, ambos os eixos apresentam escala linear. Distâncias iguais representam diferenças iguais da grandeza. Assim, os valores

$$0, 1, 2, 3, 4$$

são igualmente espaçados.

Esse gráfico é especialmente útil quando se espera uma relação do tipo

$$y = ax + b.$$

Se o modelo for adequado, os pontos deverão se distribuir aproximadamente ao redor de uma reta.

3.2. Gráfico monolog ou semilogarítmico

No gráfico monolog, um eixo é linear e o outro é logarítmico. Uma aplicação típica ocorre para relações exponenciais:

$$y = Ae^{kx}.$$

Aplicando o logaritmo natural,

$$\ln y = \ln A + kx.$$

Portanto, um gráfico de $\ln y$ em função de x deve ser aproximadamente linear. Também é possível manter os dados originais e utilizar diretamente uma escala logarítmica no eixo de y .

Em uma escala logarítmica, os valores

$$1, \quad 10, \quad 100, \quad 1000$$

aparecem igualmente espaçados. Cada intervalo correspondente a uma multiplicação por 10 é chamado de década.

Aplicações frequentes incluem descarga de capacitores, decaimento radioativo, atenuação e outros processos exponenciais.

3.3. Gráfico dilog ou log-log

No gráfico dilog, os dois eixos são logarítmicos. Ele é particularmente útil para relações de potência:

$$y = Ax^n.$$

Aplicando logaritmo,

$$\log y = \log A + n \log x.$$

Definindo

$$X = \log x, \quad Y = \log y,$$

obtemos uma relação linear:

$$Y = nX + \log A.$$

A inclinação da reta fornece diretamente o expoente n :

$$n = \frac{\Delta(\log y)}{\Delta(\log x)}.$$

Atenção. Escalas logarítmicas exigem valores positivos. O logaritmo real de zero ou de um número negativo não está definido.

4. Construção manual em papel milimetrado

4.1. Escolha da região útil da folha

Um gráfico não deve ser minúsculo em uma folha grande, mas também não é necessário forçá-lo a ocupar cada milímetro disponível. Como regra prática, é razoável utilizar aproximadamente 70% a 90% da largura e da altura úteis, desde que isso seja possível com escalas simples.

O objetivo é obter uma representação grande o suficiente para permitir leitura e análise, sem recorrer a escalas artificiais ou difíceis de interpretar.

4.2. Os eixos precisam começar em zero?

Não. Se os dados estiverem concentrados em uma faixa distante de zero, iniciar obrigatoriamente o eixo na origem pode desperdiçar grande parte do gráfico.

Por exemplo, para temperaturas entre 82°C e 91°C , pode ser mais adequado utilizar um eixo de 80°C a 92°C .

A escolha deve ser explícita e não pode induzir uma interpretação enganosa das diferenças entre os pontos.

4.3. Procedimento recomendado

1. Identifique as variáveis independente e dependente.
2. Determine os valores mínimos e máximos de cada grandeza.
3. Escolha escalas simples que ocupem adequadamente a folha.
4. Desenhe e identifique os eixos com grandezas e unidades.
5. Marque os valores da escala de forma regular.
6. Represente cada ponto experimental.
7. Acrescente barras de incerteza, quando disponíveis.
8. Analise visualmente a tendência dos dados.
9. Trace a reta média, quando o comportamento for aproximadamente linear.
10. Determine sua inclinação pelo método da tangente.

5. Reta média

Quando os dados apresentam comportamento aproximadamente linear, traça-se uma reta que represente a tendência global do conjunto. Em atividades introdutórias de laboratório, essa reta é frequentemente chamada de *reta média*.

Uma reta média:

- não precisa passar por todos os pontos;
- não precisa passar por um ponto experimental específico;
- não deve ser obtida simplesmente ligando o primeiro ao último ponto;
- deve levar em conta o conjunto completo das medidas;
- deve, visualmente, deixar uma distribuição aproximadamente equilibrada de pontos acima e abaixo dela.

Quando existem barras de erro, também é importante observar se a reta é compatível com as incertezas experimentais.

Observação. Em tratamentos mais avançados, a reta média visual é substituída por procedimentos matemáticos de ajuste, como a regressão por mínimos quadrados.

6. Coeficiente angular pelo método da tangente

Para uma reta

$$y = ax + b,$$

o coeficiente angular é

$$a = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}.$$

Depois de traçar a reta média, escolhem-se dois pontos $P_1 = (x_1, y_1)$ e $P_2 = (x_2, y_2)$ pertencentes à própria reta.

Esses pontos **não precisam ser pontos experimentais**. É preferível escolher coordenadas fáceis de ler e bastante afastadas entre si. Quanto maior for o triângulo utilizado, menor tende a ser a influência do erro de leitura.

Constrói-se então o triângulo de inclinação:

$$\Delta x = x_2 - x_1, \quad \Delta y = y_2 - y_1,$$

e calcula-se

$$a = \frac{\Delta y}{\Delta x}.$$

A unidade do coeficiente angular é determinada pelas unidades dos eixos:

$$[a] = \frac{[y]}{[x]}.$$

Exemplos de interpretação física:

- posição em função do tempo: a representa velocidade;
- velocidade em função do tempo: a representa aceleração;
- força em função da deformação: a representa a constante elástica;
- massa em função do volume: a representa a densidade.

7. Gráficos em planilhas eletrônicas

Microsoft Excel, Excel Online e LibreOffice Calc automatizam a marcação dos pontos, o ajuste de escalas e a regressão matemática. Entretanto, o programa não substitui as decisões físicas e experimentais do usuário.

Ainda cabe ao aluno decidir qual variável ocupará cada eixo, qual gráfico deve ser utilizado, qual modelo matemático é plausível e qual é o significado físico dos parâmetros obtidos.

7.1. Organização dos dados

Os dados devem ser colocados em colunas, com cabeçalhos claros. Um exemplo típico é:

Tempo t (s)	Posição s (m)
0,0	0,2
1,0	2,1
2,0	4,3
3,0	6,0
4,0	8,2

Em geral, a primeira coluna contém os valores de x e a segunda os valores de y .

8. O tipo correto: Dispersão XY

Para dados experimentais formados por pares numéricos (x_i, y_i) , o gráfico apropriado é normalmente o tipo **Dispersão (XY)**.

Nesse tipo de gráfico, cada observação é posicionada de acordo com seu valor numérico real nos dois eixos.

8.1. Por que não utilizar gráfico de linhas?

Considere valores de x iguais a

1, 2, 5, 10.

Em um gráfico de linhas, o eixo horizontal pode ser tratado como uma sequência de categorias igualmente espaçadas. Nesse caso, 1, 2, 5 e 10 podem aparecer separados pela mesma distância horizontal, o que não representa corretamente a escala numérica.

No gráfico de Dispersão XY, a distância horizontal entre os pontos é proporcional à diferença real entre os valores de x .

Atenção. Para pares de grandezas físicas numéricas, utilizar Dispersão XY. O fato de um programa oferecer a opção de ligar os pontos não significa que ela deva ser usada.

9. Procedimento no Microsoft Excel e Excel Online

Uma sequência típica é:

1. Organize x e y em colunas.
2. Selecione os dados.
3. Acesse **Inserir**.
4. Escolha **Dispersão (X,Y)**.
5. Utilize preferencialmente a opção com **somente marcadores**.
6. Insira os títulos dos eixos e suas unidades.
7. Formate os limites mínimo e máximo de cada eixo, quando necessário.
8. Adicione barras de erro, se as incertezas forem conhecidas.
9. Adicione uma linha de tendência quando houver justificativa física.

No Excel Online, a lógica é a mesma, embora a localização exata de algumas opções possa variar em relação à versão instalada.

10. Procedimento no LibreOffice Calc

Uma sequência típica é:

1. Organize os dados em colunas.
2. Selecione a região contendo x e y .
3. Acesse **Inserir** → **Gráfico**.
4. Escolha o tipo **XY (Dispersão)**.
5. Selecione preferencialmente a opção contendo apenas pontos.
6. Confira quais colunas foram atribuídas a x e y .
7. Insira títulos dos eixos e unidades.
8. Ajuste os limites e intervalos dos eixos quando necessário.

11. Escalas no computador

Os programas escolhem automaticamente valores mínimos, máximos e intervalos para os eixos. Essa escolha automática é apenas uma sugestão e deve ser verificada.

Pode ser necessário modificar:

- valor mínimo;
- valor máximo;
- intervalo principal;
- subdivisões;
- tipo de escala: linear ou logarítmica.

Assim como no papel, os eixos não precisam começar em zero, desde que a escolha seja apropriada e fique claramente indicada.

12. Linha de tendência e regressão linear

Quando os dados são aproximadamente lineares, as planilhas permitem inserir uma *linha de tendência linear*. O ajuste corresponde, em geral, a uma regressão pelo método dos mínimos quadrados.

Para

$$y = ax + b,$$

a planilha pode apresentar diretamente os valores de a e b por meio da equação da linha de tendência.

Exemplo:

$$y = 2,03x + 0,12.$$

Nesse caso,

$$a = 2,03, \quad b = 0,12.$$

A interpretação física depende das grandezas representadas. Em um gráfico $s \times t$,

$$s = vt + s_0,$$

de modo que o coeficiente angular representa a velocidade e o coeficiente linear representa a posição inicial.

12.1. Reta média manual versus regressão

No papel, a reta média é determinada visualmente. Na planilha, a regressão é obtida matematicamente a partir de todos os pontos. Por isso, os resultados podem não ser exatamente iguais.

Pequenas diferenças são esperadas devido à escolha manual da reta, à espessura do traço, à resolução da escala e à leitura dos pontos usados no triângulo da tangente.

13. Coeficiente de determinação R^2

Uma regressão pode ser acompanhada pelo coeficiente de determinação R^2 . Em um ajuste linear, um valor próximo de 1 indica que a dispersão em relação à reta é pequena.

Por exemplo,

$$R^2 = 0,998$$

indica forte concordância numérica com um comportamento linear.

Entretanto, R^2 não deve ser interpretado isoladamente. Um valor elevado não prova que o modelo físico escolhido é correto. Também devem ser considerados a teoria, as incertezas, a faixa de dados e possíveis efeitos sistemáticos.

14. Não forçar a reta pela origem sem justificativa

Muitas planilhas permitem impor

$$b = 0,$$

obrigando a regressão a assumir a forma

$$y = ax.$$

Esse procedimento só deve ser utilizado quando houver justificativa física e experimental. Um intercepto pequeno, porém diferente de zero, pode indicar erro de zero, efeito sistemático, limitação instrumental ou algum efeito não incluído no modelo.

Uma prática recomendável é realizar inicialmente o ajuste com b livre, analisar o resultado e somente depois avaliar se faz sentido impor a passagem pela origem.

15. Gráficos monolog no computador

Considere novamente

$$y = Ae^{kx}.$$

Há duas maneiras principais de trabalhar com essa relação.

15.1. Transformação explícita

Cria-se uma nova coluna contendo

$$Y = \ln y$$

e constrói-se um gráfico XY de Y em função de x . A equação ajustada terá a forma

$$Y = kx + \ln A.$$

Esse procedimento é particularmente didático porque torna evidente a linearização matemática.

15.2. Escala logarítmica no eixo

Outra possibilidade é manter y original e configurar o eixo correspondente como logarítmico. O gráfico passa a ter a mesma interpretação visual de um papel monolog.

16. Gráficos dilog no computador

Para uma lei de potência

$$y = Ax^n,$$

podem ser criadas duas novas colunas:

$$X = \log x, \quad Y = \log y.$$

A regressão linear de Y em função de X fornece

$$Y = nX + \log A.$$

Assim,

$$n = \text{coeficiente angular},$$

e o coeficiente linear permite determinar A .

Também é possível manter os valores originais e configurar os dois eixos como logarítmicos.

17. Barras de erro em planilhas

Se as incertezas forem conhecidas, devem ser inseridas barras de erro correspondentes. Elas podem ser constantes para todos os pontos ou individualizadas quando cada medida possui sua própria incerteza.

A representação de incertezas permite avaliar melhor a compatibilidade entre os dados e o ajuste. Um ponto aparentemente distante da reta pode, por exemplo, ainda ser compatível com ela dentro de sua incerteza experimental.

18. Algarismos significativos

A planilha pode apresentar resultados como

$$y = 2,0374628x + 0,117583.$$

Isso não significa que o experimento determinou esses parâmetros com sete algarismos significativos. A apresentação final deve ser compatível com a precisão dos dados e das incertezas.

Por exemplo, uma forma mais razoável poderia ser

$$y = 2,04x + 0,12.$$

O computador calcula muitas casas decimais; o experimentador decide quantas são fisicamente justificáveis.

19. Aparência de um bom gráfico científico

Um gráfico científico deve privilegiar clareza, e não decoração. Em geral, recomenda-se:

- fundo simples;
- fontes legíveis;
- marcadores facilmente identificáveis;
- eixos com grandezas e unidades;
- linha de ajuste claramente distinguível dos pontos;
- linhas de grade discretas, quando úteis;
- número adequado de casas decimais;
- ausência de efeitos tridimensionais sem significado físico.

Também devem ser evitados sombras, perspectivas, fundos decorativos e excesso de informações que não contribuam para a interpretação.

20. Comparação entre papel milimetrado e planilha

Papel milimetrado	Planilha eletrônica
Escala escolhida manualmente	Escala inicialmente automática, mas ajustável
Pontos marcados manualmente	Pontos inseridos automaticamente
Reta média visual	Regressão ou linha de tendência
Inclinação pelo triângulo	Inclinação pela equação ou pelo triângulo
Maior influência de erros de leitura	Maior precisão numérica
Excelente para compreender a geometria do método	Excelente para análise rápida de conjuntos maiores de dados

Os dois procedimentos são complementares. O papel ajuda a compreender geometricamente o significado de $\Delta y/\Delta x$, enquanto a planilha permite automatizar cálculos e regressões.

21. Erros comuns

1. Utilizar gráfico de linhas em vez de Dispersão XY.
2. Inverter as variáveis dependente e independente.
3. Esquecer as unidades dos eixos.
4. Utilizar escalas que desperdiçam grande parte da região útil.
5. Aceitar automaticamente todos os limites escolhidos pelo programa.
6. Ligar os pontos experimentais sem justificativa física.
7. Confundir segmentos entre pontos com uma reta de ajuste.
8. Calcular a inclinação usando dois pontos experimentais em vez de dois pontos da reta média.
9. Escolher pontos muito próximos para o método da tangente.

10. Forçar a regressão a passar pela origem sem justificativa.
11. Utilizar uma linha de tendência incompatível com o modelo físico.
12. Interpretar R^2 próximo de 1 como prova de uma teoria.
13. Copiar a equação da planilha sem determinar as unidades dos coeficientes.
14. Apresentar número excessivo de casas decimais.
15. Utilizar efeitos gráficos decorativos que dificultam a leitura.

22. Roteiro de verificação antes de entregar um gráfico

Antes de considerar o gráfico concluído, verifique:

- A variável independente está no eixo horizontal?
- Os eixos estão identificados com grandezas e unidades?
- A escala utiliza adequadamente a região disponível?
- Os pontos experimentais estão claramente marcados?
- As barras de erro foram incluídas quando necessárias?
- Os pontos não foram simplesmente ligados?
- A reta ou curva utilizada é compatível com o modelo físico?
- Os pontos usados no método da tangente pertencem à reta média?
- O triângulo da tangente é suficientemente grande?
- O coeficiente angular possui unidade e interpretação física?
- A regressão foi forçada pela origem apenas se houver justificativa?
- O número de algarismos significativos é razoável?
- O valor de R^2 está sendo interpretado apenas como indicador estatístico, e não como prova do modelo?

23. Ideia central

A planilha eletrônica pode calcular rapidamente uma reta, uma curva ou um valor de R^2 . Isso não significa que ela compreenda o experimento. A construção e a análise de um gráfico continuam exigindo decisões físicas: quais grandezas comparar, qual escala utilizar, qual modelo testar e como interpretar os parâmetros obtidos.

O objetivo final não é produzir uma figura visualmente agradável. É transformar medidas experimentais em informação física.