



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental

1ª Fase - 20 e 21 de setembro de 2025

Nome: _____

Série: _____

Nível MD
Ensino Médio
1ª a 3ª série

Instruções de Prova

- I. Esta prova destina-se exclusivamente aos alunos da **1ª a 3ª série do ensino médio**. Ela contém **20** questões.
- II. Cada questão tem 5 alternativas de resposta e apenas uma delas é correta.
- III. A duração máxima desta prova é de **quatro horas**. Além do tempo de prova, serão concedidos **5 minutos** correspondentes ao preenchimento online do gabarito.
- IV. É permitido o uso de calculadoras.
- V. A prova deve ser feita individualmente e não é permitido falar sobre a solução das questões durante o período de aplicação da prova **dias 20 e 21 de setembro de 2025**.
- VI. Se necessário, e a menos que indicado ao contrário, use: aceleração gravitacional na superfície da terra $g = 10 \text{ m/s}^2$; calor específico da água líquida $c_a = 1 \text{ cal/(g}^\circ\text{C)}$; calor latente de fusão do gelo $L = 80 \text{ cal/g}$; $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$; densidade da água líquida $\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3$.

Apoio:





Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental

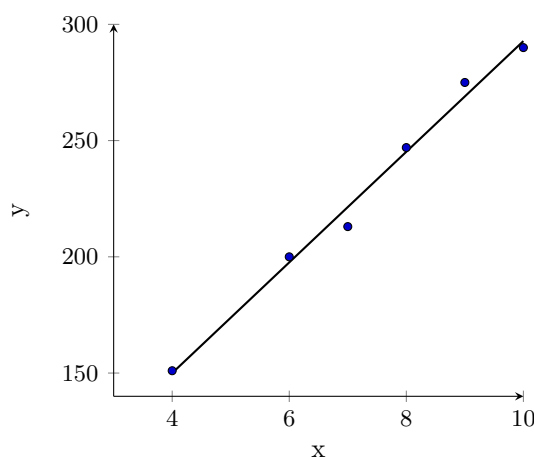


Curiosidades:

Marcelo Damy de Souza Santos (Campinas, 14 de julho de 1914 – São Paulo, 29 de novembro de 2009) foi um dos mais importantes físicos experimentais do Brasil, pioneiro no campo da física nuclear e de reatores. Professor e diretor do Instituto de Física da USP, foi membro da Academia Brasileira de Ciências e peça-chave na criação do Instituto de Energia Atômica (atual IPEN). Liderou a equipe responsável pelo projeto e construção do primeiro reator nuclear da América Latina, o IEA-R1, inaugurado em 1957. Suas pesquisas sobre raios cósmicos e física de nêutrons são de grande relevância. Foi agraciado com a Grã-Cruz da Ordem Nacional do Mérito Científico, deixando um legado indelével para a ciência e tecnologia nuclear no país.



Questão 1. Guilherme Del Carta fez a prova da OBF experimental de 2052. Ao ver suas notas, percebeu que ele não recebeu pontuação completa no seguinte gráfico. Qual(is) erro(s) Guilherme cometeu que devem ter gerado essa penalização? Aqui está uma foto do gráfico feito por Guilherme:



- a) Falta de cores no gráfico.
- b) Não escrever, dentro do gráfico, o valor numérico exato dos dados de cada ponto.
- c) Não escrever, dentro do gráfico, o número de pontos tomados, explicitamente em algum lugar.
- d) A falta de título, legenda e barras de erro.
- e) Com certeza os dados não estão precisos.

Solução: Um gráfico científico completo deve apresentar claramente todas as informações do experimento. Analisando o gráfico de Guilherme:

- **Falta um Título:** O gráfico não informa o que está sendo medido (ex: "Posição vs. Tempo").
- **Faltam Unidades nos Eixos:** Os eixos são apenas "x" e "y", sem especificar as unidades de medida (ex: metros, segundos, etc.).
- **Falta uma Legenda:** Não há indicação do que os pontos e a reta representam.
- **Faltam Barras de Erro:** Em um gráfico experimental, é fundamental representar as incertezas das medidas através de barras de erro nos pontos.

A alternativa (d) engloba os erros mais significativos e essenciais para a representação de dados experimen-



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental



tais. As outras alternativas descrevem práticas que não são obrigatórias (cores) ou até mesmo desaconselhadas (escrever valores numéricos no gráfico). **Item D**

Questão 2. Trufas Larates está analisando um movimento de MRU. Porém, Trufas está com preguiça e por isso só irá medir o tempo da partícula (a velocidade já era conhecida). Assim, pela equação do MRU, ele descobria o valor da posição. Determine a incerteza da posição obtida por meio desse método. Observação: $\sigma_t = 0,5 \text{ s}$, $v = 2 \text{ m/s}$ e a incerteza de v é desprezível.

- a) 0,25 m
- b) 0,5 m
- c) 1 m
- d) 2 m
- e) 4 m

Solução: Normalmente, a incerteza de x é dada como:

$$\sigma_x = \sqrt{(v\sigma_t)^2 + (\sigma_v t)^2}$$

Como a incerteza de v é desprezível, a expressão da incerteza de x é:

$$\sigma_x = v\sigma_t = (2 \text{ m/s}) \cdot (0,5 \text{ s}) = 1 \text{ m}$$

Item C

Texto para as questões 9 e 10: Jabriel Gemétrio fez um experimento de um circuito RC e registrou seus dados em uma tabela. Infelizmente, Jabriel é muito desastrado e acaba derrubando sua tinta preta de polvo que guardava em casa em alguns dados na tabela. Por questão de facilidade, a tais dados apagados foram chamados de letras e estão na tabela a seguir:

Dica: Sabe-se que, em um circuito RC: $V = V_0 e^{-t/\tau}$, onde $\tau = RC$.

Tabela 1: Medições de voltagem $V(t)$ ao longo do tempo com incertezas.

Medida	Tempo $t \pm \Delta t$ (s)	Voltagem $V \pm \Delta V$ (V)
1	0.00 ± 0.05	5.00 ± 0.05
2	0.50 ± 0.05	3.80 ± 0.05
3	1.00 ± 0.05	$A \pm 0.05$
4	1.50 ± 0.05	2.20 ± 0.05
5	2.00 ± 0.05	1.65 ± 0.05
6	2.50 ± 0.05	1.25 ± 0.05
7	3.00 ± 0.05	0.95 ± 0.05
8	3.5 ± 0.05	0.72 ± 0.05
9	4.00 ± 0.05	$B \pm 0.05$
10	4.50 ± 0.05	0.42 ± 0.05

Questão 3. Por meio de uma regressão com os dados plotados, determine os valores aproximados de τ e V_0 .

- a) $\tau = 1,21 \text{ s}$ e $V_0 = 4,99 \text{ V}$



- b) $\tau = 1,41 \text{ s}$ e $V_0 = 4,9 \text{ V}$
- c) $\tau = 1,00 \text{ s}$ e $V_0 = 4,99 \text{ V}$
- d) $\tau = 1,21 \text{ s}$ e $V_0 = 4,9 \text{ V}$
- e) $\tau = 1,81 \text{ s}$ e $V_0 = 4,99 \text{ V}$

Solução: Podemos linearizar a função por meio de logaritmos:

$$\ln(V) = \ln(V_0) - \frac{t}{\tau}$$

Reorganizando para a forma $y = a + bx$, temos $\ln(V)$ como y e t como x . O coeficiente angular será $b = -1/\tau$ e o linear será $a = \ln(V_0)$. Realizando uma regressão linear com os pontos $(t, \ln(V))$ disponíveis, encontramos os coeficientes da reta. A partir deles:

$$\tau = -1/b \approx 1,81 \text{ s}$$

$$V_0 = e^a \approx 4,99 \text{ V}$$

Item E

Questão 4. Descubra os valores esperados dos dados A e B, utilizando a sua resposta do item anterior.

- a) $A \approx 2,18 \text{ V}$ e $B \approx 0,18 \text{ V}$
- b) $A \approx 2,41 \text{ V}$ e $B \approx 0,29 \text{ V}$
- c) $A \approx 1,84 \text{ V}$ e $B \approx 0,09 \text{ V}$
- d) $A \approx 2,14 \text{ V}$ e $B \approx 0,18 \text{ V}$
- e) $A \approx 2,88 \text{ V}$ e $B \approx 0,55 \text{ V}$

Solução: Agora que temos os valores de τ e V_0 , podemos usar a equação do circuito RC:

$$V(t) \approx 4,99 \cdot e^{-t/1,81} \text{ V}$$

Para o dado A, $t = 1,00 \text{ s}$:

$$A = V(1,00) \approx 4,99 \cdot e^{-1,00/1,81} \approx 2,88 \text{ V}$$

Para o dado B, $t = 4,00 \text{ s}$:

$$B = V(4,00) \approx 4,99 \cdot e^{-4,00/1,81} \approx 0,55 \text{ V}$$

Item E

Questão 5. Sidoro está cozinhando no fogão. Ao ver a receita da comida, ele percebe que a mesma deve ficar em uma temperatura de 100°C . Porém, Sidoro apenas tem acesso à temperatura do fogo que sai do fogão, que é diferente da temperatura da comida, e o mesmo não tem nenhum termômetro adequado para medir a temperatura da comida. Qual a melhor maneira que Sidoro pode progredir para tentar chegar na temperatura certa? Dado: o termômetro do fogão tem incerteza $\sigma_f = 5^\circ\text{C}$.

- a) Construir um termômetro caseiro que mede a temperatura da comida com incerteza de $\sigma_T = 5^\circ\text{C}$ e ajustar a temperatura da comida até ela chegar em $T = 100^\circ$.
- b) Calcular, por meio de um modelo teórico, que a temperatura do fogão deve ser $(10 \pm 4)^\circ\text{C}$ maior que 100°C para que a comida fique na temperatura correta (100°C).



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental



- c) Calcular, por meio de um modelo teórico, que a temperatura do fogão deve ser $(10 \pm 4)^\circ\text{C}$ menor que 100°C para que a comida fique na temperatura correta (100°C).
- d) Fechar janelas e desligar ar condicionados para reduzir tal diferença de temperatura.
- e) Temperar a comida com sais minerais para assim diminuir tal diferença de temperatura.

Solução: Vamos analisar as incertezas dos métodos. O método (a) envolve medir diretamente a temperatura da comida com um termômetro de incerteza $\sigma_T = 5^\circ\text{C}$. A incerteza final é a do próprio instrumento, 5°C .

O método (b) envolve usar o termômetro do fogão e um modelo teórico. A temperatura final da comida dependerá da temperatura do fogão (com incerteza $\sigma_f = 5^\circ\text{C}$) e do modelo (com incerteza $\sigma_{\text{modelo}} = 4^\circ\text{C}$). A incerteza total seria a propagação desses erros:

$$\sigma_{\text{final}} = \sqrt{\sigma_f^2 + \sigma_{\text{modelo}}^2} = \sqrt{5^2 + 4^2} = \sqrt{25 + 16} = \sqrt{41} \approx 6,4^\circ\text{C}$$

Como a incerteza do método (a) (5°C) é menor que a do método (b) ($\approx 6,4^\circ\text{C}$), o primeiro método é mais preciso.

Item A

Leia o texto a seguir para as próximas duas questões: É bem comum que, em jogos eletrônicos, um certo personagem precise de uma certa quantidade de "experiência" (cujo valor vamos chamar de E) para subir um "nível" (que vamos chamar de N). Porém, é também comum que a quantidade de experiência necessária para subir um nível cresça com o passar dos níveis. Suponha um jogo cujo E depende de N, aproximadamente, na forma $E = A2^{BN}$ (onde E é a experiência necessária para chegar no nível $N + 1$). Nele, um jovem registra os seguintes dados:

Tabela: Valores de E para cada N

N	E
1	2
2	5
3	9
4	18
5	37
6	74
7	150
8	290
9	590
10	1170

Questão 6. Determine o valor aproximado dos coeficientes A e B:

- a) $A = 1,11$ e $B = 1,01$
- b) $A \approx 0,159$ e $B = 1,01$
- c) $A = 1,50$ e $B = 1,50$
- d) $A = 0,30$ e $B = 1,01$
- e) $A = 1,23$ e $B = 1,01$



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental



Solução: Podemos linearizar a função aplicando $\log_2$ em ambos os lados:

$$\log_2(E) = \log_2(A \cdot 2^{BN}) = \log_2(A) + BN$$

Esta é uma equação da reta $y = a + bx$, onde $y = \log_2(E)$, $x = N$, $a = \log_2(A)$ (coeficiente linear) e $b = B$ (coeficiente angular). Fazendo uma regressão linear com os pontos $(N, \log_2(E))$, obtemos $a \approx 0,149$ e $b \approx 1,01$. Assim:

$$B = b \approx 1,01$$

$$\log_2(A) = a \implies A = 2^a \approx 2^{0,149} \approx 1,11$$

Item A

Questão 7. Escolha a opção que mais se aproxima da quantidade de experiência necessária para que o personagem suba do nível 11 até o nível 15. Use os valores da sua resposta do item anterior.

- a) 17400.
- b) 27400.
- c) 37400.
- d) 47400.
- e) 57400.

Solução: A experiência necessária para ir do nível 11 ao 15 é a soma da experiência para atingir os níveis 12, 13, 14 e 15. A experiência para atingir o nível $N + 1$ é dada por $E(N) = A \cdot 2^{BN}$. Usando $A = 1,11$ e $B = 1,01$:

$$E_{\text{total}} = E(11) + E(12) + E(13) + E(14)$$

$$E_{\text{total}} = 1,11 \cdot (2^{1,01 \cdot 11} + 2^{1,01 \cdot 12} + 2^{1,01 \cdot 13} + 2^{1,01 \cdot 14}) = 37380 \approx 37400$$

Item C

Questão 8. Um certo ventilador de teto gira, em média, $\Delta\theta = (300 \pm 5)^\circ$ por segundo. A potência média registrada no manual desse ventilador é de $P = (60 \pm 3)W$. Sendo assim, determine, em média, a energia gasta de um ventilador ao realizar uma volta completa, junto com sua respectiva incerteza.

- a) $(60 \pm 4) J$
- b) $(72 \pm 4) J$
- c) $(60 \pm 3) J$
- d) $(72 \pm 3) J$
- e) $(48 \pm 3) J$

Solução: Primeiro, calculamos o tempo para uma volta completa (360°): $t = 360^\circ / (300^\circ/s) = 1,2 s$. Com esse tempo, a energia média gasta é $E = P \cdot t = 60 W \cdot 1,2 s = 72 J$.

Para a incerteza, usamos a propagação de erro para a equação $E = 360 \cdot P/\omega$:

$$\left(\frac{\sigma_E}{E}\right)^2 = \left(\frac{\sigma_P}{P}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_\omega}{\omega}\right)^2$$



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental



Substituindo os valores:

$$\left(\frac{\sigma_E}{72}\right)^2 = \left(\frac{3}{60}\right)^2 + \left(\frac{5}{300}\right)^2 \approx 0,002778$$

Isso resulta em uma incerteza $\sigma_E = 72 \cdot \sqrt{0,002778} \approx 3,8 \text{ J}$. Arredondando, a incerteza é de 4 J. O resultado final é $(72 \pm 4) \text{ J}$.

Item B

Leia o texto para as próximas duas questões: James Rock decide finalmente encontrar como a bateria do seu celular (B) carrega com o tempo (t) e se a previsão dada em seu celular para carregamento total (T) realmente é acurada. Então, ele deixa seu celular carregando em uma situação fixa e anota seus dados na tabela:

Tabela: Medições feitas por James

t(s)	B(%)	T(s)
0	40	3600
217	45	3420
438	50	3180
716	55	2940
1005	60	2700
1259	65	2460
1558	70	2220
1845	75	1980
2100	80	1680
2426	85	1440

Assuma que a bateria de um celular varia linearmente com um tempo no modelo abordado.

Questão 9. Encontre a taxa de carregamento do celular por meio de uma regressão com dados de B e t.

- a) 0,9%/min.
- b) 1,0%/min.
- c) 1,1%/min.
- d) 1,2%/min.
- e) 1,3%/min.

Solução: Fazendo uma regressão entre os dados na forma $y=a+bx$ (onde y é B e x é t), obtermos os coeficientes:

$$a = 41,3\%$$

$$b = 0,0184\%/s$$

Perceba que b é a taxa de carregamento. Passando b para a unidade das alternativas(multiplicando por 60), temos:

$$b \approx 1,1\%/min$$



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental



Item C

Questão 10. Sobre os dados B e T e a relação entre eles, selecione a alternativa correta.

- a) Apesar de apresentar uma linearidade maior do que a encontrada entre os dados B e t, a regressão entre os dados revela uma grande disparidade entre o tempo T de previsão dado pelo celular e o tempo Δt até $B = 100\%$. A taxa de carregamento, por meio desses dados, é por volta de $1,2\%/min$.
- b) Apesar de apresentar uma linearidade maior do que a encontrada entre os dados B e t, a regressão entre os dados revela uma grande disparidade entre o tempo T de previsão dado pelo celular e o tempo Δt até $B = 100\%$. A taxa de carregamento, por meio desses dados, é por volta de $1,0\%/min$.
- c) Os dados apresentam uma linearidade maior do que a encontrada entre os dados B e t. A regressão entre os dados revela uma pequena disparidade (abaixo de 5 min, no geral) entre o tempo T de previsão dado pelo celular e o tempo Δt até $B = 100\%$. A taxa de carregamento, por meio desses dados, é por volta de $1,0\%/min$.
- d) Os dados apresentam uma linearidade maior do que a encontrada entre os dados B e t. A regressão entre os dados revela uma pequena disparidade (abaixo de 5 min, no geral) entre o tempo T de previsão dado pelo celular e o tempo Δt até $B = 100\%$. A taxa de carregamento, por meio desses dados, é por volta de $1,2\%/min$.
- e) Nenhuma das alternativas anteriores.

Solução: Agora, devemos realizar uma regressão entre os dados na forma $y=a+bx$ (onde y é B e x é T), obtendo os coeficientes:

$$a = 115\%$$

$$b = -0,0206\%/s$$

Agora, b é o oposto da taxa de carregamento. Passando b para minutos, temos:

$$b \approx 1,2\%/min$$

Então, utilizando a equação de regressão, podemos encontrar T quando $B = 100\%$

$$100 = a + bT_{100} \rightarrow T_{100} \approx 12min$$

Porém, quando a bateria está completa, T deveria ser 0 (já que ele é o tempo até o carregamento completo). Logo, existe uma disparidade considerável (de aproximadamente 12 min) entre o tempo dado por T e o dado por Δt . Se você for analisar dados isolador (como por exemplo o tempo entre $B = 40\%$ e $B = 100\%$), também encontrará uma grande disparidade. Sendo assim, levando em conta esse fato e o resultado de b, a alternativa correta é o item (A).

Item A

Questão 11. George decide tirar medições de uma quantidade que segue a função $y = A^{Bx}$. Porém, na hora de fazer um gráfico sobre suas medidas, o mesmo ficou em dúvida sobre o que ele deveria fazer para criar um gráfico linear. Sendo assim, selecione a alternativa correta.



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental



- a) George pode simplesmente colocar pontos (x, y) em um gráfico comum para obter um gráfico linear.
- b) George pode colocar pontos $(\log(x), \log(y))$ em um gráfico comum ou usar registrar os pontos (x, y) em um gráfico dilog.
- c) George pode colocar pontos $(\log(x), \log(y))$ em um gráfico comum ou usar registrar os pontos (x, y) em um gráfico monolog.
- d) George pode colocar pontos $(x, \log(y))$ em um gráfico comum ou usar registrar os pontos (x, y) em um gráfico dilog.
- e) George pode colocar pontos $(x, \log(y))$ em um gráfico comum ou usar registrar os pontos (x, y) em um gráfico monolog.

Solução: Para linearizar a função $y = A^{Bx}$, podemos aplicar o logaritmo em qualquer base. Usando a base 10:

$$\log(y) = \log(A^{Bx}) = Bx \cdot \log(A)$$

Reagrupando os termos:

$$\log(y) = (B \cdot \log(A)) \cdot x$$

Esta é uma equação da forma $Y = mX$, onde $Y = \log(y)$ e $X = x$. A relação é linear entre $\log(y)$ e x . Portanto, George deve plotar pontos $(x, \log(y))$ em um gráfico comum. Um gráfico que usa uma escala logarítmica para um eixo (o eixo y, neste caso) e uma escala linear para o outro (eixo x) é chamado de gráfico monolog (ou semi-log).

Item E

Questão 12. Alefe, um estudante de física experimental muito dedicado, tira medidas de um certo carro em movimento:

Tabela: Movimento de um carro

S	t
0,00	0,00
5,00	4,90
10,0	11,0
15,0	14,4
20,0	19,3
25,0	24,8
30,0	28,9
35,0	35,0
40,0	39,2
45,0	44,0

Logo, podemos dizer que a relação entre as funções é linear, $S = a + bt$. Sendo assim, selecione a alternativa que indica corretamente o valor dos coeficientes a e b junto com suas incertezas.

- a) $a = (0,3 \pm 0,4) \text{ m}$ e $b = (1,024 \pm 0,012) \text{ m/s}$
- b) $a = (0,3 \pm 0,4) \text{ m}$ e $b = (1,024 \pm 0,022) \text{ m/s}$
- c) $a = (0,2 \pm 0,3) \text{ m}$ e $b = (1,024 \pm 0,012) \text{ m/s}$
- d) $a = (0,2 \pm 0,3) \text{ m}$ e $b = (1,024 \pm 0,022) \text{ m/s}$
- e) $a = (0,3 \pm 0,4) \text{ m}$ e $b = (1,024 \pm 0,022) \text{ m/s}$



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental



Solução: A aplicação da regressão linear aos pontos experimentais fornece os seguintes resultados:

- **coeficiente linear (a):** $a \approx 0,2 \text{ m}$ com incerteza $\sigma_a \approx 0,3 \text{ m}$.
- **coeficiente angular (b):** $b \approx 1,024 \text{ m/s}$ com incerteza $\sigma_b \approx 0,012 \text{ m/s}$.

Item C

Leia o texto a seguir para as próximas 3 questões: Em um movimento de queda livre com resistência do ar, a aceleração de um objeto pode ser aproximada como: $a = Ae^{-Bt}$. Curioso, um jovem registra medições sobre este movimento em uma tabela:

Tabela: Dados do movimento de queda

t s	a m/s ²
0,00	9,80
0,500	3,70
1,00	1,40
1,50	0,500
2,00	0,200
2,50	0,0700
3,00	0,0300

Questão 13. Selecione a alternativa com os valores aproximados de A e B.

- a) $A = 8,68$ e $B = 0,95$
- b) $A = 9,68$ e $B = 1,95$
- c) $A = 10,7$ e $B = 2,95$
- d) $A = 11,7$ e $B = 3,95$
- e) $A = 12,7$ e $B = 4,95$

Solução: Linearizando a equação $a = Ae^{-Bt}$, aplicamos o logaritmo natural:

$$\ln(a) = \ln(A) - Bt$$

Esta é uma equação da reta $y = c - Bx$, onde $y = \ln(a)$, $x = t$, e $c = \ln(A)$ é o coeficiente linear. Fazendo a regressão linear dos dados $(t, \ln(a))$, obtemos um coeficiente linear $c \approx 2,27$ e um coeficiente angular de aproximadamente $-1,95$. Portanto:

$$B \approx -(-1,95) = 1,95 \text{ s}^{-1}$$

$$\ln(A) = c \approx 2,27 \implies A = e^{2,27} \approx 9,68 \text{ m/s}^2$$

Item B

Questão 14. Esmeralda está jogando um jogo eletrônico sobre capturar monstros. Um dia, ela captura um Bulcaroma pela primeira vez, que tinha uma altura de $h_0 = 2,33 \text{ m}$. Ela acredita ser raro por ter uma altura maior que o normal daquela espécie. Então, para verificar se a mesma está certa, ela decide capturar vários outros monstros da mesma espécie e registrar suas alturas na tabela:



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental



Tabela: Alturas registradas por Esmeralda

h(m)
2,33
1,98
1,95
1,90
2,20
2,15
2,50
2,24
2,30
2,32
2,21

Esmeralda considera seu Bulcaroma original raro se sua altura for $h_0 > h_{\text{medio}} + \sigma_h$, onde h_{medio} é a média das alturas de todos os monstros capturados daquela espécie por ela e σ_h o desvio padrão amostral considerando todas as alturas. Sendo assim, selecione a alternativa correta.

- a) O Bulcaroma original é raro, já que $h_0 \approx h_{\text{medio}} + \sigma_h + 0,04$.
- b) O Bulcaroma original é raro, já que $h_0 \approx h_{\text{medio}} + \sigma_h + 0,08$.
- c) O Bulcaroma original não é raro, já que $h_0 \approx h_{\text{medio}} + \sigma_h - 0,04$.
- d) O Bulcaroma original não é raro, já que $h_0 \approx h_{\text{medio}} + \sigma_h - 0,08$.
- e) O Bulcaroma original não é raro, já que $h_0 \approx h_{\text{medio}} + \sigma_h$.

Solução: Primeiro, calculamos a média (h_{medio}) de todas as 11 alturas:

$$h_{\text{medio}} = \frac{2,33 + 1,98 + 1,95 + 1,90 + 2,20 + 2,15 + 2,50 + 2,24 + 2,30 + 2,32 + 2,21}{11} \approx 2,19 \text{ m}$$

Em seguida, o desvio padrão amostral (σ_h):

$$\sigma_h = \sqrt{\frac{\sum (h_i - h_{\text{medio}})^2}{n - 1}} \approx 0,18 \text{ m}$$

Agora, verificamos a condição de raridade: $h_0 > h_{\text{medio}} + \sigma_h$.

$$h_{\text{medio}} + \sigma_h \approx 2,19 + 0,18 = 2,37 \text{ m}$$

Como $h_0 = 2,33 \text{ m}$, a condição $2,33 > 2,37$ é falsa. O Bulcaroma não é raro. A diferença é:

$$h_0 - (h_{\text{medio}} + \sigma_h) \approx 2,33 - 2,37 = -0,04 \text{ m}$$

Portanto, $h_0 \approx h_{\text{medio}} + \sigma_h - 0,04$.

Item C

Questão 15. De acordo com o valor do coeficiente de correlação dos dados, o jovem avalia a precisão do modelo da seguinte forma: Impreciso: $r^2 \leq 0,97$

Pouco preciso: $0,97 < r^2 \leq 0,98$

Preciso: $0,98 < r^2 \leq 0,99$



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental



Muito preciso: $r^2 > 0,99$

Sendo assim, como o modelo é classificado de acordo com o modelo do jovem? Lembre-se de usar algarismos significativos corretamente.

- a) Impreciso.
- b) Pouco preciso.
- c) Preciso.
- d) Muito preciso.
- e) É impossível saber.

Solução: Realizando a regressão linear nos dados linearizados ($t, \ln(a)$), o coeficiente de determinação (r^2) é calculado. O valor obtido é aproximadamente $r^2 \approx 0,999$. De acordo com a classificação fornecida, como $0,999 > 0,99$, o modelo é classificado como "Muito preciso".

Item D

Leia o texto a seguir para as próximas três questões: Totomelli registra os seguintes dados sobre algumas quantidades: $A = 0,40$; $B = 0,11$; $C = 0,234$; $D = 0,0532$. Porém, o mesmo quer calcular as quantidades: $E = A + B - C + D$; $F = \frac{B+D}{A+C}$.

Questão 16. Com quantos algarismos significativos ficarão E e F? Neste item, considere que todas as quantidades possuem incertezas desprezíveis.

- a) E: 2. F: 2.
- b) E: 4. F: 4.
- c) E: 1. F: 2.
- d) E: 2. F: 4.
- e) E: 1. F: 1.

Solução: Para determinar o número de algarismos significativos, aplicamos as regras de operações, considerando a premissa de que $A = 0,40$.

- **Para a variável E ($A + B - C + D$):** A regra para adição/subtração determina que o resultado deve ter o mesmo número de casas decimais que o termo menos preciso.

- $A = 0,40$ (2 casas decimais)
- $B = 0,11$ (2 casas decimais)
- $C = 0,234$ (3 casas decimais)
- $D = 0,0532$ (4 casas decimais)

Os termos menos precisos são agora A e B , ambos com duas casas decimais (centésimos). Portanto, o resultado final de E deve ser arredondado para a casa dos centésimos, resultando em um número com **2 algarismos significativos** (na forma $0,xx$).

- **Para a variável F ($\frac{B+D}{A+C}$):** A regra para divisão afirma que o resultado deve ter o mesmo número de algarismos significativos do termo com a menor quantidade. Primeiro, determinamos os algarismos dos termos intermediários.

- **Numerador ($B + D$):** Na soma $0,11 + 0,0532$, o resultado deve ser arredondado para 2 casas decimais (seguindo $B = 0,11$). Um número como $0,xx$ possui **2 algarismos significativos**.



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental



- **Denominador ($A + C$):** Na soma $0,40 + 0,234$, o resultado deve ser arredondado para 2 casas decimais (seguindo $A = 0,40$). Um número como $0,xx$ possui **2 algarismos significativos**.

Na divisão final, como ambos os termos (numerador e denominador) possuem 2 algarismos significativos, o resultado também deve ter **2 algarismos significativos**.

Portanto, tanto E quanto F devem ser expressos com 2 algarismos significativos.

Item A

Questão 17. Somente neste item, sabe-se que as incertezas $\sigma_A = 0,04$, $\sigma_B = 0,01$, $\sigma_C = 0,02$ e $\sigma_D = 0,005$, que são, respectivamente, as incertezas de A, B, C e D. Calcule o valor de E junto com sua incerteza.

- a) $0,3292 \pm 0,065$
- b) $0,329 \pm 0,046$
- c) $0,33 \pm 0,05$
- d) $0,33 \pm 0,1$
- e) $0,33 \pm 0,07$

Solução: Primeiro, calculamos o valor de E:

$$E = A + B - C + D = 0,4 + 0,11 - 0,234 + 0,0532 = 0,3292$$

Para a incerteza em somas e subtrações, propagamos os erros em quadratura:

$$\sigma_E = \sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_B^2 + \sigma_C^2 + \sigma_D^2} = \sqrt{(0,04)^2 + (0,01)^2 + (0,02)^2 + (0,005)^2}$$

$$\sigma_E = \sqrt{0,0016 + 0,0001 + 0,0004 + 0,000025} = \sqrt{0,002125} \approx 0,04609$$

A incerteza deve ser arredondada para um ou dois algarismos significativos. Arredondando para um, $\sigma_E \approx 0,05$. O valor de E deve ser arredondado para a mesma casa decimal da incerteza (centésimos).

$$E \approx 0,33$$

O resultado final é $E = 0,33 \pm 0,05$.

Item C

Questão 18. Apenas neste item, sabe-se que a incerteza de F é $\sigma_F = 0,03$. Sendo assim, calcule o valor de F junto com a sua incerteza.

- a) $0,2667 \pm 0,03$
- b) $0,2574 \pm 0,03$
- c) $0,27 \pm 0,03$
- d) $0,26 \pm 0,03$
- e) $0,30 \pm 0,03$

Solução: Primeiro, calculamos o valor de F:

$$F = \frac{B + D}{A + C} = \frac{0,11 + 0,0532}{0,4 + 0,234} = \frac{0,1632}{0,634} \approx 0,257413...$$



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental



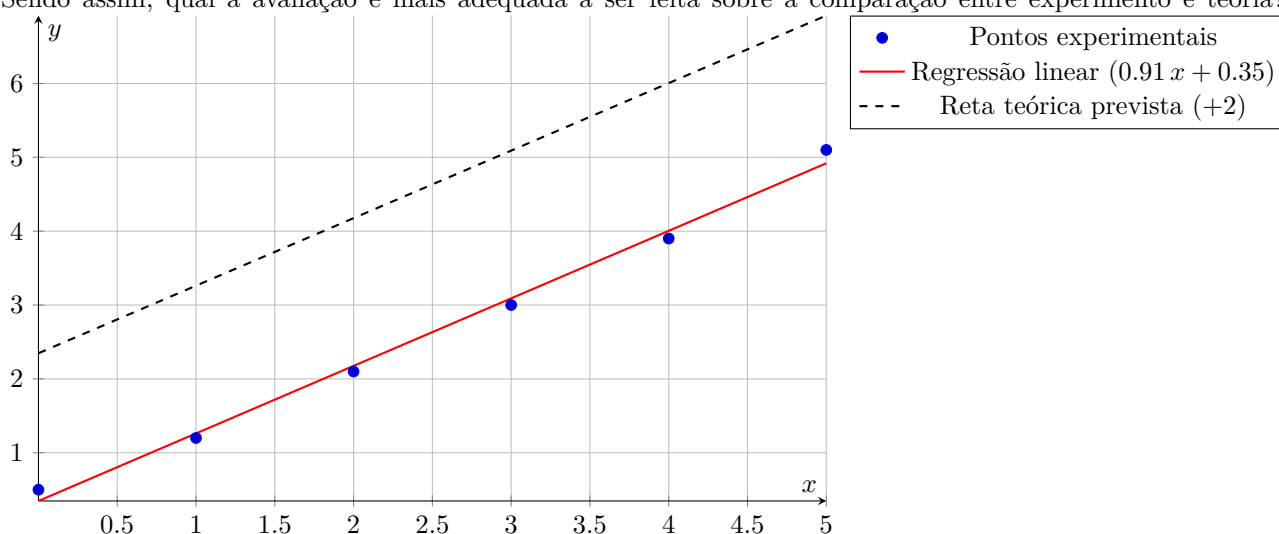
A incerteza é dada como $\sigma_F = 0,03$. Como a incerteza está na casa dos centésimos, devemos arredondar o valor de F para a mesma casa decimal.

$$F \approx 0,26$$

O resultado final é $F = 0,26 \pm 0,03$.

Item D

Questão 19. Ao realizar um experimento, Mary decidiu registrar seus dados em um gráfico e comparar seus dados com a reta prevista teoricamente. Aqui está uma foto do gráfico de Mary junto com a reta teórica: Sendo assim, qual a avaliação é mais adequada a ser feita sobre a comparação entre experimento e teoria?



- a) Parece que o experimento sofre principalmente de erro aleatório, já que a reta de regressão está bem distante da reta teórica, apesar da distribuição dos pontos estar bem consistente (gerando um desvio padrão baixo).
- b) Parece que o experimento sofre principalmente de erro sistemático, já que a reta de regressão está bem distante da reta teórica, apesar da distribuição dos pontos estar bem consistente (gerando um desvio padrão baixo).
- c) Parece que o experimento sofre principalmente de erro aleatório, já que a distribuição de dos dados está bem inconsistente (gerando um desvio padrão elevado).
- d) Parece que o experimento sofre principalmente de erro sistemático, já que a distribuição de dos dados está bem inconsistente (gerando um desvio padrão elevado).
- e) A comparação entre teoria e experimento mostra que ambos concordam perfeitamente, não havendo nenhuma forma de erro relevante.

Solução: Vamos analisar as características do gráfico:

- **Distribuição dos pontos:** Os pontos experimentais (azuis) estão muito próximos da sua própria reta de regressão (vermelha). Isso indica que as medidas foram consistentes entre si, com pouca dispersão. Portanto, o **erro aleatório é baixo**.
- **Comparação com a teoria:** A reta de regressão (vermelha) está sistematicamente deslocada em relação à reta teórica (preta tracejada). Elas têm inclinações semelhantes, mas a reta experimental está consistentemente abaixo da teórica. Este tipo de desvio constante é a definição de um **erro sistemático**.

A alternativa (b) descreve perfeitamente essa situação: um erro sistemático (que afasta a reta experimental



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental



da teórica) e uma distribuição consistente (baixo erro aleatório). **Item B**

Questão 20. Sobre o desvio padrão amostral, selecione a alternativa falsa. Considere que n é a quantidade de dados analisados.

- a) O desvio padrão amostral é nulo apenas se todos os dados analisados forem iguais.
- b) O desvio padrão amostral é proporcional $(n - 1)^{-0,5}$.
- c) A incerteza aleatória relacionada a um conjunto de dados depende diretamente do desvio padrão amostral.
- d) O desvio padrão amostral pode ser tanto positivo quanto negativo.
- e) O desvio padrão amostral é diferente do desvio padrão populacional, sendo cada um normalmente utilizado em contextos diferentes.

Solução: A fórmula do desvio padrão amostral é:

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Vamos analisar as alternativas:

- a) Verdadeira. Se todos os dados x_i são iguais, a média $\bar{x}$ é igual a eles, a soma dos quadrados das diferenças é zero, e o desvio padrão é nulo.
- b) Verdadeira. O termo $\sqrt{1/(n-1)}$ pode ser escrito como $(n-1)^{-0,5}$.
- c) Verdadeira. A incerteza aleatória da média é $\sigma_{\text{média}} = \sigma_{n-1}/\sqrt{n}$, que depende diretamente do desvio padrão amostral.
- d) Falsa. Como a fórmula envolve a raiz quadrada de uma soma de quadrados, o resultado é sempre maior ou igual a zero. O desvio padrão não pode ser negativo.
- e) Verdadeira. O desvio padrão populacional usa n no denominador em vez de $n-1$.

Item D