



---

**OLIMPÍADA BRASILEIRA DE FÍSICA 2024**  
**Prova Experimental da 3ª Fase**  
**27 DE OUTUBRO DE 2024**

**NÍVEL II**  
**Ensino Médio**  
**1ª e 2ª Séries**

---

## Instruções da Prova

1. A prova tem duração de 3 horas e 15 minutos.
2. Todas as respostas e imagens devem ser enviadas através da plataforma pelo correspondente link da página <https://app.graxaim.org/obf/2024/tssi?tid=141>.
3. A primeira questão deve ser respondida até às 14h15min, horário de Brasília, caso contrário, a prova será invalidada.
4. Assim como na 2ª Fase, você deve enviar (submeter) as respostas com intervalo de até 45 minutos, caso contrário, penalizações (anulação de questões) podem ser aplicadas. As questões podem ser respondidas em qualquer ordem.
5. Essas instruções, assim como outras que também devem ser cumpridas, estão publicadas e explicadas com mais detalhes no site de provas. Veja: [https://app.graxaim.org/obf/2024/open\\_page/instrucoes\\_fase\\_3e](https://app.graxaim.org/obf/2024/open_page/instrucoes_fase_3e).
6. Em caso de problema escreva para [equipe.obf@graxaim.org](mailto:equipe.obf@graxaim.org).

---

Salvo indicação em contrário, as respostas devem ser dadas nas unidades usadas no simulador: temperatura em kelvin (K), pressão em atmosferas (atm) e volume em litros (L).

---

## Parte Preliminar - Geolocalização

**Questão 1.** Esta questão apenas coleta informações sobre a sua localização (coordenadas geográficas). Ela deve ser feita obrigatoriamente até às 14h15min, horário de Brasília.

- Acesse a página <https://app.graxaim.org/obf/2024/page/barrier/geoloc/1?tid=141> e siga as instruções dadas para obter o seu **código de geolocalização** (se o link não abrir, copie e cole-o em seu navegador).
- Escreva em um pedaço de papel o código gerado e tire uma selfie que mostre seu rosto e o código.
- Acesse a **interface de resposta da prova** para enviar (submeter) o código e a selfie usando os campos correspondentes da **Questão 1**.

## Parte I - Temperatura, Termômetro e Capacidade Calorífica

As questões desta parte devem ser respondidas usando a configuração do app G/LVT dada em [https://app.graxaim.org/obf/2024/open\\_page/glvt3](https://app.graxaim.org/obf/2024/open_page/glvt3) e descrita no Anexo B. Leia antes as características gerais do app no Anexo A.

A medição da temperatura de um corpo é sempre indireta. Um termômetro mede diretamente uma propriedade de um corpo ou subsistema que varia com a temperatura de forma conhecida. O **subsistema gás** do G/LVT (Parte I) simula a variação de volume  $V$  e temperatura  $T$  de uma porção de gás ideal mantido a pressão  $P$  constante. Em gases ideais, essas grandezas estão relacionadas pela equação de Clapeyron:

$$PV = nRT \quad \Rightarrow \quad T = \left( \frac{P}{nR} \right) V, \quad (1)$$

onde  $n$  é o número de moles do gás e  $R$  é a constante dos gases perfeitos. Portanto, a temperatura  $T$  do **subsistema gás** varia linearmente com seu volume  $V$ . Logo, medições diretas de  $V$  podem ser usadas para construir uma escala termométrica.

A medição da temperatura exige que o termômetro (o gás) entre em equilíbrio térmico com o corpo cuja temperatura  $T_{i,c}$  se deseja conhecer. Note que  $T_{i,c}$  é a temperatura do corpo **antes da medição**, e o termômetro também possui uma temperatura inicial  $T_{i,g}$ , que, em geral, não é o foco de interesse. Quando o termômetro atinge o equilíbrio térmico com o corpo, há uma troca de calor entre ambos até que alcancem a mesma temperatura  $T_f$ , que é indicada no mostrador do termômetro. Em **termômetros ideais**, temos:

$$T_{i,c} = T_f. \quad (2)$$

Entretanto, um **termômetro real** possui uma capacidade calorífica não nula  $C_g$ , enquanto o corpo tem uma capacidade calorífica finita  $C_c$ . Portanto, em geral, a medição altera a temperatura do corpo. Durante a medição, o calor absorvido pelo termômetro é igual ao calor cedido pelo corpo:

$$C_g(T_f - T_{i,g}) = -C_c(T_f - T_{i,c}). \quad (3)$$

Assim, a temperatura de interesse, medida por um **termômetro real**, é dada por:

$$T_{i,c} = T_f + \left( \frac{C_g}{C_c} \right) (T_f - T_{i,g}). \quad (4)$$

Note que um termômetro real se comporta como um ideal quando a capacidade calorífica do corpo é muito maior do que a do termômetro, ou seja,  $C_c \gg C_g$  ou  $C_g/C_c \rightarrow 0$ .

Quando o gás está em interação com um corpo e seu volume parou de variar, o **valor**  $V_f$  **medido pela régua é uma medida indireta da temperatura**  $T_f$ .

No G/LVT (Parte I), durante a simulação, a única grandeza que pode ser observada é a variação de volume do gás. **Atenção! Invisivelmente, enquanto o equilíbrio não é estabelecido, os subsistemas conectados por linhas de interação estão lentamente trocando calor.** O tempo necessário para o equilíbrio depende da capacidade calorífica dos corpos interagentes.



### Procedimento experimental para medir $V_f$ :

1. Leve o gás e a régua para a bancada. Se necessário, arraste e solte-os até que uma linha de ligação apareça entre ambos e a régua mostre a medida do volume  $V$  do gás.
2. Pressione o botão de simulação (certifique-se de que o cronômetro está marcando a passagem do tempo).
3. Leve apenas um dos corpos para a bancada. Arraste-o para perto o suficiente do gás para que uma linha de ligação apareça entre eles. Imediatamente, o volume do gás começará a variar (caso contrário, o gás e o corpo já estão à mesma temperatura).
4. Espere até que o volume do gás pare de variar. Anote o valor de  $V$  indicado na régua. Este é o valor de equilíbrio  $V_f$ , que é proporcional à temperatura de equilíbrio  $T_f$  do corpo.
5. Retire o corpo da bancada.

**As questões de 2 a 5 devem ser feitas em sequência.**

**A Questão (N+1) é a continuação da Questão N.**

**Questão 2 (10 pontos).** Três corpos do G/LVT têm capacidades caloríficas grandes  $C_G \approx 10^4 C_g$ , dois têm capacidades caloríficas médias  $C_M \approx 100 C_g$ , e um tem capacidade pequena  $C_P \approx C_g$ , onde  $C_g$  é a capacidade calorífica do gás.

O objetivo desta questão é determinar qual corpo possui capacidade calorífica pequena.

Quanto menor a capacidade calorífica de um corpo, mais a medição de sua temperatura é afetada pela temperatura inicial do termômetro. No G/LVT, uma maneira de observar isso é medindo o volume de equilíbrio em diferentes sequências. Por exemplo, escolha três corpos  $X$ ,  $Y$  e  $Z$ , cujos volumes de equilíbrio são, respectivamente, dados por  $V_{f,X}$ ,  $V_{f,Y}$  e  $V_{f,Z}$ . Então, (1) meça  $V_{f,X}$  após medir  $V_{f,Y}$  e (2) meça  $V_{f,X}$  após medir  $V_{f,Z}$ . Compare os valores de  $V_{f,X}$  medidos das duas maneiras e tire suas conclusões.

(r) Digite a letra que identifica o corpo de menor capacidade calorífica.

Justifique sua resposta na resolução completa da questão (imagem a ser enviada). Use medidas realizadas de  $V_f$  em sua argumentação.



**Questão 3 (10 pontos).** Pressione o botão recomeçar do app. Nesta questão, seu objetivo é determinar os três corpos de maior capacidade calorífica e os valores de  $V_f$  (volumes de equilíbrio do gás) associados às temperaturas iniciais destes três corpos. Os corpos de  $A$  a  $F$  possuem o número de identificação  $I_d$ , dados de acordo com a tabela.

	A	B	C	D	E	F	G
$I_d$	1	2	4	8	16	32	64

- (a) Digite os valores de  $V_f$  dos três corpos de maior capacidade calorífica, em sequência crescente, separados por pontos e vírgulas, sem unidades de medida e incertezas (neste formato: 11,2; 22,4; 44,8;).
- (b) Digite a soma dos números de identificação  $I_d$  dos três corpos de maior capacidade calorífica. (Digite 7 caso sejam os corpos  $A$ ,  $B$  e  $C$ , etc).

Justifique suas respostas na resolução completa da questão (imagem a ser enviada).  
Use medidas realizadas de  $V_f$  em sua argumentação.

**Questão 4 (10 pontos).** Pressione o botão recomeçar do app. Considere novamente os três corpos de maior capacidade calorífica da questão anterior e identifique suas temperaturas por  $T_1 < T_2 < T_3$ . Sabendo que  $T_1 = 273$  K e  $T_3 = 373$  K, determine  $T_2$  em Kelvin.

- (a) Digite a letra de identificação do corpo que tem a temperatura  $T_2$ .
- (b) Digite o valor de  $T_2$  em Kelvin.

Justifique suas respostas na resolução completa da questão (imagem a ser enviada).

**Questão 5 (15 pontos).** Sejam  $C_{M,1} < C_{M,2}$  as capacidades caloríficas dos dois corpos com capacidades caloríficas classificadas como médias. Determine o valor da razão  $C_{M,2}/C_{M,1}$ . Há mais de uma maneira de fazer isso? Todas são igualmente precisas?

- (r) Digite o valor de  $C_{M,2}/C_{M,1}$ .

Justifique sua resposta na resolução completa da questão (imagem a ser enviada).

## Parte II - Gás Ideal

As questões desta parte devem ser respondidas usando a configuração do app G/LVT dada em [https://app.graxaim.org/obf/2024/open\\_page/glvt4](https://app.graxaim.org/obf/2024/open_page/glvt4) e descrita no Anexo C. Leia antes as características gerais do app no Anexo A.

Em um processo adiabático quase estático, a pressão  $P$  e o volume  $V$  de um gás ideal variam de acordo com

$$PV^\gamma = P_i V_i^\gamma, \quad (5)$$

onde  $P_i$  e  $V_i$  são, respectivamente, a pressão e o volume iniciais. O expoente  $\gamma$  é dado por

$$\gamma = \frac{c + 1}{c}, \quad (6)$$

onde  $c = C_V/(nR)$  é a capacidade calorífica molar a volume constante em unidades de  $R$ .

Usando o teorema da equipartição da energia, em uma mistura contendo  $n_1$  moles de gás ideal monoatômico e  $n_2$  moles de gás diatômico, temos

$$c = \frac{C_V}{nR} = \frac{3}{2} \left( \frac{n_1}{n} \right) + \frac{5}{2} \left( \frac{n_2}{n} \right), \quad (7)$$

onde  $n = n_1 + n_2$ .

O gás do G/LVT (Parte II) contém uma mistura de gases ideais monoatômico e diatômico. O objetivo desta parte é determinar o expoente  $\gamma$ , definido na equação 5, e a razão  $n_2/n_1$  da mistura.

### Procedimentos experimentais iniciais:

1. Leve o gás e a máquina para a bancada. Se necessário, use o recurso de arrastar e soltar até que surja a linha de interação entre eles. Isso é necessário para que o gás e a máquina possam trocar energia na forma de trabalho.
2. Clique no ícone de ajuste da máquina e remova a trava para que o pistão possa se mover e o gás possa trocar energia na forma de trabalho.

**As questões de 6 a 10 devem ser feitas em sequência.**

**A Questão (N+1) é a continuação da Questão N.**

**Questão 6 (10 pontos).** Prepare um arranjo experimental no G/LVT no qual o gás realize um processo adiabático quase estático (processo reversível no qual o gás realiza trabalho sem absorção de calor).

Meça o volume  $V$  e a pressão  $P$  do gás em diferentes pontos do processo. Organize seus dados na Tabela 1.

- (a) Digite a incerteza da medida de  $V$ .
- (b) Digite a incerteza da medida de  $P$ .
- (c) Digite em cada linha um par de valores de  $V$  e  $P$  da Tabela 1 separados por ponto e vírgula (siga o modelo ao lado) e sem unidades de medidas e as incertezas.

Descreva o arranjo experimental ou anexe foto (print screen) do arranjo experimental na resolução completa da questão (imagem a ser enviada).

modelo:

```
# V; P
11,2; 0,5
22,4; 1,0
44,8; 2,0
... ..
```

**Questão 7 (10 pontos).** Faça o gráfico de  $P \times V$  do processo adiabático (Gráfico 1) obtido na Questão 6.

Anexe imagem do gráfico.

**Questão 8 (10 pontos).** Usando as medidas obtidas na Questão 6, faça a Tabela 2 com  $\log(V)$  e  $\log(P)$ . Depois, faça o ajuste linear

$$\log(P/P_0) = a \log(V/V_0) + b$$

onde  $P_0 = 1 \text{ atm}$ ,  $V_0 = 1 \text{ L}$ , e o  $\log$  é na base 10.

- (a) Digite em cada linha um par de valores de  $\log(V/V_0)$  e  $\log(P/P_0)$  da Tabela 2 separados por ponto e vírgula (siga o modelo ao lado) e sem as unidades de medida e as incertezas.

- (b) Digite o valor de  $a$  e sua incerteza separados por ponto e vírgula (neste formato: 3,14; 0,01).

- (c) Digite o valor de  $b$  e sua incerteza separados por ponto e vírgula (neste formato: 3,14; 0,01).

Justifique seus resultados na resolução completa da questão (imagem a ser enviada). Em particular, mostre como estimou as incertezas.

modelo:

```
# log(V/1); log(P/1)
1,049; -0,3010
1,350; 0,0000
1,651; 0,3010
... ..
```

**Questão 9 (10 pontos).** Faça o Gráfico 2 de  $\log(P/P_0) \times \log(V/V_0)$  contendo as medidas da Tabela 2 e o ajuste feito na Questão 8.

Anexe a imagem do gráfico.

**Questão 10 (15 pontos).** Determine (a) o expoente  $\gamma$  e (b) a razão  $r = n_2/n_1$  definidos na introdução da Parte II.

- (a) Digite  $\gamma$  e sua incerteza separados por ponto e vírgula (neste formato: 3,14; 0,01).

- (b) Digite  $r$  e sua incerteza separados por ponto e vírgula (neste formato: 3,14; 0,01).

Justifique suas respostas na resolução completa da questão (imagem a ser enviada).

## Anexo A - Características Gerais do App G/LVT



[https://app.graxaim.org/obf/2024/open\\_page/glvt3](https://app.graxaim.org/obf/2024/open_page/glvt3)



[https://app.graxaim.org/obf/2024/open\\_page/glvt4](https://app.graxaim.org/obf/2024/open_page/glvt4)

1. O app **G/LVT** possui duas áreas principais: a **bancada** (uma área retangular com fundo branco) e, abaixo dela, a **prateleira**. Na configuração inicial (quando a página é carregada), a bancada contém apenas um cronômetro. Ao marcar a caixa de seleção de um objeto na prateleira, ele é movido para a bancada; ao desmarcar, ele retorna para a prateleira.
  - Na primeira linha da prateleira encontram-se os subsistemas físicos ou corpos que podem interagir, cujo comportamento é simulado no app.
  - Na segunda linha estão os instrumentos de medida.
2. Os objetos podem ser movidos pela bancada usando o recurso de arrastar e soltar.
  - Quando dois objetos estão suficientemente próximos, surge uma **linha de interação** entre eles. Isso indica que ambos podem interagir.
  - Arraste um instrumento até a proximidade de um subsistema físico. Quando a linha de interação aparecer entre eles, a medida será realizada. **A leitura NaN indica que a medida não pode ser realizada.**
3. O ambiente da bancada é o vácuo absoluto, ou seja, a pressão ambiente é nula e não há troca de calor entre o ambiente e os subsistemas retirados da prateleira.
4. O botão verde (o primeiro à esquerda) tem funções autoexplicativas para simular e pausar. A simulação ocorre com o arranjo experimental presente na bancada. A função pausar interrompe a simulação, “congelando” a passagem do tempo. O cronômetro na bancada mostra a passagem do tempo enquanto a simulação está em andamento.
5. O botão **recomeçar** faz com que os subsistemas retornem aos seus estados iniciais, preservando sua posição na bancada e os ajustes realizados. Recarregue a página para que tudo volte ao estado inicial.

## Anexo B - Configuração do App G/LVT usada na Parte I

- Acesse o app configurado para esta parte da prova clicando em [https://app.graxaim.org/obf/2024/open\\_page/glvt3](https://app.graxaim.org/obf/2024/open_page/glvt3) (se o link não abrir, copie e cole-o em seu navegador).

Nesta configuração, o app apresenta dois tipos de **subsistemas físicos**:

- **Subsistema do tipo gás**: consiste em uma porção de gás ideal contida em um cilindro **vertical** com um pistão móvel acoplado. O gás está submetido a uma pressão constante devido à presença de um bloco apoiado na parede externa do pistão. O pistão desliza sem atrito, e tanto as paredes do cilindro quanto do pistão são condutoras de calor e possuem massas desprezíveis.
- Os **subsistemas do tipo corpo** são blocos condutores de calor, com volume constante, que interagem apenas por meio da troca de energia na forma de calor. Na prateleira, os seis subsistemas, identificados com as letras de *A* a *F*, são deste tipo. Esses blocos são feitos de materiais distintos e possuem massas e temperaturas iniciais diferentes.

Nesta configuração, o app apresenta um **instrumento de medida**:

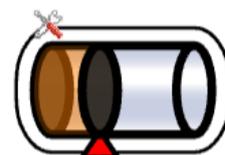
- O instrumento é uma régua, que **mede o volume do gás em litros**, com uma incerteza de  $\sigma_V = 0,0002$  L. (Pode-se imaginar que a régua foi calibrada especificamente para este equipamento, pois o volume do gás é diretamente proporcional à distância do pistão até a base do cilindro).

## Anexo C - Configuração do App G/LVT usada na Parte II

- Acesse o app configurado para esta parte da prova clicando em [https://app.graxaim.org/obf/2024/open\\_page/glvt4](https://app.graxaim.org/obf/2024/open_page/glvt4) (se o link não abrir, copie e cole-o em seu navegador).

Nesta configuração, o app apresenta três tipos de **subsistemas físicos**:

- O **subsistema do tipo gás** consiste em uma porção de gás ideal dentro de um cilindro **horizontal**, no qual está acoplado um pistão. A figura ao lado mostra o ícone que o representa na bancada. Inicialmente, o pistão é mantido fixo por uma trava (representada pelo triângulo vermelho), e o sistema não pode trocar calor, pois está envolto por um isolante térmico (representado pela camada envoltória branca). Clicando no ícone de ajustes no canto superior esquerdo, é possível controlar a presença ou ausência da trava e do isolante térmico, permitindo ou não o movimento do pistão e as trocas de calor entre o gás e outros subsistemas suficientemente próximos.



Assim como no sistema **gás** da Parte I, o pistão desliza sem atrito, e as paredes do cilindro e do pistão são condutoras de calor e possuem massas desprezíveis.

- O **subsistema do tipo máquina** é um dispositivo mecânico que exerce uma pressão  $P_{ext}$  na parede externa do pistão móvel do subsistema gás, quando há uma linha de interação entre eles. Clicando no ícone de ajustes no canto superior esquerdo, é possível configurar a máquina para:
  - Receber energia (figura abaixo à esquerda),
  - Ceder energia (figura central abaixo), ou
  - Manter a pressão externa constante (figura abaixo à direita).



A barra horizontal na parte inferior da figura que representa a máquina indica o nível de energia acumulada em sua bateria interna. Na configuração inicial, a bateria está completamente descarregada (a barra horizontal está totalmente branca).

**A máquina não interage com o subsistema gás quando o pistão está travado.**

- Os **subsistemas do tipo corpo** já foram descritos na Parte I. No entanto, aqui todos possuem a mesma capacidade calorífica  $C$  e a mesma temperatura inicial (a capacidade calorífica desses corpos não é igual à de nenhum dos corpos da Parte I).

Nesta configuração, o app apresenta **três instrumentos de medida**:

- Termômetro ideal: mede a temperatura em Kelvin com incerteza de  $\sigma_T = 0,2$  K.
- Régua (veja a descrição na Parte I): mede o volume em litros com incerteza de  $\sigma_V = 0,002$  L (a incerteza absoluta da régua na Parte II da prova é maior).
- Manômetro: mede a pressão em atm (atmosferas) com incerteza de  $\sigma_P = 0,002$  atm.