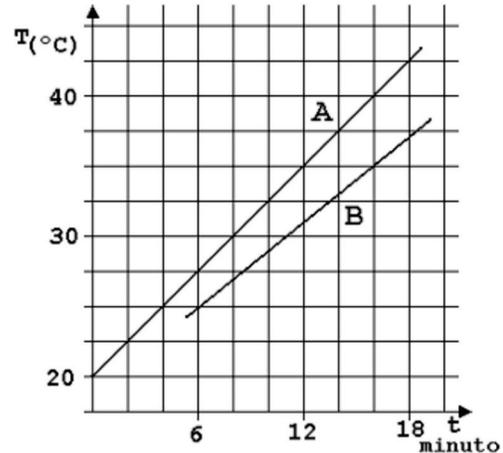
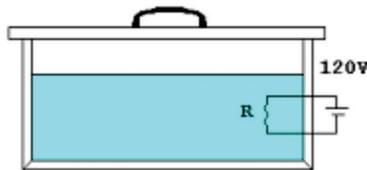


**Exercícios Dissertativos**

1. (2000) Uma experiência é realizada para estimar o calor específico de um bloco de material desconhecido, de massa  $m_b = 5,4\text{kg}$ . Em recipiente de isopor, uma quantidade de água é aquecida por uma resistência elétrica  $R = 40\ \Omega$ , ligada a uma fonte de  $120\text{V}$ , conforme a figura.

Nessas condições, e com os devidos cuidados experimentais, é medida a variação da temperatura  $T$  da água, em função do tempo  $t$ , obtendo-se a reta A do gráfico. A seguir, repete-se a experiência desde o início, desta vez colocando o bloco imerso dentro d'água, obtendo-se a reta B do gráfico.



- Estime a massa  $M$ , em kg, da água colocada no recipiente.
- Estime o calor específico do bloco, explicitando claramente as unidades utilizadas.

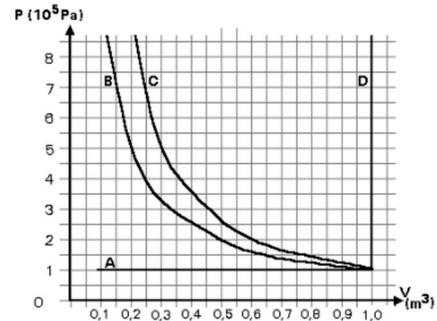
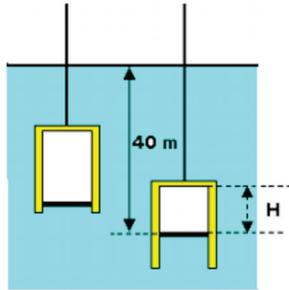
2. (2001) Um motor de combustão interna, semelhante a um motor de caminhão, aciona um gerador que fornece  $25\ \text{kW}$  de energia elétrica a uma fábrica.

O sistema motor - gerador é resfriado por fluxo de água, permanentemente renovada, que é fornecida ao motor a  $25^\circ\text{C}$  e evaporada, a  $100^\circ\text{C}$ , para a atmosfera. Observe as características do motor na tabela. Supondo que o sistema só dissipe calor pela água que aquece e evapora, determine:

|  |   |
|--|---|
| Consumo de combustível                       | 15 litros/hora                                |
| Energia liberada por um litro de combustível | $36 \times 10^6\text{J}$                      |
| Calor de vaporização da água                 | $2,2 \times 10^6\text{J/kg}$                  |
| Calor específico da água                     | $4000\text{J}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$ |

- A potência  $P$ , em kW, fornecida à água, de forma a manter a temperatura do sistema constante.
- A vazão  $V$  de água, em kg/s, a ser fornecida ao sistema para manter sua temperatura constante.
- A eficiência  $R$  do sistema, definida como a razão entre a potência elétrica produzida e a potência total obtida a partir do combustível.

3. (2001) Um compartimento cilíndrico, isolado termicamente, é utilizado para o transporte entre um navio e uma estação submarina. Tem altura  $H_0 = 2,0\text{m}$  e área da base  $S_0 = 3,0\text{m}^2$ . Dentro do compartimento, o ar está inicialmente à pressão atmosférica ( $P_{atm}$ ) e a  $27^\circ\text{C}$ , comportando-se como gás ideal. Por acidente, o suporte da base inferior do compartimento não foi travado e a base passa a funcionar como um pistão, subindo dentro do cilindro à medida que o compartimento desce lentamente dentro d'água, sem que ocorra troca de calor entre a água, o ar e as paredes do compartimento. Considere a densidade da água do mar igual à densidade da água. Despreze a massa da base. Quando a base inferior estiver a  $40\text{m}$  de profundidade, determine:



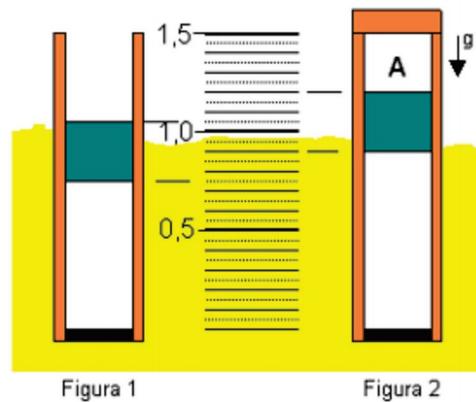
- A pressão  $P$  do ar, em Pa, dentro do compartimento
- A altura  $H$ , em m, do compartimento, que permanece não inundado.
- A temperatura  $T$  do ar, em  $^\circ\text{C}$ , no comparti-

mento.

Curvas  $P \times V$  para uma massa de ar que, à  $P_{atm}$  e  $27^\circ\text{C}$ , ocupa  $1\text{ m}^3$ : (A) isobárica, (B) isotérmica, (C) sem troca de calor, (D) volume constante.  
 $P_{atm} = 10^5\text{Pa}$ ;  $1\text{ Pa} = 1\text{ N/m}^2$

4. (2002)

Um cilindro, com comprimento de  $1,5\text{ m}$ , cuja base inferior é constituída por um bom condutor de calor, permanece semi-imerso em um grande tanque industrial, ao nível do mar, podendo ser utilizado como termômetro. Para isso, dentro do cilindro, há um pistão, de massa desprezível e isolante térmico, que pode mover-se sem atrito. Inicialmente, com o ar e o líquido do tanque à temperatura ambiente de  $27^\circ\text{C}$ , o cilindro está aberto e o pistão encontra-se na posição indicada na figura 1. O cilindro é, então, fechado e, a seguir, o líquido do tanque é aquecido, fazendo com que o pistão atinja uma nova posição, indicada na figura 2.



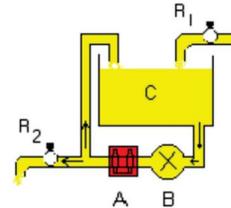
Supondo que a temperatura da câmara superior permaneça sempre igual a  $27^\circ\text{C}$ , determine:

- A pressão final  $P_1$ , em Pa, na câmara superior A.
- A temperatura final  $T_f$  do líquido no tanque, em  $^\circ\text{C}$  ou em K.

Ao nível do mar:  
 $P_{atm} = 1,0 \times 10^5\text{Pa}$   
 $1\text{ Pa} = 1\text{ N/m}^2$

5. (2002) Uma caixa d'água  $C$ , com capacidade de 100 litros, é alimentada, através do registro  $R_1$ , com água fria a  $15^\circ\text{C}$ , tendo uma vazão regulada para manter sempre constante o nível de água na caixa. Uma bomba  $R$  retira  $3 \ell/\text{min}$  de água da caixa e os faz passar por um aquecedor elétrico  $A$  (inicialmente desligado). Ao ligar-se o aquecedor, a água é fornecida, à razão de  $2 \ell/\text{min}$ , através do registro  $R_2$  para uso externo, enquanto o restante da água aquecida retorna à caixa para não desperdiçar energia.

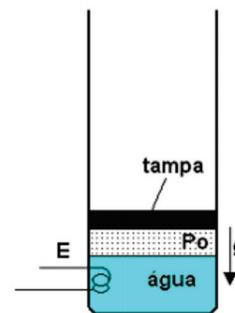
No momento em que o aquecedor, que fornece uma potência constante, começa a funcionar, a água, que entra nele a  $15^\circ\text{C}$ , sai a  $25^\circ\text{C}$ . A partir desse momento, a temperatura da água na caixa passa então a aumentar, estabilizando-se depois de algumas horas. Desprezando perdas térmicas, determine, após o sistema passar a ter temperaturas estáveis na caixa e na saída para o usuário externo:



- A quantidade de calor  $Q$ , em J, fornecida a cada minuto pelo aquecedor.
- A temperatura final  $T_2$ , em  $^\circ\text{C}$ , da água que sai pelo registro  $R_2$  para uso externo.
- A temperatura final  $R_C$ , em  $^\circ\text{C}$ , da água na caixa.

6. (2003) Um recipiente cilíndrico contém  $1,5 \text{ L}$  (litro) de água à temperatura de  $40^\circ\text{C}$ . Uma tampa, colocada sobre a superfície da água, veda o líquido e pode se deslocar verticalmente sem atrito. Um aquecedor elétrico  $E$ , de  $1800 \text{ W}$ , fornece calor à água. O sistema está isolado termicamente de forma que o calor fornecido à água não se transfere ao recipiente.

Devido ao peso da tampa e à pressão atmosférica externa, a pressão sobre a superfície da água permanece com o valor  $P_0 = 1,00 \times 10^5 \text{ Pa}$ . Ligando-se o aquecedor, a água esquentando até atingir, depois de um intervalo de tempo  $t_A$ , a temperatura de ebulição ( $100^\circ\text{C}$ ). A seguir a água passa a evaporar, preenchendo a região entre a superfície da água e a tampa, até que, depois de mais um intervalo de tempo  $t_B$ , o aquecedor é desligado. Neste processo,  $0,27 \text{ mol}$  de água passou ao estado de vapor.



**NOTE/ADOTE**  $1 \text{ Pa} = 1 \text{ pascal} = 1 \text{ N/m}^2$       Massa de 1 mol de água: **18 gramas**  
 Calor específico da água:  **$4.000 \text{ J}/(^\circ\text{C}\cdot\text{kg})$**       Massa específica da água:  **$1,0 \text{ kg/L}$**   
 Na temperatura de  **$100^\circ\text{C}$**  e à pressão de  **$1,00 \times 10^5 \text{ Pa}$** , 1 mol de vapor de água ocupa  **$30 \text{ L}$**  e o calor de vaporização da água vale  **$40.000 \text{ J/mol}$** .

Determine

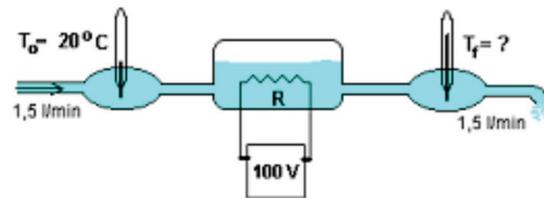
- o intervalo de tempo  $t_A$ , em segundos, necessário para levar a água até a ebulição.
- o intervalo de tempo  $t_B$ , em segundos, necessário para evaporar  $0,27 \text{ mol}$  de água.
- o trabalho  $\tau$ , em joules, realizado pelo vapor de água durante o processo de ebulição.

7. (2004) Um cilindro de Oxigênio hospitalar ( $O_2$ ), de 60 litros, contém, inicialmente, gás a uma pressão de 100 atm e temperatura de 300 K. Quando é utilizado para a respiração de pacientes, o gás passa por um redutor de pressão, regulado para fornecer Oxigênio a 3 atm, nessa mesma temperatura, acoplado a um medidor de fluxo, que indica, para essas condições, o consumo de Oxigênio em litros/minuto. Assim, determine:
- O número  $N_0$  de mols de  $O_2$ , presentes inicialmente no cilindro.
  - O número  $n$  de mols de  $O_2$ , consumidos em 30 minutos de uso, com o medidor de fluxo indicando 5 litros/minuto.
  - O intervalo de tempo  $t$ , em horas, de utilização do  $O_2$ , mantido o fluxo de 5 litros/minuto, até que a pressão interna no cilindro fique reduzida a 40 atm.

NOTE E ADOTE:  
 Considere o  $O_2$  como gás ideal.  
 Suponha a temperatura constante e igual a 300 K.  
 A constante dos gases ideais  $R \approx 8 \times 10^{-2}$  litros.atm/K

8. (2004)

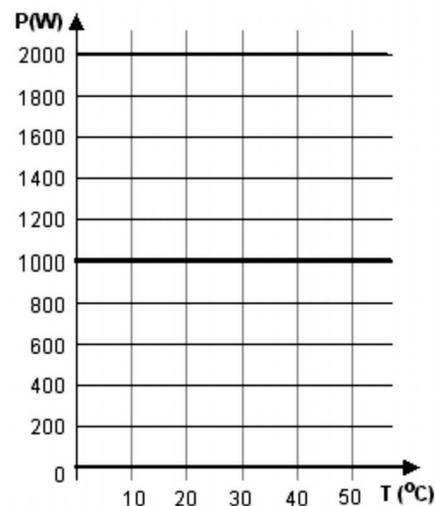
Em um experimento de laboratório, um fluxo de água constante, de 1,5 litros por minuto, é aquecido através de um sistema cuja resistência  $R$ , alimentada por uma fonte de 100 V, depende da temperatura da água. Quando a água entra no sistema, com uma temperatura  $T_0 = 20^\circ\text{C}$ , a resistência passa a ter um determinado valor que aquece a água. A água aquecida estabelece novo valor para a resistência e assim por diante, até que o sistema se estabilize em uma temperatura final  $T_f$ . Para analisar o funcionamento do sistema:



NOTE E ADOTE:

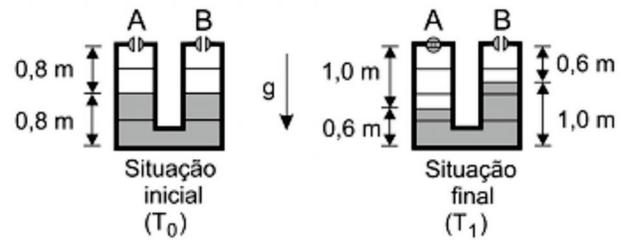
- Nas condições do problema, o valor da resistência  $R$  é dado por  $R = 10 - \alpha T$ , quando  $R$  é expresso em  $\Omega$ ,  $T$  em  $^\circ\text{C}$  e  $\alpha = 0,1 \Omega/^\circ\text{C}$ .
- Toda a potência dissipada no resistor é transferida para a água e o resistor está à mesma temperatura de saída da água.
- Considere o calor específico da água  $c = 4000 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$  e a densidade da água  $\rho = 1 \text{ kg}/\text{litro}$

- Escreva a expressão da potência  $P_R$  dissipada no resistor, em função da temperatura do resistor, e represente  $P_R \times T$  no gráfico da folha de respostas.
- Escreva a expressão da potência  $P_A$  necessária para que a água deixe o sistema a uma temperatura  $T$ , e represente  $P_A \times T$  no mesmo gráfico da folha de respostas.
- Estime, a partir do gráfico, o valor da temperatura final  $T_f$  da água, quando essa temperatura se estabiliza.



9. (2006)

Dois tanques cilíndricos verticais, A e B, de 1,6 m de altura e interligados, estão parcialmente cheios de água e possuem válvulas que estão abertas, como representado na figura para a situação inicial. Os tanques estão a uma temperatura  $T_0 = 280$  K e à pressão atmosférica  $P_0$ . Em uma etapa de um processo industrial, apenas a válvula A é fechada e, em seguida, os tanques são aquecidos a uma temperatura  $T_1$ , resultando na configuração indicada na figura para a situação final.

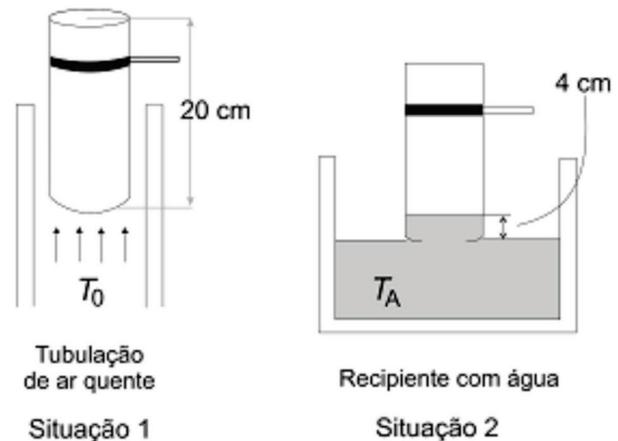


NOTE E ADOTE  
 $PV = nRT$  ;  $\Delta P = \rho g \Delta H$   
 $P_{atmosferica} \approx 1,00 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

- Determine a razão  $R_1 = P_1/P_0$ , entre a pressão final  $P_1$  e a pressão inicial  $P_0$  do ar no tanque A.
- Determine a razão  $R_2 = T_1/T_0$ , entre a temperatura final  $T_1$  e a temperatura inicial  $T_0$  dentro dos tanques.
- Para o tanque B, determine a razão  $R_3 = m_0/m_1$  entre a massa de ar  $m_0$  contida inicialmente no tanque B e a massa de ar final  $m_1$ , à temperatura  $T_1$ , contida nesse mesmo tanque.

10. (2007) Para medir a temperatura  $T_0$  do ar quente expelido, em baixa velocidade, por uma tubulação, um jovem utilizou uma garrafa cilíndrica vazia, com área da base  $S = 50 \text{ cm}^2$  e altura  $H = 20 \text{ cm}$ .

Adaptando um suporte isolante na garrafa, ela foi suspensa sobre a tubulação por alguns minutos, para que o ar expelido ocupasse todo o seu volume e se estabelecesse o equilíbrio térmico a  $T_0$  (Situação 1). A garrafa foi, então, rapidamente colocada sobre um recipiente com água mantida à temperatura ambiente  $T_A = 27^\circ \text{ C}$ . Ele observou que a água do recipiente subiu até uma altura  $h = 4 \text{ cm}$ , dentro da garrafa, após o ar nela contido entrar em equilíbrio térmico com a água (Situação 2). Estime



NOTE E ADOTE  
 $PV = nRT$   
 $T (\text{K}) = T (^\circ\text{C}) + 273$

- o volume  $V_A$ , em  $\text{cm}^3$ , do ar dentro da garrafa, após a entrada da água, na Situação 2.
- a variação de pressão  $\Delta P$ , em  $\text{N/m}^2$ , do ar dentro da garrafa, entre as Situações 1 e 2.
- a temperatura inicial  $T_0$ , em  $^\circ\text{C}$ , do ar da tubulação, desprezando a variação de pressão do ar dentro da garrafa.

11. (2008) Um roqueiro iniciante improvisa efeitos especiais, utilizando gelo seco ( $\text{CO}_2$  sólido) adquirido em uma fábrica de sorvetes. Embora o início do show seja à meia-noite (24 h), ele o compra às 18 h, mantendo-o em uma "geladeira" de isopor, que absorve calor a uma taxa de aproximadamente 60 W, provocando a sublimação de parte do gelo seco. Para produzir os efeitos desejados, 2 kg de gelo seco devem ser jogados em um tonel com água, a temperatura ambiente, provocando a sublimação do  $\text{CO}_2$  e a produção de uma "névoa". A parte visível da "névoa", na verdade, é constituída por gotículas de água, em suspensão, que são carregadas pelo  $\text{CO}_2$  gasoso para a atmosfera, à medida que ele passa pela água do tonel. Estime:

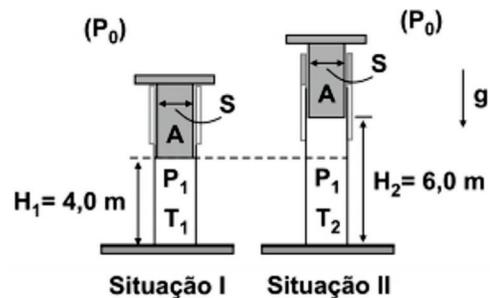
- A massa de gelo seco,  $M_{\text{gelo}}$ , em kg, que o roqueiro tem de comprar, para que, no início do show, ainda restem os 2 kg necessários em sua "geladeira".
- A massa de água,  $M_{\text{agua}}$ , em kg, que se transforma em "névoa" com a sublimação de todo o  $\text{CO}_2$ , supondo que o gás, ao deixar a água, esteja em CNTP, incorporando 0,01g de água por  $\text{cm}^3$  de gás formado.

NOTE E ADOTE:

Sublimação: passagem do estado sólido para o gasoso.  
 Temperatura de sublimação do gelo seco =  $-80^\circ\text{C}$ .  
 Calor latente de sublimação do gelo seco = 648 J/g.  
 Para um gás ideal,  $PV = nRT$ .  
 Volume de 1 mol de um gás em CNTP = 22,4 litros.  
 Massa de 1 mol de  $\text{CO}_2 = 44$  g.  
 Suponha que o gelo seco seja adquirido a  $-80^\circ\text{C}$ .

12. (2009) Um grande cilindro, com ar inicialmente à pressão  $P_1$  e temperatura ambiente ( $T_1 = 300$  K), quando aquecido, pode provocar a elevação de uma plataforma **A**, que funciona como um pistão, até uma posição mais alta.

Tal processo exemplifica a transformação de calor em trabalho, que ocorre nas máquinas térmicas, à pressão constante. Em uma dessas situações, o ar contido em um cilindro, cuja área da base  $S$  é igual a  $0,16 \text{ m}^2$ , sustenta uma plataforma de massa  $M_A = 160$  kg a uma altura  $H_1 = 4,0$  m do chão (situação I). Ao ser aquecido, a partir da queima de um combustível, o ar passa a uma temperatura  $T_2$ , expandindo-se e empurrando a plataforma até uma nova altura  $H_2 = 6,0$  m (situação II). Para verificar em que medida esse é um processo eficiente, estime:



- A pressão  $P_1$  do ar dentro do cilindro, em pascals, durante a operação.
- A temperatura  $T_2$  do ar no cilindro, em kelvins, na situação II.
- A eficiência do processo, indicada pela razão  $R = \Delta E_p / Q$ , onde  $\Delta E_p$  é a variação da energia potencial da plataforma, quando ela se desloca da altura  $H_1$  para a altura  $H_2$ , e  $Q$ , a quantidade de calor recebida pelo ar do cilindro durante o aquecimento.

NOTE E ADOTE:

$PV = nRT$ ;  $P_{\text{atmosferica}} = P_0 = 1,00 \times 10^5 \text{ Pa}$ ;  $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$   
 Calor específico do ar a pressão constante  $C_p \approx 1,0 \times 10^3 \text{ J/(kg.K)}$   
 Densidade do ar a 300 K  $\approx 1,1 \text{ kg/m}^3$

13. (2010) Um balão de ar quente é constituído de um envelope (parte inflável), cesta para três passageiros, queimador e tanque de gás. A massa total do balão, com três passageiros e com o envelope vazio, é de 400 kg. O envelope totalmente inflado tem um volume de  $1500 \text{ m}^3$ .
- Que massa de ar  $M_1$  caberia no interior do envelope, se totalmente inflado, com pressão igual à pressão atmosférica local ( $P_{atm}$ ) e temperatura  $T = 27^\circ\text{C}$ ?
  - Qual a massa total de ar  $M_2$ , no interior do envelope, após este ser totalmente inflado com ar quente a uma temperatura de  $127^\circ\text{C}$  e pressão  $P_{atm}$ ?
  - Qual a aceleração do balão, com os passageiros, ao ser lançado nas condições dadas no item b) quando a temperatura externa é  $T = 27^\circ\text{C}$ ?

NOTE E ADOTE:

Densidade do ar a  $27^\circ\text{C}$  e à pressão atmosférica local =  $1.2 \text{ kg/m}^3$ .

Aceleração da gravidade na Terra,  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

Considere todas as operações realizadas ao nível do mar.

Despreze o empuxo acarretado pelas partes sólidas do balão.

$T (\text{K}) = T (^\circ\text{C}) + 273$

Indique a resolução da questão. Não é suficiente apenas escrever as respostas.

14. (2011) Um forno solar simples foi construído com uma caixa de isopor, forrada internamente com papel alumínio e fechada com uma tampa de vidro de  $40 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ . Dentro desse forno, foi colocada uma pequena panela contendo 1 xícara de arroz e 300 ml de água à temperatura ambiente de  $25^\circ\text{C}$ . Suponha que os raios solares incidam perpendicularmente à tampa de vidro e que toda a energia incidente na tampa do forno a atravesse e seja absorvida pela água. Para essas condições, calcule:
- A potência solar total absorvida pela água.
  - A energia necessária para aquecer o conteúdo da panela até  $100^\circ\text{C}$ .
  - O tempo total necessário para aquecer o conteúdo da panela até  $100^\circ\text{C}$  e evaporar  $1/3$  da água nessa temperatura (cozer o arroz).

NOTE E ADOTE

Potência solar incidente na superfície da Terra:  $1 \text{ kW/m}^2$

Densidade da água:  $1 \text{ g/cm}^3$

Calor específico da água:  $4 \text{ J/(g}\cdot^\circ\text{C)}$

Calor latente de evaporação da água:  $2200 \text{ J/g}$

Desconsidere as capacidades caloríficas do arroz e da panela.

15. (2014) Um contêiner com equipamentos científicos e mantido em uma estação de pesquisa na Antártida. Ele é feito com material de boa isolamento térmico e, é possível, com um pequeno aquecedor elétrico, manter sua temperatura interna constante,  $T_i = 20^\circ\text{C}$ , quando a temperatura externa é  $T_e = -40^\circ\text{C}$ . As paredes, o piso e o teto do contêiner tem a mesma espessura,  $\varepsilon = 26 \text{ cm}$ , e são de um mesmo material, de condutividade térmica  $k = 0,05 \text{ J/(s}\cdot\text{m}\cdot^\circ\text{C)}$ . Suas dimensões internas são  $2 \times 3 \times 4 \text{ m}^3$ . Para essas condições, determine
- a área  $A$  da superfície interna total do contêiner;
  - a potência  $P$  do aquecedor, considerando ser ele a única fonte de calor;
  - a energia  $E$ , em  $\text{kWh}$ , consumida pelo aquecedor em um dia.

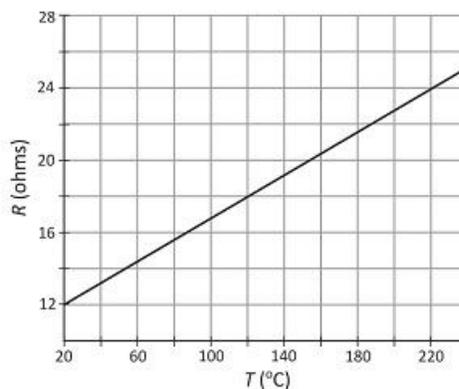
NOTE E ADOTE

A quantidade de calor por unidade de tempo ( $\Phi$ ) que flui através de um material de área  $A$ , espessura  $\varepsilon$  e condutividade térmica  $k$ , com diferença de temperatura  $\Delta T$  entre as faces do material, é dada por:  $\Phi = kA\Delta T/\varepsilon$

16. (2015) O aquecimento de um forno elétrico é baseado na conversão de energia elétrica em energia térmica em um resistor. A resistência  $R$  do resistor desse forno, submetido a uma diferença de potencial  $V$  constante, varia com a sua temperatura  $T$ . Na figura da página de respostas é mostrado o gráfico da função  $R(T) = R_0 + \alpha(T - T_0)$ , sendo  $R_0$  o valor da resistência na temperatura  $T_0$  e  $\alpha$  uma constante. Ao se ligar o forno, com o resistor a  $20^\circ\text{C}$ , a corrente é 10 A. Ao atingir a temperatura  $T_M$ , a corrente é 5 A.

Determine a

- (a) constante  $\alpha$ ;
- (b) diferença de potencial  $V$ ;
- (c) temperatura  $T_M$ ;
- (d) potência  $P$  dissipada no resistor na temperatura  $T_M$ .



17. (2015) Um recipiente hermeticamente fechado e termicamente isolado, com volume de 750 l, contém ar inicialmente à pressão atmosférica de 1 atm e à temperatura de  $27^\circ\text{C}$ . No interior do recipiente, foi colocada uma pequena vela acesa, de 2,5 g. Sabendo-se que a massa da vela é consumida a uma taxa de 0,1 g/min e que a queima da vela produz energia à razão de  $3,6 \times 10^4 \text{ J/g}$ , determine

- (a) a potência  $W$  da vela acesa;
- (b) a quantidade de energia  $E$  produzida pela queima completa da vela;
- (c) o aumento  $\Delta T$  da temperatura do ar no interior do recipiente, durante a queima da vela;
- (d) a pressão  $P$  do ar no interior do recipiente, logo após a queima da vela.

Note e adote:

O ar deve ser tratado como gás ideal.

O volume de 1 mol de gás ideal à pressão atmosférica de 1 atm e à temperatura de  $27^\circ\text{C}$  é 25l.

Calor molar do ar a volume constante:  $C_v = 30 \text{ J/(mol.K)}$ .

Constante universal dos gases:  $R = 0,08 \text{ atm.l/(mol.K)}$ .

$0^\circ\text{C} = 273\text{K}$ .

Devem ser desconsideradas a capacidade térmica do recipiente e a variação da massa de gás no seu interior devido à queima da vela.