

Lista de Exercícios - Máquinas Térmicas

DISCIPLINA: MÁQUINAS TÉRMICAS - 2017/02

PROF.: MARCELO COLAÇO

PREPARADO POR GABRIEL ROMERO (GAROMERO@POLI.UFRJ.BR)

4. Motores de combustão interna:

Os calores específicos são constantes para todos os exercícios desse capítulo.

a. Ciclo de Carnot

4.a.1. Considerando o ciclo-padrão de ar de Carnot esquematize os diagramas $P-v$ e $T-s$ e seus respectivos pontos e processos. Em um ciclo-padrão de ar de Carnot a temperatura da fonte fria é 280 K e a eficiência é igual a 60%. Se a pressão antes da compressão e depois da rejeição de calor é 100 kPa, encontre a temperatura da fonte quente e a pressão antes do fornecimento de calor para o ciclo.

4.a.2. Ar em um pistão sofre os processos de um ciclo de Carnot no qual $T_L=26,8^\circ\text{C}$ (temperatura da fonte fria) e a eficiência total do ciclo é $\eta=2/3$. Considere C_p e C_v constantes e $R_{ar}=287 \text{ J/kg K}$. Calcule:

(a) a temperatura na qual o calor é fornecido (Temperatura da fonte quente - T_H);

(b) o trabalho específico na expansão adiabática;

(c) e a razão de volume na expansão adiabática.

4.a.3. Considere um ciclo Carnot sendo executado em um sistema fechado com 0,6 kg de ar. As temperaturas limites do ciclo são 300 e 1100 K, e as pressões mínima e máxima que ocorrem durante o ciclo são 20 e 3000 kPa. Assumindo os calores específicos constantes, determine o trabalho líquido por ciclo, o calor fornecido ao ar e a eficiência desse ciclo. Utilize as seguintes propriedades para o ar: $C_p = 1,005 \text{ kJ/kg.K}$, $C_v = 0,718 \text{ kJ/kg.K}$, $R_{ar} = 0,287 \text{ kJ/kg.K}$, e $\gamma = 1,4$.

4.a.4. Um ciclo de Carnot é executado em um sistema fechado e utiliza 0,0025 kg de ar como fluido de trabalho. A eficiência do ciclo é de 60%, e a temperatura mais baixa no ciclo é 300K. A pressão no início da expansão isentrópica é 700 kPa, e no final da compressão isentrópica é de 1 Mpa. Calcule o trabalho líquido por ciclo.

4.a.5. Em um ciclo-padrão de ar de Carnot o calor é transferido para o fluido de trabalho a 1200 K e rejeitado a 300 K. O calor transferido para o fluido de trabalho a 1200 K é igual a 100 kJ/kg. A pressão mínima no ciclo é de 0,1 Mpa. Assumindo constante o calor específico do ar, determine a eficiência do ciclo e a pressão média efetiva.

b. Ciclo Otto

4.b.1. A razão de compressão de um ciclo-padrão de ar de Otto é igual a 8. No início do curso de compressão a pressão é 0,1 Mpa e a temperatura é 15°C. O calor transferido para o ar por ciclo é de 1800 kJ/kg de ar. Determine:

Lista de Exercícios - Máquinas Térmicas

(a) A pressão e temperatura ao final de cada processo no ciclo.

(b) A eficiência térmica.

(c) A pressão média efetiva

4.b.2. Ar é admitido dentro de uma máquina a gasolina a pressão de 95 kPa e temperatura de 300 K. O ar é então comprimido com uma razão volumétrica de 8:1. No processo de combustão 1300 kJ/kg de energia é liberada na queima do combustível. Encontre a temperatura e pressão depois da combustão usando as propriedades constantes. $C_p = 1,005$ kJ/kg K, $C_v = 0,717$ kJ/kg K.

4.b.3. Para aproximar um motor de ignição a centelha considera-se um ciclo-padrão de ar de Otto no qual o calor é adicionado a 1800 kJ/kg de ar, a razão de compressão é 7, e a pressão e temperatura no início do processo de combustão são 90 kPa e 10°C. Assumindo calores específicos constantes, determine a máxima pressão e temperatura do ciclo, a eficiência térmica do ciclo e a pressão média efetiva. Utilize as seguintes propriedades para o ar: $C_p = 1,005$ kJ/kg.K, $C_v = 0,718$ kJ/kg.K, $R_{ar} = 0,287$ kJ/kg.K.

4.b.4. Um motor 4 tempos movido a gasolina tem uma razão de compressão de 10:1 com 4 cilindros de volume total igual a 2,3 L. Na entrada o ar está a 280 K, 70 kPa e a velocidade de rotação é 2100 RPM. Com a queima do combustível é adicionado 1800 kJ/kg no processo de combustão. Qual é o trabalho líquido no ciclo e a potência produzida?

4.b.5. Metanol pode ser uma alternativa à gasolina em motores automotivos. Esse combustível suporta maiores razões de compressão, podendo ser 10:1 ao invés de 7:1, mas o calor fornecido na combustão da mistura estequiométrica com o ar é um pouco menor, em torno de 1700 kJ/kg. Repita o problema **4.b.3.** com esses valores.

4.b.6. Um ciclo ideal de Otto apresenta uma razão de compressão de 10,5, no qual ar entra a 90 kPa e 40°C, e é repetido 2500 vezes por minuto. Utilizando os calores específicos constantes, determine a eficiência térmica deste ciclo e a taxa de calor que é fornecida ao ciclo para produzir 90 kW de potência.

4.b.7. Um ciclo padrão de ar de Otto tem uma razão de compressão igual a 8. No início do processo de compressão, o ar está a 95 kPa e 27°C, e 750 kJ/kg é o calor transferido para o ar durante o processo de fornecimento de calor a volume constante. Considerando os calores específicos constantes nos processos, determine:

(a) A pressão e temperatura ao final do processo de fornecimento de calor

(b) O trabalho líquido do ciclo

(c) A eficiência térmica

(d) A pressão média efetiva para este ciclo.

4.b.8. Um hidrocarboneto ao queimar produz 43000 kJ/kg de combustível quando utilizado em um motor de ignição por centelha. Determine a razão de compressão requerida para um ciclo Otto ideal que utiliza 0,039 gramas de combustível para produzir 1 kJ de trabalho. Utilize os calores específicos constantes.

4.b.9. No início do processo de compressão em um ciclo padrão de ar de Otto, $P_1=1$ bar, $T_1=290$ K e $V_1=400$ cm³. A temperatura máxima no ciclo é de 2200 K e a razão de compressão é igual a 8. Determine:

Lista de Exercícios - Máquinas Térmicas

- (a) o calor fornecido, em kJ.
- (b) o trabalho líquido, em kJ.
- (c) a eficiência térmica.
- (d) A pressão média efetiva, em bar.

4.b.10. Considere o ciclo do problema anterior (4.b.9) como um modelo para os processos em cada cilindro de um motor de ignição por centelha de 4 tempos. Se o motor tem 4 cilindros e a rotação é de 1200 RPM. Determinar a potência do motor em kW.

c. Ciclo Diesel

4.c.1. Um ciclo padrão ar de Diesel tem uma razão de compressão igual a 18 e o calor transferido para o fluido de trabalho por ciclo é de 1800 kJ/kg. No início do processo de compressão a pressão é de 0,1 Mpa e a temperatura de 15°C. Determine:

- (a) A pressão e temperatura em cada ponto do ciclo.
- (b) A eficiência térmica.
- (c) A pressão média efetiva.

4.c.2. Um motor a diesel tem o ar antes da compressão com pressão de 95 kPa, e temperatura de 290 K. O pico de pressão do ciclo é de 6000 kPa, e a máxima temperatura é de 2400 K. Calcule a razão de compressão volumétrica e a eficiência térmica.

4.c.3. Um motor diesel possui um total de 6 cilindros com 0,1 m de diâmetro, curso de 0,11 m e razão de compressão de 19:1. A velocidade do motor é de 2000 RPM, com cada ciclo termodinâmico correspondendo a dois ciclos mecânicos (duas revoluções) e pressão média efetiva de 1400 kPa. Calcule a potência em kW.

4.c.4. Um motor diesel tem uma razão de compressão de 20:1 com o ar entrando a 95 kPa, 290 K com volume 0,5 L. A temperatura máxima no ciclo é 1800 K. Determine a pressão máxima, o trabalho específico líquido e a eficiência térmica.

4.c.5. Um ciclo diesel apresenta o ar antes da compressão a 280 K, 85 kPa. A maior temperatura do ciclo é 2200 K e a maior pressão é 6 Mpa. Determine a razão de compressão volumétrica e a pressão média efetiva.

4.c.6. Considere um ciclo padrão de ar de Diesel no qual o estado antes do processo de compressão é 95 kPa, 290 K, e a razão de compressão é igual a 20. Encontre a temperatura máxima (por iteração) para que esse ciclo apresente eficiência térmica de 60%.

4.c.7. Um ciclo padrão ar de Diesel possui uma razão de compressão de 16 e uma razão de corte igual a 2. No início do processo de compressão, o ar está a 95 kPa e 27°C. Considerando os calores específicos constantes, determine:

- (a) A temperatura após o processo de fornecimento de calor
- (b) A eficiência térmica
- (c) a pressão média efetiva.

Lista de Exercícios - Máquinas Térmicas

4.c.8. Um ciclo ideal Diesel tem uma razão de compressão de 17 e uma razão de corte de 1,3. Determine a máxima temperatura de ar e a taxa de calor adicionado no ciclo quando este produz 140 kW de potência e o estado do ar no início do processo de compressão é de 90 kPa e 57°C. Utilize calores específicos constantes.

4.c.9. Um motor quatro cilindros 2,4 L, de dois tempos, que opera em um ciclo Diesel ideal tem a razão de compressão igual a 22 e a razão de corte de 1,8. Ar na temperatura de 70°C e pressão 97 kPa entra nos pistões para ser comprimido. Determine qual a potência que o motor entrega na velocidade de 3500 rpm.

4.c.10. Desenvolva uma equação para a razão de corte (r_c) de um ciclo padrão de ar de Diesel. Essa expressão deve ser escrita em função de q_{in} , c_p , T_1 e $r^{\gamma-1}$.

q_{in} - Calor fornecido ao ar no processo de adição de calor.

c_p - Calor específico a pressão constante.

T_1 - Temperatura no início do processo de compressão.

r - Razão de compressão.

γ - Razão entre os calores específicos.

d. Ciclo Dual

4.d.1. Um ciclo de ar padrão Dual possui uma razão de compressão de 14 e uma razão de corte de 1,2. A razão de pressão durante o processo de adição de calor a volume constante é igual a 1,5. Determine a eficiência térmica do ciclo, a quantidade de calor adicionada, a pressão e temperatura máximas quando este ciclo está operando a 80 kPa e 20°C no início do processo de compressão.

4.d.2. Repita o problema 4.d.1 (anterior) com o estado do ar antes do processo de compressão a 80 kPa e -20°C.

4.d.3. Um ciclo de ar padrão Dual com calores específicos constantes é executado em um sistema cilindro-pistão e é composto pelos seguintes processos:

1-2: Compressão isentrópica com razão de compressão

$$r = v_1/v_2$$

2-3: Fornecimento de calor a volume constante e razão de pressão

$$r_p = P_3/P_2$$

3-4: Fornecimento de calor a pressão constante e razão de volume igual a

$$r_c = v_4/v_3$$

4-5: Expansão isentrópica enquanto trabalho é realizado até $v_5 = v_1$

5-1: Rejeição de calor a volume constante retornando ao estado inicial.

(a) Esquematize os diagramas P-v e T-s para esse ciclo.

Lista de Exercícios - Máquinas Térmicas

- (b) Obtenha uma expressão para a eficiência térmica desse ciclo em função de γ , r , r_c e r_p .
- (c) Avalie a eficiência do ciclo Dual quando r_p tende a unidade e compare com a eficiência do ciclo Diesel.
- (d) Avalie a eficiência do ciclo Dual quando r_c tende a unidade e compare com a eficiência do ciclo Otto.

4.d.4. Um motor de 4 cilindros, 4 tempos, 1,8 litros, que opera em ciclo Dual ideal com razão de compressão de 16. O ar se encontra a 95 kPa e 70° C no início do processo de compressão e a velocidade do motor é de 2200 rpm. A mesma quantidade de combustível é queimada a volume constante e pressão constante. A pressão máxima permitida que pode ser atingida no ciclo é de 7,5 Mpa devido a limitações de tensão do material do motor. Utilizando calores específicos constantes na temperatura de 1000 K. Determine:

Utilize as seguintes propriedades para o ar a 1000 K: $C_p = 1,142$ kJ/kg.K, $C_v = 0,855$ kJ/kg.K, $R_{ar} = 0,287$ kJ/kg.K, e $\gamma = 1,336$.

- (a) A temperatura máxima do ciclo.
- (b) O trabalho líquido e a eficiência térmica.
- (c) A pressão média efetiva.
- (d) A potência líquida.

e. Ciclo Stirling

4.e.1. Um motor opera em um ciclo Stirling ideal utilizando hélio como fluido de trabalho. Os limites de temperatura do ciclo são 300 K e 2000 K, e os limites de pressão são 150 kPa e 3 Mpa. Assumindo que a massa de hélio utilizada no ciclo é 0,12 kg, determine:

Considere as seguintes propriedades para o hélio: $R=2,0769$ kJ/kg.K, $c_v=3,1156$ kJ/kg.K, e $c_p=5,1926$ kJ/kg.K

- (a) A eficiência térmica do ciclo.
- (b) A quantidade de calor transferido no regenerador.
- (c) O trabalho líquido por ciclo.

4.e.2. Um ciclo padrão de ar de Stirling opera com uma pressão máxima igual a 3600 kPa e uma pressão mínima de 50 kPa. O volume máximo é 12 vezes o volume mínimo, e a temperatura do reservatório de baixa temperatura (fonte fria) é igual a 20°C. Calcule o calor fornecido por massa de ar e o trabalho líquido específico.

4.e.3. Considere um ciclo Stirling ideal utilizando ar como fluido de trabalho. O ar está a 400 K e 200 kPa no início do processo de compressão isotérmica, e calor é fornecido ao ar por uma fonte a 1800 K em quantidade igual a 750 kJ/kg. Determine:

- (a) A pressão máxima no ciclo.
- (b) O trabalho líquido por unidade de massa de ar.

4.e.4. Considere uma máquina térmica que opera em um ciclo Stirling ideal no qual o estado do ar no início do processo de compressão isotérmica é igual a 100 kPa, 25°C, a razão de compressão é 6, e a temperatura máxima no ciclo é 1100°C. Calcule a pressão máxima do ciclo e a eficiência térmica do ciclo com e sem regenerador.

Lista de Exercícios - Máquinas Térmicas

4.e.5. Um ciclo padrão de ar Stirling utiliza o gás hélio como fluido de trabalho. A compressão isotérmica modifica o estado do fluido de 100 kPa, 37°C para 600 kPa. A expansão ocorre na temperatura de 1200 K e não existe regenerador. Calcule o calor e o trabalho transferidos nos 4 processos por quilograma de hélio e a eficiência térmica do ciclo.

Considere as seguintes propriedades para o hélio: $R=2,0769$ kJ/kg.K, $c_v=3,1156$ kJ/kg.K, e $c_p=5,1926$ kJ/kg.K

4.e.6. Considere um ciclo de ar padrão Stirling ideal com um regenerador ideal. A pressão e temperatura mínimas no ciclo são 100 kPa, 25°C, a razão de compressão é 10, e a máxima temperatura do ciclo é 1000°C. Analise os quatro processos no ciclo calculando o trabalho e a transferência de calor, e determine a performance do motor.

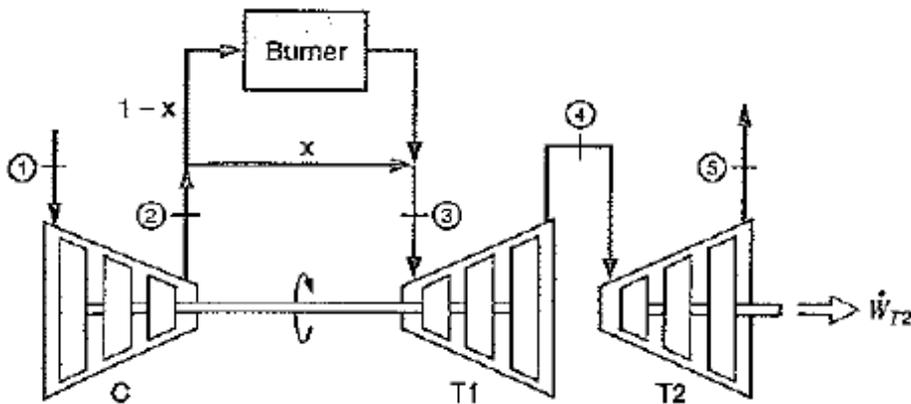
Lista de Exercícios - Máquinas Térmicas

5. Turbinas a gás:

Os calores específicos não são constantes. Utilizar a abordagem do Bathie para todos os exercícios dessa seção.

a. Ciclo de Brayton

5.a.1. Uma turbina a gás com o ar como fluido de trabalho possui duas turbinas ideais, como apresentado na figura abaixo. A primeira responsável por movimentar o compressor e a segunda responsável pela produção de potência de saída. O ar entra no compressor a 290 K, 100 kPa, e na saída está a 450 kPa. Uma fração do escoamento de ar, x , não entra no queimador e o restante $(1-x)$ entra em combustão produzindo 1200 kJ/kg. Os dois escoamentos se misturam antes de entrar na primeira turbina e continua através da segunda turbina, com exaustão em 100 kPa. Se a mistura resulta em uma temperatura de 1000 K entrando na primeira turbina, calcule a fração x . Calcule a pressão e temperatura requerida na entrada da segunda turbina e a potência específica de saída.



5.a.2. Uma turbina a gás opera em um ciclo Brayton Simples com o ar sendo o fluido de trabalho e produz 32 MW de potência. A temperatura mínima e máxima no ciclo são 310 K e 900 K, e a pressão do ar na saída do compressor é 8 vezes o valor na entrada desse equipamento. Assumindo uma eficiência isentrópica de 80% para o compressor e 86% para a turbina, determine a vazão mássica de ar no ciclo.

5.a.3. Um ciclo de Brayton simples que utiliza ar como fluido de trabalho possui uma razão de pressão igual a 10. A temperatura mínima e máxima no ciclo são 295 K e 1240 K. Assumindo uma eficiência isentrópica de 83% para o compressor e 87% para a turbina, determine:

- (a) A temperatura do ar na saída da turbina
- (b) O trabalho líquido produzido
- (c) A eficiência térmica

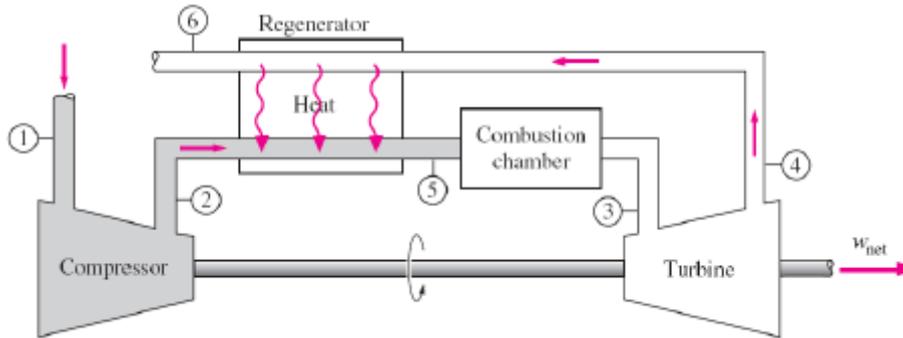
5.a.4. Considere um ciclo Brayton com o ar como fluido de trabalho. A razão de pressão do ciclo é igual a 6, e as temperaturas mínima e máxima são 300 K e 1300 K, respectivamente. Se a razão de pressão for dobrada sem alteração nas temperaturas mínima e máxima do ciclo, determine a variação do trabalho líquido por unidade de massa e variação da eficiência térmica como resultado dessa alteração no ciclo.

5.a.5. Ar entra em um compressor de um ciclo padrão de ar de Brayton a 100 kPa, 300 K, com uma vazão volumétrica de 5 m³/s. A razão de pressão do compressor é 10. A temperatura de entrada na turbina é de 1400 K. Determine:

Lista de Exercícios - Máquinas Térmicas

- (a) A eficiência térmica do ciclo
- (b) A razão de trabalho reverso (back work ratio)
- (c) A potência líquida desenvolvida, em kW.

b. Ciclo de Brayton com regenerador



5.b.1. Um ciclo ideal Brayton com regenerador tem uma razão de pressão igual a 10. O ar entra no compressor a 300 K e na turbina a 1200 K. Se a efetividade do regenerador é 100%, determine o trabalho líquido produzido e a eficiência térmica do ciclo.

5.b.2. Um ciclo Brayton com regeneração utilizando ar como fluido de trabalho tem uma razão de pressão igual a 7. A temperatura mínima e máxima do ciclo são 310 K e 1150 K. Assumindo uma eficiência isentrópica de 75% para o compressor, 82% para a turbina, e uma efetividade de 75% para o regenerador, determine:

- (a) A temperatura do ar na saída da turbina
- (b) o trabalho líquido
- (c) a eficiência térmica

5.b.3. Uma planta de potência de turbina a gás opera em um ciclo Brayton ideal com regenerador (efetividade $\epsilon=100\%$) com o ar sendo o fluido de trabalho. O ar entra no compressor a 95 kPa e 290 K e na turbina a 880 kPa e 1100 K. Calor é transferido para o ar de uma fonte externa a uma taxa de 30.000 kJ/s. Determine a potência fornecida por essa planta térmica.

5.b.4. Ar entra no compressor de uma turbina a gás regenerativa na temperatura de 310 K e pressão 100kPa, onde é comprimido para 900 kPa e 650 K. O regenerador tem uma efetividade de 80%, e o ar entra na turbina a 1400 K. Para uma turbina com uma eficiência de 90%, determine:

- (a) a quantidade de calor transferido no regenerador
- (b) a eficiência térmica

5.b.5. Refaça o exercício anterior (5.b.4) para um regenerador com efetividade de 70%.

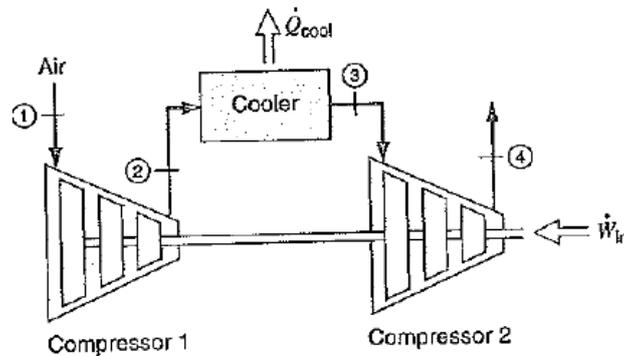
c. Ciclo com intercooling

5.c.1. Um compressor de ar de dois estágios possui um intercooler entre os dois estágios como apresentado na figura abaixo. O estado termodinâmico que o ar entra é de pressão igual a 100 kPa e temperatura de 290 K, atingindo ao final de todo processo de compressão uma pressão de 1,6 Mpa. Assuma, que o cooler resfria em pressão constante o ar até a

Lista de Exercícios - Máquinas Térmicas

temperatura $T_3 = 320$ K. A equação para a pressão otimizada do intercooler, para que o trabalho realizado pelo compressor seja minimizado é a seguinte: $P_2 = [P_1 P_4 \left(\frac{T_3}{T_1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}]^{1/2}$.

Calcule o trabalho específico de compressão, e o calor por unidade de ar transferido no intercooler para a pressão otimizada P_2 .



5.c.2. Ar é comprimido de 100 kPa, 300 K para 1000 kPa em um compressor de dois estágios com resfriamento entre os estágios. A pressão no intercooling é de 300 kPa. O ar é resfriado levando sua temperatura para 300 K antes de entrar no segundo estágio de compressão. Os dois processos de compressão são isentrópicos. Determine:

- A temperatura na saída do segundo estágio do compressor.
- O trabalho fornecido ao compressor.
- Repita o exercício para um compressor com um único estágio de compressão para o mesmo estado termodinâmico do ar na entrada e mesma pressão ao final da compressão.

d. Ciclo com reaquecimento

5.d.1. Considere um ciclo de turbina a gás ideal com dois estágios de compressão e dois estágios de expansão. A razão de pressão de cada estágio do compressor e da turbina é igual a 3. O ar entra em cada estágio do compressor a 300 K e em cada estágio da turbina a 1200 K. Determine a razão de trabalho reverso (back work ratio - bwr) e a eficiência térmica do ciclo, assumindo que não é utilizado um regenerador.

5.d.2. Repita o problema **5.d.1** considerando que os processos de compressão e expansão não são isentrópicos. Assuma que a eficiência de cada estágio do compressor é de 86% e a eficiência de cada estágio da turbina é de 90%.

5.d.3. Ar entra em um compressor de um ciclo padrão de ar de Brayton a 100 kPa, 300 K. A razão de pressão do compressor é 10. A temperatura de entrada do primeiro estágio da turbina é de 1400 K. A expansão ocorre isentropicamente em dois estágios, com reaquecimento até a temperatura de 1400 K entre os estágios. O reaquecimento ocorre na pressão constante de 300 kPa. Um regenerador com uma efetividade de 100% também é incorporado no ciclo. Determine a eficiência térmica.

Lista de Exercícios - Máquinas Térmicas

e. Ciclo com regenerador, intercooling e reaquecimento

5.e.1. Considere uma turbina a gás com regeneração com dois estágios de compressão e dois estágios de expansão. A razão de pressão total do ciclo é igual a 9. O ar entra em cada estágio do compressor a 300 K e em cada estágio da turbina a 1200 K. Determine a vazão mássica mínima de ar necessária para fornecimento de uma potência de saída de 110 MW.

5.e.2. Considere um ciclo de turbina a gás ideal com dois estágios de compressão e dois estágios de expansão. A razão de pressão de cada estágio do compressor e da turbina é igual a 3. O ar entra em cada estágio do compressor a 300 K e em cada estágio da turbina a 1200 K. Determine a razão de trabalho reverso (back work ratio - bwr) e a eficiência térmica do ciclo, assumindo que um regenerador com efetividade de 75% é utilizado nesse ciclo. (Dica: Utilize o mesmo procedimento de solução da questão 5.d.1)

5.e.3. Repita o problema **5.e.2** considerando que os processos de compressão e expansão não são isentrópicos. Assuma que a eficiência de cada estágio do compressor é de 86% e a eficiência de cada estágio da turbina é de 90%.

5.e.4. Uma turbina a gás regenerativa com resfriamento e reaquecimento opera em regime estacionário. O ar entra no compressor a 100 kPa, 300 K com vazão mássica de 5,807 kg/s. A razão de pressão de todo compressor é igual a 10. A razão de pressão em todo processo de expansão também é igual a 10. O intercooler e o reaquecedor operam a 300 kPa. Na entrada dos dois estágios da turbina a temperatura é de 1400 K. A temperatura da entrada no segundo estágio de compressão é 300 K. A eficiência isentrópica em cada estágio de compressão e expansão é igual a 80 %. A efetividade do regenerador é de 80%. Determine:

- (a) A eficiência térmica do ciclo
- (b) A razão de trabalho reverso (back work ratio)
- (c) A potência líquida desenvolvida, em kW.

Lista de Exercícios - Máquinas Térmicas

GABARITO

4 - Motores de combustão interna

a. Ciclo de Carnot

4.a.1. 700 K; 2,47 MPa.

4.a.2. 900 K; 429.9 kJ/kg; 15,6.

4.a.3. $W_{\text{líquido}}=63,8$ kJ; $Q_{\text{fornecido}}=87,7$ kJ ; $\eta=72,7\%$.

4.a.4. $W_{\text{líquido}}=0,115$ kJ.

4.a.5. $\eta=75,0\%$; MEP=89,2 kPa.

b. Ciclo Otto

4.b.1. $P_2=1,84$ MPa, $T_2=662$ K; $P_3=8,81$ MPa, $T_3=3174$ K; $P_4=0,4795$ MPa, $T_4=1380$ K; $\eta=56,5\%$; MEP=1406 kPa.

4.b.2. 2502 K; 6338 kPa.

4.b.3. 3127 K; 6958 kPa; $\eta=0,541$; MEP=1258 kPa.

4.b.4. $W_{\text{líquido}}=1083,6$ kJ/kg; Pot=42,2 kW.

4.b.5. 3082 K; 9797 kPa; $\eta=0,602$; MEP=1255 kPa.

4.b.6. $\eta=61,0\%$; 148 kW.

4.b.7. 1734 K; 4392 kPa; 423 kJ/kg; $\eta=56,4\%$; MEP=434 kPa.

4.b.8. 9,66.

4.b.9. 0,5293 kJ; 0,2989 kJ; $\eta=56,5\%$; ; MEP=8,54 bar.

4.b.10. 11,96 kW.

c. Ciclo Diesel

4.c.1. $P_2=5,72$ MPa, $T_2=915,8$ K; $P_3=P_2$, $T_3=2710$ K; $T_4=1316$ K; $\eta=59,1\%$; MEP=1362 kPa.

4.c.2. 19,32; $\eta=0,619$.

4.c.3. 121 kW.

4.c.4. 6298 kPa; $w_{\text{líquido}}=550,5$ kJ/kg; $\eta=0,653$.

4.c.5. 20,92 ; MEP=894,8 kPa.

4.c.6. 3040 K.

4.c.7. $T=1818,8$ K; $\eta=61,4\%$; MEP=660,4 kPa.

4.c.8. 1332 K; 212 kW.

4.c.9. 87,6 kW.

Lista de Exercícios - Máquinas Térmicas

4.c.10. $r_c = 1 + \frac{q_{in}}{c_p T_1 r^{\gamma-1}}$

d. Ciclo Dual

4.d.1. $P_{MAX}=4829$ kPa; $T_{MAX}=1516$ K; $Q_{fornecido}= 556,5$ kJ/kg; $\eta=0,646$.

4.d.2. $P_{MAX}=4829$ kPa; $T_{MAX}=1309$ K; $Q_{fornecido}= 480,4$ kJ/kg; $\eta=0,646$.

4.d.3. $\eta_{Dual} = 1 - \frac{r_c^\gamma r_p^{-1}}{r^{\gamma-1} (r_p-1) + \gamma r_p r^{\gamma-1} (r_c-1)}$

4.d.4. $T_{max}=2308$ K; $W_{liq}=836$ kJ/kg; $\eta=59,5\%$; $MEP=860$ kPa; $Pot=28,4$ kW.

d. Ciclo Stirling

4.e.1. $\eta=85\%$; $Q_{regen}=635,6$ kJ; $W=465,5$ kJ.

4.e.2. $q=1275$ kJ/kg; $w=1063$ kJ/kg.

4.e.3. $P=3844$ kPa; 583 kJ/kg.

4.e.4. $P=2763$ kPa; $\eta_{sem\ reg.}=0,374$; $\eta_{com\ reg.}=0,783$.

4.e.5. $-w_{1-2}=-q_{1-2}=1153,7$ kJ/kg; $w_{2-3}=0$; $q_{2-3}=2773$ kJ/kg; $w_{3-4}=q_{3-4}=4465,8$ kJ/kg; $w_{4-1}=0$; $q_{4-1}=-2773$ kJ/kg; $\eta=0,458$.

4.e.6. $w_{1-2}=q_{1-2}=-197,1$ kJ/kg; $w_{2-3}=0$; $q_{2-3}=699$ kJ/kg; $w_{3-4}=q_{3-4}=841,4$ kJ/kg; $w_{4-1}=0$; $q_{4-1}=-699$ kJ/kg; $\eta=0,766$.

5 - Turbinas a gás:

a. Ciclo Brayton

5.a.1. $x=0,50$; $T_4=861$ K; $P_4= 250,4$ kPa; $w_{t2}=201,7$ kJ/kg .

5.a.2. $786,6$ kg/s.

5.a.3. $T_4=764,4$ K; $w_{liq}=210,4$ kJ/kg; $\eta=30,1\%$.

5.a.4. $\Delta W_{liq}=41,5$ kJ/kg; $\Delta\eta=10,6\%$.

5.a.5. $\eta=45,7\%$; $BWR=39,6\%$; $Pot=2481$ kW.

b. Ciclo de Brayton com regenerador

5.b.1. $w_{liq}= 322,26$ kJ/kg; $\eta=53,5\%$.

5.b.2. $T_4=782,8$ K; $w_{liq}=108,09$ kJ/kg; $\eta=22,5\%$.

5.b.3. $Pot= 15.525$ kW.

5.b.4. 193 kJ/kg; $\eta=40\%$.

5.b.5. $168,6$ kJ/kg; $\eta=38,6\%$.

Lista de Exercícios - Máquinas Térmicas

c. Ciclo com intercooling

5.c.1. $-w_{c1}=163,3 \text{ kJ/kg}$; $q=133,2 \text{ kJ/kg}$; $-w_{c2}=133,2 \text{ kJ/kg}$.

5.c.2. 422 K ; $w_{\text{com resfriamento}}=234,7 \text{ kJ/kg}$; $w_{\text{sem resfriamento}}=279,7 \text{ kJ/kg}$.

d. Ciclo com reaquecimento

5.d.1. $\text{BWR}=33,5\%$; $\eta=36,8\%$.

5.d.2. $\text{BWR}=43,3\%$; $\eta=29,5\%$.

5.d.3. $\eta=65,4\%$.

e. Ciclo com regenerador, intercooling e reaquecimento

5.e.1. $246,6 \text{ kg/s}$

5.e.2. $\text{BWR}=33,5\%$; $\eta=55,3\%$.

5.e.3. $\text{BWR}=43,3\%$; $\eta=46,1\%$.

5.e.4. $\eta=44,3\%$; $\text{BWR}=45,4\%$; $\text{Pot}=2046 \text{ kW}$.