

## MÁQUINAS TÉRMICAS

---

### O CICLO FRIGORÍFICO POR ABSORÇÃO DE AMÔNIA

Os sistemas de **refrigeração por absorção** de vapores são ciclos de refrigeração operados a calor, onde um fluido secundário ou *absorvente* na fase líquida é responsável por absorver o fluido primário ou *refrigerante*, na forma de vapor.

Ciclos de refrigeração operados a calor são assim definidos, porque a energia responsável por operar o ciclo é majoritariamente térmica.

Descoberta pelo escocês Nairn em 1777, a refrigeração por absorção tem por "pai" o francês Ferdinand Carré (1824-1900), que em 1859 patenteou a primeira máquina de absorção de funcionamento contínuo, usando o par amônia-água. (

[http://pt.wikipedia.org/wiki/Refrigera%C3%A7%C3%A3o\\_por\\_absor%C3%A7%C3%A3o](http://pt.wikipedia.org/wiki/Refrigera%C3%A7%C3%A3o_por_absor%C3%A7%C3%A3o)

)

## MÁQUINAS TÉRMICAS

---

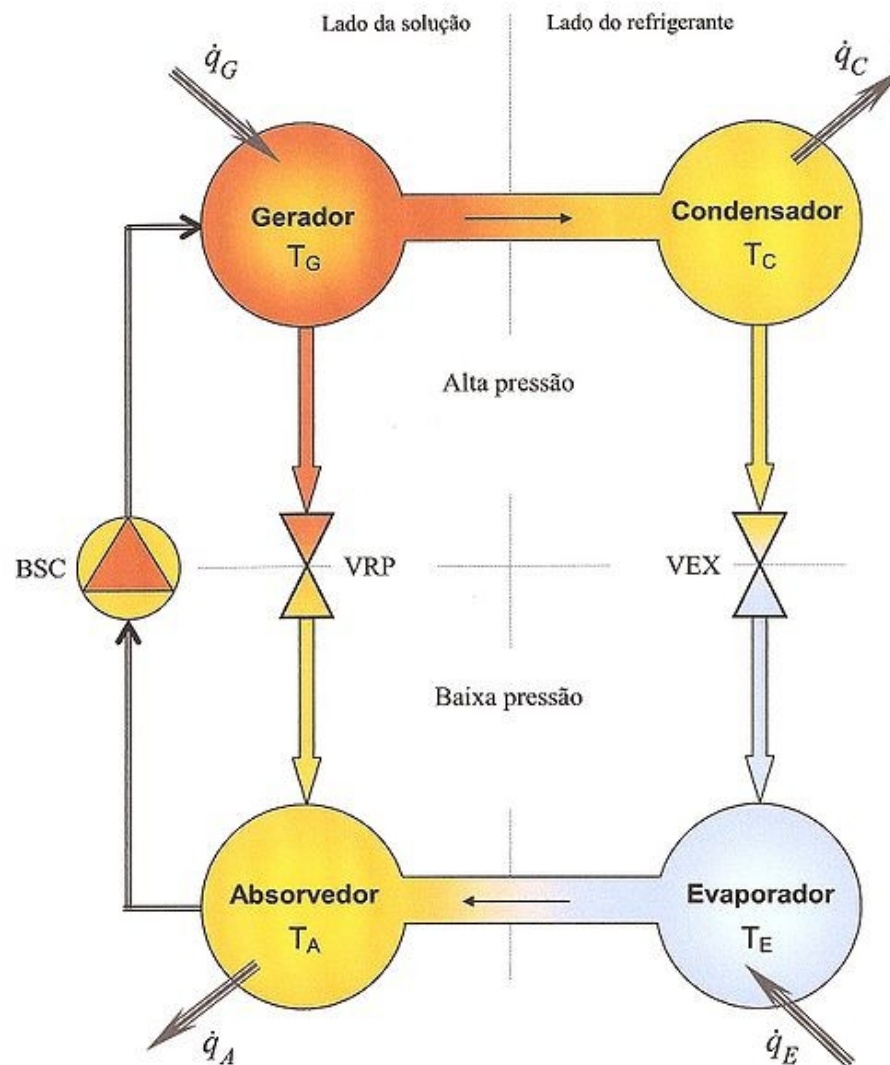
Água quente, vapor e gases de combustão, são algumas das fontes de calor utilizadas para operar equipamentos de absorção, cuja energia térmica pode ser obtida a partir dos seguintes meios:

Aproveitamento de rejeitos de calor;

Cogeração;

Energia solar; e

Queima direta (biomassa, biodiesel, gás natural, biogás).



## MÁQUINAS TÉRMICAS

---

Os sistemas de refrigeração por absorção podem ser classificados segundo os fluidos de trabalho empregados.

São três as tecnologias comercialmente consagradas:

Amônia-água;

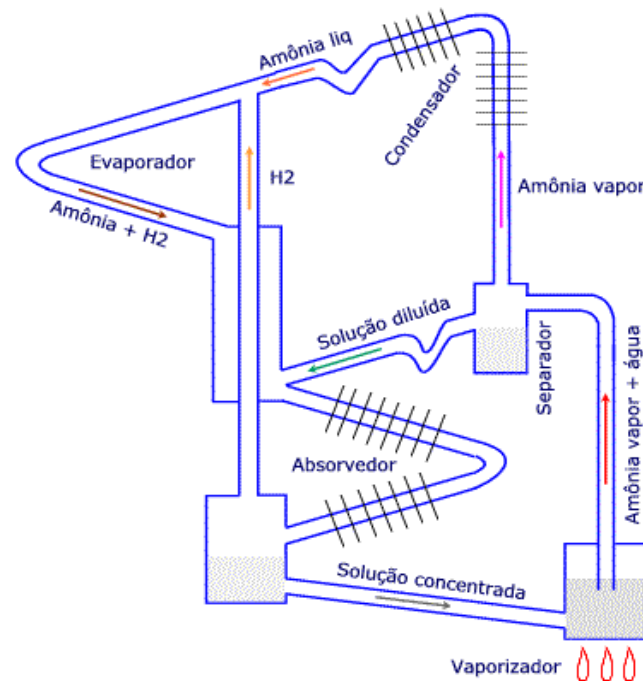
Amônia-água-hidrogênio; e

Água-brometo de lítio.

Os sistemas de refrigeração por absorção, utilizando a solução binária *amônia-água*, passaram a ser empregados comercialmente, a partir de 1859, com o intuito de produzir gelo. Nesses sistemas, a água faz o papel do fluido secundário, ou seja, é responsável por absorver os vapores de amônia. Por utilizarem amônia como refrigerante, cuja temperatura de congelamento é de  $(-77^{\circ}\text{C})$ , tais sistemas são hoje normalmente empregados no campo da refrigeração, em grandes instalações industriais, que requeiram temperaturas inferiores a  $0^{\circ}\text{C}$ . Contudo, o uso da solução amônia-água se estendeu, a partir das décadas de 1960 e 1970, para equipamentos de ar condicionado de pequeno a médio porte (10 a 90 kW), com condensação a ar, no resfriamento e na calefação de instalações residenciais e comerciais.

## MÁQUINAS TÉRMICAS

O sistema de refrigeração por absorção utilizando *amônia-água-hidrogênio*, também conhecido como sistema por *difusão*, foi desenvolvido em 1920 pelos suecos Baltazar von Platen e Carl Munters. Tem como base o ciclo amônia-água, com a adição de hidrogênio para equalizar a pressão em todo o sistema. Empregado em refrigeradores residenciais e veiculares, o ciclo não possui bomba de recirculação de solução, fazendo com que esses equipamentos sejam extremamente silenciosos. **Geladeira a querosene.**



## MÁQUINAS TÉRMICAS

---

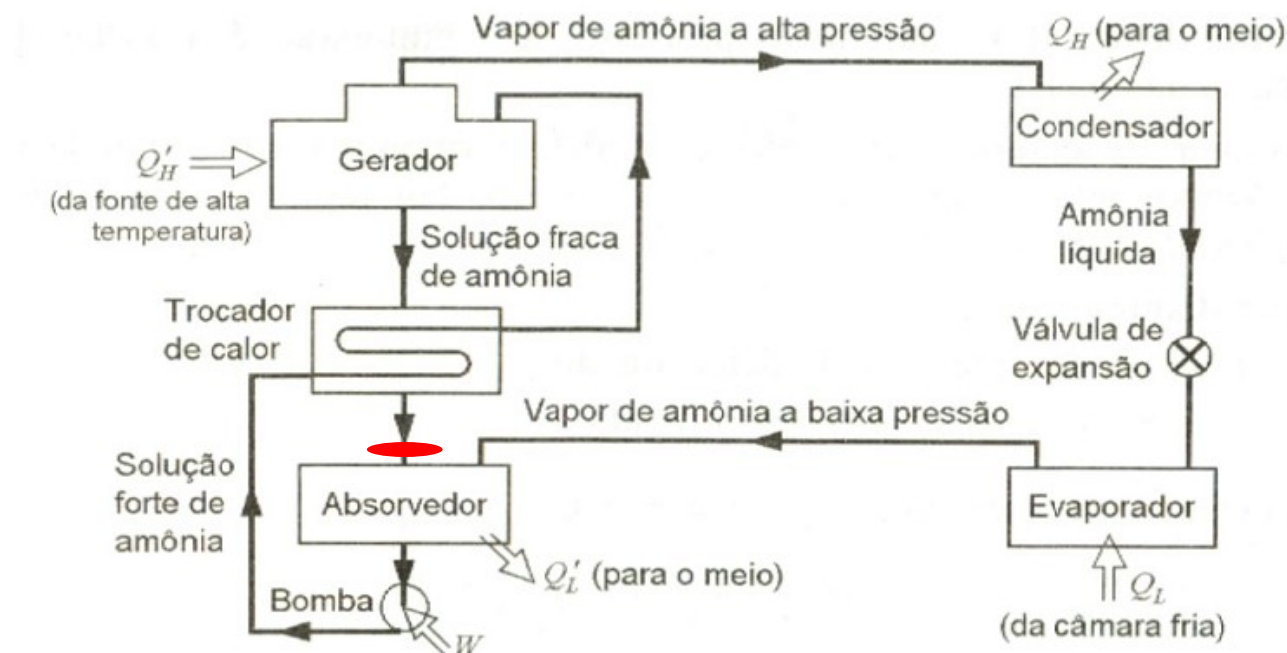
A utilização da absorção com solução de *água-brometo de lítio*, se deu a partir de 1946 com a disseminação do uso do condicionamento do ar para resfriamento e calefação de ambientes. Nesse sistema, a água desempenha o papel do refrigerante, enquanto uma solução de água-brometo de lítio é o agente absorvente. Por utilizar água como refrigerante, cuja temperatura de congelamento é  $0^{\circ}\text{C}$ , sua utilização é restrita a aplicações com alta temperatura de evaporação, ar condicionado por exemplo. Atualmente, instalações centrais de ar condicionado em grandes edifícios, utilizam equipamentos de absorção, com condensação a água, fabricados nas capacidades de 352 a 5.275 kW.

## MÁQUINAS TÉRMICAS

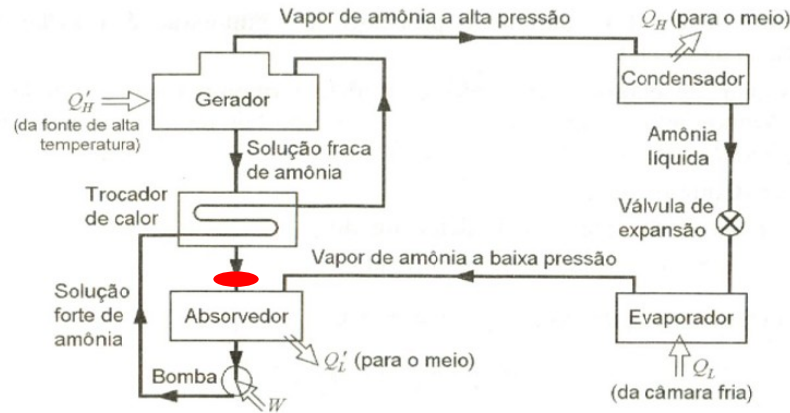
### O CICLO FRIGORÍFICO POR ABSORÇÃO DE AMÔNIA

O ciclo frigorífico por absorção de amônia difere do ciclo por compressão de vapor na maneira pela qual a compressão é efetuada.

No ciclo de absorção, o vapor de amônia a baixa pressão é absorvido pela água e a solução líquida é bombeada a uma pressão superior por uma bomba de líquido.



# MÁQUINAS TÉRMICAS



O vapor de amônia a baixa pressão, que deixa o evaporador, entra no absorvedor onde é absorvido pela solução fraca de amônia.

Esse processo ocorre a uma temperatura levemente acima daquela do meio e deve ser transferido calor ao meio durante esse processo.

A solução forte de amônia é então bombeada através de um trocador de calor ao gerador (onde são mantidas uma alta pressão e uma alta temperatura).

Sob essas condições, o vapor de amônia se separa da solução em consequência da transferência de calor da fonte de alta temperatura.

O vapor de amônia vai para o condensador, é condensado, como no sistema de compressão de vapor, e se dirige para a válvula de expansão e para o evaporador.

A solução fraca de amônia retorna ao absorvedor através do trocador de calor.



## MÁQUINAS TÉRMICAS

---

A característica particular do sistema de absorção consiste em requerer um consumo muito pequeno de trabalho porque o processo de bombeamento envolve um líquido.

Isso resulta do fato de que; para um processo reversível, em regime permanente e com variações desprezíveis de energias cinéticas e potencial; o trabalho é igual a  $-\int v dp$  e o volume específico do líquido é muito menor que o volume específico do vapor.

Por outro lado, deve-se dispor de uma fonte térmica de temperatura relativamente alta (100 a 200 °C).

O equipamento envolvido num sistema de absorção é um tanto maior que num sistema de compressão de vapor e pode ser justificado economicamente apenas nos casos onde é disponível uma fonte térmica adequada e que, de outro modo, seria desperdiçada.

Nos anos recentes, tem-se dado maior atenção aos ciclos de absorção devido às fontes alternativas de energia, tais como, por exemplo, as fontes de energia solar ou geotérmica.

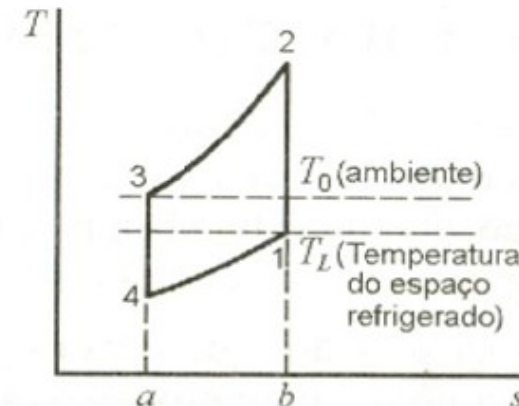
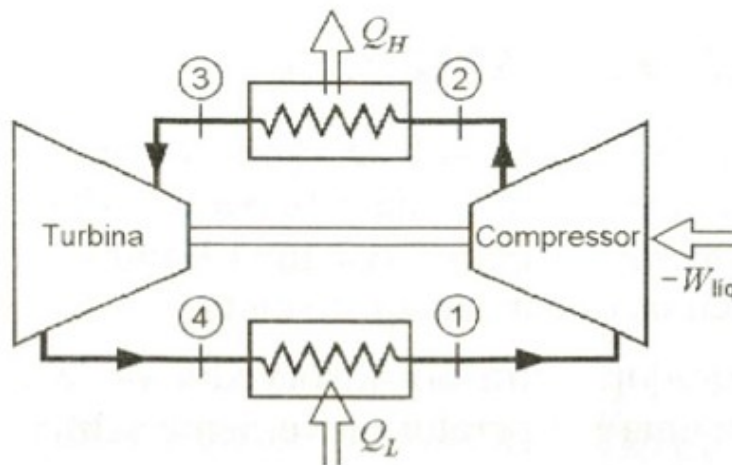
## MÁQUINAS TÉRMICAS

### O CICLO - PADRÃO DE REFRIGERAÇÃO A AR

O ciclo de refrigeração original, baseado em quatro processos e descrito na Figura, que opera com um fluido de trabalho que não apresenta mudança de fase, o trabalho envolvido no processo de expansão isentrópica não será pequeno (o contrário do que ocorre com os ciclos que operam com processos que apresentam mudança de fase).

Portanto, no ciclo padrão refrigeração a ar, realiza-se o processo de expansão numa turbina e este ciclo está esquematicamente mostrado na Figura.

O ciclo de refrigeração é essencialmente o inverso do ciclo Brayton.



## MÁQUINAS TÉRMICAS

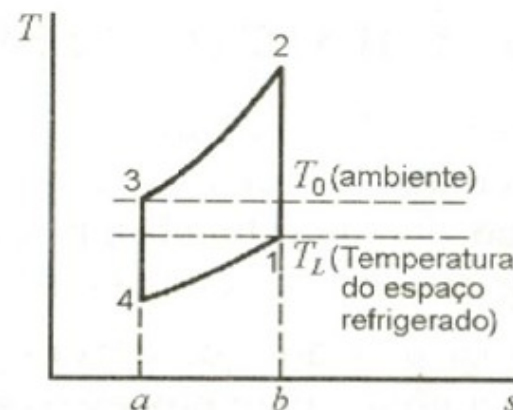
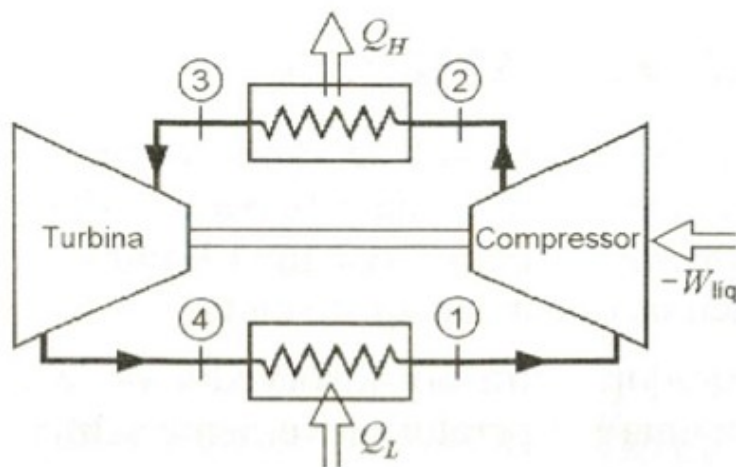
Após a compressão de 1 a 2, o ar é resfriado em consequência da transferência de calor ao meio envolvente (a temperatura  $T_0$ ).

O ar é então expandido, no processo 3-4, até a pressão de entrada do compressor e a temperatura cai para  $T_4$ , no expansor.

Calor pode, então, ser transferido ao ar até que se atinja a temperatura  $T_1$ .

O trabalho, para esse ciclo, é representado pela área 1-2-3-4-1 e o efeito frigorífico é representado pela área 4-1-**b-a**-4.

O coeficiente de eficácia é a relação entre estas duas áreas.

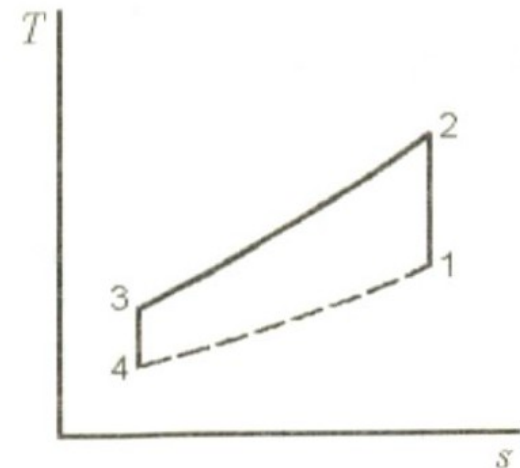
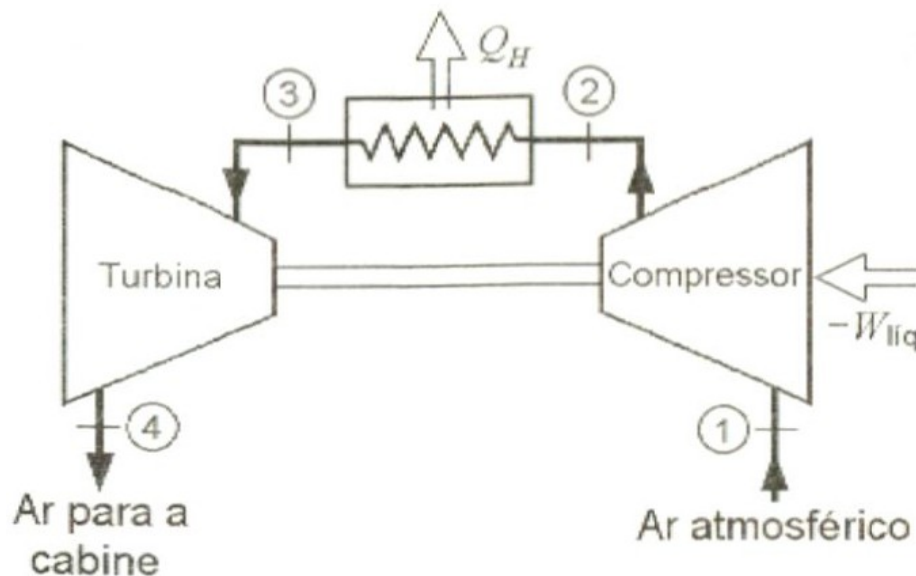


# MÁQUINAS TÉRMICAS

Uma versão aberta deste ciclo tem sido utilizada para o resfriamento de aviões.

A Figura mostra um esquema deste ciclo.

O ar frio, obtido na seção de descarga da turbina, é soprado diretamente na cabine e assim proporcionando o efeito de resfriamento.



# MÁQUINAS TÉRMICAS

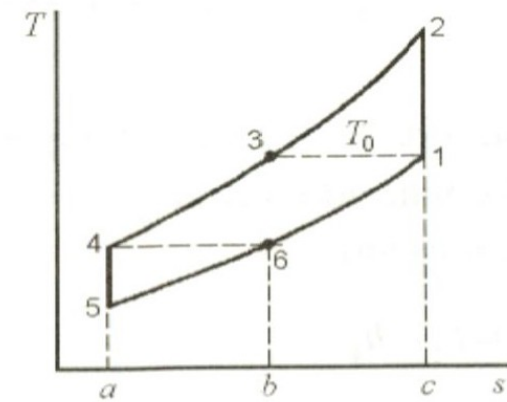
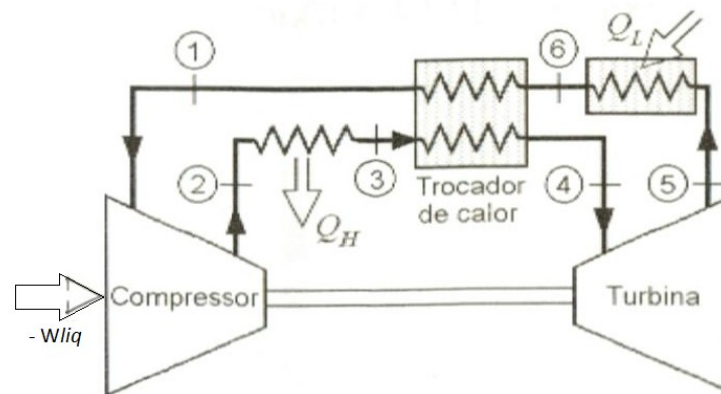
E possível obter temperaturas muito baixas se incorporarmos trocadores de calor contracorrente no ciclo.

Procedendo deste modo nós obtemos o ciclo básico utilizado nas usinas de liquefação de ar a baixa pressão e em outros dispositivos de liquefação de fluidos (tal como o aparelho de Collins utilizado para liquefação de hélio).

O ciclo ideal é mostrado na Figura.

A turbina opera a temperaturas muito baixas e isto cria problemas significativos ao projetista destes equipamentos.

A escolha do sistema de lubrificação e dos materiais é fundamental para a operação segura destas turbinas.



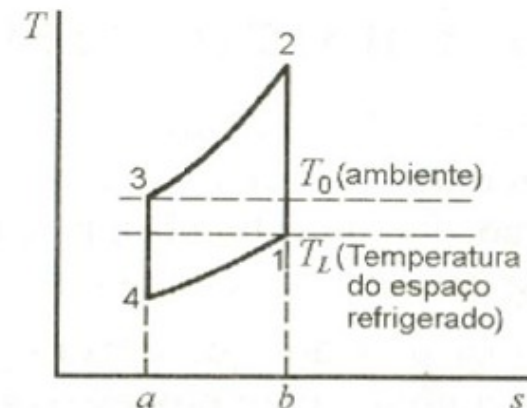
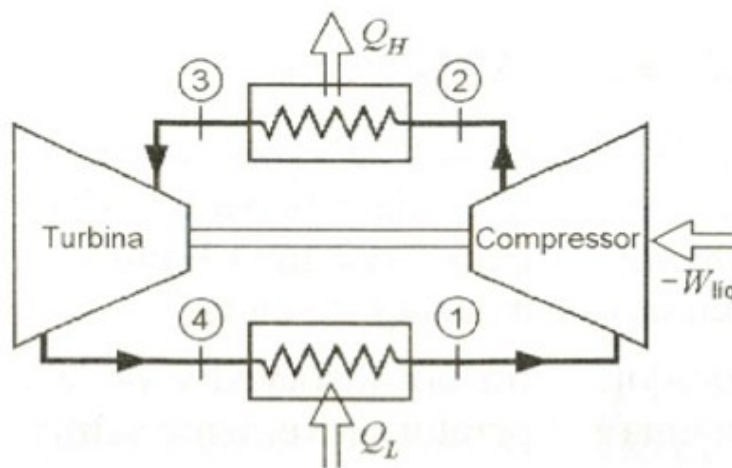
# MÁQUINAS TÉRMICAS

## Exemplo

Considere o ciclo-padrão a ar de refrigeração simples da Figura. O ar entra no compressor a 0,1 MPa e  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  e o deixa a 0,5 MPa. Sabendo que o ar entra na turbina a  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , determine:

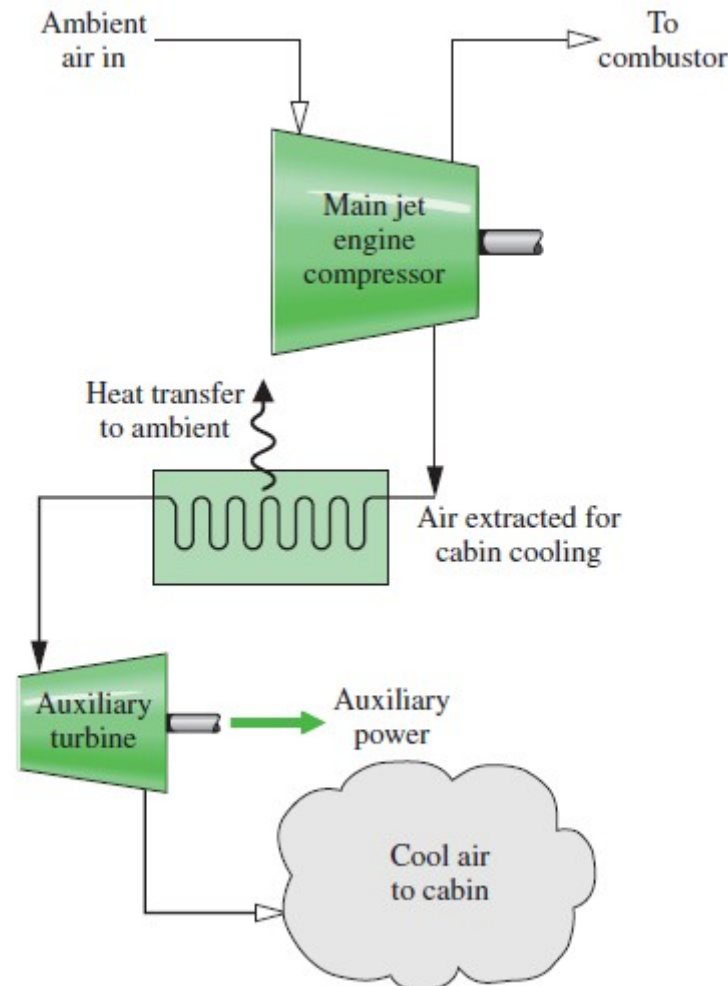
O coeficiente de eficácia desse ciclo;

A descarga de ar no compressor para fornecer 1 kW de refrigeração.



# MÁQUINAS TÉRMICAS

They are used to achieve very low temperatures for the liquefaction of air and other gases and for other specialized applications such as aircraft cabin cooling.





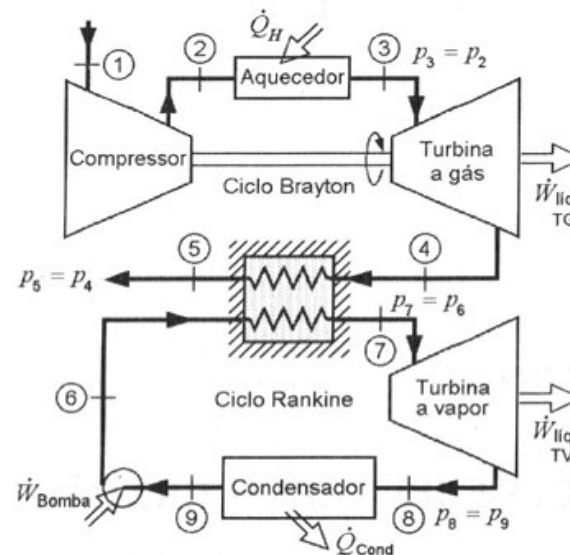
# MÁQUINAS TÉRMICAS

## CICLOS COMBINADOS DE POTÊNCIA E DE REFRIGERAÇÃO

Um ciclo combinado, que tem recebido muita atenção ultimamente, é o baseado na utilização do "calor perdido" na exaustão da turbina a gás do ciclo Brayton (ou de outro motor, como o Diesel) como fonte térmica para um ciclo de potência a vapor d'água ou de outro fluido.

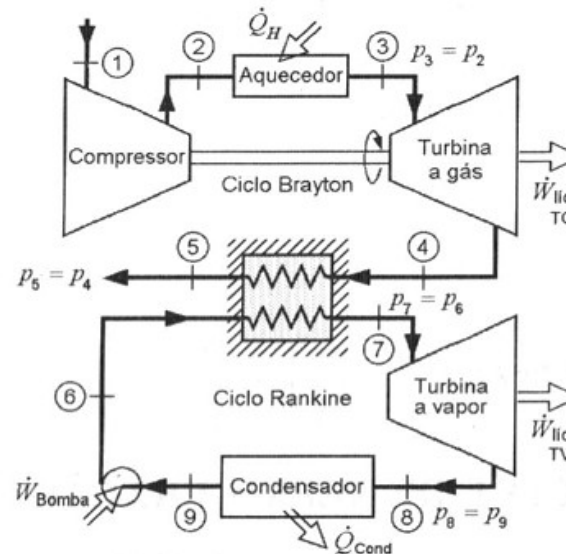
O ciclo a vapor opera com um ciclo de "bottoming" do ciclo de potência a gás e isto é feito para aproveitar o alto rendimento térmico do ciclo combinado.

Uma destas combinações, composta por uma turbina a gás e um ciclo a vapor do tipo Rankine, está mostrada na Figura.





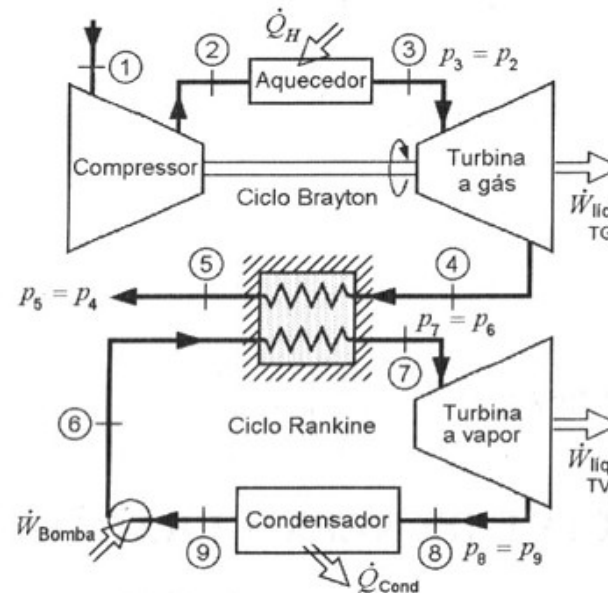
# MÁQUINAS TÉRMICAS



Nesta combinação, o resfriamento dos gases de exaustão da turbina a gás é a fonte de energia para os processos de transferência de calor com mudança de fase (ebulição) e de superaquecimento do vapor gerado.

O projeto destas instalações deve ser feito de modo a evitar o ponto de pinça, ou seja, deve-se evitar que a temperatura dos gases atinja a temperatura de mudança de fase do vapor sem que se tenha transferido a quantidade de energia necessária para que o processo de evaporação esteja completo.

# MÁQUINAS TÉRMICAS



Outro modo de utilizar o "calor perdido" na exaustão do ciclo Brayton é a instalação de um ciclo de potência que opera com uma mistura de substâncias como fluido de trabalho.

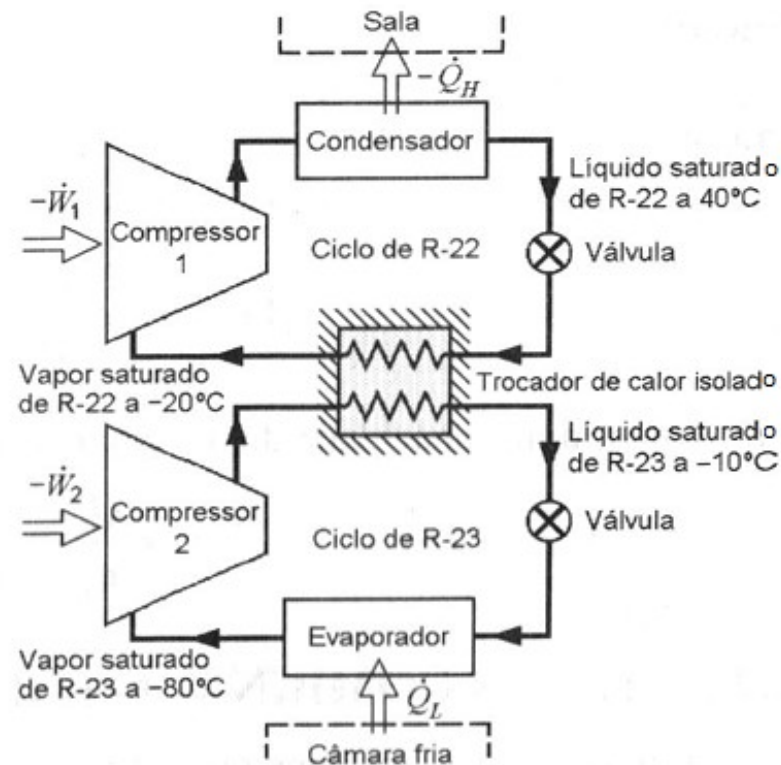
Um exemplo desta aplicação é o ciclo Kalina que utiliza uma mistura água-amônia como fluido de trabalho num ciclo de potência do tipo Rankine.

Esta combinação de ciclos pode apresentar eficiências muito altas, pois as diferenças de temperatura entre os dois fluidos podem ser controladas através do projeto criterioso do ciclo combinado.

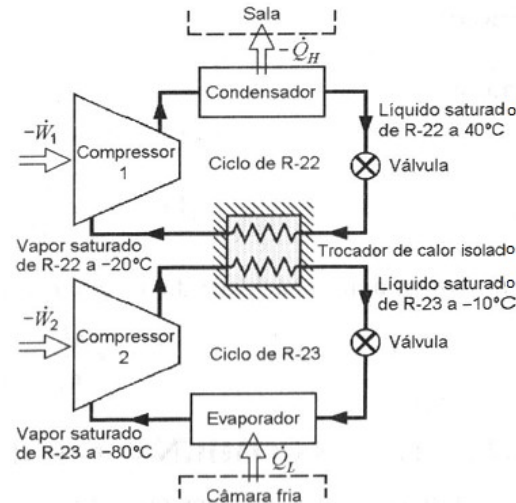
# MÁQUINAS TÉRMICAS

Ciclos combinados de refrigeração são utilizados quando a diferença entre as temperaturas do meio e a do espaço refrigerado é grande.

A Figura mostra uma combinação que normalmente é chamada de cascata.



# MÁQUINAS TÉRMICAS



Neste caso apresentado, o refrigerante utilizado no ciclo que rejeita calor *para* o ambiente é o R-22 e a transferência de calor no evaporador deste ciclo é devida a condensação do refrigerante R-23 que escoa no do ciclo de baixa temperatura.

Este segundo fluido de trabalho é utilizado porque apresenta propriedades termodinâmicas adequadas para o funcionamento em baixa temperatura.

Como no caso de combinação dos ciclos de potência, a determinação dos tipos de fluidos de trabalho e das características de projeto precisam ser consideradas cuidadosamente para otimizar o desempenho de cada ciclo.