1 Revisão de conceitos

1.1 Propriedades

- Para substâncias simples, 2 propriedades intensivas independentes (T, P, u, h, s) definem o estado termodinâmico
- Em substâncias em mudança de fase, T e P são propiedades dependentes, portanto não definem o estado. Normalmente o título ($x = \frac{m_{vapor}}{mtotal}$) nessas situações
- Normalmente aproximamos as propriedades de líquido comprimido para as de líquido saturado na mesma temperatura, para pressões baixas (ex: Atm) quando não há valores tabelados.

1.2 Idealizações

- Variações de energia potêncial e cinética são desprezíveis.

$$\Delta E_p = \Delta E_c \approx 0 \tag{1}$$

- Regime permanente, não há acumulo de energia ou entropia nos equipamentos.

$$\frac{dE}{dt} = \frac{dS}{dt} = 0 \tag{2}$$

- Tubulações, misturadores e trocadores de calor são consideradas adiabáticos ($Q = 0$) e isobáricos ($\Delta P = 0$)

$$\cancel{\frac{dE}{dt}} = \cancel{\dot{Q}} - \cancel{\dot{W}} + \sum \dot{m}_e * h_e - \sum \dot{m}_s * h_s \implies \sum \dot{m}_e * h_e = \sum \dot{m}_s * h_s \tag{3}$$

- OBS: Condensadores e evaporadores são trocadores de calor em que normalmente consideremos apenas uma corrente e um reservatório termico. Nesse caso haverá troca de calor

$$\cancel{\frac{dE}{dt}} = \dot{Q} - \cancel{\dot{W}} + \sum \dot{m}_e * h_e - \sum \dot{m}_s * h_s \implies \dot{Q} = \dot{m} * (h_s - *h_e) \tag{4}$$

- Bombas, compressores e turbinas são considerados adiabáticos e reversíveis (portanto isentrópicos) e com apenas um fluxo.

$$\cancel{\frac{dE}{dt}} = \cancel{\dot{Q}} - \dot{W} + \sum \dot{m}_e * h_e - \sum \dot{m}_s * h_s \implies \dot{W} = \dot{m} * (h_e - *h_s) \tag{5}$$

Note que os balanços de energia se resumem a fluxos de entalpia, portanto essa será a principal propriedade nos exercícios. Os balanços de entropia normalmente não são necessários para resolver os exercícios, pois utilizaremos relações isentrópicas prontas.
Dica: É preciso ter cuidado com os sinais do trabalho e calor calculados. Uma boa estratégia é realizar os cálculos com valores em módulo.

2 Ciclo Rankine

Por definição, o ciclo Rankine envolve mudanças de fase do fluido de trabalho (geralmente água). O ciclo Rankine ideal é composto por quatro estados e quatro processos idealizados:

- 1-2 Compressão isentrópica $\Delta s = 0$
- 2-3 Aquecimento isobárico $\Delta P = 0$
- 3-4 Expansão isentrópica $\Delta s = 0$
- 4-1 Resfriamento isobárico $\Delta P = 0$

Para definirmos um ciclo Rankine precisamos definir os seus 4 estados. Para cada estado será necessário pelo menos 2 propriedades termodinâmicas (intensivas e independentes). Como os processos do ciclo são 4 relações iso(algo), conseguimos definir um ciclo Rankine básico por apenas 2 estados. Esses estados são em geral a entrada da bomba (1) e a entrada da turbina (3).

O estado 1 é considerado liquido saturado na pressão do condensador. O estado 3 pode ser saturado (sem superaquecimento) ou superaquecido, dependendo do processo, na pressão do evaporador. O ciclo Rankine com superaquecimento é o mais comum.

Dessa forma, a tabela de propriedades pode ser preenchida da seguinte maneira:

Tabela 1: Básico

Estado	T	P	x	h	s
1		P_{cond}	0		s_1
2		P_{evap}			s_1
3		P_{evap}	0		s_3
4		P_{cond}			s_3

Tabela 2: Com superaquecimento

Estado	T	P	x	h	s
1		P_{cond}	0		s_1
2		P_{evap}			s_1
3	T_{super}	P_{evap}			s_3
4		P_{cond}			s_3

A ordem natural de preencher a tabela é:

1. Calcular os valores de entalpia e entropia para os estados 1 e 3 (tabelas de saturado e superaquecido)
2. A partir da entropia do estado 3 e da pressão do condensador, definir o estado 4. Provavelmente uma mistura, portanto calcular o titulo e depois a entalpia.
3. Calcular a entalpia do estado 2 por meio da relação isentrópica para bombas. $\Delta h = v * \Delta P$

Uma vez determinada as entalpias é possível calcular a eficiência do ciclo:

$$\eta = \frac{W_t - |W_b|}{Q_h} = \frac{(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)}{h_3 - h_2} \tag{6}$$

OBS: Apesar do ciclo Rankine ser ideal, seu rendimento é diferente ao de Carnot devido a irreversíbilidades externas ao ciclo.

Resta-nos calcular a potência líquida ($\dot{W_{liq}}$) e calores trocados ($\dot{Q_h}$ e $\dot{Q_c}$). Para isso é necessária a vazão mássica ($\dot{m}$), se ela não for dada é possível calculada a partir de $\dot{W_{liq}}$, $\dot{Q_h}$ ou $\dot{Q_c}$.

$$W_{liq} = \dot{m}[(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)] \tag{7}$$

$$Q_h = \dot{m}(h_3 - h_2) \tag{8}$$

$$|Q_c| = \dot{m}(h_4 - h_1) \tag{9}$$