A.08.02 – Misturas Gás-Vapor e Condicionamento de Ar

Fenômenos de Saturação do Vapor no Ar

Prof. C. Naaktgeboren, PhD

https://github.com/CNThermSci/ApplThermSci

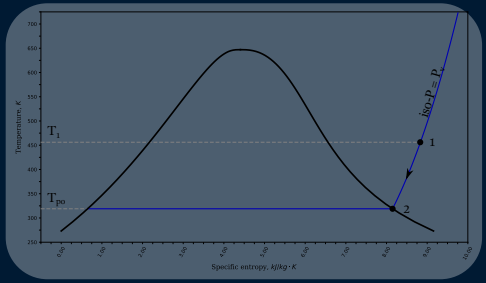
Compiled on 2021-03-03 00h19m47s UTC

Esta apresentação baseia-se nas referências [1], Seções 14-3 a 14-4 (tópicos de leitura) e [2].

Temperatura do Ponto de Orvalho, T_{po}

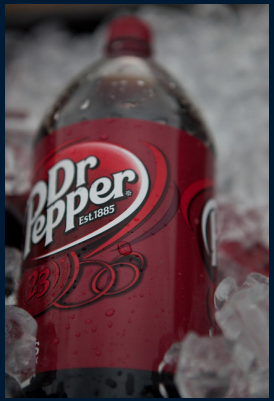
Definition

Temperatura de ponto de orvalho é definida como a temperatura na qual se dá o início da condensação quando o ar é resfriado à pressão constante.

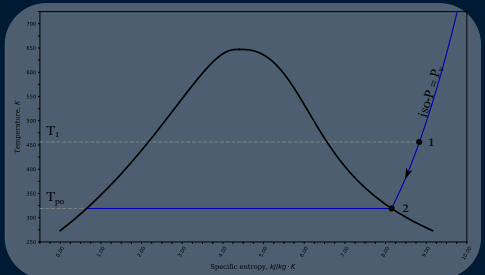


Processo de resfriamento a pressão constante desde a temperatura inicial, T_1, até a temperatura do ponto de orvalho, T_{po}. Diagrama em escala
Fonte: autoria própria

Temperatura do Ponto de Orvalho, T_{po}



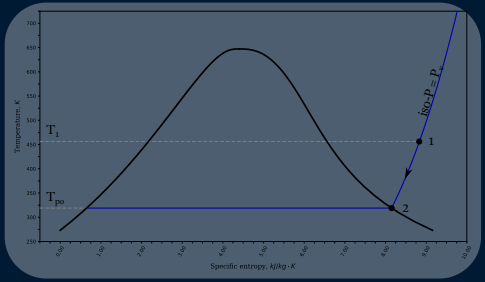
c1.staticflickr.com



Processo de resfriamento a pressão constante desde a temperatura inicial, T_1, até a temperatura do ponto de orvalho, T_{po}. Diagrama em escala
Fonte: autoria própria

Temperatura do Ponto de Orvalho, T_{po}

upload.wikimedia.org



Processo de resfriamento a pressão constante desde a temperatura inicial, T_1, até a temperatura do ponto de orvalho, T_{po}. Diagrama em escala
Fonte: autoria própria

Temperatura do Ponto de Orvalho, T_{po}

www.liquidimageco.com

www.quora.com

Temperatura do Ponto de Orvalho, T_{po}

images.pexels.com

images.pexels.com

Saturação Adiabática

- Pressão parcial é um conceito de difícil medição direta;

Saturação Adiabática

- Pressão parcial é um conceito de difícil medição direta;
- É desejável relacionar as umidades a grandezas de fácil medição;

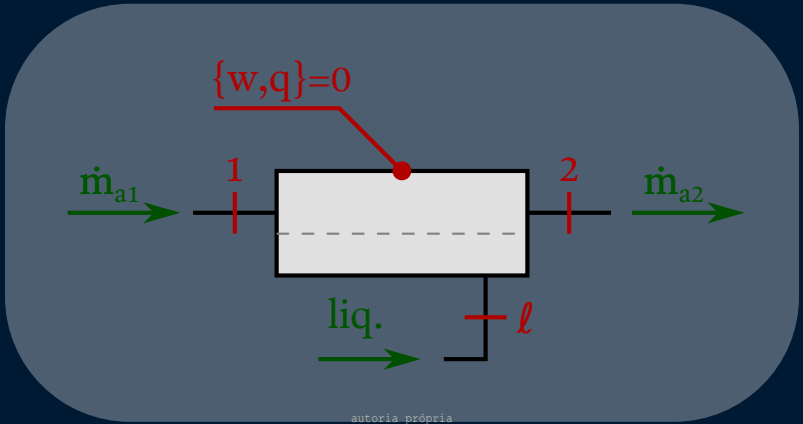
Saturação Adiabática

- Pressão parcial é um conceito de difícil medição direta;
- É desejável relacionar as umidades a grandezas de fácil medição;
- A medição da temperatura de orvalho, T_{po}, não é muito prática;

Saturação Adiabática

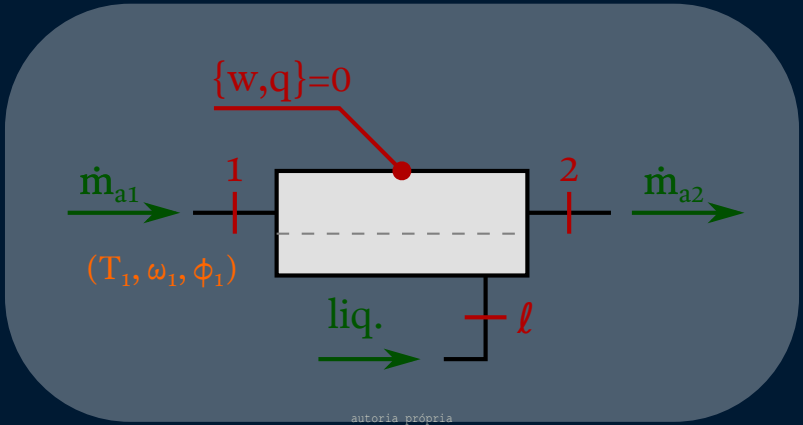
- Pressão parcial é um conceito de difícil medição direta;
- É desejável relacionar as umidades a grandezas de fácil medição;
- A medição da temperatura de orvalho, T_{po}, não é muito prática;
- Estuda-se então o processo de saturação adiabática:

Saturação Adiabática



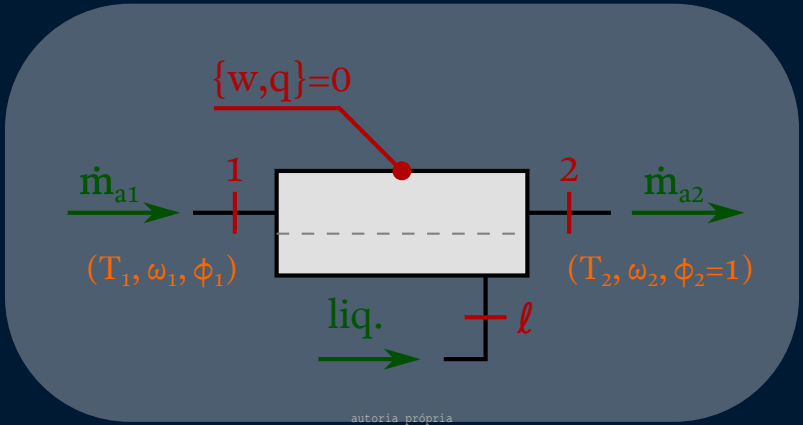
autoria própria

Saturação Adiabática



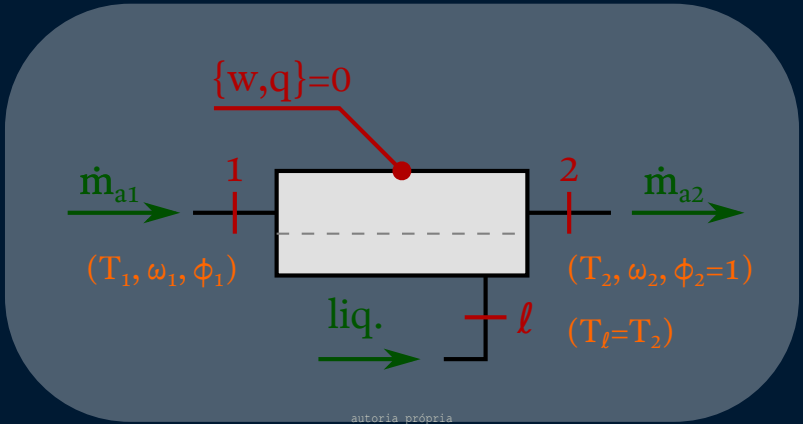
autoria própria

Saturação Adiabática



autoria própria

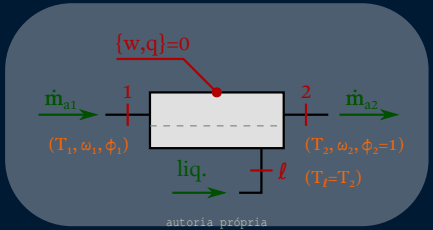
Saturação Adiabática



autoria própria

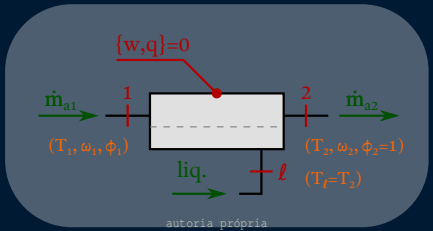
Balanço de Massa

$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2}$$



Balanço de Massa

$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} = \dot{m}_a \qquad \text{(ar seco)}$$

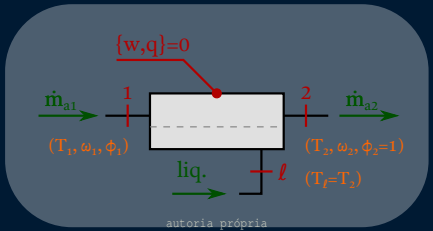


autoria própria

Balanço de Massa

$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} = \dot{m}_a \qquad \text{(ar seco)}$$

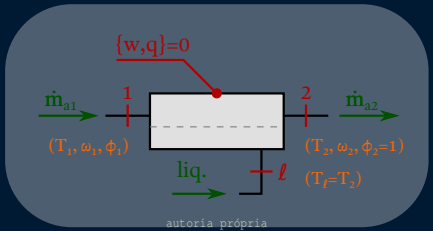
$$\dot{m}_{w1} + \dot{m}_\ell = \dot{m}_{w2}$$



Balanço de Massa

$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} = \dot{m}_a \qquad \text{(ar seco)}$$

$$\dot{m}_{w1} + \dot{m}_\ell = \dot{m}_{w2} \qquad \rightharpoondown$$

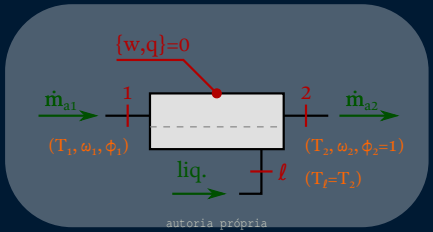


Balanço de Massa

$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} = \dot{m}_a \qquad \text{(ar seco)}$$

$$\dot{m}_{w1} + \dot{m}_\ell = \dot{m}_{w2} \qquad \rightharpoonup$$

$$\dot{m}_a \omega_1 + \dot{m}_\ell = \dot{m}_a \omega_2$$

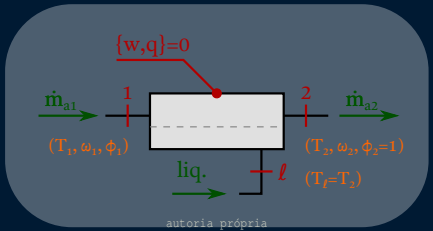


Balanço de Massa

$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} = \dot{m}_a \qquad \text{(ar seco)}$$

$$\dot{m}_{w1} + \dot{m}_\ell = \dot{m}_{w2} \qquad \rightharpoondown$$

$$\dot{m}_a \omega_1 + \dot{m}_\ell = \dot{m}_a \omega_2 \qquad \rightharpoondown$$



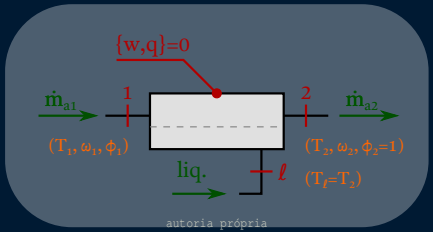
Balanço de Massa

$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} = \dot{m}_a \qquad \text{(ar seco)}$$

$$\dot{m}_{w1} + \dot{m}_\ell = \dot{m}_{w2} \qquad \rightharpoondown$$

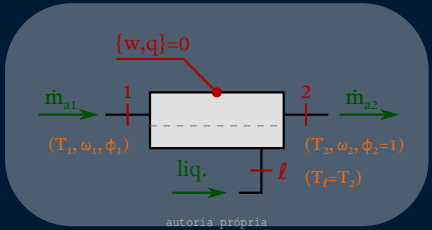
$$\dot{m}_a \omega_1 + \dot{m}_\ell = \dot{m}_a \omega_2 \qquad \rightharpoondown$$

$$\dot{m}_\ell = \dot{m}_a (\omega_2 - \omega_1).$$



Balanço de Energia (com $Q = W = 0$)

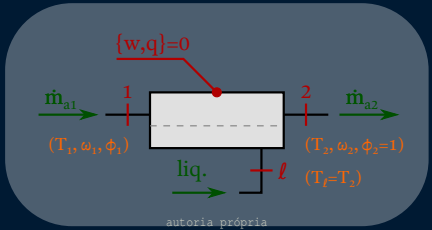
$$\dot{E}_{ent} = \dot{E}_{sai}$$



autoria própria

Balanço de Energia (com $Q = W = 0$)

$$\dot{E}_{ent} = \dot{E}_{sai} \qquad \rightarrow$$

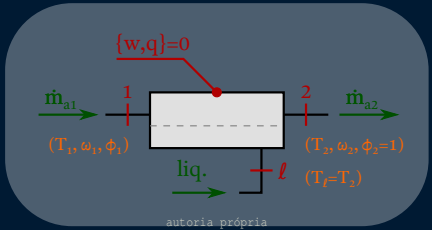


autoria própria

Balanço de Energia (com $Q = W = 0$)

$$\dot{E}_{ent} = \dot{E}_{sai} \quad \rightarrow$$

$$\dot{m}_a h_1 + \dot{m}_\ell h_\ell = \dot{m}_a h_2$$

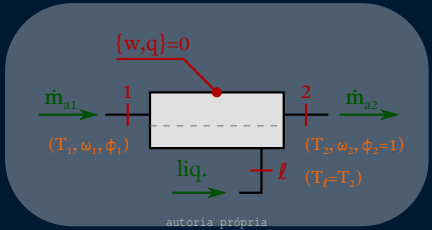


autoria própria

Balanço de Energia (com $Q = W = 0$)

$$\dot{E}_{ent} = \dot{E}_{sai} \quad \rightarrow$$

$$\dot{m}_a h_1 + \dot{m}_\ell h_\ell = \dot{m}_a h_2 \quad \rightarrow$$



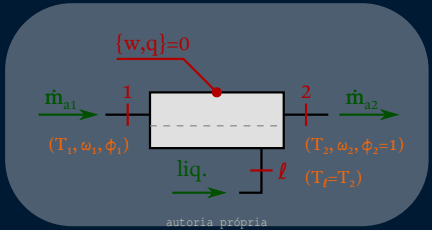
autoria própria

Balanço de Energia (com $Q = W = 0$)

$$\dot{E}_{ent} = \dot{E}_{sai} \quad \rightarrow$$

$$\dot{m}_a h_1 + \dot{m}_\ell h_\ell = \dot{m}_a h_2 \quad \rightarrow$$

$$\dot{m}_a h_1 + \dot{m}_a(\omega_2 - \omega_1) h_\ell = \dot{m}_a h_2$$



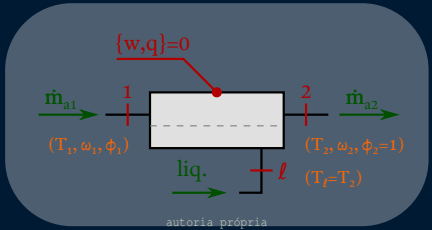
autoria própria

Balanço de Energia (com $Q = W = 0$)

$$\dot{E}_{ent} = \dot{E}_{sai} \quad \rightarrow$$

$$\dot{m}_a h_1 + \dot{m}_\ell h_\ell = \dot{m}_a h_2 \quad \rightarrow$$

$$\dot{m}_a h_1 + \dot{m}_a(\omega_2 - \omega_1) h_\ell = \dot{m}_a h_2 \quad \rightarrow$$



autoria própria

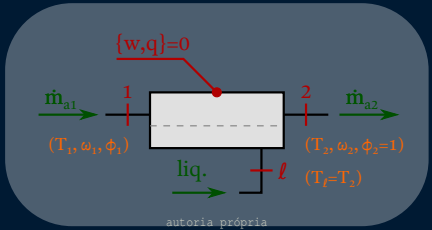
Balanço de Energia (com $Q = W = 0$)

$$\dot{E}_{ent} = \dot{E}_{sai} \quad \rightarrow$$

$$\dot{m}_a h_1 + \dot{m}_\ell h_\ell = \dot{m}_a h_2 \quad \rightarrow$$

$$\dot{m}_a h_1 + \dot{m}_a(\omega_2 - \omega_1) h_\ell = \dot{m}_a h_2 \quad \rightarrow$$

$$h_1 + (\omega_2 - \omega_1) h_\ell = h_2$$



autoria própria

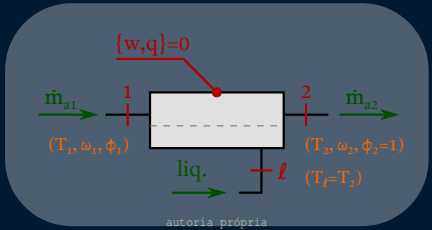
Balanço de Energia (com $Q = W = 0$)

$$\dot{E}_{ent} = \dot{E}_{sai} \quad \rightarrow$$

$$\dot{m}_a h_1 + \dot{m}_\ell h_\ell = \dot{m}_a h_2 \quad \rightarrow$$

$$\dot{m}_a h_1 + \dot{m}_a(\omega_2 - \omega_1) h_\ell = \dot{m}_a h_2 \quad \rightarrow$$

$$h_1 + (\omega_2 - \omega_1) h_\ell = h_2 \quad \rightarrow$$



autoria própria

Balanço de Energia (com $Q = W = 0$)

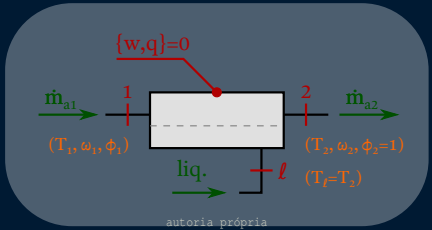
$$\dot{E}_{ent} = \dot{E}_{sai} \quad \rightarrow$$

$$\dot{m}_a h_1 + \dot{m}_\ell h_\ell = \dot{m}_a h_2 \quad \rightarrow$$

$$\dot{m}_a h_1 + \dot{m}_a(\omega_2 - \omega_1) h_\ell = \dot{m}_a h_2 \quad \rightarrow$$

$$h_1 + (\omega_2 - \omega_1) h_\ell = h_2 \quad \rightarrow$$

$$(c_P \mathsf{T}_1 + \omega_1 h_{v1}) + (\omega_2 - \omega_1) h_\ell = (c_P \mathsf{T}_2 + \omega_2 h_{g2})$$



autoria própria

Balanço de Energia (com $Q = W = 0$)

$$\dot{E}_{ent} = \dot{E}_{sai} \quad \rightarrow$$

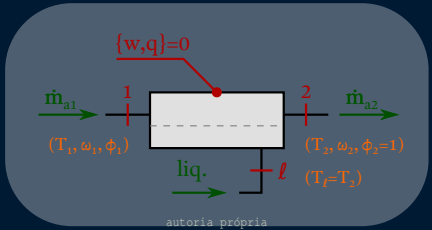
$$\dot{m}_a h_1 + \dot{m}_\ell h_\ell = \dot{m}_a h_2 \quad \rightarrow$$

$$\dot{m}_a h_1 + \dot{m}_a(\omega_2 - \omega_1) h_\ell = \dot{m}_a h_2 \quad \rightarrow$$

$$h_1 + (\omega_2 - \omega_1) h_\ell = h_2 \quad \rightarrow$$

$$(c_P T_1 + \omega_1 h_{v1}) + (\omega_2 - \omega_1) h_\ell = (c_P T_2 + \omega_2 h_{g2})$$

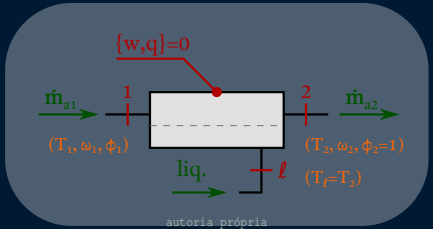
$$\omega_2 = \frac{0,622 P_{g2}}{P - P_{g2}}; \qquad \omega_1 = \frac{c_P(T_2 - T_1) + \omega_2 h_{\ell g2}}{h_{v1} - h_\ell}.$$



autoria própria

Exemplo: Ar entrando com $\phi_1 = 100\ \%$

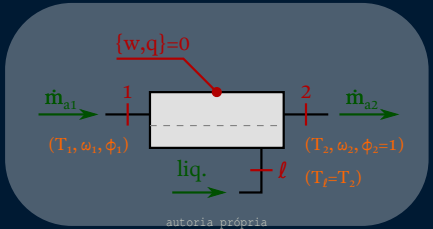
$$\dot{m}_\ell = \dot{m}_a(\omega_2 - \omega_1) = 0\ \text{kg/s} \qquad \text{(sat.)}$$



autoria própria

Exemplo: Ar entrando com $\phi_1 = 100\ \%$

$$\dot{m}_\ell = \dot{m}_a(\omega_2 - \omega_1) = 0\ \text{kg/s} \qquad \text{(sat.)} \qquad \rightarrow$$

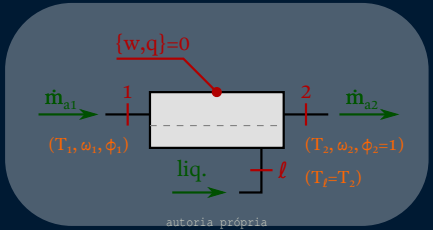


autoria própria

Exemplo: Ar entrando com $\phi_1 = 100\ \%$

$$\dot{m}_\ell = \dot{m}_a(\omega_2 - \omega_1) = 0\ \text{kg/s} \qquad \text{(sat.)} \qquad \rightarrow$$

$$\omega_1 = \omega_2$$

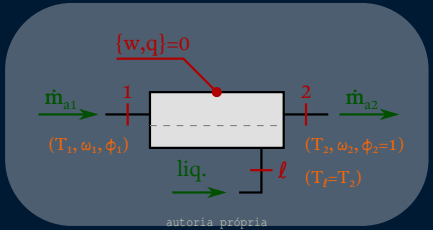


autoria própria

Exemplo: Ar entrando com $\phi_1 = 100\ \%$

$$\dot{m}_\ell = \dot{m}_a(\omega_2 - \omega_1) = 0\ \text{kg/s} \qquad \text{(sat.)} \qquad \rightarrow$$

$$\omega_1 = \omega_2 \qquad \rightarrow$$



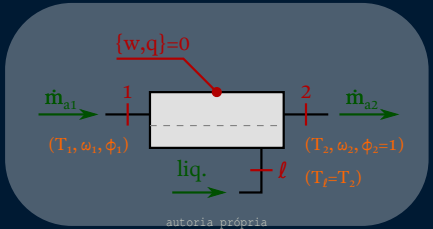
autoria própria

Exemplo: Ar entrando com $\phi_1 = 100\ \%$

$$\dot{m}_\ell = \dot{m}_a(\omega_2 - \omega_1) = 0\ \text{kg/s} \qquad \text{(sat.)} \qquad \rightarrow$$

$$\omega_1 = \omega_2 \qquad \rightarrow$$

$$h_1 = h_2$$



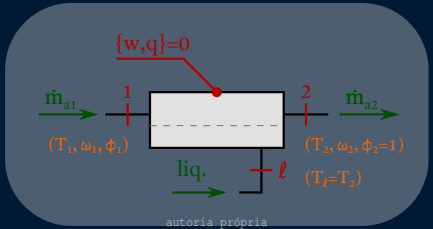
autoria própria

Exemplo: Ar entrando com $\phi_1 = 100\ \%$

$$\dot{m}_\ell = \dot{m}_a(\omega_2 - \omega_1) = 0\ \text{kg/s} \qquad \text{(sat.)} \qquad \rightarrow$$

$$\omega_1 = \omega_2 \qquad \rightarrow$$

$$h_1 = h_2 \qquad \rightarrow$$



autoria própria

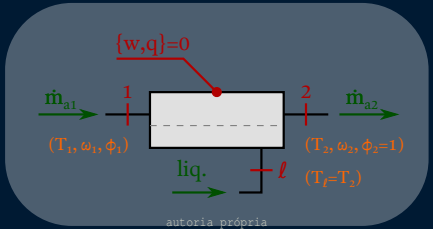
Exemplo: Ar entrando com $\phi_1 = 100\ \%$

$$\dot{m}_\ell = \dot{m}_a(\omega_2 - \omega_1) = 0\ \text{kg/s} \qquad \text{(sat.)} \qquad \rightarrow$$

$$\omega_1 = \omega_2 \qquad \rightarrow$$

$$h_1 = h_2 \qquad \rightarrow$$

$$T_1 = T_2.$$



autoria própria

Temperatura de Bulbo Úmido, T_{bu}

- Em geral, a temperatura de saturação adiabática segue $T_{po} \leqslant T_{sa} \leqslant T$;

Temperatura de Bulbo Úmido, T_{bu}

- Em geral, a temperatura de saturação adiabática segue $T_{po} \leqslant T_{sa} \leqslant T$;
- Para ar com vapor saturado, tem-se: $T_{po} = T_{sa} = T$;

Temperatura de Bulbo Úmido, T_{bu}

- Em geral, a temperatura de saturação adiabática segue $\mathsf{T}_{po} \leqslant \mathsf{T}_{sa} \leqslant \mathsf{T}$;
- Para ar com vapor saturado, tem-se: $\mathsf{T}_{po} = \mathsf{T}_{sa} = \mathsf{T}$;
- A medição de $(P, \mathsf{T}, \mathsf{T}_{sa})$ permite determinar as umidades (absoluta e relativa) do ar;

Temperatura de Bulbo Úmido, T_{bu}

- Em geral, a temperatura de saturação adiabática segue $\mathsf{T}_{po} \leqslant \mathsf{T}_{sa} \leqslant \mathsf{T}$;
- Para ar com vapor saturado, tem-se: $\mathsf{T}_{po} = \mathsf{T}_{sa} = \mathsf{T}$;
- A medição de $(P, \mathsf{T}, \mathsf{T}_{sa})$ permite determinar as umidades (absoluta e relativa) do ar;
- Porém, a necessidade de canal longo para a saturação é um inconveniente;

Temperatura de Bulbo Úmido, T_{bu}

- Em geral, a temperatura de saturação adiabática segue $\mathsf{T}_{po} \leqslant \mathsf{T}_{sa} \leqslant \mathsf{T}$;
- Para ar com vapor saturado, tem-se: $\mathsf{T}_{po} = \mathsf{T}_{sa} = \mathsf{T}$;
- A medição de $(P, \mathsf{T}, \mathsf{T}_{sa})$ permite determinar as umidades (absoluta e relativa) do ar;
- Porém, a necessidade de canal longo para a saturação é um inconveniente;
- Uma abordagem mais prática é a do par de termômetros com bulbos seco e úmido.

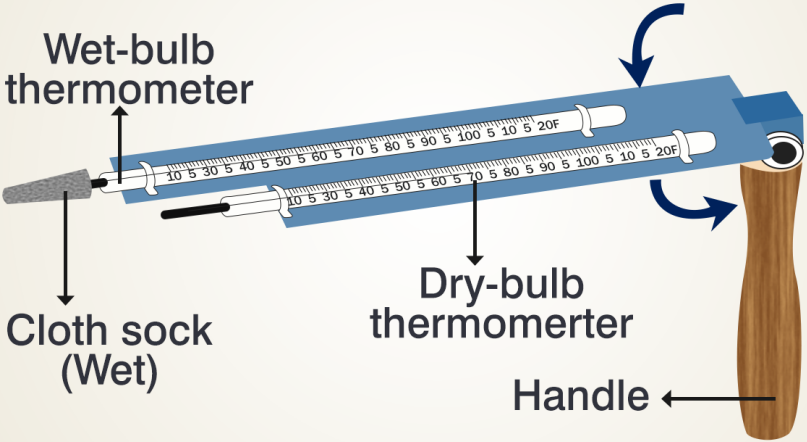
Temperatura de Bulbo Úmido, T_{bu}

- Em geral, a temperatura de saturação adiabática segue $T_{po} \leqslant T_{sa} \leqslant T$;
- Para ar com vapor saturado, tem-se: $T_{po} = T_{sa} = T$;
- A medição de (P, T, T_{sa}) permite determinar as umidades (absoluta e relativa) do ar;
- Porém, a necessidade de canal longo para a saturação é um inconveniente;
- Uma abordagem mais prática é a do par de termômetros com bulbos seco e úmido.
- As medidas correspondentes são $T_{bs} \equiv T$ e T_{bu};

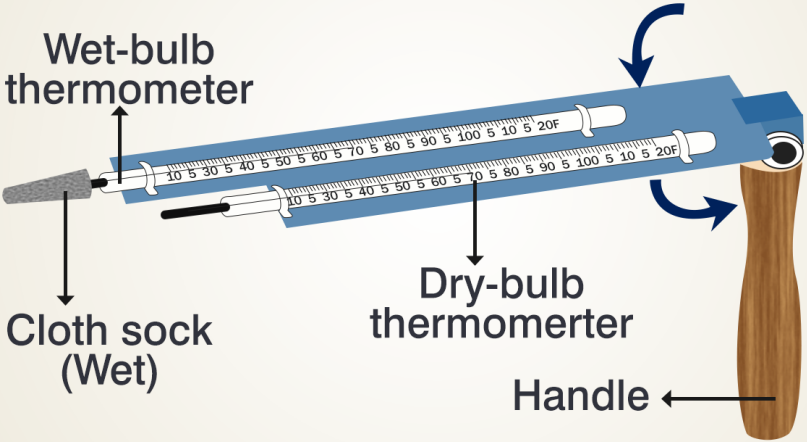
Temperatura de Bulbo Úmido, T_{bu}

- Em geral, a temperatura de saturação adiabática segue $\mathsf{T}_{po} \leqslant \mathsf{T}_{sa} \leqslant \mathsf{T}$;
- Para ar com vapor saturado, tem-se: $\mathsf{T}_{po} = \mathsf{T}_{sa} = \mathsf{T}$;
- A medição de $(P, \mathsf{T}, \mathsf{T}_{sa})$ permite determinar as umidades (absoluta e relativa) do ar;
- Porém, a necessidade de canal longo para a saturação é um inconveniente;
- Uma abordagem mais prática é a do par de termômetros com bulbos seco e úmido.
- As medidas correspondentes são $\mathsf{T}_{bs} \equiv \mathsf{T}$ e T_{bu};
- Neste esquema, *assume-se* $\mathsf{T}_{bu} \approx \mathsf{T}_{sa}$.

Sling Psychrometer



Sling Psychrometer



Referências – I

[1] Y. A. Çengel and M. A. Boles.
Termodinâmica.
AMGH, Porto Alegre, 7th edition, 2013.

[2] D. L. Fenton.
Fundamentals of refrigeration: A course book for self-directed or group learning.
ASHRAE, second edition edition, 2016.

Photo by Francesco Ungaro from Pexels

https://www.pexels.com/photo/mountains-under-dark-clouds-in-evening-5592630/