

## A.08.01 – Misturas Gás-Vapor e Condicionamento de Ar Ar Seco e Atmosférico e Medidas de Umidade

Prof. C. Naaktgeboren, PhD



<https://github.com/CNThermSci/ApplThermSci>

Compiled on 2021-02-11 20h52m02s UTC



### 1 Definições

- Ar Seco e Ar Atmosférico
- Pressão de Vapor
- Umidade Específica e Relativa do Ar

### 2 Tópicos de Leitura

### 3 Atividades



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



## Ar Seco e Ar Atmosférico

- Ar atmosférico é uma mistura de  $N_2$ ,  $O_2$ , outros gases [3] e vapor d'água;
- A quantidade de outros gases e vapor d'água é pequena;
- Ar isento de vapor d'água é chamado de **ar seco**;
- Ar atmosférico é modelado como uma mistura de (i) **ar seco** e (ii) **vapor d'água**;
- Já que a composição do ar seco em tal modelo é estável;
- E as interações energéticas do vapor d'água serem importantes e distintas;
  - Maior calor específico:  $c_{p,v}$  é 81% maior que  $c_{p,a}$  (base mássica);
  - $c_{p,a} \simeq 1,005 \text{ kJ/kg}$   $c_{p,v} \simeq 1,82 \text{ kJ/kg}$ ;
  - Calor latente: condensação e evaporação.



## Ar Seco e Ar Atmosférico — Aproximações

Nas estreitas faixas de temperatura pertinentes ao condicionamento de ar, as seguintes aproximações são aceitáveis (na quais  $T$  estão em  $^{\circ}\text{C}$ ):

$$h_{ar,seco} \simeq c_{p,a} T = (1,005 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}) T$$

$$\Delta h_{ar,seco} \simeq c_{p,a} \Delta T = (1,005 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}) \Delta T$$

$$h_v \simeq 2500,9 \text{ kJ/kg} + (1,82 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}) T$$

## Pressão de Vapor

Para comportamento  $P - V - T$  ideal da mistura, tem-se a pressão componente:

$$\frac{P_i(T_m, V_m)}{P_m} = \frac{N_i}{N_m} = y_i$$

$$\frac{P_i}{P_m} = \frac{V_i}{V_m} = \frac{N_i}{N_m} = y_i,$$

assim como a pressão parcial,  $y_i P_m$ , a qual, aplicada ao vapor do ar atmosférico é também chamada de pressão de vapor,  $P_v = y_v P$ , com:

$$P = P_a + P_v.$$

## Umidade Específica do Ar

A razão entre as massas de vapor d'água pela de ar seco no ar atmosférico é chamada de umidade absoluta ou específica<sup>1</sup>:

$$\omega \equiv \frac{m_v}{m_a} = \frac{P_v V / R_v T}{P_a V / R_a T} = \frac{R_a}{R_v} \frac{P_v}{P_a}$$

$$\omega = \frac{M_v}{M_a} \frac{P_v}{P_a} \simeq \frac{18,015 \text{ kg/kmol}}{28,97 \text{ kg/kmol}} \frac{P_v}{P_a} \simeq 0,622 \frac{P_v}{P_a},$$

ou, substituindo  $P$  em  $P_a$ ,

$$\omega = \frac{0,622 P_v}{P - P_v} \quad (\text{kg de vap./kg de ar seco}).$$

## Umidade Relativa do Ar

- A máxima umidade do ar a uma certa  $T$  ocorre quando o vapor é saturado;
- A saber, quando  $P_v = P_g = P_{\text{sat}} @ T$ ;
- Na aplicação de conforto térmico, a unidade relativa,  $\phi$  é mais significativa:

$$\phi \equiv \frac{m_v}{m_g} = \frac{P_v V / R_v T}{P_g V / R_v T} = \frac{P_v}{P_g} \quad \rightarrow \quad P_v = \phi P_g$$

$$\phi = \frac{\omega P}{(0,622 + \omega) P_g}, \quad \text{e} \quad \omega = \frac{0,622 \phi P_g}{P - \phi P_g}.$$

## Entalpia do Ar Atmosférico

$$H = H_a + H_v = m_a h_a + m_v h_v \quad (\text{propr. ext.})$$

$$h = \frac{H}{m_a} = h_a + \frac{m_v}{m_a} h_v \quad \rightarrow$$

$$h = h_a + \omega h_v \simeq h_a + \omega h_g \quad (\text{gás ideal: } h = h(T)).$$

## 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.
- [3] US standard atmosphere.  
Research Report NASA-TM-X-74335, NASA, Washington, DC, October 1976.

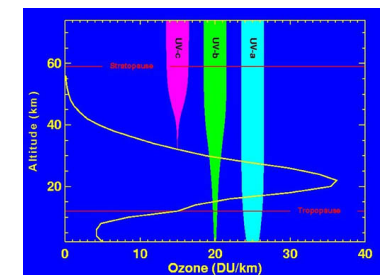
## Ar Atmosférico Seco – Em Grupos – I

Este trabalho objetiva gerar ilustrações, fidedignas em escala, da composição média do ar seco da atmosfera terrestre abaixo dos 50 km de altitude, na forma de imagens.

- A Troposfera vai do nível do mar até ~ 8 a 15 km;
- A Estratosfera vai da Troposfera até ~ 50 a 60 km;
- A composição majoritária seguirá a Tabela 3 da ref. [3], acessível em:
- <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19770009539/downloads/19770009539.pdf>
- A parcela de Ozônio ( $O_3$ ) será agregada de outra fonte;
- A soma das frações deverá ser normalizada para 100 %;
- Gerar um notebook aberto (CC-BY-NC) que produza as ilustrações.

## Ar Atmosférico Seco – Em Grupos – II

- Explicar o que são as Dobson Units (DU);
- A parcela de Ozônio ( $O_3$ ) será obtida por integração dos dados do gráfico ao lado;
- A documentação concisa da integração numérica constará do notebook aberto;
- Por exemplo, na forma de uma função modular documentada;
- Utilizar método de Simpson 3/8 composto ou melhor.



[http://www.esr.noaa.edu/DEES/ozone/ozone/figs/fig\\_17\\_2a1-01.jpg](http://www.esr.noaa.edu/DEES/ozone/ozone/figs/fig_17_2a1-01.jpg)

## Ar Atmosférico Seco – Em Grupos – III

- Referência de programação de **imagens** com utilização de **notebooks** encontram-se no curso abaixo:
- <https://computationalthinking.mit.edu/Fall20/>;
- O qual também inclui **instalações** (linguagem **Julia**, notebook **Pluto**).
- Notebook deve gerar imagens ilustrativas das proporções dos gases com gases **dispersos**, assim como permitir **seleção de camadas** da atmosfera (km inteiros).



<https://github.com/JuliaLang/julia/blob/master/docs/src/overview/00org.org>



<https://raw.githubusercontent.com/JuliaLang/Pluto.jl/master/docs/src/overview/00org.org>