

# 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 2021-02-10 21h19m09s UTC



## Definições

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



## Tópicos de Leitura



## Atividades

# Ar Seco e Ar Atmosférico

- Ar atmosférico é uma mistura de  $N_2$ ,  $O_2$ , outros gases e vapor d'água;

## Ar Seco e Ar Atmosférico

- Ar atmosférico é uma mistura de  $N_2$ ,  $O_2$ , outros gases e vapor d'água;
- A quantidade de outros gases e vapor d'água é pequena;

## Ar Seco e Ar Atmosférico

- Ar atmosférico é uma mistura de  $N_2$ ,  $O_2$ , outros gases 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 Seco e Ar Atmosférico

- Ar atmosférico é uma mistura de  $N_2$ ,  $O_2$ , outros gases 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;

## Ar Seco e Ar Atmosférico

- **Ar atmosférico** é uma mistura de  $N_2$ ,  $O_2$ , outros gases 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;

## Ar Seco e Ar Atmosférico

- Ar atmosférico é uma mistura de  $N_2$ ,  $O_2$ , outros gases 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;



## Ar Seco e Ar Atmosférico

- **Ar atmosférico** é uma mistura de  $N_2$ ,  $O_2$ , outros gases 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):

# Ar Seco e Ar Atmosférico

- **Ar atmosférico** é uma mistura de  $N_2$ ,  $O_2$ , outros gases 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):
  - $c_{P,a} \simeq 1,005 \text{ kJ/kg}$   $c_{P,v} \simeq 1,82 \text{ kJ/kg}$ ;

# Ar Seco e Ar Atmosférico

- **Ar atmosférico** é uma mistura de  $N_2$ ,  $O_2$ , outros gases 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  $P_a$ ,

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

<sup>1</sup>Esta razão também é chamada de **relação de umidade**.

# 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 **umidade 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

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

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

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



# Tópicos de Leitura



Çengel, Y. A. e Boles, M. A.

*Termodinâmica 7ª Edição. Seções 14-1 a 14-2.*

AMGH. Porto Alegre. ISBN 978-85-8055-200-3.

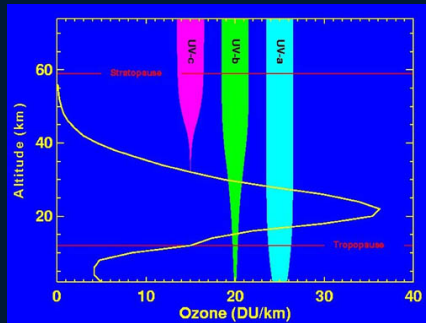
# Ar Atmosférico — Em Grupos I

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

- 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 25** da ref. abaixo:
- <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 — Em Grupos II

- Explicar o que são as **Dobson Units (DU)**;
- A parcela de **Ozônio ( $O_3$ )** será obtida por integração:
- A integração numérica deverá ser documentada em notebook aberto;
- Utilizar método de Simpson 3/8 composto ou melhor.



[http://www.ccpo.odu.edu/SEES/ozone/class/Chap\\_1/1\\_3a/1-01.jpg](http://www.ccpo.odu.edu/SEES/ozone/class/Chap_1/1_3a/1-01.jpg)

## Ar Atmosférico — Em Grupos III

- Ref. programação de **imagens** e **notebooks** no curso:
- <https://computationalthinking.mit.edu/Fall120>;
- Inclui **instalações** (Julia, Pluto).
- Notebook deve gerar ilustrações com gases **agrupados** e **dispersos**, e permitir **seleção de camadas** da atmosfera (km inteiros).



<https://computationalthinking.mit.edu/Fall120/assets/julia-logo.svg>



**Photo by Pixabay from Pexels**

[www.pexels.com/photo/atmosphere-blue-cloud-cloudiness-268917](https://www.pexels.com/photo/atmosphere-blue-cloud-cloudiness-268917)