

# Instalações Térmicas

**3º ano 6º semestre**

**Aula 5**

# ***Aula 5: Poder calorífico, Entalpia da combustão e Temperatura Teórica de combustão - Prática***



## *Problema 5.1*

Determinar a temperatura de combustão de um combustível líquido que se queima num forno, tendo este a seguinte composição, dada em massa seca: Carbono 42%, Hidrogénio 16%, Nitrogénio 9%, Oxigénio 28%, Enxofre 5%, Cinzas 0%, Humidade 2% e com o excesso de ar de 40%.

O ar e o combustível são pré-aquecidos até 200 °C e 150 °C respectivamente. O calor específico do ar e do combustível são de 1.3 e 1.4 respectivamente.



## Problema 5.1 – Solução (I)

1. A massa de trabalho do combustível calcula-se de:

$$C^t = C^d \frac{100 - W^t}{100} = 41,16\%$$

$$H^t = H^d \frac{100 - W^t}{100} = 15,68\%$$

$$N^t = N^d \frac{100 - W^t}{100} = 8,82\%$$

$$O^t = O^d \frac{100 - W^t}{100} = 27,44\%$$

$$S^t = S^d \frac{100 - W^t}{100} = 4,90\%$$

$$A^t = A^d \frac{100 - W^t}{100} = 0\%$$

$$W^t = 2,0\%$$



## Problema 5.1 Solução (II)

2. O volume teórico do ar é dado por:

$$V_{ar}^0 = 0,0889(C^t + 0,375 \cdot S^t) + 0,269 \cdot H^t - 0,0336 \cdot O^t = 7,087 \left[ \frac{m^3 N}{kg_{comb}} \right]$$

3. O volume teórico dos gases biatómicos calcula-se de:

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot V_{ar}^0 \cdot \alpha + 0,008 \cdot N^t = 5,669 \left[ \frac{m^3 N}{kg_{comb}} \right]$$

Onde  $\alpha$  é igual a 1.

4. O volume teórico de água obtém-se de:

$$V_{H_2O}^0 = 0,1116 \cdot H^t + 0,0124 \cdot W^t + 0,0161 \cdot V_{ar}^0 = 1,889 \left[ \frac{m^3 N}{kg_{comb}} \right]$$



5. Volume teórico dos gases triatómicos:

$$V_{RO_2} = 1,867(C^t + 0,375 \cdot S^t) / 100 = 0,803 \left[ \frac{m^3 N}{kg_{comb}} \right]$$

## Problema 5.1 Solução (III)

6. O volume real dos gases biatómicos calcula-se de:

$$V_{R_2} = V_{N_2}^0 + (\alpha - 1) \cdot 0,79 \cdot V_{ar}^0 = 7,909 \left[ \frac{m^3 N}{kg_{comb}} \right]$$

7. O volume real de água obtém-se de:

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161(\alpha - 1) \cdot V_{ar}^0 = 1,934 \left[ \frac{m^3 N}{kg_{comb}} \right]$$

8. O volume real dos gases triatómicos calcula-se de:

$$V_{RO_2} = 1,867(C^t + 0,375 \cdot S^t) / 100 = 0,803 \left[ \frac{m^3 N}{kg_{comb}} \right]$$

 9. O volume do oxigénio excedente obtém-se de:

$$V_{O_2} = 0,21(\alpha - 1) \cdot V_{ar}^0 = 0,595 \left[ \frac{m^3 N}{kg_{comb}} \right]$$

 10. O volume dos gases de combustão calcula-se de:

$$V_g = V_{RO_2} + V_{R_2} + V_{H_2O} + V_{O_2} = 11,241 \left[ \frac{m^3 N}{kg_{comb}} \right]$$

## Problema 5.1 Solução (IV)

11. As fracções dos gases obtêm-se de:

Fracção dos gases  
biatómicos

$$r_{RN_2} = \frac{V_{RN_2}}{V_g} = 0,704$$

Fracção de água

$$r_{RH_2O} = \frac{V_{RH_2O}}{V_g} = 0,172$$

Fracção dos gases  
triatómicos

$$r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}}{V_g} = 0,071$$

7

Fracção de oxigénio

$$r_{O_2} = \frac{V_{O_2}}{V_g} = 0,053$$



## Problema 5.1 Solução (V)

12. O Poder Calorífico Inferior calcula-se de:


$$Q_i^t = 4,187 \left[ (81 \cdot C^t + 300H^t - 26(O^t - S^t) - 6(W^t + 9H^t)) \right] = 27605,73 \left[ \frac{kJ}{kg_{comb}} \right]$$

13. A Entalpia total dos gases, devido ao pré-aquecimento do ar e do combustível determina-se de:


$$I_g = \frac{Q^i + T_{ar} \cdot c_{p_{ar}} \cdot \alpha \cdot V_{ar}^o + T_{comb} \cdot c_{p_{comb}}}{V_g} = 2704,6 \left[ \frac{kJ}{m^3} \right]$$

Onde:

A entalpia determinada pelo poder calorífico é:


$$I_{vg} = \frac{Q^i}{V_g} = 2455,731 \left[ \frac{kJ}{m^3} \right]$$

A entalpia determinada do aquecimento do ar é:


$$I_{ar} = \frac{T_{ar} \cdot c_{p_{ar}} \cdot \alpha \cdot V_{ar}^o}{V_g} = 230,188 \left[ \frac{kJ}{m^3} \right]$$



## Problema 5.1 Solução (VI)

A entalpia determinada do aquecimento do combustível é:

$$I_g = \frac{T_{comb} \cdot c_{p_{comb}}}{V_g} = 18,681 \left[ \frac{kJ}{m^3} \right]$$

14. A entalpia dos gases obtém-se de: ►

$$I_g = r_{RO_2} (C\theta)_{RO_2} + r_{N_2} (C\theta)_{N_2} + r_{H_2O} (C\theta)_{H_2O} + r_{O_2} (C\theta)_{O_2} = 2704,6 \left[ \frac{kJ}{m^3} \right]$$

15. A temperatura dos gases é **1680,07 °C**





$$I_g = r_{RO_2} \cdot (C\theta)_{RO_2} + r_{N_2} \cdot (C\theta)_{N_2} + r_{O_2} \cdot (C\theta)_{O_2} + r_{H_2O} \cdot (C\theta)_{H_2O} \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} \right]$$

Appendix III. Enthalpy of 1 m<sup>3</sup> of Air and Gases at Different Temperatures and Constant Pressure 101.3 kN/m<sup>2</sup> (760 mm Hg)

Temperature		CO <sub>2</sub>		N <sub>2</sub>		O <sub>2</sub>		H <sub>2</sub> O		Dry air	
K	°C	kJ/m <sup>3</sup>	kcal/m <sup>3</sup>	kJ/m <sup>3</sup>	kcal/m <sup>3</sup>	kJ/m <sup>3</sup>	kcal/m <sup>3</sup>	kJ/m <sup>3</sup>	kcal/m <sup>3</sup>	kJ/m <sup>3</sup>	kcal/m <sup>3</sup>
373	100	172.00	41.08	130.13	31.08	131.93	31.51	150.18	35.87	130.51	31.17
473	200	361.57	86.38	260.60	62.24	267.38	63.86	303.47	72.48	261.94	62.56
573	300	564.24	134.76	392.41	93.72	407.48	97.32	461.36	110.19	395.42	94.44
673	400	777.44	185.68	526.89	125.84	551.85	131.80	623.69	148.96	532.08	127.08
773	500	1001.78	239.26	664.54	158.75	700.17	167.25	791.55	189.05	672.01	160.50
873	600	1236.76	295.38	805.06	192.30	851.64	203.40	964.68	230.40	814.96	194.64
973	700	1475.41	352.38	940.36	224.59	1005.24	240.24	1143.64	273.14	960.75	229.46
1073	800	1718.95	410.52	1094.65	261.44	1162.32	277.60	1328.11	317.20	1109.05	264.88
1173	900	1971.43	471.06	1243.55	297.00	1319.67	315.18	1517.87	362.52	1259.36	300.78
1273	1000	2225.75	531.80	1393.86	332.90	1480.11	353.50	1713.32	409.20	1411.86	337.20
1373	1100	2485.34	593.56	1546.74	369.27	1641.62	391.93	1913.67	457.05	1565.94	374.00
1473	1200	2745.44	655.92	1699.76	405.96	1802.76	430.56	2118.74	506.04	1721.36	411.12
1573	1300	3010.58	719.03	1857.74	443.69	1966.05	469.56	2328.01	556.01	1879.27	448.86
1673	1400	3276.75	782.60	2012.86	480.62	2129.93	508.70	2540.25	606.70	2036.87	486.50
1773	1500	3545.34	846.75	2170.55	518.40	2296.78	548.55	2758.79	658.80	2196.19	524.55
1873	1600	3815.86	911.36	2328.65	556.16	2463.97	588.48	2979.13	711.52	2356.68	562.88
1973	1700	4087.10	976.14	2486.28	593.81	2632.09	628.66	3203.05	765.00	2517.60	601.29
2073	1800	4360.67	1041.48	2646.74	632.16	2800.48	668.88	3429.90	819.18	2680.01	640.08
2173	1900	4634.76	1106.94	2808.22	670.70	2971.30	709.65	3657.85	873.62	2841.43	678.87
2273	2000	4910.51	1172.80	2970.25	709.40	3142.76	750.60	3889.72	929.00	3006.26	718.00
2373	2100	5186.81	1238.79	3131.96	748.02	3314.85	791.70	4121.79	984.69	3169.77	757.05
2473	2200	5464.20	1305.04	3295.84	787.16	3487.44	832.92	4358.83	1041.04	3338.21	797.28
2573	2300	5746.39	1371.72	3457.20	825.70	3662.33	874.69	4485.34	1097.79	3500.54	836.05
2673	2400	6023.25	1438.56	3620.58	864.72	3837.64	916.56	4724.37	1154.88	3665.80	875.52
2773	2500	6303.53	1505.50	3786.09	904.25	4014.29	958.75	5076.74	1212.50	3835.29	916.00



## ***Problema 5.2***

Determinar a temperatura de combustão de um combustível sólido que se queima num forno, tendo a seguinte composição, dada em massa seca: Carbono 44%, Hidrogénio 12%, Nitrogénio 8%, Oxigénio 23%, Enxofre 7%, Cinzas 6%, Humidade 2% e com o excesso de ar de 20%.



## Problema 5.2 Solução (I)

1. A massa de trabalho do combustível calcula-se de:

$$C^t = C^d \frac{100 - W^t}{100} = 43,12\%$$

$$H^t = H^d \frac{100 - W^t}{100} = 11,76\%$$

$$N^t = N^d \frac{100 - W^t}{100} = 7,84\%$$

$$O^t = O^d \frac{100 - W^t}{100} = 22,54\%$$

$$S^t = S^d \frac{100 - W^t}{100} = 6,86\%$$

$$A^t = A^d \frac{100 - W^t}{100} = 5,88\%$$

$$W^t = 2,0\%$$



## Problema 5.2 Solução (II)

2. O volume teórico do ar é dado por:

$$V_{ar}^0 = 0,0889(C^t + 0,375 \cdot S^t) + 0,269 \cdot H^t - 0,0336 \cdot O^t = 6,445 \left[ \frac{m^3 N}{kg_{comb}} \right]$$

3. O volume teórico dos gases biatómicos calcula-se de:

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot V_{ar}^0 \cdot \alpha + 0,008 \cdot N^t = 5,154 \left[ \frac{m^3 N}{kg_{comb}} \right]$$

4. O volume teórico de água obtém-se de:

$$V_{H_2O}^0 = 0,1116 \cdot H^t + 0,0124 \cdot W^t + 0,0161 \cdot V_{ar}^0 = 1,441 \left[ \frac{m^3 N}{kg_{comb}} \right]$$

5. Volume teórico dos gases triatómicos:

13

$$V_{RO_2} = 1,867(C^t + 0,375 \cdot S^t) / 100 = 0,853 \left[ \frac{m^3 N}{kg_{comb}} \right]$$



## Problema 5.2 Solução (III)

6. O volume real dos gases biatómicos calcula-se de:

$$V_{R_2} = V_{N_2}^0 + (\alpha - 1) \cdot 0,79 \cdot V_{ar}^0 = 6,172 \left[ \frac{m^3 N}{kg_{comb}} \right]$$


7. O volume real de água obtém-se de:

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161(\alpha - 1) \cdot V_{ar}^0 = 1,462 \left[ \frac{m^3 N}{kg_{comb}} \right]$$

8. O volume real dos gases triatómicos calcula-se de:

$$V_{RO_2} = 1,867(C^t + 0,375 \cdot S^t) / 100 = 0,853 \left[ \frac{m^3 N}{kg_{comb}} \right]$$

9. O volume do oxigénio excedente obtém-se de:


$$V_{O_2} = 0,21(\alpha - 1) \cdot V_{ar}^0 = 0,271 \left[ \frac{m^3 N}{kg_{comb}} \right]$$

10. O volume dos gases de combustão calcula-se de:

$$V_g = V_{RO_2} + V_{R_2} + V_{H_2O} + V_{O_2} = 8,758 \left[ \frac{m^3 N}{kg_{comb}} \right]$$

## Problema 5.2 Solução (IV)

11. As fracções dos gases obtêm-se de:

Fracção dos gases  
biatómicos

$$r_{RN_2} = \frac{V_{RN_2}}{V_g} = 0,704$$

Fracção de água

$$r_{RH_2O} = \frac{V_{RH_2O}}{V_g} = 0,167$$

Fracção dos gases  
triatómicos

$$r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}}{V_g} = 0,098$$

Fracção de oxigénio

$$r_{O_2} = \frac{V_{O_2}}{V_g} = 0,031$$



## Problema 5.2 Solução (V)


12. O Poder Calorífico Inferior calcula-se de:

$$Q_i' = 4,187 \left[ (81 \cdot C' + 300H' - 26(O' - S') - 6(W' + 9H')) \right] = 24979,64 \left[ \frac{kJ}{kg_{comb}} \right]$$

13. A Entalpia total dos gases, determina-se do poder calorífico, sendo de:

$$I_g = \frac{Q^i}{V_g} = 2857,82 \left[ \frac{kJ}{m^3} \right]$$

14. A entalpia dos gases obtém-se de: ►


$$I_g = r_{RO_2} (C\theta)_{RO_2} + r_{N_2} (C\theta)_{N_2} + r_{H_2O} (C\theta)_{H_2O} + r_{O_2} (C\theta)_{O_2} = 2857,73 \left[ \frac{kJ}{m^3} \right]$$

15. A temperatura dos gases é **1743,12 °C**





$$I_g = r_{RO_2} \cdot (C\theta)_{RO_2} + r_{N_2} \cdot (C\theta)_{N_2} + r_{O_2} \cdot (C\theta)_{O_2} + r_{H_2O} \cdot (C\theta)_{H_2O} \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} \right]$$


Appendix III. Enthalpy of 1 m<sup>3</sup> of Air and Gases at Different Temperatures and Constant Pressure 101.3 kN/m<sup>2</sup> (760 mm Hg)

Temperature		CO <sub>2</sub>		N <sub>2</sub>		O <sub>2</sub>		H <sub>2</sub> O		Dry air	
K	°C	kJ/m <sup>3</sup>	kcal/m <sup>3</sup>	kJ/m <sup>3</sup>	kcal/m <sup>3</sup>	kJ/m <sup>3</sup>	kcal/m <sup>3</sup>	kJ/m <sup>3</sup>	kcal/m <sup>3</sup>	kJ/m <sup>3</sup>	kcal/m <sup>3</sup>
373	100	172.00	41.08	130.13	31.08	131.93	31.51	150.18	35.87	130.51	31.17
473	200	361.57	86.38	260.60	62.24	267.38	63.86	303.47	72.48	261.94	62.56
573	300	564.24	134.76	392.41	93.72	407.48	97.32	461.36	110.19	395.42	94.44
673	400	777.44	185.68	526.89	125.84	551.85	131.80	623.69	148.96	532.08	127.08
773	500	1001.78	239.26	664.54	158.75	700.17	167.25	791.55	189.05	672.01	160.50
873	600	1236.76	295.38	805.06	192.30	851.64	203.40	964.68	230.40	814.96	194.64
973	700	1475.41	352.38	940.36	224.59	1005.24	240.24	1143.64	273.14	960.75	229.46
1073	800	1718.95	410.52	1094.65	261.44	1162.32	277.60	1328.11	317.20	1109.05	264.88
1173	900	1972.43	471.06	1243.55	297.00	1319.67	315.18	1517.87	362.52	1259.36	300.78
1273	1000	2225.75	531.80	1393.86	332.90	1480.11	353.50	1713.32	409.20	1411.86	337.20
1373	1100	2485.34	593.56	1546.74	369.27	1641.62	391.93	1913.67	457.05	1565.94	374.00
1473	1200	2745.44	655.92	1699.76	405.96	1802.76	430.56	2118.74	506.04	1721.36	411.12
1573	1300	3010.58	719.03	1857.74	443.69	1966.05	469.56	2328.01	556.01	1879.27	448.86
1673	1400	3276.75	782.60	2012.86	480.62	2129.93	508.70	2540.25	606.70	2036.87	486.50
1773	1500	3545.34	846.75	2170.55	518.40	2296.78	548.55	2758.39	658.80	2196.19	524.55
1873	1600	3815.86	911.36	2328.65	556.16	2463.97	588.48	2979.13	711.52	2356.68	562.88
1973	1700	4087.10	976.14	2486.28	593.81	2632.09	628.66	3203.05	765.00	2517.60	601.29
2073	1800	4360.67	1041.48	2646.74	632.16	2800.48	668.88	3429.90	819.18	2680.01	640.08
2173	1900	4634.76	1106.94	2808.22	670.70	2971.30	709.65	3657.85	873.62	2841.43	678.87
2273	2000	4910.51	1172.80	2970.25	709.40	3142.76	750.60	3889.72	929.00	3006.26	718.00
2373	2100	5186.81	1238.79	3131.96	748.02	3314.85	791.70	4121.79	984.69	3169.77	757.05
2473	2200	5464.20	1305.04	3295.84	787.16	3487.44	832.92	4358.83	1041.04	3338.21	797.28
2573	2300	5746.39	1371.72	3457.20	825.70	3662.33	874.69	4485.34	1097.79	3500.54	836.05
2673	2400	6023.25	1438.56	3620.58	864.72	3837.64	916.56	4724.37	1154.88	3665.80	875.52
2773	2500	6303.53	1505.50	3786.09	904.25	4014.29	958.75	5076.74	1212.50	3835.29	916.00



## *Problema 5.3*

Determinar a temperatura de combustão de um combustível líquido que se queima num forno, tendo este a seguinte composição, dada em massa de combustível: Carbono 47%, Hidrogénio 12%, Nitrogénio 8%, Oxigénio 30%, Enxofre 3%, Cinzas 4%, Humidade 5% e com o excesso de ar de 35%.

 O ar é pré-aquecido até 100 °C, sendo o calor específico do ar e do combustível de 1.29 e 1.4 respectivamente.

## Problema 5.3 Solução (I)

1. A massa de trabalho do combustível calcula-se de:

$$C^t = C^c \frac{100 - (A^t + W^t)}{100} = 42,77\%$$

$$H^t = H^c \frac{100 - (A^t + W^t)}{100} = 10,92\%$$

$$N^t = N^c \frac{100 - (A^t + W^t)}{100} = 7,28\%$$

$$O^t = O^c \frac{100 - (A^t + W^t)}{100} = 27,3\%$$

$$S^t = S^c \frac{100 - (A^t + W^t)}{100} = 2,73\%$$

$$A^t = 4,0\%$$

$$W^t = 5,0\%$$



## Problema 5.3 Solução (II)


2. O volume teórico do ar é dado por:

$$V_{ar}^0 = 0,0889(C^t + 0,375 \cdot S^t) + 0,269 \cdot H^t - 0,0336 \cdot O^t = 5,892 \left[ \frac{m^3 N}{kg_{comb}} \right]$$


3. O volume teórico dos gases biatómicos calcula-se de:

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot V_{ar}^0 \cdot \alpha + 0,008 \cdot N^t = 4,713 \left[ \frac{m^3 N}{kg_{comb}} \right]$$

4. O volume teórico de água obtém-se de:


$$V_{H_2O}^0 = 0,1116 \cdot H^t + 0,0124 \cdot W^t + 0,0161 \cdot V_{ar}^0 = 1,376 \left[ \frac{m^3 N}{kg_{comb}} \right]$$

5. Volume teórico dos gases triatómicos:


$$V_{RO_2} = 1,867(C^t + 0,375 \cdot S^t) / 100 = 0,818 \left[ \frac{m^3 N}{kg_{comb}} \right]$$

## Problema 5.3 Solução (III)

6. O volume real dos gases biatómicos calcula-se de:

$$V_{R_2} = V_{N_2}^0 + (\alpha - 1) \cdot 0,79 \cdot V_{ar}^0 = 6,34 \left[ \frac{m^3 N}{kg_{comb}} \right]$$

7. O volume real de água obtém-se de:

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161(\alpha - 1) \cdot V_{ar}^0 = 1,4 \left[ \frac{m^3 N}{kg_{comb}} \right]$$

8. O volume real dos gases triatómicos calcula-se de:

$$V_{RO_2} = 1,867(C^t + 0,375 \cdot S^t) / 100 = 0,818 \left[ \frac{m^3 N}{kg_{comb}} \right]$$

9. O volume do oxigénio excedente obtém-se de:



$$V_{O_2} = 0,21(\alpha - 1) \cdot V_{ar}^0 = 0,43 \left[ \frac{m^3 N}{kg_{comb}} \right]$$

10. O volume dos gases de combustão calcula-se de:

$$V_g = V_{RO_2} + V_{R_2} + V_{H_2O} + V_{O_2} = 9,001 \left[ \frac{m^3 N}{kg_{comb}} \right]$$

## Problema 5.3 Solução (IV)

11. As fracções dos gases obtêm-se de:

Fracção dos gases  
biatómicos

$$r_{RN_2} = \frac{V_{RN_2}}{V_g} = 0,705$$

Fracção de água

$$r_{RH_2O} = \frac{V_{RH_2O}}{V_g} = 0,156$$

Fracção dos gases  
triatómicos

$$r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}}{V_g} = 0,09$$



Fracção de oxigénio

$$r_{O_2} = \frac{V_{O_2}}{V_g} = 0,048$$

## Problema 5.3 Solução (V)

12. O Poder Calorífico Inferior calcula-se de:


$$Q_i' = 4,187 \left[ (81 \cdot C^t + 300H^t - 26(O^t - S^t) - 6(W^t + 9H^t)) \right] = 22952,59 \left[ \frac{kJ}{kg_{comb}} \right]$$

13. A Entalpia total dos gases, devido ao pré-aquecimento do ar determina-se de:

$$I_g = \frac{Q^i + T_{ar} \cdot c_{par} \cdot \alpha \cdot V_{ar}^o}{V_g} = 2654,68 \left[ \frac{kJ}{m^3} \right]$$

Onde:

A entalpia determinada pelo poder calorífico é:


$$I_g = \frac{Q^i}{V_g} = 2540,14 \left[ \frac{kJ}{m^3} \right]$$

A entalpia determinada do aquecimento do ar é:

$$I_{ar} = \frac{T_{ar} \cdot c_{par} \cdot \alpha \cdot V_{ar}^o}{V_g} = 114,53 \left[ \frac{kJ}{m^3} \right]$$

## Problema 5.3 Solução (VI)

14. A entalpia dos gases obtém-se de: ►

$$I_g = r_{RO_2} (C\theta)_{RO_2} + r_{N_2} (C\theta)_{N_2} + r_{H_2O} (C\theta)_{H_2O} + r_{O_2} (C\theta)_{O_2} = 2654,58 \left[ \frac{kJ}{m^3} \right]$$

15. A temperatura dos gases é **1711,19 °C**







$$I_g = r_{RO_2} \cdot (C\theta)_{RO_2} + r_{N_2} \cdot (C\theta)_{N_2} + r_{O_2} \cdot (C\theta)_{O_2} + r_{H_2O} \cdot (C\theta)_{H_2O} \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} \right]$$

Appendix III. Enthalpy of 1 m<sup>3</sup> of Air and Gases at Different Temperatures and Constant Pressure 101.3 kN/m<sup>2</sup> (760 mm Hg)

Temperature		CO <sub>2</sub>		N <sub>2</sub>		O <sub>2</sub>		H <sub>2</sub> O		Dry air	
K	°C	kJ/m <sup>3</sup>	kcal/m <sup>3</sup>	kJ/m <sup>3</sup>	kcal/m <sup>3</sup>	kJ/m <sup>3</sup>	kcal/m <sup>3</sup>	kJ/m <sup>3</sup>	kcal/m <sup>3</sup>	kJ/m <sup>3</sup>	kcal/m <sup>3</sup>
373	100	172.00	41.08	130.13	31.08	131.93	31.51	150.18	35.87	130.51	31.17
473	200	361.57	86.38	260.60	62.24	267.38	63.86	303.47	72.48	261.94	62.56
573	300	564.24	134.76	392.41	93.72	407.48	97.32	461.36	110.19	395.42	94.44
673	400	777.44	185.68	526.89	125.84	551.85	131.80	623.69	148.96	532.08	127.08
773	500	1001.78	239.26	664.54	158.75	700.17	167.25	791.55	189.05	672.01	160.50
873	600	1236.76	295.38	805.06	192.30	851.64	203.40	964.68	230.40	814.96	194.64
973	700	1475.41	352.38	940.36	224.59	1005.24	240.24	1143.64	273.14	960.75	229.46
1073	800	1718.95	410.52	1094.65	261.44	1162.32	277.60	1328.11	317.20	1109.05	264.88
1173	900	1972.43	471.06	1243.55	297.00	1319.67	315.18	1517.87	362.52	1259.36	300.78
1273	1000	2225.75	531.80	1393.86	332.90	1480.11	353.50	1713.32	409.20	1411.86	337.20
1373	1100	2485.34	593.56	1546.74	369.27	1641.62	391.93	1913.67	457.05	1565.94	374.00
1473	1200	2745.44	655.92	1699.76	405.96	1802.76	430.56	2118.74	506.04	1721.36	411.12
1573	1300	3010.58	719.03	1857.74	443.69	1966.05	469.56	2328.01	556.01	1879.27	448.86
1673	1400	3276.75	782.60	2012.86	480.62	2129.93	508.70	2540.25	606.70	2036.87	486.50
1773	1500	3545.34	846.75	2170.55	518.40	2296.78	548.55	2758.39	658.80	2196.19	524.55
1873	1600	3815.86	911.36	2328.65	556.16	2463.97	588.48	2979.13	711.52	2356.68	562.88
1973	1700	4087.10	976.14	2486.28	593.81	2632.09	628.66	3203.05	765.00	2517.60	601.29
2073	1800	4360.67	1041.48	2646.74	632.16	2800.48	668.88	3429.90	819.18	2680.01	640.08
2173	1900	4634.76	1106.94	2808.22	670.70	2971.30	709.65	3657.85	873.62	2841.43	678.87
2273	2000	4910.51	1172.80	2970.25	709.40	3142.76	750.60	3889.72	929.00	3006.26	718.00
2373	2100	5186.81	1238.79	3131.96	748.02	3314.85	791.70	4121.79	984.69	3169.77	757.05
2473	2200	5464.20	1305.04	3295.84	787.16	3487.44	832.92	4358.83	1041.04	3338.21	797.28
2573	2300	5746.39	1371.72	3457.20	825.70	3662.33	874.69	4485.34	1097.79	3500.54	836.05
2673	2400	6023.25	1438.56	3620.58	864.72	3837.64	916.56	4724.37	1154.88	3665.80	875.52
2773	2500	6303.53	1505.50	3786.09	904.25	4014.29	958.75	5076.74	1212.50	3835.29	916.00



# Entalpia (kJ/m<sup>3</sup>) de 1m<sup>3</sup> de Gases a temperatura. dada e pressão de 1bar

Temp. °C	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	O <sub>2</sub>	Ar Seco	Cinzas
100	172	130,13	150,18	131,98	130,51	81,00
200	361,67	260,6	303,47	267,38	261,94	169,80
300	564,24	392,41	461,36	407,48	395,42	264,00
400	777,44	526,89	623,69	551,85	532,08	360,00
500	1001,78	664,58	791,55	700,17	672,01	458,00
600	1236,77	805,06	964,68	851,64	814,96	560,00
700	1475,41	940,36	1143,6	1005,24	960,75	662,50
800	1718,96	1094,65	1328,1	1162,32	1109,05	768,00
900	1972,43	1243,55	1517,9	1319,67	1259,36	825,00
1000	2226,75	1393,86	1713,3	1480,11	1411,86	985,00
1100	2485,34	1546,14	1913,7	1641,02	1565,94	1092,00
1200	2746,44	1699,76	2118,8	1802,76	1721,36	1212,00
1300	3010,58	1857,74	2328	1966,05	1879,27	1360,00
1400	3276,75	2012,36	2540,3	2129,93	2036,87	1585,00
1500	3545,34	2170,55	2758,4	2296,78	2196,19	1758,00
1600	3815,86	2328,65	2979,1	2463,97	2356,68	1880,00
1700	4087,1	2486,28	3203,1	2632,09	2517,6	2065,00
1800	4360,67	2646,74	3429,9	2800,48	2680,01	2182,00
1900	4634,76	2808,22	3657,9	2971,3	2841,43	2385,00
2000	4910,51	2970,25	3889,7	3142,76	3006,26	2514,00
2100	5186,81	3131,96	4121,8	3314,85	3169,77	2640,00
2200	5464,2	3295,84	4358,8	3487,44	3338,21	2762,00
2300	5746,39	3457,2	4485,3	3662,33	3500,54	-
2400	6023,25	3620,58	4724,4	3837,64	3665,8	-
2500	6303,53	3786,09	5076,7	4014,29	3835,29	-

