*********Balanço de Massa e Energia na Caldeira**********

**********Ponto 1 Combustível - Carvão**********

$T_{ambiente} = 20$ [°C]

$T_1 = T_{ambiente}$

$\dot{m}_1 = 0{,}942 \cdot \frac{340}{3{,}6}$ [kg/s]

$PCI_1 = 9988$ [kJ/kg]

$T_{fornalha} = 850$ [°C]

**********Ponto 2 - Calcário**********

$T_2 = T_{ambiente}$

$\dot{m}_2 = \frac{16{,}2}{3{,}6}$ [kg/s]

$Cp_2 = 0{,}84$ [kJ/kg°C]

**********Ponto 3 - Cinza Pesada**********

$T_3 = 340$ [°C]

$\dot{m}_3 = \frac{150}{3{,}6}$ [kg/s]

$Cp_3 = 0{,}84$ [kJ/kg°C]

$\varepsilon_{inctos;cp} = 0{,}01$

$\dot{m}_{inctos;cp} = \dot{m}_3 \cdot \varepsilon_{inctos;cp}$

**********Ponto 3A - Cinza Pesada**********

$T_{3A} = 850$ [°C]

$\dot{m}_{3A} = \dot{m}_3$

$Cp_{3A} = Cp_3$

**********Ponto 4 - Condensado frio**********

$T_4 = 36$ [°C]

$P_4 = 0{,}756$ [MPa]

$h_4 = \mathbf{h}\left['Water' ; T = T_4 ; P = P_4\right]$

$\dot{Q}_{resf;cinza} = \dot{m}_3 \cdot Cp_3 \cdot \left[T_{3A} - T_3\right]$

$\dot{Q}_{resf;cinza} = \dot{m}_4 \cdot \left[h_5 - h_4\right]$

**********Ponto 5 - Condensado quente**********

$T_5 = 65{,}8$ [°C]

$P_5 = P_4$

$h_5 = \mathbf{h}[\text{'Water'}; T = T_5; P = P_5]$

$\dot{m}_5 = \dot{m}_4$

************Ponto 6 - Ar primário********************

$T_6 = T_{ambiente}$

$P_6 = 0{,}0248$ [MPa]

$h_6 = \mathbf{h}[\text{'Air}_{ha}\text{'}; T = T_6; P = P_6]$

$Cp_6 = \mathbf{Cp}[\text{'Air'}; T = T_6]$

$\dot{V}_6 = 1{,}22611 \times 10^6 \cdot 0{,}45$ [Nm³/h]

$$\dot{m}_6 = \frac{\dot{V}_6}{22{,}4} \cdot \frac{\mathbf{MolarMass}[\text{'Air}_{ha}\text{'}]}{3600} \text{ [kg/s]}$$

************Ponto 6A - Ar primário********************

$y_{ar;primário} = 0{,}047$

$\dot{V}_{6A;ar;primário} = \dot{V}_6 \cdot [1 - y_{ar;primário}]$

$$\dot{m}_{6A} = \frac{\dot{V}_{6A;ar;primário}}{22{,}4} \cdot \frac{\mathbf{MolarMass}[\text{'Air}_{ha}\text{'}]}{3600}$$

************Ponto 7 - Ar Secundário********************

$T_7 = T_{ambiente}$

$P_7 = 0{,}077$ [MPa]

$h_7 = \mathbf{h}[\text{'Air}_{ha}\text{'}; T = T_7; P = P_7]$

$Cp_7 = \mathbf{Cp}[\text{'Air'}; T = T_7]$

$\dot{V}_7 = 1{,}22611 \times 10^6 \cdot 0{,}55$ [Nm³/h]

$$\dot{m}_7 = \frac{\dot{V}_7}{22{,}4} \cdot \frac{\mathbf{MolarMass}[\text{'Air}_{ha}\text{'}]}{3600} \text{ [kg/s]}$$

************Ponto 7A - Ar Secundário********************

$y_{ar;secundário} = 0{,}047$

$\dot{V}_{7A;ar;secundário} = \dot{V}_7 \cdot [1 - y_{ar;secundário}]$

$$\dot{m}_{7A} = \frac{\dot{V}_{7A;ar;secundário}}{22{,}4} \cdot \frac{\mathbf{MolarMass}[\text{'Air}_{ha}\text{'}]}{3600} \text{ [kg/s]}$$

************Ponto 8A - Gases Combustão********************

$T_{8A} = 350$ [°C]

$\dot{V}_{8A;gases;combustão} = 1{,}333 \times 10^6$ [Nm³/h]

$$\dot{m}_{8A;gases;combustão} = \frac{\dot{V}_{8A;gases;combustão}}{22,4} \cdot \frac{30,88}{3600}$$

************Ponto 8 - Gases Combustão********************

$T_8 = 135$ [°C]

$P_8 = 0,101325 - 0,004$

$CP_{gases;combustão} = \mathbf{Cp}[\text{'Air'}; T = T_8]$

$h_8 = \mathbf{h}[\text{'Air}_{ha}\text{'}; T = T_8; P = P_8]$

$MM_{gases;Combustão} = 30,88$ [kg/kmol]

$\dot{V}_8 = \dot{V}_{8A;gases;combustão} + \dot{V}_6 \cdot y_{ar;primário} + \dot{V}_7 \cdot y_{ar;secundário}$

$$\dot{m}_8 = \frac{\dot{V}_8}{22,4} \cdot \frac{MM_{gases;Combustão}}{3600 \text{ [kg/s]}}$$

$\dot{m}_6 \cdot 1 \cdot T_6 + \dot{m}_7 \cdot 1 \cdot T_7 + \dot{m}_{8A;gases;combustão} \cdot 1 \cdot T_{8A} = \dot{m}_{6A} \cdot 1 \cdot T_{6A} + \dot{m}_{7A} \cdot 1 \cdot T_{7A} + \dot{m}_8 \cdot 1 \cdot T_8$

$T_{6A} = T_{7A}$

$$\dot{m}_{cinza;leve} = \frac{100}{3,6 \text{ [kg/s]}}$$

$\varepsilon_{inctos;cl} = 0,01$

$\dot{m}_{inctos;cl} = \dot{m}_{cinza;leve} \cdot \varepsilon_{inctos;cl}$

************Ponto 9 - Água de Alimentação da Caldeira********************

$T_9 = 274,5$ [°C]

$P_9 = 16,67$ [MPa]

$h_9 = \mathbf{h}[\text{'Water'}; T = T_9; P = P_9]$

$$\dot{m}_9 = \frac{1045,8}{3,6} + \dot{m}_{13}$$

************Ponto 10 - Vapor SuperAquecido Frio********************

$T_{10} = 320$ [°C]

$P_{10} = 3,58$ [MPa]

$h_{10} = \mathbf{h}[\text{'Water'}; T = T_{10}; P = P_{10}]$

$$\dot{m}_{10} = \frac{872,06}{3,6 \text{ [kg/s]}}$$

************Ponto 11 - Vapor SuperAquecido Quente********************

$T_{11} = 538$ [°C]

$P_{11} = 3,22$ [MPa]

$h_{11} = \mathbf{h}\left['Water' ; T = T_{11} ; P = P_{11}\right]$

$\dot{m}_{11} = \dot{m}_{10}$

**********Ponto 12 - Vapor SuperAquecido**********

$T_{12} = 538 \quad [°C]$

$P_{12} = 16{,}67 \quad [MPa]$

$h_{12} = \mathbf{h}\left['Water' ; T = T_{12} ; P = P_{12}\right]$

$\dot{m}_{12} = \frac{1045{,}8}{3{,}6} \quad [kg/s]$

**********Ponto 13 - Purga da Caldeira**********

$T_{13} = \mathbf{T}_{sat}\left['Water' ; P = P_{13}\right]$

$P_{13} = 16{,}67 \quad [MPa]$

$h_{13} = \mathbf{h}\left['Water' ; x = 0 ; P = P_{13}\right]$

$\dot{m}_{13} = \dot{m}_{12} \cdot 0{,}01 \quad [kg/s]$

**********$\dot{Q}_1$ - Calor liberado pela combustão**********

$\dot{Q}_1 = \dot{m}_1 \cdot PCI_1$

**********$\dot{Q}_2$ - Calor de Aquecimento do Calcário**********

$\dot{Q}_2 = \dot{m}_2 \cdot Cp_2 \cdot \left[T_{fornalha} - T_2\right]$

**********$\dot{Q}_3$ - Calor residual na cinza pesada**********

$\dot{Q}_3 = \dot{m}_3 \cdot Cp_3 \cdot \left[T_3 - T_{ambiente}\right]$

**********$\dot{Q}_4$ - Calor recuperado da cinza pesada**********

$\dot{Q}_4 = \dot{m}_4 \cdot \left[h_5 - h_4\right]$

**********$\dot{Q}_5$ - Calor residual nos gases de combustão**********

$\dot{Q}_5 = \dot{m}_8 \cdot CP_{gases;combustão} \cdot \left[T_8 - T_{ambiente}\right] + \dot{m}_{cinza;leve} \cdot Cp_3 \cdot \left[T_8 - T_{ambiente}\right]$

**********$\dot{Q}_6$ - Calor de reaquecimento do vapor**********

$\dot{Q}_6 = \dot{m}_{10} \cdot \left[h_{11} - h_{10}\right]$

**********$\dot{Q}_7$ - Calor da água de alimentação da caldeira**********

$h_{ref;amb} = \mathbf{h}\left['Water' ; T = T_{ambiente} ; P = 0{,}101325\right]$

$\dot{Q}_7 = \dot{m}_9 \cdot \left[h_9 - h_{ref;amb}\right]$

**********$\dot{Q}_8$ - Calor do vapor de alta**********

$\dot{Q}_8 = \dot{m}_{12} \cdot \left[h_{12} - h_{ref;amb}\right]$

**********$\dot{Q}_9$ - Calor do condensado purgado**********

$\dot{Q}_9 = \dot{m}_{13} \cdot [h_{13} - h_{ref;amb}]$

************$\dot{Q}_{10}$ - Calor da Dessulfurização********************

$\delta Hf_{CaCO3} = -1207$ [kJ/mol]

$\delta Hf_{SO2} = -297{,}09$ [kJ/mol]

$\delta Hf_{CaSO4} = -1434{,}5$ [kJ/mol]

$\delta Hf_{CO2} = -393{,}5$ [kJ/mol]

$MM_{CaCO3} = 100{,}09$ [kg/kmol]

$\xi_{CaCO3;CaSO4} = 0{,}85$

$\delta H_{gen} = 2 \cdot \delta Hf_{CaSO4} + 2 \cdot \delta Hf_{CO2} - [2 \cdot \delta Hf_{CaCO3} + 2 \cdot \delta Hf_{SO2}]$

$$\dot{Q}_{reac;esp} = \frac{\delta H_{gen}}{2 \cdot MM_{CaCO3}} \cdot 1000$$

$\dot{Q}_{10} = \dot{Q}_{reac;esp} \cdot \dot{m}_2 \cdot \xi_{CaCO3;CaSO4}$

************$\dot{Q}_{11}$ - Calor residual no incombustos na cinza ********************

$PCI_{carbono} = 33900$ [kJ/kg]

$\dot{Q}_{11A} = \dot{m}_{inctos;cp} \cdot PCI_{carbono}$

$\dot{Q}_{11B} = \dot{m}_{inctos;cl} \cdot PCI_{carbono}$

$\dot{Q}_{11} = \dot{Q}_{11A} + \dot{Q}_{11B}$

************Balanços********************

$\dot{Q}_1 + \dot{Q}_7 = \dot{Q}_3 + \dot{Q}_4 + \dot{Q}_5 + \dot{Q}_6 + \dot{Q}_8 + \dot{Q}_9 + \dot{Q}_{10} + \dot{Q}_{11} + \dot{Q}_{12}$

$$\eta_{caldeira} = \frac{\dot{Q}_6 + \dot{Q}_8 - \dot{Q}_7}{\dot{Q}_1 + -\dot{Q}_{10}}$$

Arrays Table

	$\dot{m}_i$ [kg/s]	PCI_i [kJ/kg]	T_i [°C]	Cp_i [kJ/kg°C]	P_i [MPa]	h_i [kJ/kg]	$\dot{V}_i$ [Nm³/h]
1	88,97	9988	20				
2	4,5		20	0,84			
3	41,67		340	0,84			
4	143,3		36		0,756	151,4	
5	143,3		65,8		0,756	276	
6	198,1		20	1,007	0,0248	293,6	551749
7	242,2		20	1,007	0,077	293,5	674359
8	532,5		135		0,09733	409,6	1,391E+06
9	293,4		274,5		16,67	1204	
10	242,2		320		3,58	3027	
11	242,2		538		3,22	3540	
12	290,5		538		16,67	3397	

Arrays Table

	$\dot{m}_i$ [kg/s]	PCI_i [kJ/kg]	T_i [°C]	Cp_i [kJ/kg°C]	P_i [MPa]	h_i [kJ/kg]	$\dot{V}_i$ [Nm³/h]
13	2,905		350,7		16,67	1676	