

# 23º SBA

Seminário Brasileiro Agroindustrial

**A USINA REPAGINADA**

José Benedito dos Reis Ferracin

23 e 24 outubro/24

Ribeirão Preto-SP



Caldeira de leito fluidizado

---

**Caldeira de leito fluidizado**

# Caldeira de Leito Fluidizado Borbulhante

---

## Conceito:

O conceito da caldeira de leito fluidizado borbulhante refere-se a um tipo de caldeira que utiliza a tecnologia de fluidização para a queima eficiente de combustíveis, especialmente aqueles com alto teor de umidade e baixo poder calorífico. Neste tipo de caldeira, uma camada de areia ou outro material granulado é mantida em suspensão por um fluxo de ar ou gás, criando um ambiente semelhante a um líquido em ebulição, daí o termo “borbulhante”.

# Caldeira de Leito Fluidizado Borbulhante

---

## Características:

As características principais das caldeiras de leito fluidizado borbulhante incluem:

- ✓ Alta eficiência na queima de combustíveis, devido à mistura homogênea e à transferência de calor eficiente.
- ✓ Flexibilidade no uso de diferentes tipos de combustíveis, incluindo biomassa e resíduos industriais, desde que previsto no projeto.
- ✓ Controle de temperatura ajuda a evitar a formação de óxidos de nitrogênio (NOx).
- ✓ Capacidade de queimar combustíveis com alto teor de impurezas.
- ✓ Baixas emissões e menor impacto ambiental.
- ✓ Possibilidade de uso de óleo, gás, diesel e etanol como combustíveis de partida complementares.
- ✓ O leito atua como um “grande capacitor” devido ao lastro térmico, sendo capaz de secar o combustível minimizando as perturbações na produção de vapor.

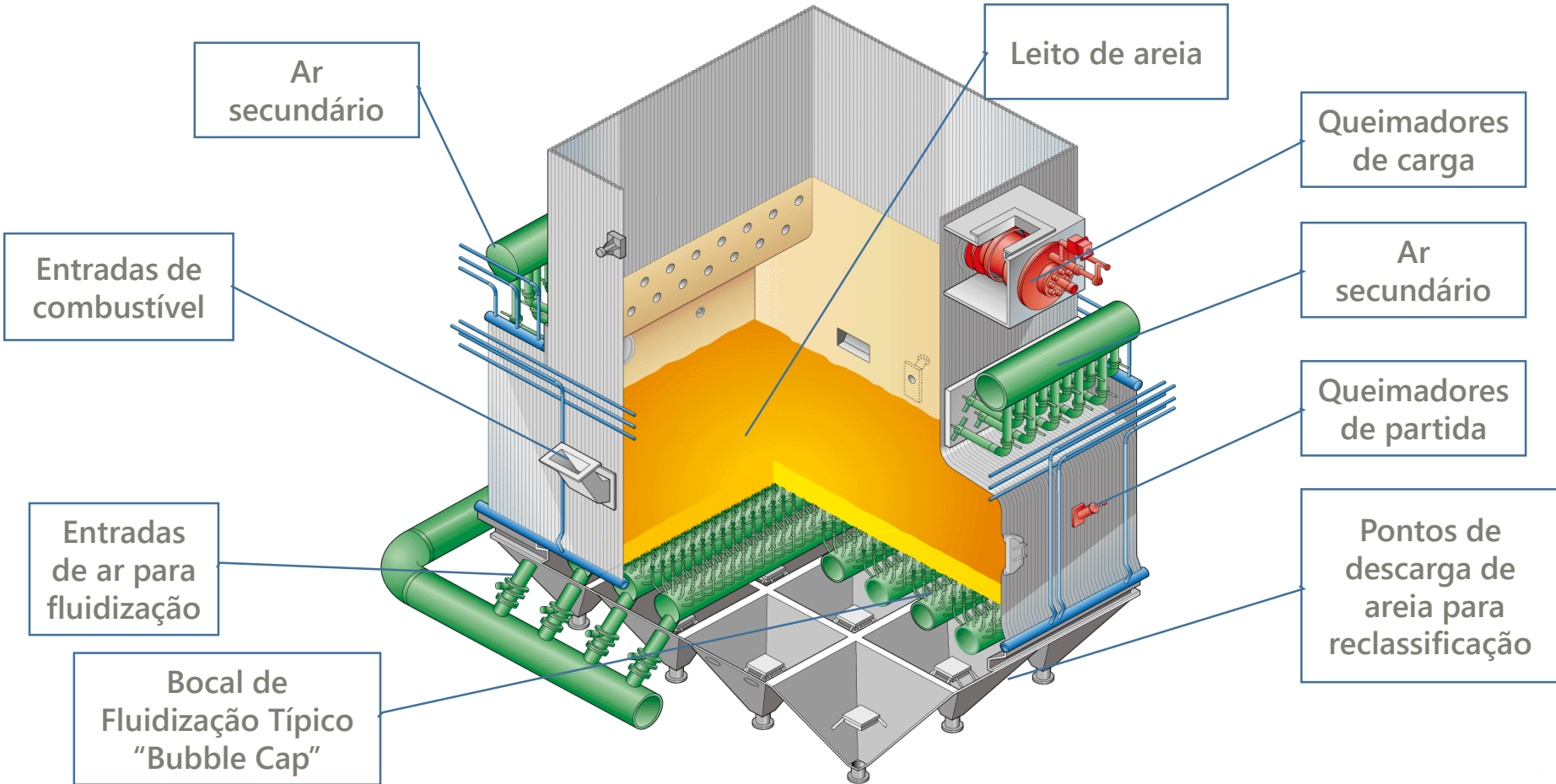
# Caldeira de Leito Fluidizado Borbulhante

---

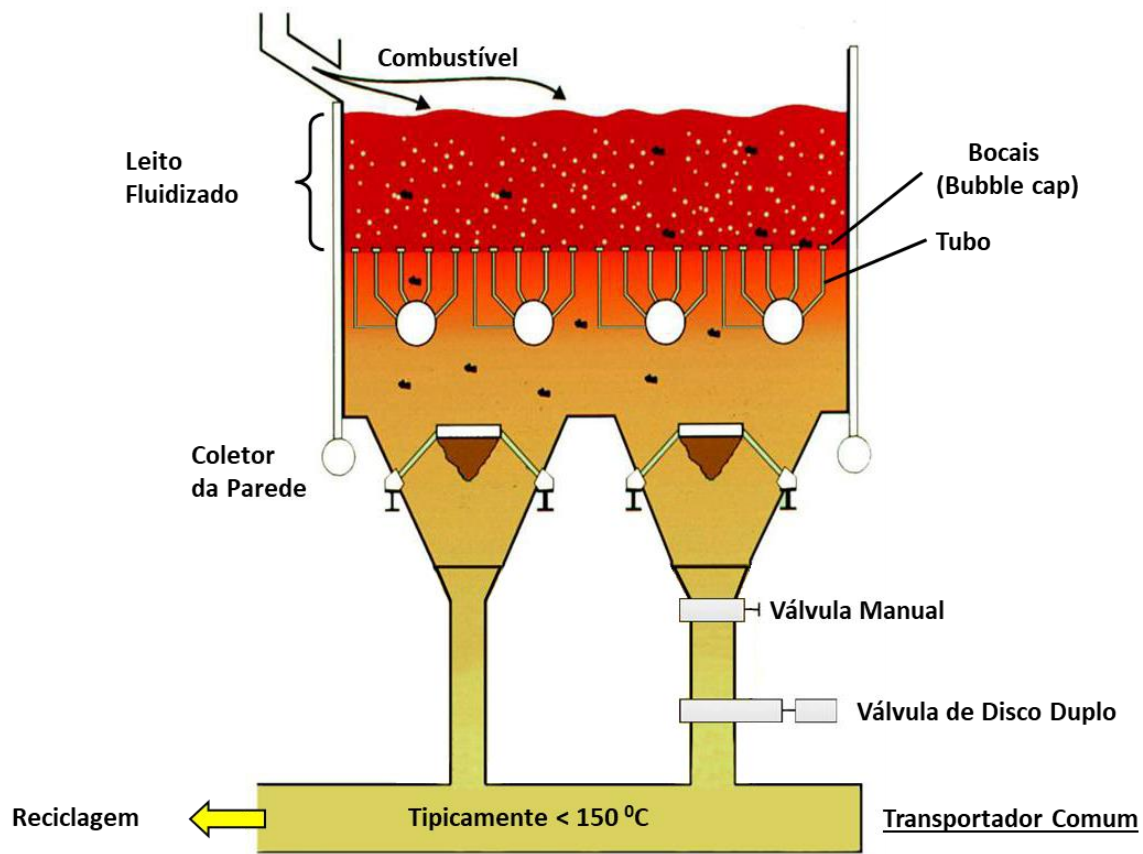
## Projeto:

- ✓ As informações das características do combustível a serem queimados são fundamentais para o dimensionamento do leito, demais partes da caldeira e periféricos, como por exemplo ventiladores e exaustores etc.
- ✓ A velocidade de fluidização e o volume de fornalha devem ser adequados para completar a combustão na área acima do leito através do ar secundário.
- ✓ O controle de temperatura do leito é fundamental (760 – 830°C), é realizado por meio da regulagem do ar e/ou pela recirculação do gás de combustão.
- ✓ A combinação dos ajustes da estequiometria do leito através da recirculação de gases, permite a queima de combustível com ampla faixa de umidade e elevado turndown.

# Caldeira de Leito Fluidizado Borbulhante



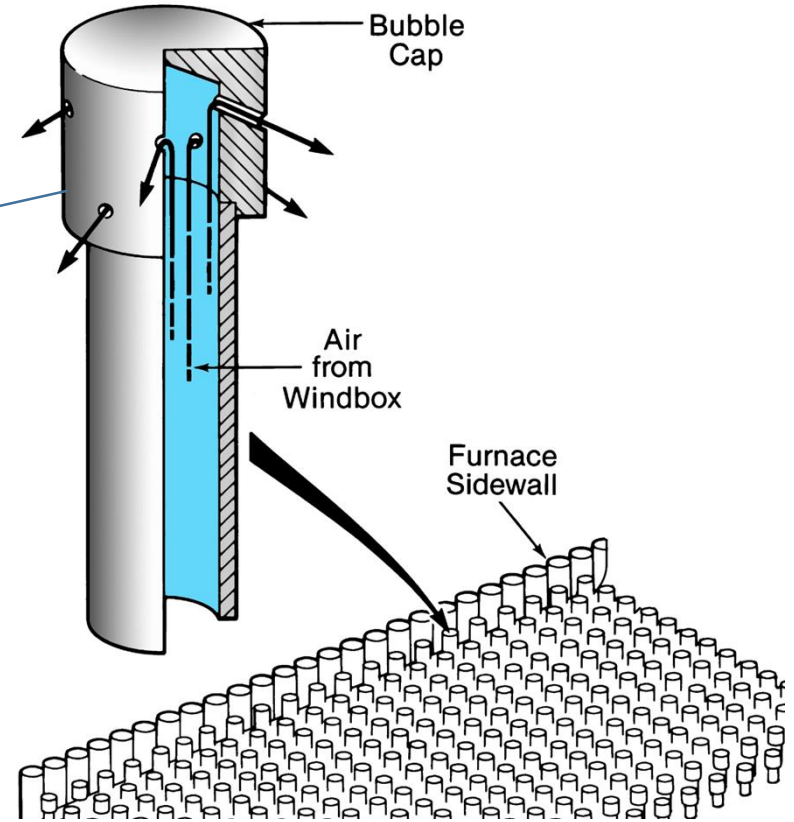
# Caldeira de Leito Fluidizado Borbulhante



# Caldeira de Leito Fluidizado Borbulhante

## Bocal de Fluidização Típico "Bubble Cap"

Há uma pequena inclinação nos orifícios para evitar a entrada de areia

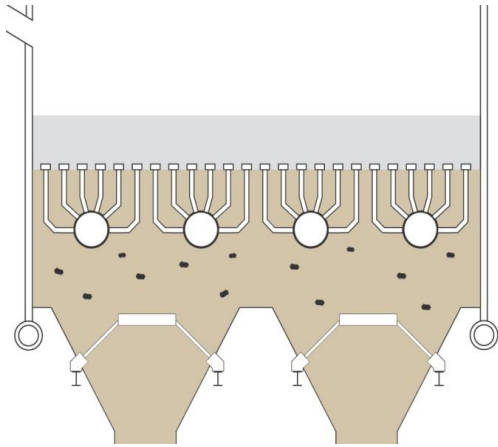




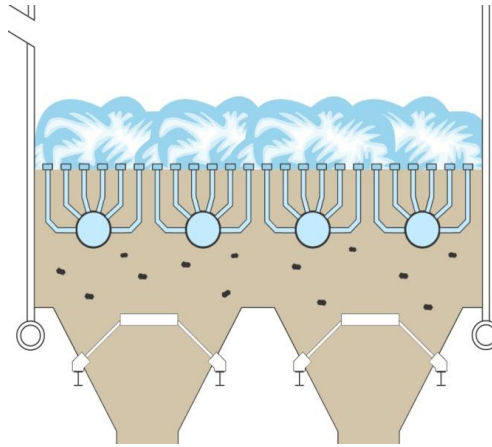
# Caldeira de Leito Fluidizado Borbulhante

## Caldeiras de Leito Fluidizado – Operação

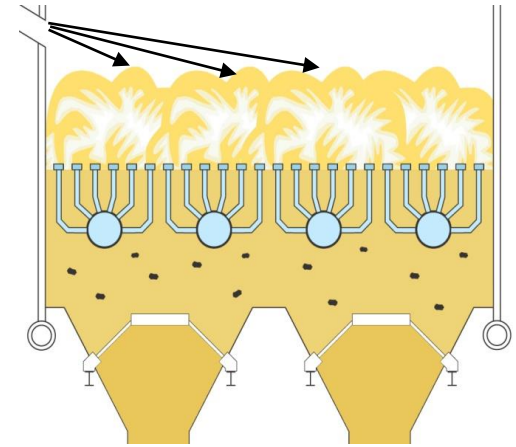
Fora de Operação  
Altura do Leito  $\approx$  500 mm  
acima dos buble cap



Leito com Ar  
Altura do Leito  $\approx$  800 mm  
acima dos buble cap

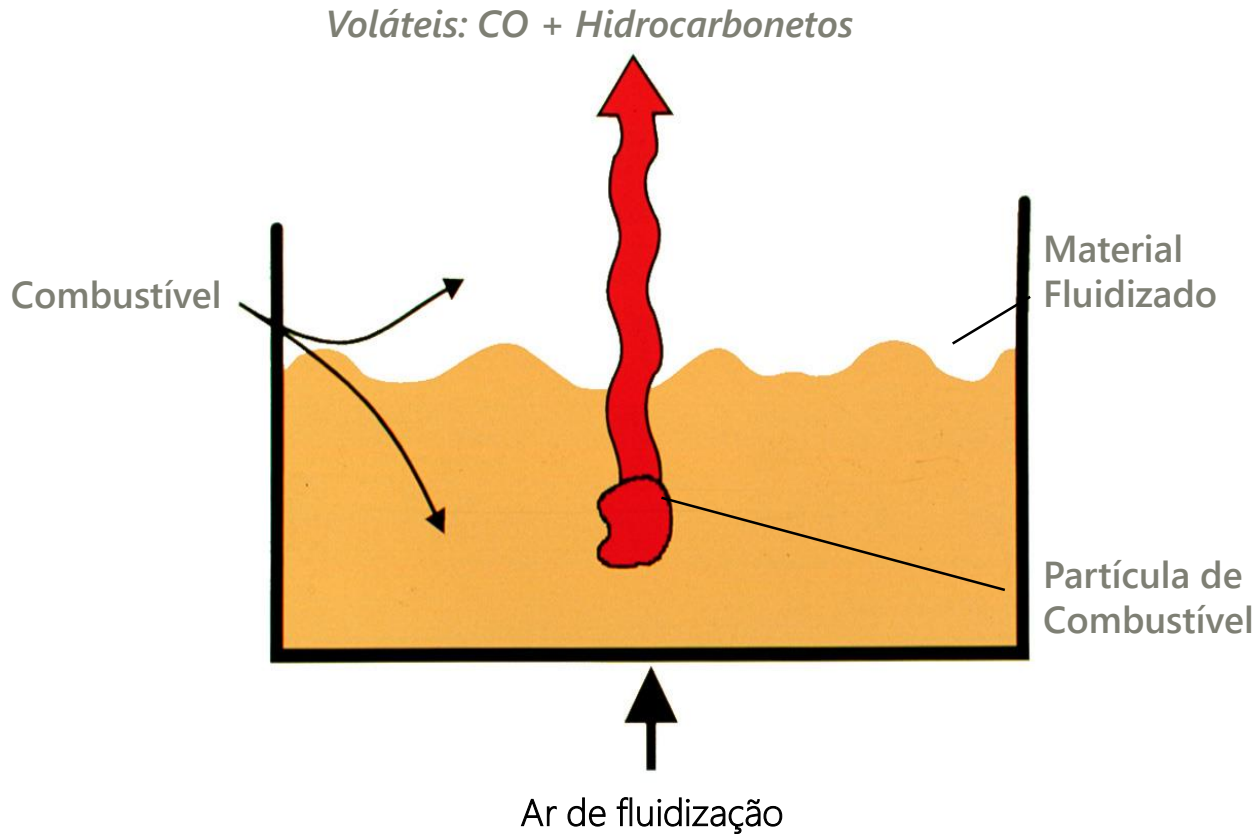


Leito Aquecido  
Operação Normal



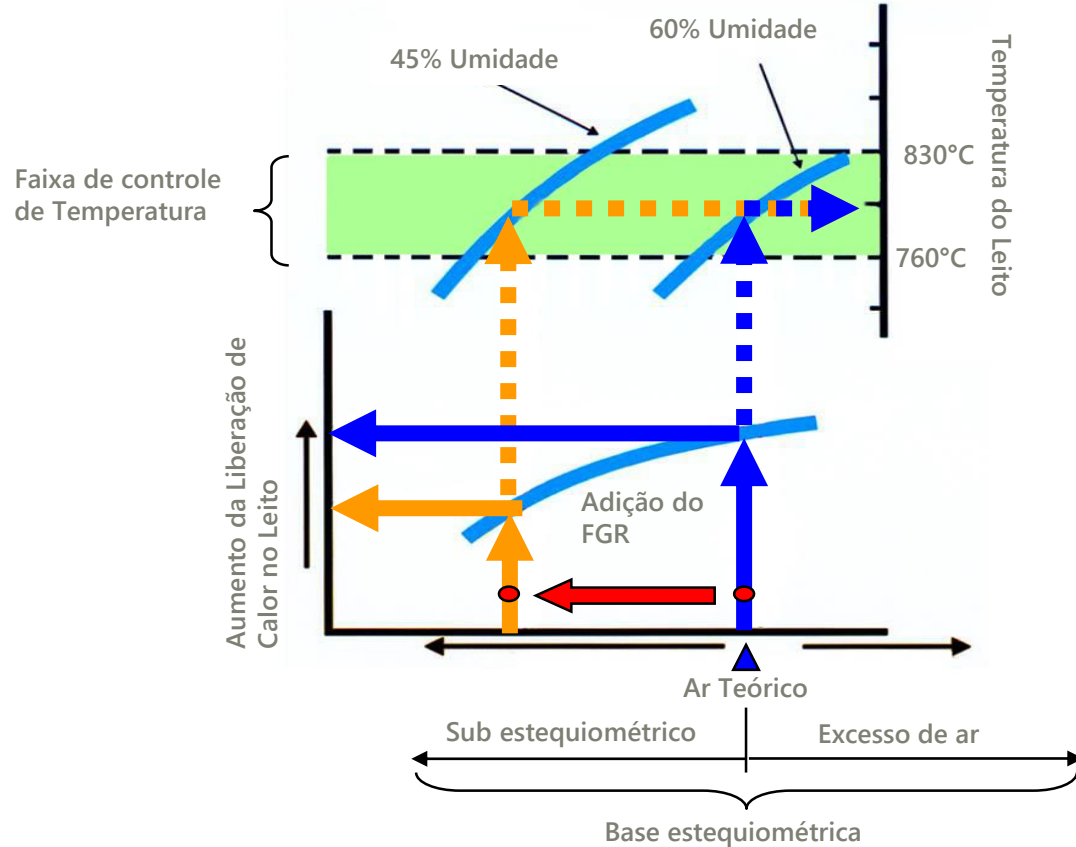
# Caldeira de Leito Fluidizado Borbulhante

## Características da combustão em Leito Fluidizado



# Caldeira de Leito Fluidizado Borbulhante

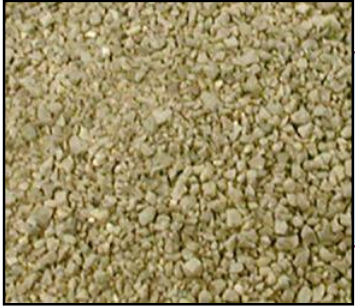
## Estequiometria x Liberação de Calor no Leito



# Caldeira de Leito Fluidizado Borbulhante

---

## Material do Leito e Sistema de Drenagem



**Material com granulometria uniforme, apropriado para uma boa fluidização, deve ser mantido no Leito.**



**Material proveniente das descargas de fundo do leito rejeitado pelo sistema de classificação, deve ser removido com o Leito em operação.**

# Caldeira de Leito Fluidizado Borbulhante

Rejeitos segregados na classificação da areia do leito





# Caldeira de Leito Fluidizado Borbulhante

Pré montagem do  
leito em fabrica



# Caldeira de Leito Fluidizado Borbulhante

Montagem do leito em campo



# Caldeira de Leito Fluidizado Borbulhante

## Projetos da Usina São Martinho

Projeto da UTE Fase 1, início de operação em 2013  
Caldeira de leito fluidizado 330 t/h; 67 kgf/cm<sup>2</sup> @525°C  
com lavador de gás.



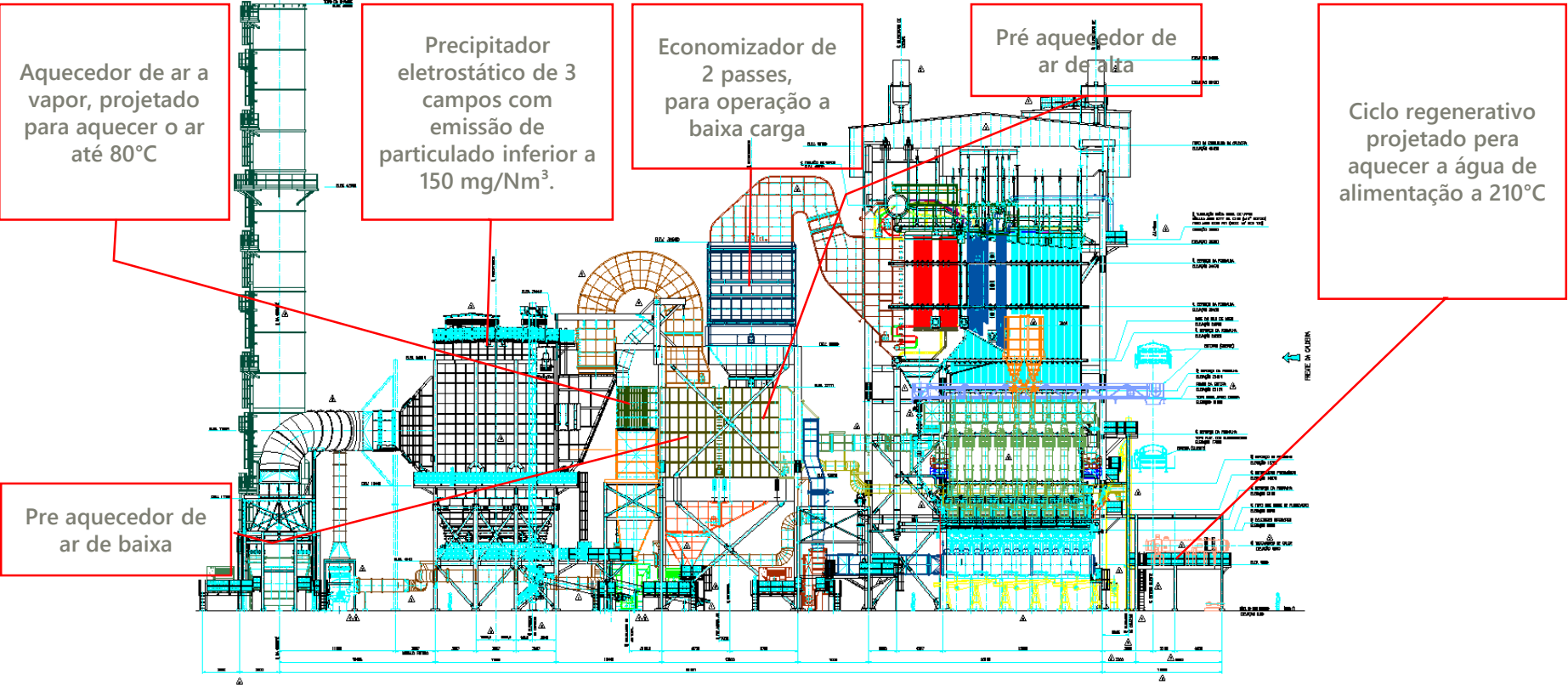
Projeto da UTE Fase 2, início de operação em 2024  
Caldeira de leito fluidizado 450 t/h; 100 kgf/cm<sup>2</sup> @545°C  
com precipitador eletrostático e ciclo regenerativo.





# Caldeira de Leito Fluidizado Borbulhante

## Vista em elevação da caldeira



Aquecedor de ar a vapor, projetado para aquecer o ar até 80°C

Precipitador eletrostático de 3 campos com emissão de particulado inferior a 150 mg/Nm<sup>3</sup>.

Economizador de 2 passes, para operação a baixa carga

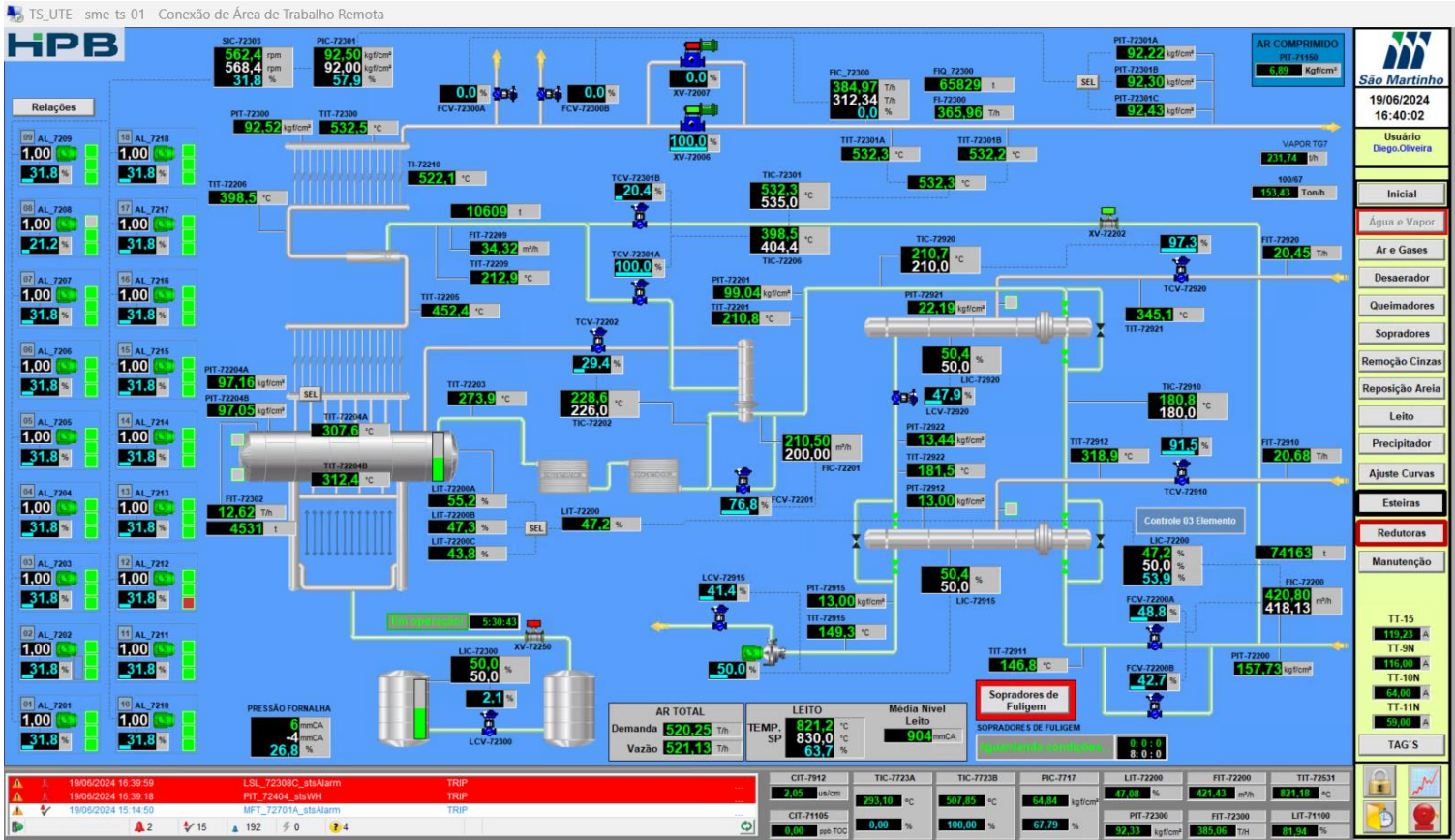
Pré aquecedor de ar de alta

Ciclo regenerativo projetado para aquecer a água de alimentação a 210°C

Pré aquecedor de ar de baixa

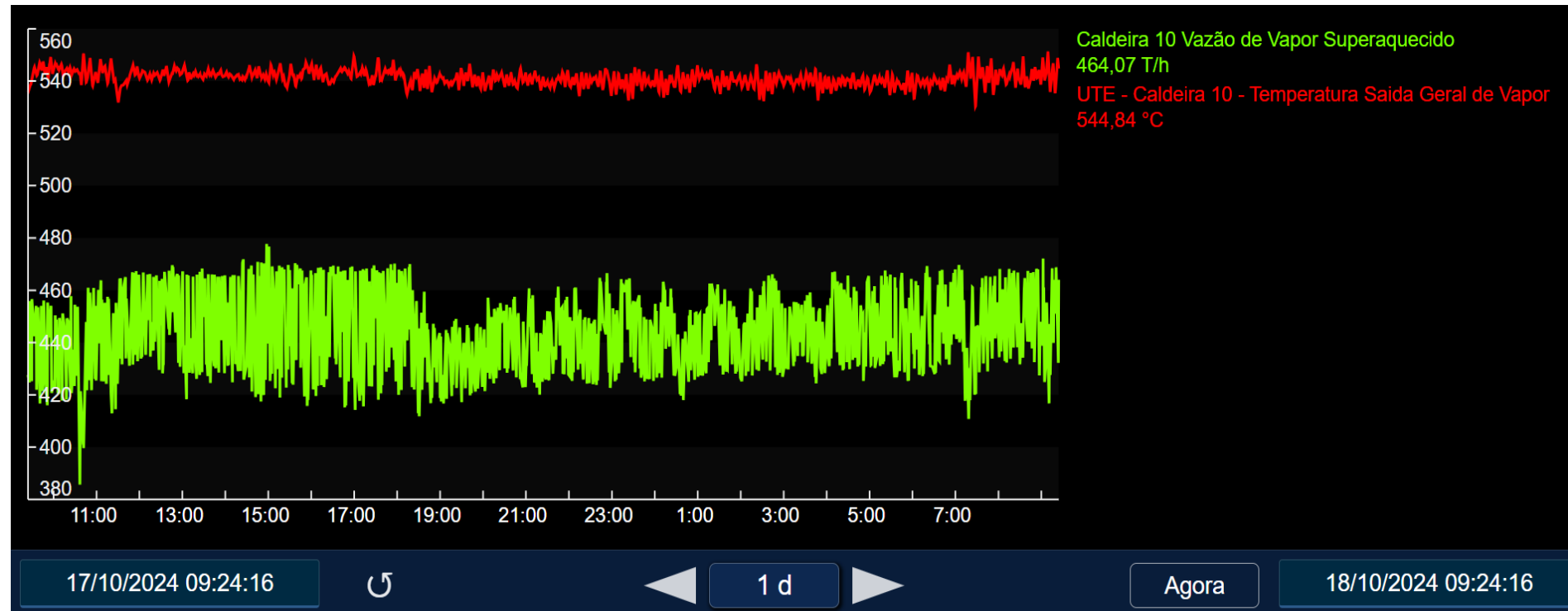
# Caldeira de Leito Fluidizado Borbulhante

## Tela de água/vapor da caldeira de 450 t/h.



# Caldeira de Leito Fluidizado Borbulhante

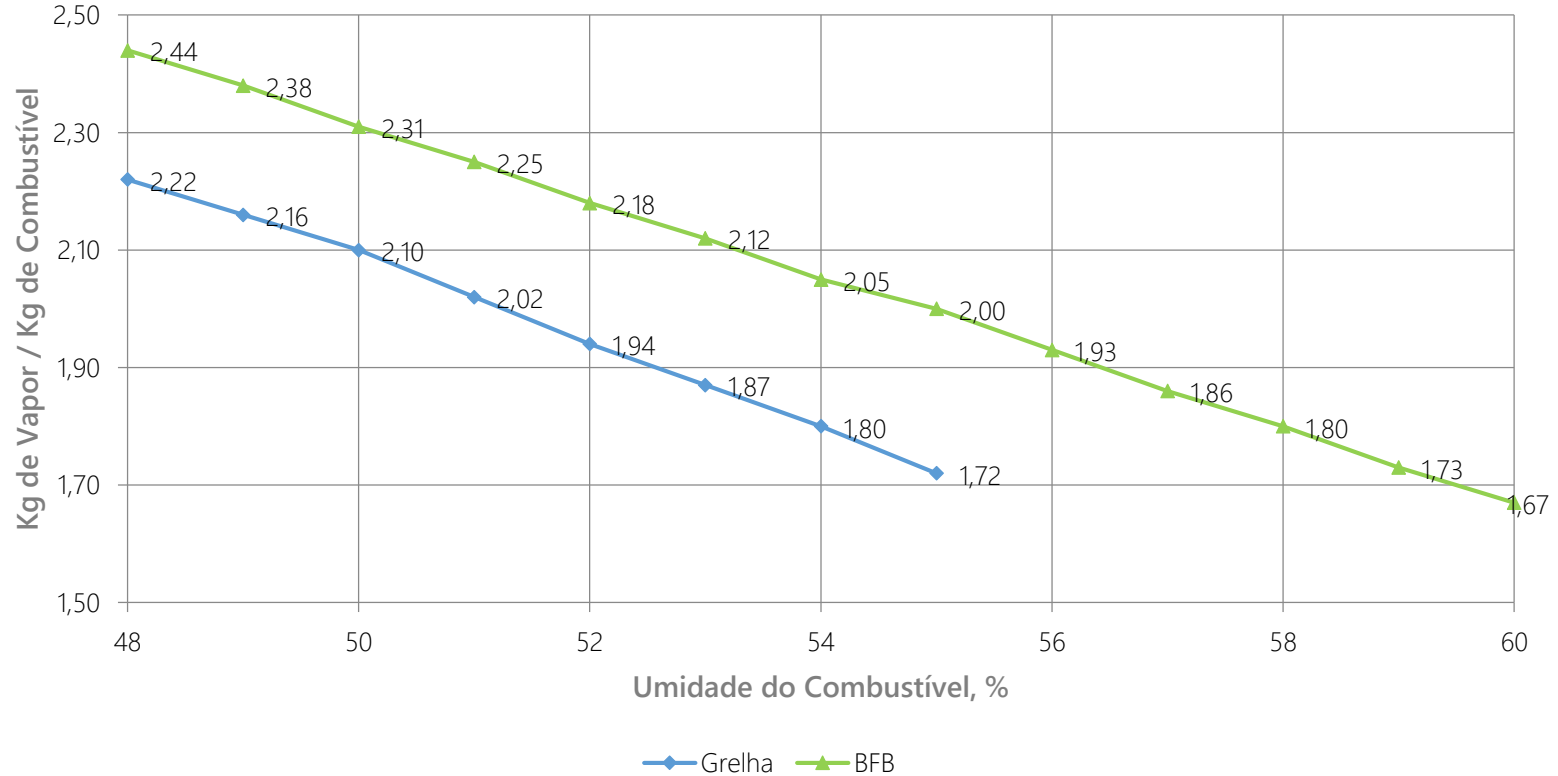
## Gráfico de produção de vapor da caldeira 10



# Caldeira de Leito Fluidizado Borbulhante

Base de informação da 1ª caldeira instalada na USM, água de alimentação com 120 °C, sem ciclo regenerativo e aquecimento do ar até 80°C

## GERAÇÃO ESPECÍFICA DE VAPOR x UMIDADE DO COMBUSTÍVEL



# Caldeira de Leito Fluidizado Borbulhante

---

## Precipitador eletrostático da caldeira 450 t/h

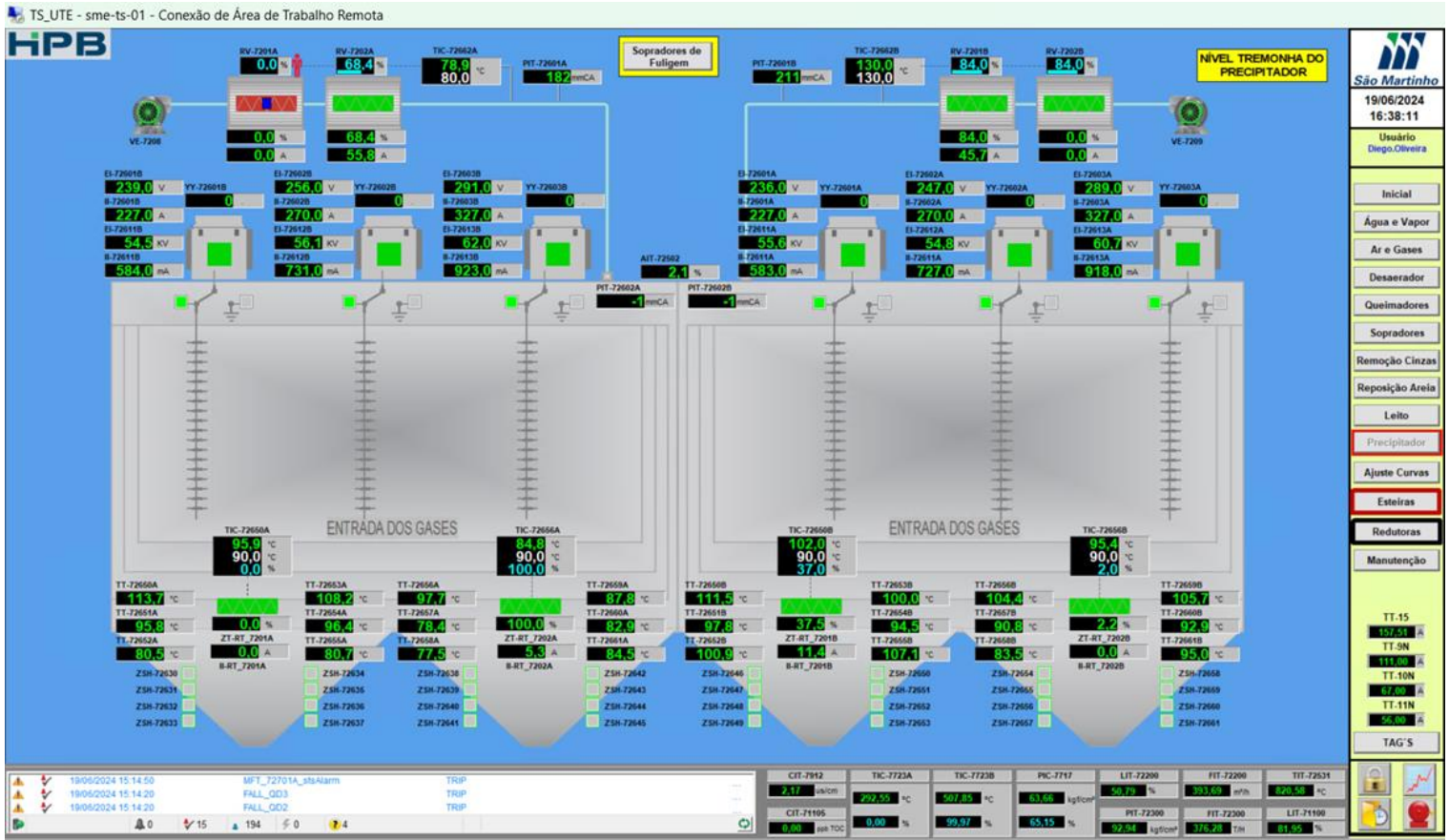
O precipitador eletrostático é um equipamento de tratamento de gases pelo meio da passagem de material particulado através de campos elétricos. O fluxo de gases de combustão carregados com pó é induzido pelos exaustores da caldeira a passar pelo precipitador eletrostático onde fortes campos elétricos, setorizados no sentido do fluxo gás, ionizam as partículas de pó tornando possível sua coleta.

### Alguns cuidados:

- ✓ Sensores de nível das moegas de cinzas devem ser de boa qualidade, pois em caso de algum problema com as válvulas rotativas ou rosca, as indicações devem ser precisas para não haver acúmulos vindo a provocar pequenos curtos entre as placas
- ✓ Proteção por excesso de O<sub>2</sub> e CO, tempo de resposta dos analisadores deve ser inferior ao de passagem do gás no precipitador, cuidados com a posição do analisador em relação ao ponto de amostragem, não deve ser longo, para garantir o tempo efetivo da resposta do analisador;
- ✓ O sistema de insuflamento de ar é operado para manter o penthouse livre da poeira presente nos gases, pois mantendo-se uma pressão positiva neste compartimento, os gases que passam pela câmara interna do precipitador não acessam esta área e não sujam os isoladores.
- ✓ O sistema de aquecimento do Penthouse é utilizado para manter a temperatura dos isoladores estáveis, principalmente antes da colocação em funcionamento, pois com o precipitador parado, a temperatura interna do equipamento diminui devido à ausência dos gases.
- ✓ Para desprendimento do material particulado retidos nas placas, se faz uso de batimento de topo por meio eletromagnético, não tem partes móveis que geram desgastes;
- ✓ Durante o aquecimento da caldeira o precipitador fica desligado, entra em operação quando a temperatura de saída dos gases for superior a 120°C, o Precipitador não deve ser energizado enquanto a temperatura no Penthouse e das tremonhas estiver abaixo do ponto de orvalho;
- ✓ O sistema de insuflamento de ar deve ser ligado cerca de 12 horas antes do início de partida da caldeira para segurar que os isoladores esteja seco.

# Caldeira de Leito Fluidizado Borbulhante

## Precipitador eletrostático da caldeira 450 t/h



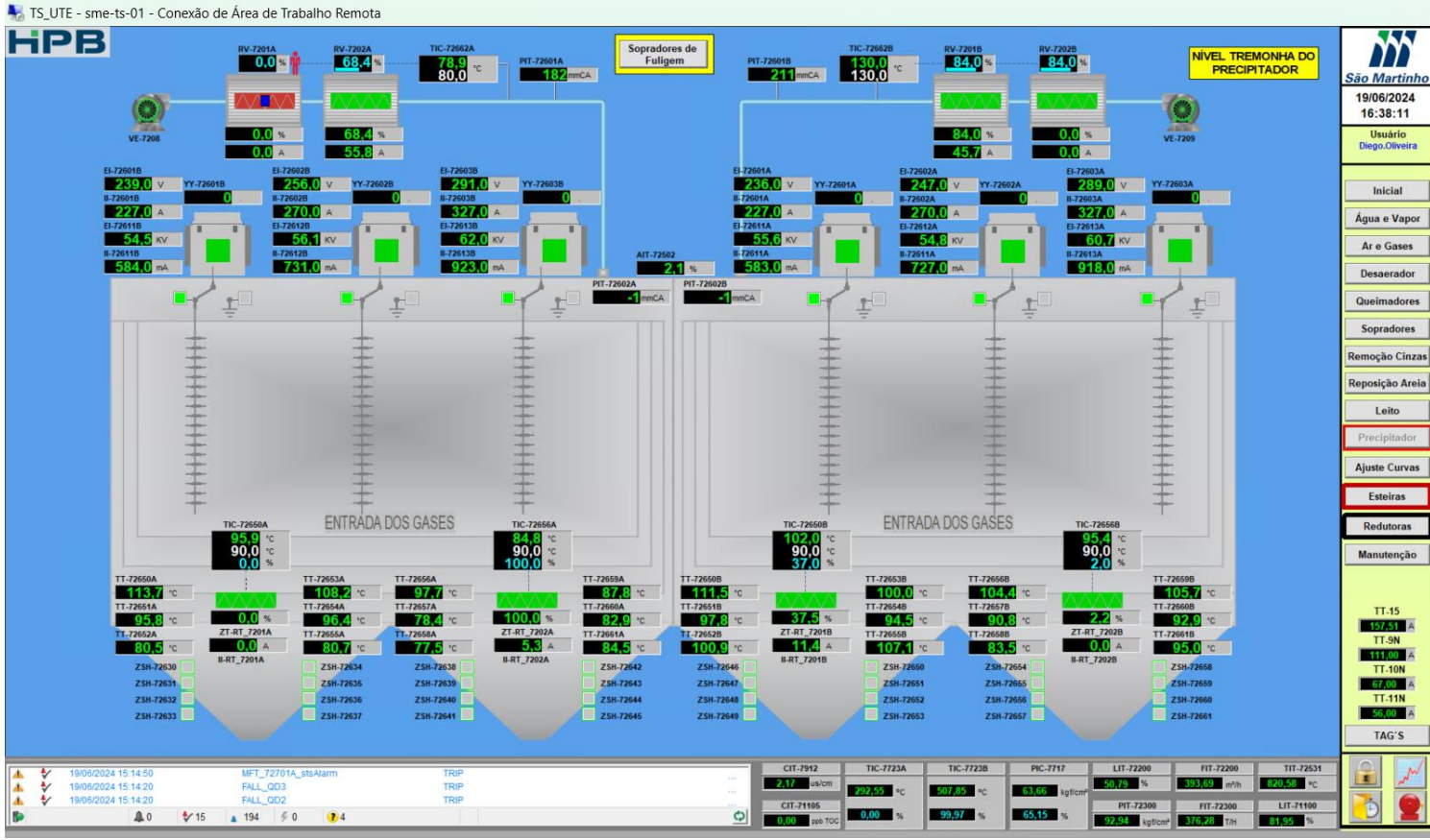
# Caldeira de Leito Fluidizado Borbulhante

<u>Precipitador eletrostático</u>	<u>Lavador de gases</u>
Elimina a necessidade do filtro de manga para recirculação de gases no leito	Caldeira equipada com o filtro de manga para recirculação de gases no leito
Baixa perda de carga (20mmca)	Alta perda de carga (100mmca)
Favorece possíveis restrições ambientais (emissões)	Atualmente atende as exigências ambientais (emissões)
Menor consumo de energia (0,55 kW.h/t vapor) Fonte: Procknor	Maior consumo de energia (1,2 kW.h/t vapor) Fonte: Procknor
Baixo custo operacional	Baixo custo operacional
Não utiliza água no sistema	Vazão requerida de circulação de água (1 à 1,5 m <sup>3</sup> /t vapor) Fonte: Procknor Perda de água por evaporação (0,12 à 0,18 m <sup>3</sup> /t vapor) Fonte: Procknor
Sem a redução da temperatura dos gases reduzindo os efeitos corrosivos da condensação e conseqüentemente aumento da vida útil dos componentes após separador	Alta taxa de corrosão e abrasão nas vias úmidas dos componentes após separador
Equipado com dispositivo de segurança que desligam o equipamento em caso de anomalia	



# Caldeira de Leito Fluidizado Borbulhante

## Precipitador eletrostático da caldeira 450 t/h

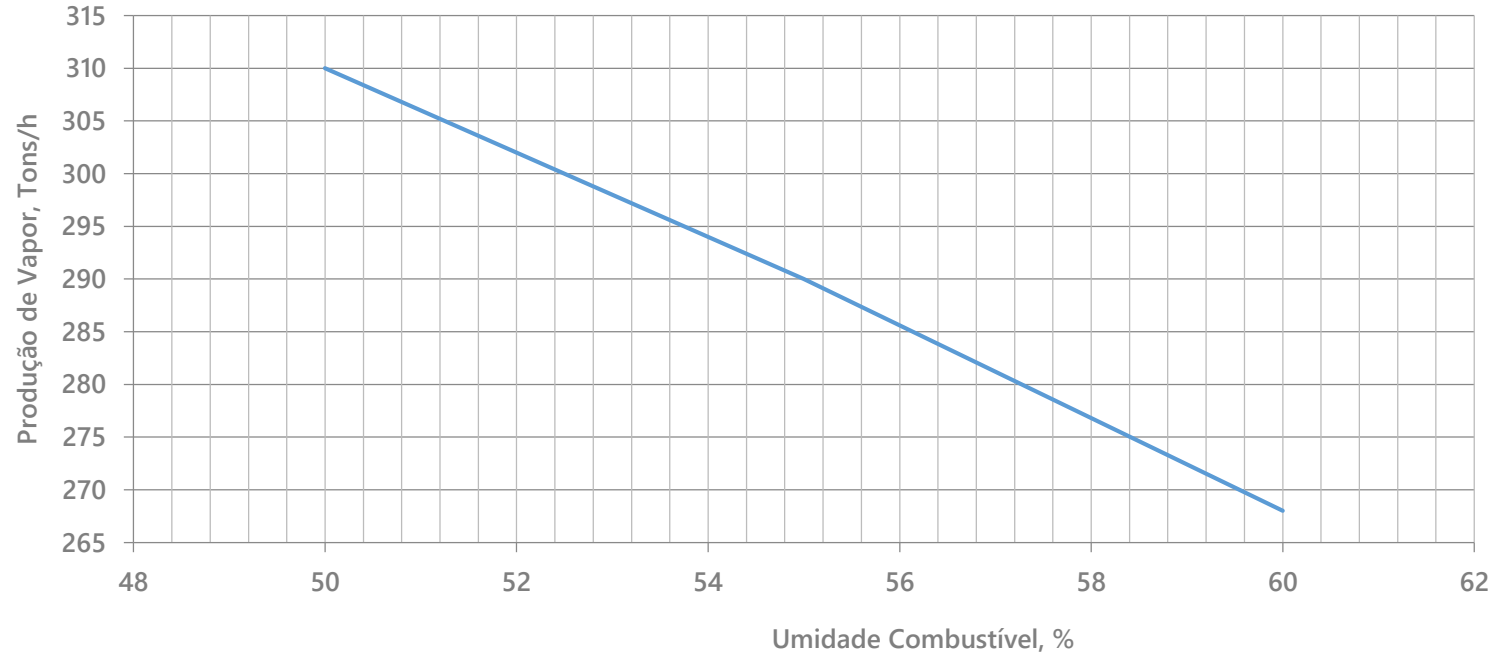




# Caldeira de Leito Fluidizado Borbulhante

## GERAÇÃO DE VAPOR x UMIDADE

(BFB de Seção Transversal Constante)



# Caldeira de Leito Fluidizado Borbulhante

## Comparação entre BFB e Grelha

	BFB	Grelha
Emissões de NOx	<150 ppm	>250 ppm
Emissões de CO	<100 ppm	>200 ppm
Possibilidade de queima outros combustíveis em conjunto com a biomassa	Sim	Não
Possibilidade de queima de biomassa com alta umidade	Sim	Não
Umidade máxima admissível para queima	60	53
Eficiência de combustão de resíduos de biomassa em condições normais de operação	99,5%	94 a 97%
Excesso de ar médio em operação	20 - 30%	35 - 50%
Ganho médio de eficiência térmica da caldeira com BFB frente ao Grelha	3,5%	-
Material circulante na caldeira por kg de combustível	12g/kg	50g/kg
Limitação do tamanho da fornalha	Não	Sim
Baixo potencial de incêndio na parte traseira da caldeira por não queimados	Sim	Não
Maior potencial de estabilidade de produção de vapor com variação de combustíveis	Sim	Não

# Seleção do par temperatura e pressão da caldeira

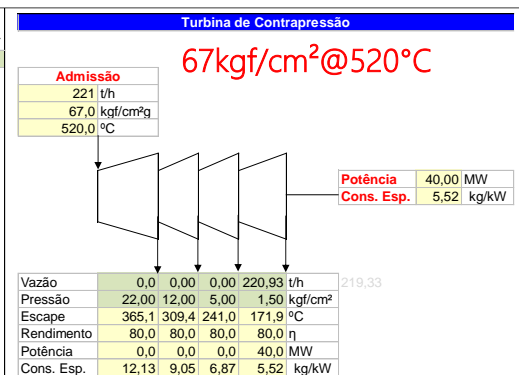
---

**Escolha do par temperatura e pressão**

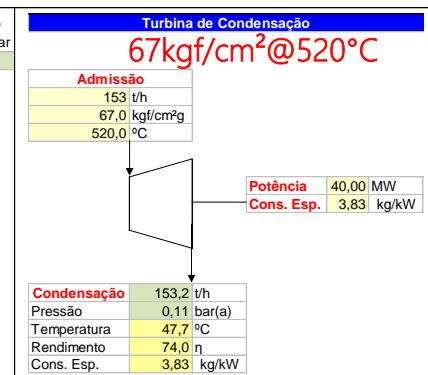
# Seleção do par temperatura e pressão da caldeira

## Comparação entre as classes de pressão – Consumo específicos das turbinas Fase 1 inicial

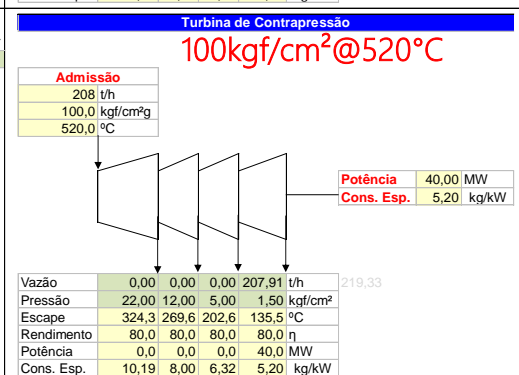
Turbina de Contrapressão		22,00	12,00	5,00	1,50	Conversão kgf/cm <sup>2</sup> → bar
Eficiência	%	80,00				
Pressão do vapor entrada	bar(a)	66,70	66,70	66,70	66,70	
Temperatura vapor entrada	°C	520,00	520,00	520,00	520,00	
Pressão vapor saída	bar(a)	22,57	12,77	5,90	2,47	
Entalpia vapor entrada	kJ/kg	3.462,81	3.462,81	3.462,81	3.462,81	
Entropia vapor entrada	kJ/kgK	6,89	6,89	6,89	6,89	
Entropia vapor saída	kJ/kgK	6,29	6,50	6,76	7,06	
Entropia liquido saída	kJ/kgK	2,50	2,24	1,92	1,60	
Título	%	115,63	109,08	102,52	96,89	
Entalpia vapor saída	kJ/kg	2.800,63	2.785,89	2.755,43	2.715,96	
Entalpia do liquido saída	kJ/kg	937,13	811,07	667,74	533,71	
Entalpia total	kJ/kg	3.091,90	2.965,30	2.808,07	2.648,09	
Entalpia util	kJ/kg	3.166,08	3.064,80	2.939,02	2.811,03	
Δh	kJ/kg	296,72	398,01	523,79	651,78	
Temperatura saturação	°C	218,74	190,93	158,35	127,18	
Temperatura vapor saída	°C	365,06	309,38	240,99	171,90	
ΔT	°C	146,32	118,45	82,64	44,72	
Consumo específico	kg/kW	<b>12,13</b>	<b>9,05</b>	<b>6,87</b>	<b>5,52</b>	
Ajuste		0,00	0,00	0,00	0,00	



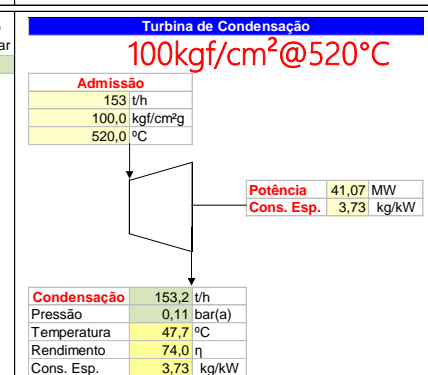
Turbina de Condensação		Conversão kgf/cm <sup>2</sup> → bar
Eficiência	%	
Pressão do vapor entrada	bar(a)	66,70
Temperatura vapor entrada	°C	520,00
Pressão vapor saída	bar(a)	0,11
Entalpia vapor entrada	kJ/kg	3.463,17
Entropia vapor entrada	kJ/kgK	6,89
Entropia vapor saída	kJ/kgK	8,12
Entropia liquido saída	kJ/kgK	0,67
Título	%	83,49
Entalpia vapor saída	kJ/kg	2.587,21
Entalpia do liquido saída	kJ/kg	199,66
Entalpia total	kJ/kg	2.193,13
Entalpia util	kJ/kg	2.523,34
Δh	kJ/kg	939,83
Temperatura saída	°C	47,68
Consumo específico vapor	kg/kW	<b>3,83</b>



Turbina de Contrapressão		22,00	12,00	5,00	1,50	Conversão kgf/cm <sup>2</sup> → bar
Eficiência	%	80,00				
Pressão do vapor entrada	bar(a)	99,06	99,06	99,06	99,06	
Temperatura vapor entrada	°C	520,00	520,00	520,00	520,00	
Pressão vapor saída	bar(a)	22,57	12,77	5,90	2,47	
Entalpia vapor entrada	kJ/kg	3.426,99	3.426,99	3.426,99	3.426,99	
Entropia vapor entrada	kJ/kgK	6,67	6,67	6,67	6,67	
Entropia vapor saída	kJ/kgK	6,29	6,50	6,76	7,06	
Entropia liquido saída	kJ/kgK	2,50	2,24	1,92	1,60	
Título	%	109,90	103,99	98,04	92,91	
Entalpia vapor saída	kJ/kg	2.800,63	2.785,89	2.755,43	2.715,96	
Entalpia do liquido saída	kJ/kg	937,13	811,07	667,74	533,71	
Entalpia total	kJ/kg	2.985,18	2.864,61	2.714,45	2.561,24	
Entalpia util	kJ/kg	3.073,54	2.977,09	2.856,96	2.734,39	
Δh	kJ/kg	353,45	449,90	570,03	692,60	
Temperatura saturação	°C	218,74	190,93	158,35	127,18	
Temperatura vapor saída	°C	324,29	269,57	202,65	135,45	
ΔT	°C	105,55	78,64	44,30	8,27	
Consumo específico	kg/kW	<b>10,19</b>	<b>8,00</b>	<b>6,32</b>	<b>5,20</b>	
Ajuste		0,00	0,00	0,00	0,00	



Turbina de Condensação		Conversão kgf/cm <sup>2</sup> → bar
Eficiência	%	
Pressão do vapor entrada	bar(a)	99,06
Temperatura vapor entrada	°C	520,00
Pressão vapor saída	bar(a)	0,11
Entalpia vapor entrada	kJ/kg	3.427,37
Entropia vapor entrada	kJ/kgK	6,67
Entropia vapor saída	kJ/kgK	8,12
Entropia liquido saída	kJ/kgK	0,67
Título	%	80,58
Entalpia vapor saída	kJ/kg	2.587,21
Entalpia do liquido saída	kJ/kg	199,66
Entalpia total	kJ/kg	2.123,51
Entalpia util	kJ/kg	2.462,51
Δh	kJ/kg	964,86
Temperatura saída	°C	47,68
Consumo específico vapor	kg/kW	<b>3,73</b>



# Seleção do par temperatura e pressão da caldeira

---

Neste exemplo a seleção se deu em virtude de termos no projeto, uma máquina de condensação e outra de contrapressão, como premissa inicial, consumindo o vapor produzido desta caldeira distribuído em 50% para cada turbina.

O projeto da UTE em 2010, havia uma insegurança muito grande dos acessórios aplicados, como válvulas e outros acessórios das partes de pressão para operar em 100 kgf/cm<sup>2</sup>.

A configuração do projeto apontava na comparação o acréscimo de energia gerada com o mesmo combustível na ordem de 4,14%.

# Seleção do par temperatura e pressão da caldeira

Comparação entre as classes de pressão – Na composição do consumo de vapor do projeto Fase 1

Projeto Fase I - Inicial

Vapor Saída Caldeira			Água Alimentação Caldeira		Poder Calorífico do Bagaço		Resultados			
Pressão	Temperatura	Entalpia	Temperatura	Entalpia	PCI		Δh	Relação Combustível Ideal	Relação Combustível Real	Efic. Caldeira ao PCI
kgf/cm²g	°C	kJ/kg	°C	kJ/kg	kcal/kg	kJ/kg	kJ/kg	kg v./kg bag.	kg v./kg bag.	%
67	520	3.463	120	504	1.650	6.908	2.959	2,33	2,10	90%
100	520	3.426	120	504	1.650	6.908	2.923	2,36	2,13	90%

Vapor			Caldeira		Vapor/kW				
Pressão	Temperatura	Rendimento	Caldeira		Extração 22 bar(a)	Extração 12 bar(a)	Extração 5 bar(a)	Contra pressão 2,5 bar(a)	Condensação 0,11 bar(a)
kgf/cm²g	°C	%	kg vapor / kg bagaço	kg bagaço / kg vapor	kg vapor / kW	kg vapor / kW	kg vapor / kW	kg vapor / kW	kg vapor / kW
67	520	90,00%	2,10	0,4760	12,13	9,05	6,87	5,52	3,83
100	520	90,00%	2,13	0,4701	10,19	8,00	6,32	5,20	3,73
<b>Consumo à maior em 67 kgf/cm²</b>					<b>19,12%</b>	<b>13,04%</b>	<b>8,83%</b>	<b>6,26%</b>	<b>2,66%</b>

0,839509824

0,160490176

Distribuição do vapor gerado pela caldeira

	Extração 22 bar(a)	Extração 12 bar(a)	Extração 5 bar(a)	Contra pressão 2,5 bar(a)	Condensação 0,11 bar(a)	Total
	t/h	t/h	t/h	t/h	t/h	t/h
<b>Fase I</b>	0	0	0	150	150	300,00

Caldeira		Potência Gerada					Total	Acréscimo Real de Potência Gerada
Pressão	Temperatura	Extração 22 bar(a)	Extração 12 bar(a)	Extração 5 bar(a)	Contra pressão 2,5 bar(a)	Condensação 0,11 bar(a)		
kgf/cm²g	°C	MW	MW	MW	MW	MW	MW	
67	520	0,00	0,00	0,00	27,16	39,16	66,32	
100	520	0,00	0,00	0,00	28,86	40,20	69,06	

# Seleção do par temperatura e pressão da caldeira

## Comparação entre as classes de pressão – Consumo específicos das turbinas Fase 2

Turbina de Contrapressão		22,00	12,00	5,00	1,50	Conversão kgf/cm² → bar
Eficiência	%	80,00				
Pressão do vapor entrada	bar(a)	66,70	66,70	66,70	66,70	
Temperatura vapor entrada	°C	525,00	525,00	525,00	525,00	
Pressão vapor saída	bar(a)	22,57	12,77	5,90	2,47	
Entalpia vapor entrada	kJ/kg	3.474,77	3.474,77	3.474,77	3.474,77	
Entropia vapor entrada	kJ/kgK	6,90	6,90	6,90	6,90	
Entropia vapor saída	kJ/kgK	6,29	6,50	6,76	7,06	
Entropia liquido saída	kJ/kgK	2,50	2,24	1,92	1,60	
Titulo	%	116,03	109,44	102,83	97,17	
Entalpia vapor saída	kJ/kg	2.800,63	2.785,89	2.755,43	2.715,96	
Entalpia do liquido saída	kJ/kg	937,13	811,07	667,74	533,71	
Entalpia total	kJ/kg	3.099,30	2.972,28	2.814,56	2.654,11	
Entalpia util	kJ/kg	3.174,39	3.072,77	2.946,60	2.818,24	
Δh	kJ/kg	300,38	401,99	528,17	656,53	
Temperatura saturação	°C	218,74	190,93	158,35	127,18	
Temperatura vapor saída	°C	368,76	313,05	244,58	175,39	
ΔT	°C	150,02	122,12	86,24	48,22	
Consumo específico	kg/kW	<b>11,98</b>	<b>8,96</b>	<b>6,82</b>	<b>5,48</b>	
Ajuste		0,00	0,00	0,00	0,00	

**Turbina de Contrapressão**

Admissão: 67kgf/cm²@525°C

219 t/h  
67,0 kgf/cm²g  
525,0 °C

Potência: 40,00 MW  
Cons. Esp.: 5,48 kg/kW

Vazão	0,00	0,00	0,00	219,33	t/h
Pressão	22,00	12,00	5,00	1,50	kgf/cm²
Escape	368,8	313,1	244,6	175,4	°C
Rendimento	80,0	80,0	80,0	80,0	η
Potência	0,0	0,0	0,0	40,0	MW
Cons. Esp.	11,98	8,96	6,82	5,48	kg/kW

Turbina de Contrapressão		22,00	11,00	5,00	1,50	Conversão kgf/cm² → bar
Eficiência	%	80,00				
Pressão do vapor entrada	bar(a)	99,06	99,06	99,06	99,06	
Temperatura vapor entrada	°C	545,00	545,00	545,00	545,00	
Pressão vapor saída	bar(a)	22,57	11,79	5,90	2,47	
Entalpia vapor entrada	kJ/kg	3.490,00	3.490,00	3.490,00	3.490,00	
Entropia vapor entrada	kJ/kgK	6,75	6,75	6,75	6,75	
Entropia vapor saída	kJ/kgK	6,29	6,53	6,76	7,06	
Entropia liquido saída	kJ/kgK	2,50	2,21	1,92	1,60	
Titulo	%	111,97	105,09	99,65	94,34	
Entalpia vapor saída	kJ/kg	2.800,63	2.783,14	2.755,43	2.715,96	
Entalpia do liquido saída	kJ/kg	937,13	794,90	667,74	533,71	
Entalpia total	kJ/kg	3.023,65	2.884,39	2.748,20	2.592,54	
Entalpia util	kJ/kg	3.116,92	3.005,51	2.896,56	2.772,04	
Δh	kJ/kg	373,08	484,49	593,44	717,97	
Temperatura saturação	°C	218,74	187,31	158,35	127,18	
Temperatura vapor saída	°C	343,26	288,33	220,99	153,14	
ΔT	°C	124,52	101,02	62,64	25,97	
Consumo específico	kg/kW	<b>9,65</b>	<b>7,43</b>	<b>6,07</b>	<b>5,01</b>	
Ajuste		0,00	-16,05	0,00	0,00	

**Turbina de Contrapressão**

Admissão: 100kgf/cm²@545°C

229 t/h  
100,0 kgf/cm²g  
545,0 °C

Potência: 40,00 MW  
Cons. Esp.: 5,73 kg/kW

Vazão	26,0	26,0	45,0	132,32	t/h
Pressão	22,00	11,00	5,00	1,50	kgf/cm²
Escape	343,3	288,3	221,0	153,1	°C
Rendimento	80,0	80,0	80,0	80,0	η
Potência	2,7	3,5	7,4	26,4	MW
Cons. Esp.	9,65	7,43	6,07	5,01	kg/kW

# Seleção do par temperatura e pressão da caldeira

---

Com a maturidade da operação da caldeira de  $67 \text{ kgf/cm}^2 @ 525^\circ\text{C}$ , nos estudos do segundo projeto da UTE, exploramos a regeneração de calor para aquecer a água de alimentação da caldeira para maximizar a relação kg vapor / kg bagaço.

Nesta condição a temperatura de saturação do vapor em  $100 \text{ kgf/cm}^2$ , permite operar com temperaturas mais altas na água de alimentação, usando deste recurso, os ganhos apontam na ordem de 9,36%.



# Seleção do par temperatura e pressão da caldeira

Comparação entre as classes de pressão – Na composição do consumo de vapor do projeto Fase 2

Projeto Fase II

Vapor Saída Caldeira			Água Alimentação Caldeira		Poder Calorífico do Bagaço		Resultados			
Pressão	Temperatura	Entalpia	Temperatura	Entalpia	PCI		Δh	Relação Combustível Ideal	Relação Combustível Real	Efic. Caldeira ao PCI
kgf/cm²g	°C	kJ/kg	°C	kJ/kg	kcal/kg		kJ/kg	kg v./kg bag.	kg v./kg bag.	%
67	525	3.475	145	611	1.650		2.864	2,41	2,17	90%
100	545	3.489	210	898	1.650		2.592	2,67	2,40	90%

Vapor			Caldeira		Vapor/kW			
Pressão	Temperatura	Rendimento	Caldeira		Extração 22 bar(a)	Extração 12 bar(a)	Extração 5 bar(a)	Contra pressão 2,5 bar(a)
kgf/cm²g	°C	%	kg vapor / kg bagaço	kg bagaço / kg vapor	kg vapor / kW	kg vapor / kW	kg vapor / kW	kg vapor / kW
67	525	90,00%	2,17	0,4607	11,98	8,96	6,82	5,48
100	545	90,00%	2,40	0,4169	9,65	7,43	6,07	5,01
<b>Consumo à maior em 67 kgf/cm²</b>					<b>24,20%</b>	<b>20,52%</b>	<b>12,36%</b>	<b>9,36%</b>

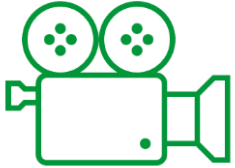
Distribuição do vapor gerado pela caldeira						
Pressão	Temperatura	Extração 22 bar(a)	Extração 12 bar(a)	Extração 5 bar(a)	Contra pressão 2,5 bar(a)	Total
kgf/cm²g	°C	t/h	t/h	t/h	t/h	t/h
67	525	0	0	0	219	219,33
100	545	26	26	45	132	229,32

Caldeira		Potência Gerada						Acréscimo Real de Potência Gerada	
Pressão	Temperatura	Extração 22 bar(a)	Extração 12 bar(a)	Extração 5 bar(a)	Contra pressão 2,5 bar(a)	0	Total		
kgf/cm²g	°C	MW	MW	MW	MW	MW	MW		
67	525	0,00	0,00	0,00	40,00	0,00	40,00	40,00	
100	545	0,00	0,00	0,00	43,74	0,00	43,74	43,74	
								<b>9,36%</b>	

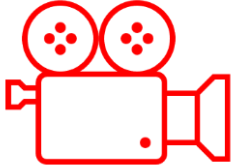
# Caldeira de Leito Fluidizado Borbulhante

---

## Vídeos:



**Queima do bagaço sobre a grelha**



**Queima do bagaço sobre no leito fluidizado**





# Reflexão quanto a projetos: As pessoas sabem o que querem?



Como o cliente explicou



Como o gerente de projeto entendeu



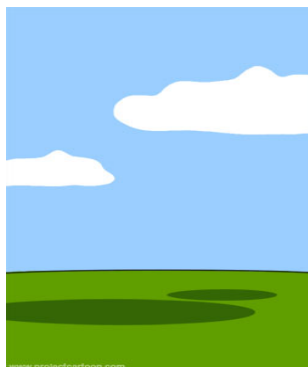
Como o analista analisou



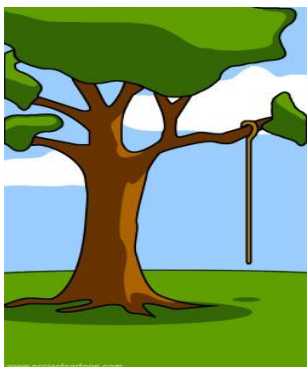
Como programador programou



Como consultor de negócios descreveu



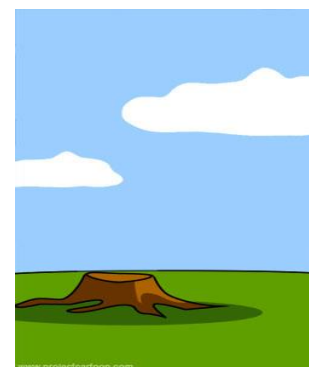
Como o projeto foi documentado



O que foi instalado



O que foi cobrado do cliente



O suporte foi dado



O que o cliente realmente queria

# Caldeira de Leito Fluidizado Borbulhante

---

## Lições aprendidas:

- ✓ Elaboração do escopo de aquisição de equipamentos e serviços muito bem detalhado para minimizar os desvios e surpresas na entrega.
- ✓ Planejamento e acompanhamento árduo de todas etapas que envolvem o projeto, do ponto de vista técnico, legal, ambiental e normativo.
- ✓ Elaborar estudo o projeto para verificar as redundâncias de segurança.



