

# **14º SBA – A USINA DA SUPERAÇÃO**

**VISÃO ATUALIZADA SOBRE A PRODUÇÃO DE VAPOR  
EM USINAS E DESTILARIAS**

**ERICSON MARINO**

**30/10/2013**

## **TEMAS DA APRESENTAÇÃO**

- **TRANSIÇÃO, DAS PRESSÕES E TEMPERATURAS DE VAPOR PRODUZIDO EM CALDEIRAS A BAGAÇO, USADAS EM PASSADO RECENTE PARA AS CONDIÇÕES AGORA POSSÍVEIS E RECOMENDÁVEIS.**
- **CALDEIRAS COM LEITO FLUIDIZADO**
- **CONDENSADOR EVAPORATIVO**
- **ATENDIMENTO ÀS NORMAS AMBIENTAIS**

## **CALDEIRAS - PRESSÃO E TEMPERATURA DO VAPOR**

- **CALDEIRAS ANTIGAS:**
- **PRESSÃO 10/12 BAR VAPOR SATURADO 183/191°C**
- **PRESSÃO: 22 BAR TEMPERATURA DO VAPOR: 280/310°C**
- **TRANSIÇÃO PARA O USO DE CALDEIRAS DE MAIOR PRESSÃO:  
32 BAR E 42 BAR COM TEMPERATURA A 420°C**

## **CALDEIRAS - PRESSÃO E TEMPERATURA DO VAPOR**

- **TENDÊNCIAS MAIS RECENTES:**
- **CALDEIRAS COM PRESSÕES VARIANDO ENTRE 62 BAR A 68 BAR E TEMPERATURAS DO VAPOR SUPERAQUECIDO VARIANDO ENTRE 480°C E 530°C**
- **ALGUNS PROJETOS NOVOS ADOTANDO: 90 BAR, 100 BAR , 120 BAR PARA CALDEIRAS A BAGAÇO EM GREENFIELDS E RETROFITS EM BROWNFIELDS**

# TRANSIÇÕES - PARA RECORDAR!!

## CALDEIRA DE TUBOS RETOS E ANTI-FORNALHA

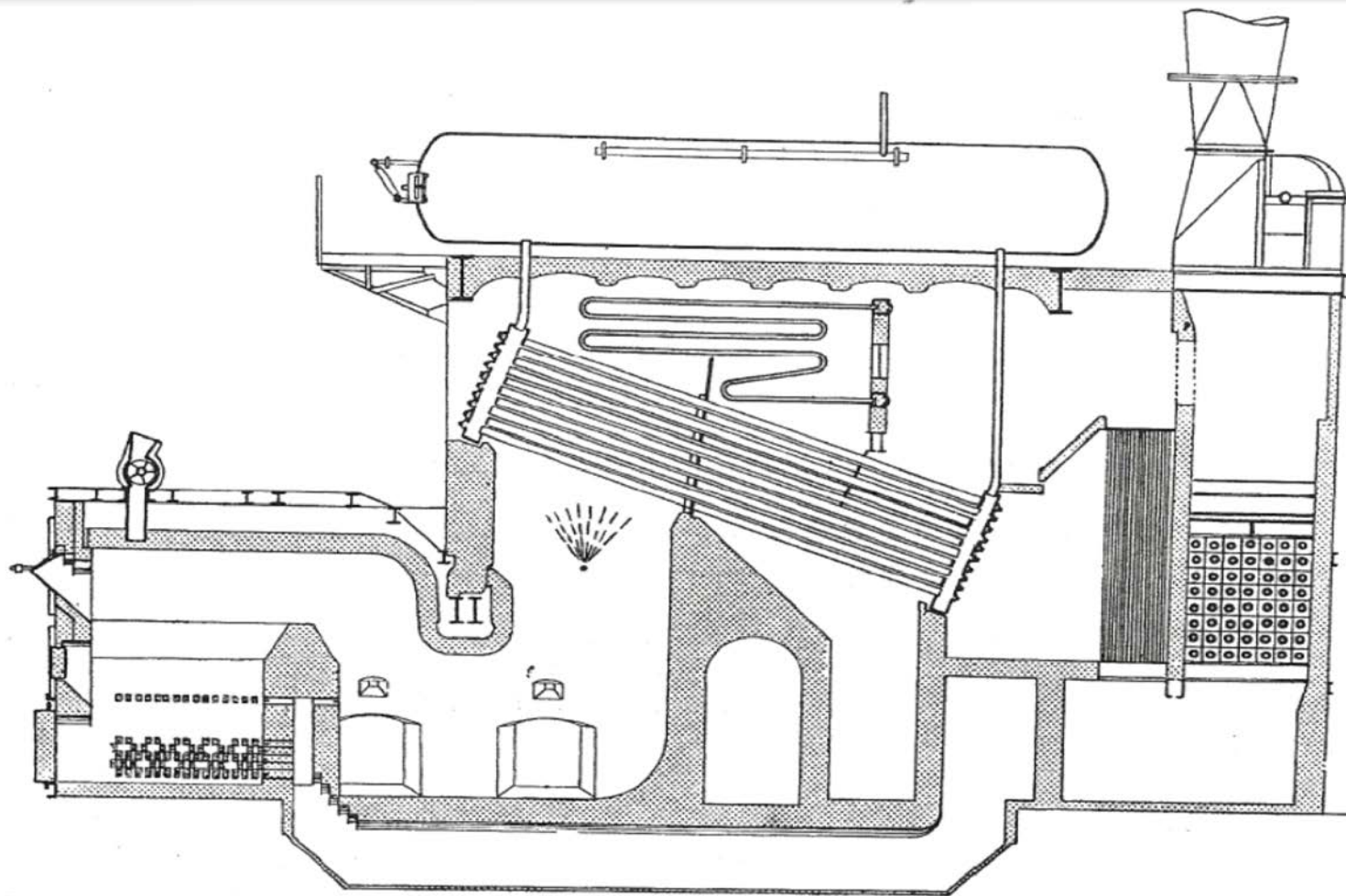
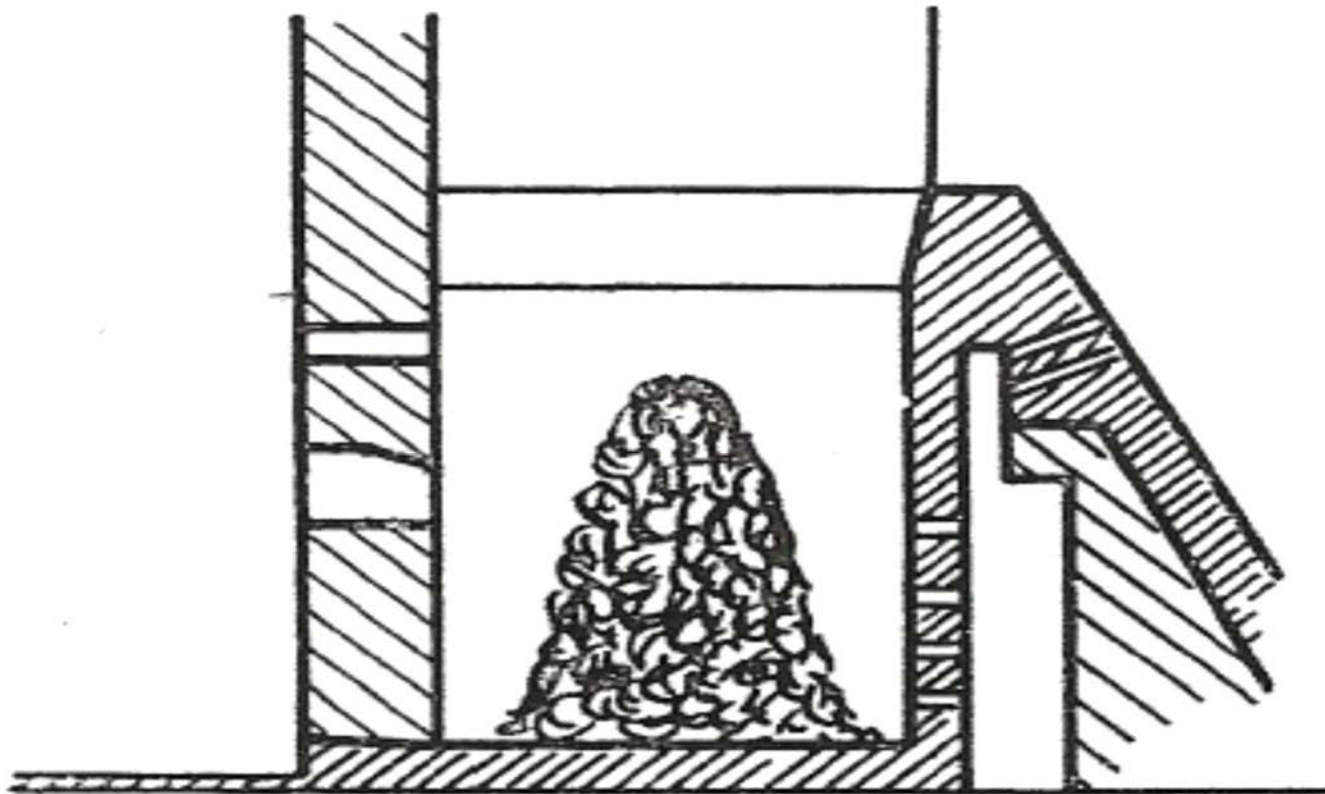


Fig. 385. — Chaudière Cail-Steinmuller avec four à cuve, surchauffeur, réchauffair et économiseur.

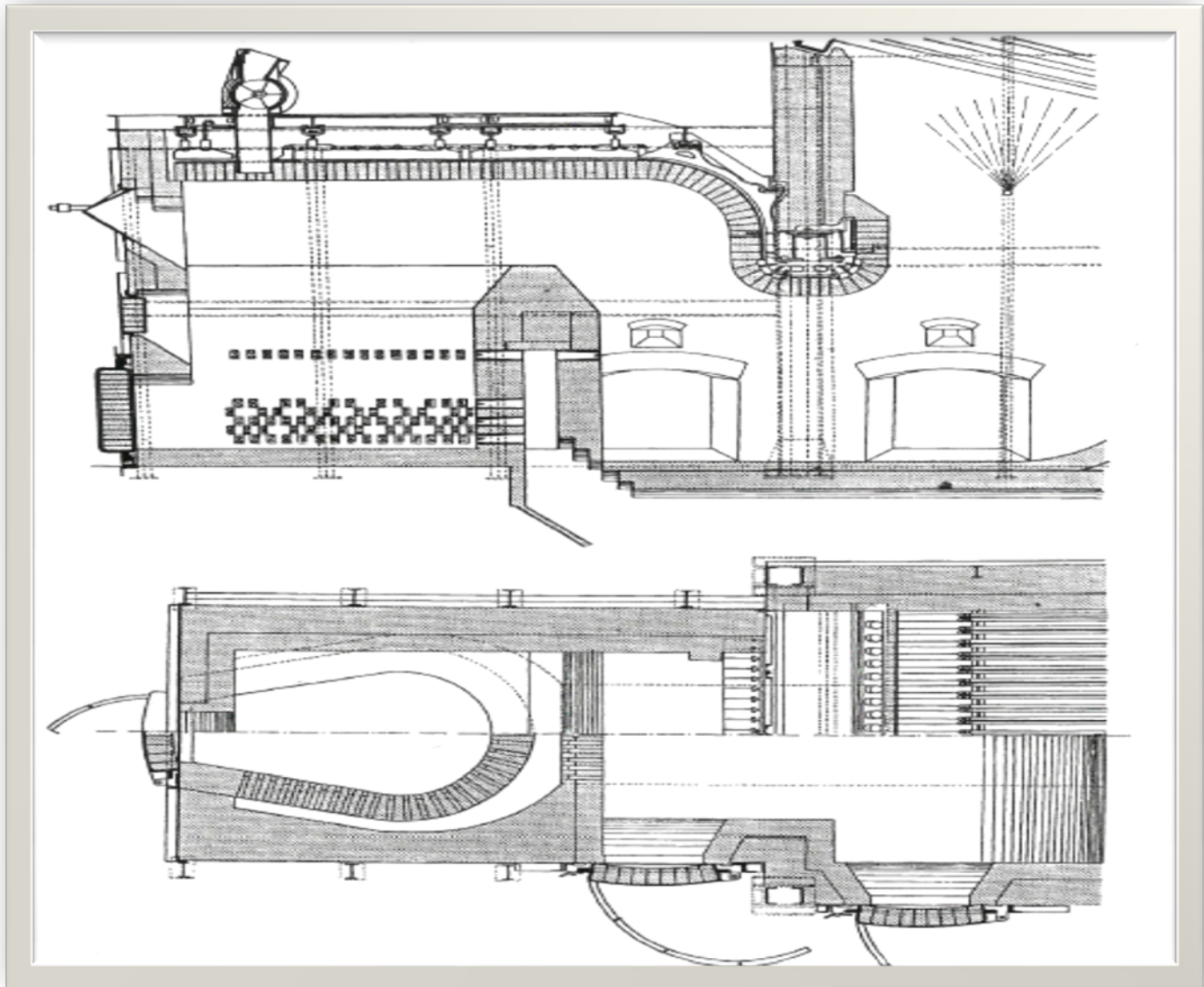
**TRANSIÇÕES - PARA RECORDAR!!**  
**ANTI-FORNALHA – QUEIMA DO BAGAÇO EM PILHA**



**Fig. 373. — Le cône de bagasse.**

# TRANSIÇÕES - PARA RECORDAR!!

## ANTI-FORNALHA – TIPO FERRADURA – VISTA EM PLANTA



# **EVOLUÇÃO DAS CALDEIRAS E TRANSIÇÃO PARA AS CONDIÇÕES ATUAIS**

**VÁRIOS FATORES CONTRIBUÍRAM PARA A EVOLUÇÃO DAS CALDEIRAS:**

- **AUMENTO DA CAPACIDADE DAS USINAS/DESTILARIAS**
- **ENGENHARIA APLICADA NO PROJETO E CONSTRUÇÃO DAS NOVAS CALDEIRAS.**
- **DISPONIBILIDADE DE MATERIAIS E MÉTODOS DE FABRICAÇÃO MAIS AVANÇADOS.**
- **BUSCA DE MAIOR EFICIÊNCIA NO USO DO BAGAÇO.**
- **FOCO NA MELHORIA DO BALANÇO TÉRMICO.**
- **BAGAÇO MAIS FINAMENTE PREPARADO FACILITANDO A ADOÇÃO DAS GRELHAS.**
- **DEMANDA MAIOR DE VAPOR DE PROCESSO COM O SURGIMENTO DO PROÁLCOOL.**
- **TURBINAS A VAPOR MAIS EFICIENTES ALIMENTADAS COM VAPOR DE PRESSÃO E TEMPERATURA MAIS ELEVADAS.**



## **EVOLUÇÃO DAS CALDEIRAS E TRANSIÇÃO PARA AS CONDIÇÕES ATUAIS**

- **AS MAIORES CALDEIRAS EXISTENTES ATÉ O FIM DA DÉCADA DE 70 PRODUZIAM 50 TVH A 22 BAR E 300°C E POUCAS TINHAM GRELHA.**
- **NA DÉCADA DE 80 SURGEM AS PRIMEIRAS CALDEIRAS COM PRODUÇÃO DE VAPOR ACIMA DE 100 TVH COM ALGUMAS UNIDADES JÁ PRODUZINDO 150 TVH, MAS AINDA PREDOMINANDO A PRESSÃO DE 22 BAR E TEMPERATURA DO VAPOR DE 300°C.**
- **AS CALDEIRAS COM CAPACIDADE ACIMA DE 150 TVH JÁ SÃO DO TIPO SUPOSTADA PELO TOPO, EQUIPADAS OU COM GRELHAS BASCULANTES, OU GRELHA FIXA COM LIMPEZA POR VAPOR OU ROTATIVAS.**
- **A USINA SÃO MARTINHO INSTALA NESTA DÉCADA 4 CALDEIRAS CBC COM CAPACIDADE INDIVIDUAL PARA 150 TVH A 22 BAR E 300°C.**
- **ESTAS CALDEIRAS INOVAM PELA CAPACIDADE, 150 TVH E ALIMENTAÇÃO DO BAGAÇO COM COMPRESSORES 'ROOTS' E QUEIMA TOTAL DO BAGAÇO EM SUSPENSÃO. A INJEÇÃO DO BAGAÇO É REALIZADA DE MODO A PROVOCAR UM MOVIMENTO TURBILHONADO E CICLÔNICO NA FORNALHA.**

# CALDEIRAS DA DÉCADA DE 80

## CALDEIRA COM GRELHA BSACULANTE

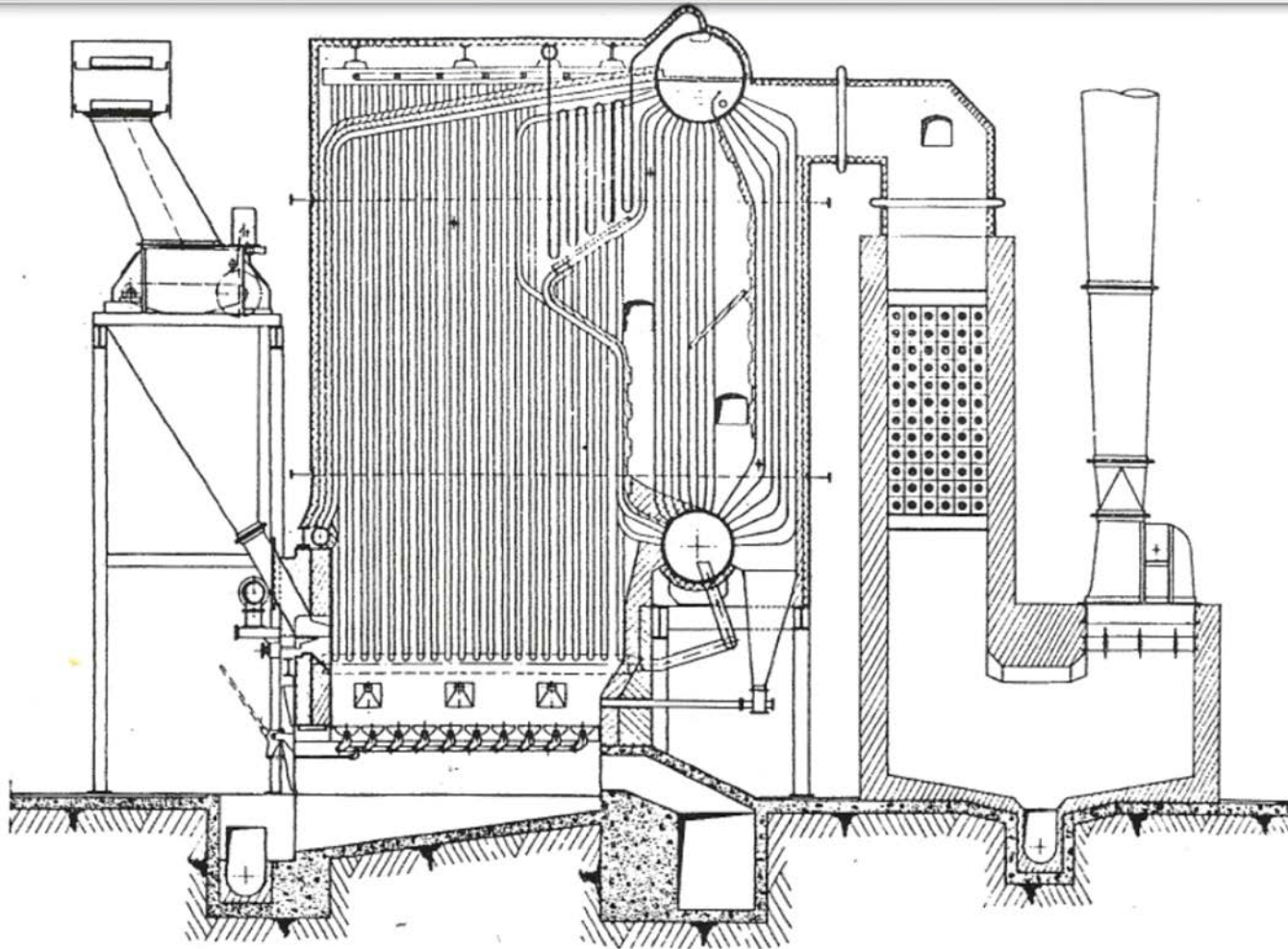
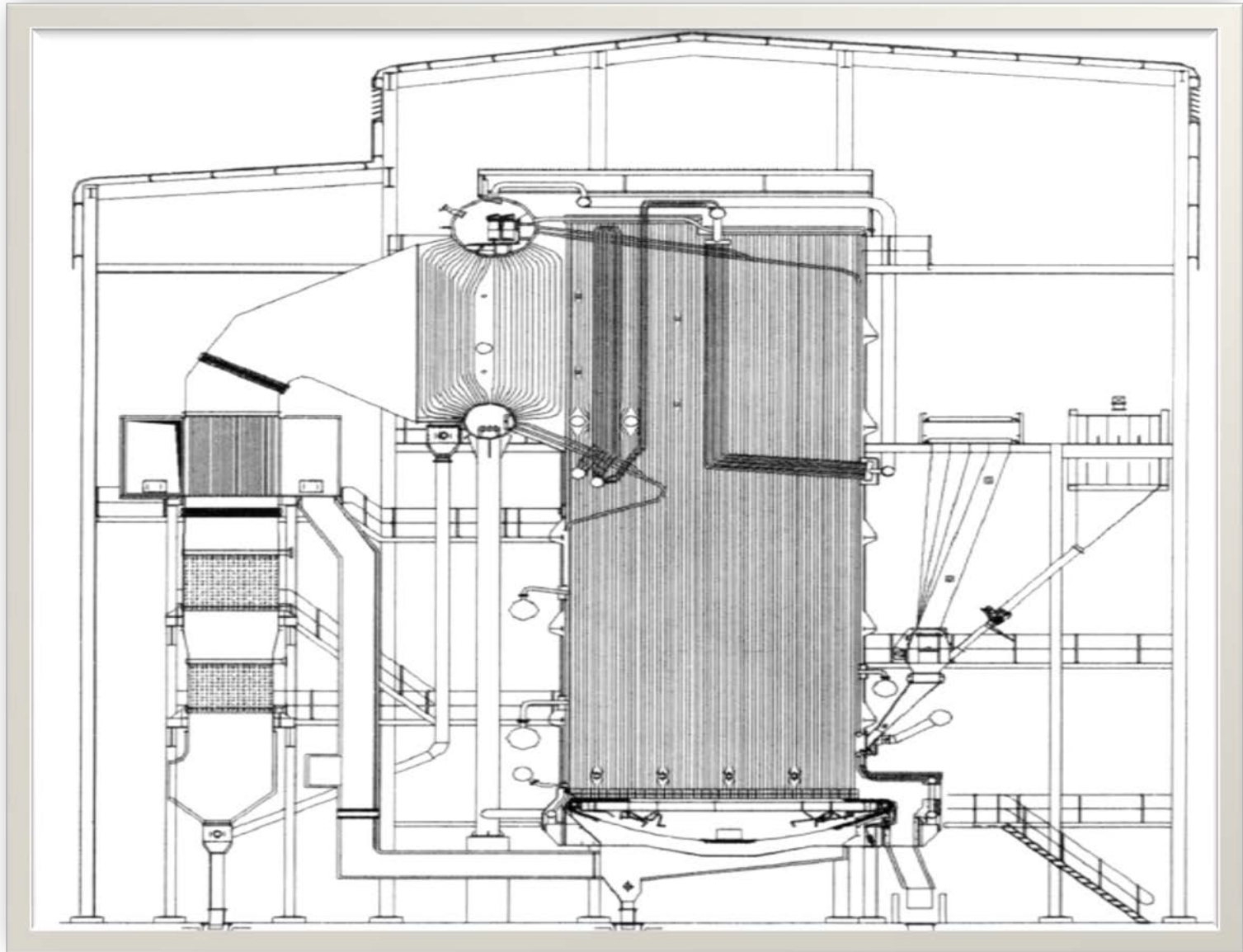


FIG. 42.15. — Chaudière Babcock Atlantique à projecteurs-répartiteurs avec grille basculante, type BR 1.

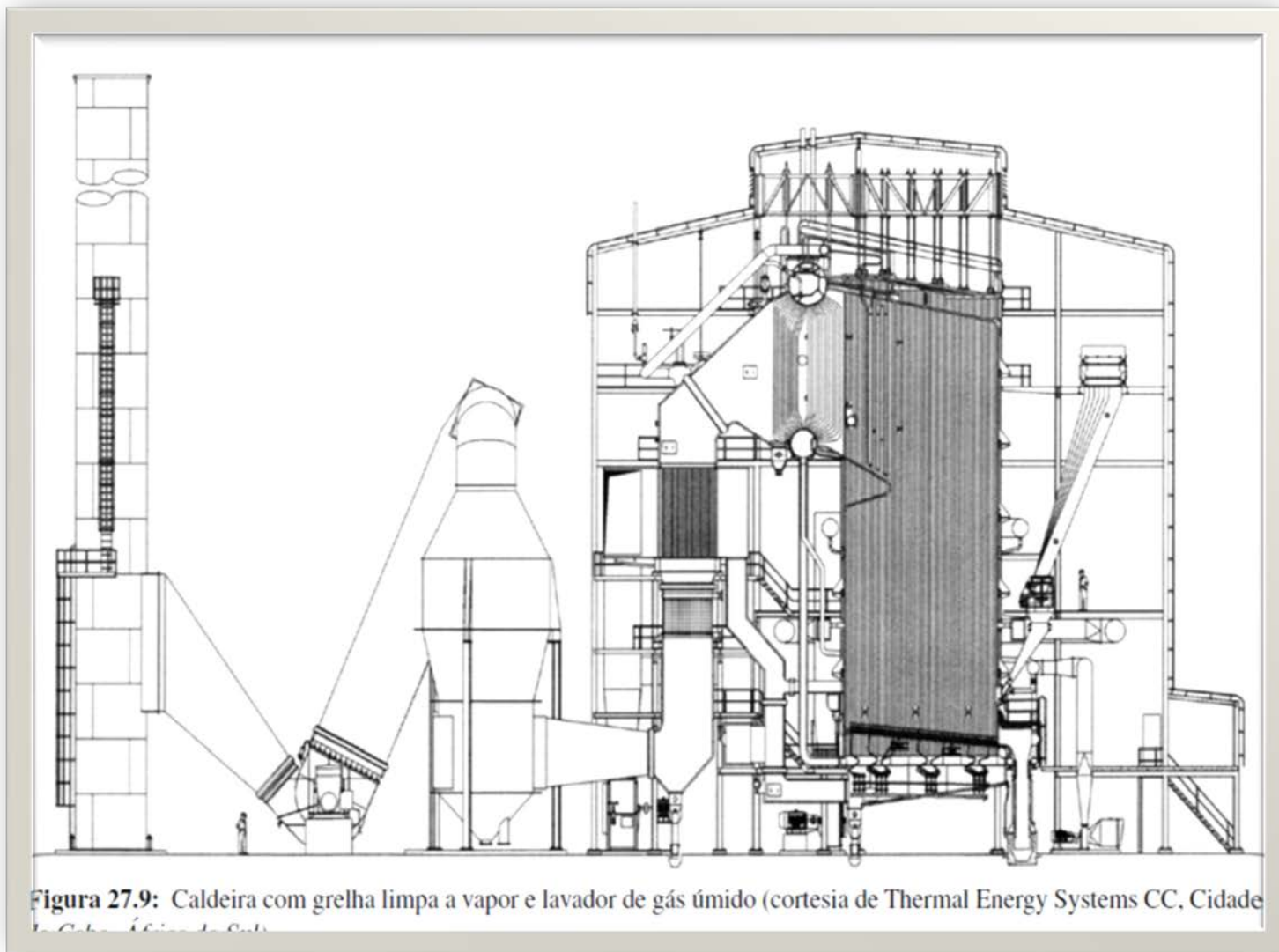
# CALDEIRAS DA DÉCADA DE 80

## CALDEIRA COM GRELHA ROTATIVA



# CALDEIRAS DA DÉCADA DE 80

## CALDEIRA COM GRELHA FIXA LIMPA A VAPOR – PIN HOLE



## **TRANSIÇÃO PARA PRESSÕES E TEMPERATURAS MAIS ELEVADAS DO VAPOR**

- **TODOS OS MODELOS APRESENTADOS NOS TRÊS ÚLTIMOS SLIDES PODEM SER FABRICADOS, PRODUZINDO VAPOR A 65, 90, 100 OU 120 BAR À TEMPERATURAS DE ATÉ 530°C.**
- **ESTAS CALDEIRAS DEVEM TER COMO CAPACIDADE MÍNIMA A PRODUÇÃO DE 150 TVH.**
- **SEU USO SE JUSTIFICA: EM 'GREENFIELDS' TOTALMENTE ELETRIFICADOS E COM PROJETO DE VENDA DE ENERGIA ELÉTRICA.**
- **EM 'BROWNFIELDS' EM SUBSTITUIÇÃO DE CALDEIRAS CUJA VIDA ÚTIL JÁ SE ESGOTOU.**
- **EM TERMOELÉTRICAS DEDICADAS SOB O FORMATO DE 'EMPRESA DE PROPÓSITO ESPECÍFICO' USANDO GRANDES EXCEDENTES DE BAGAÇO E GERARANDO ENERGIA ELÉTRICA EM CONDIÇÕES ECONÔMICAS**

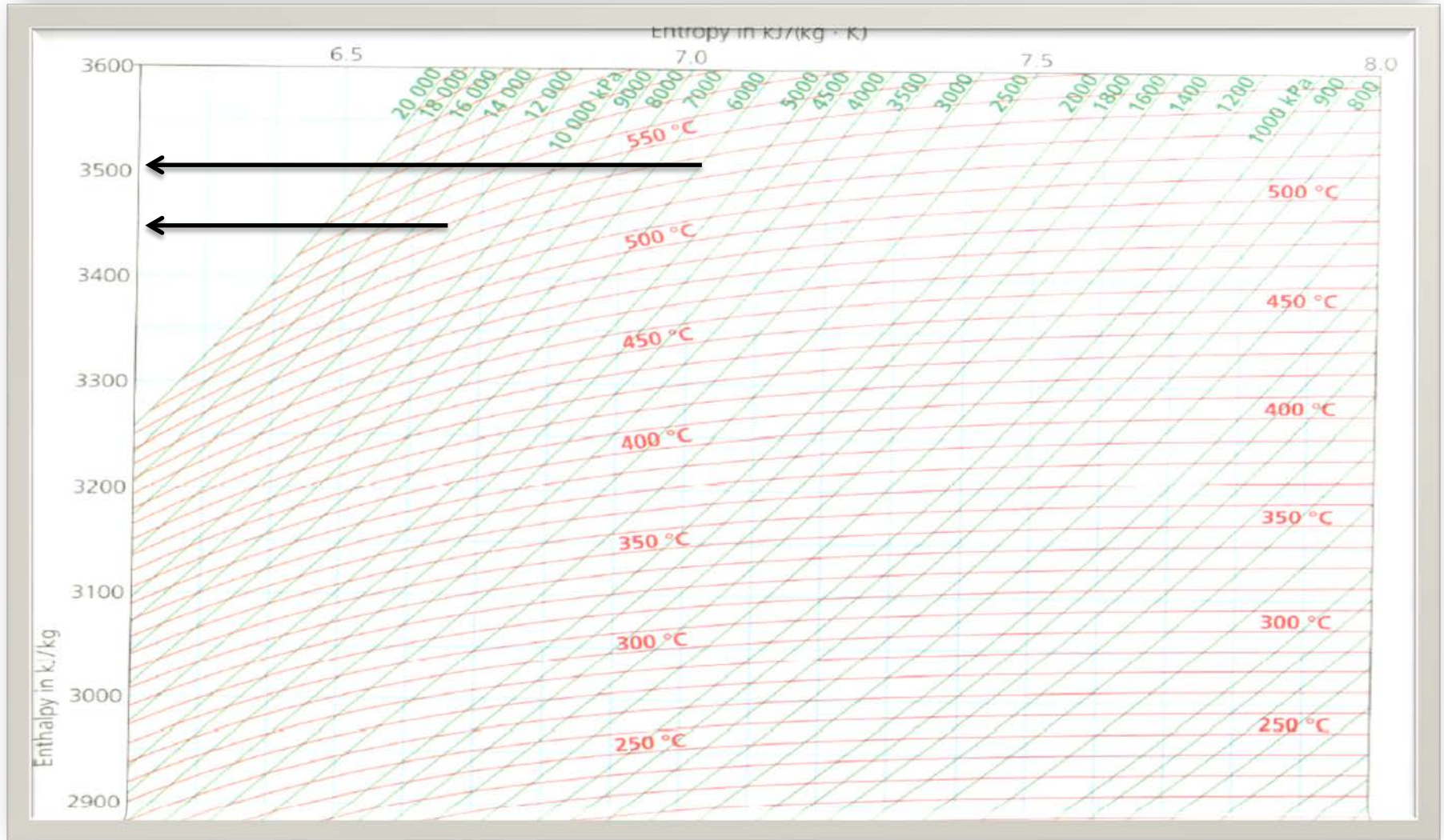
## **ESCOLHA DA PRESSÃO E DA TEMPERATURA DO VAPOR**

- **TOMANDO-SE COMO BASE A PRESSÃO DE 60 BAR E TEMPERATURA DE 500°C E USANDO-SE O DIAGRAMA DE MOLLIER, DEMONSTRA-SE FÁCILMENTE QUE À TEMPERATURA CONSTANTE , NÃO HÁ GANHOS NA ENTALPIA DO VAPOR SUPERAQUECIDO.**
- **COM O AUMENTO DA PRESSÃO DA PRESSÃO DO VAPOR E MANTIDA A MESMA TEMPERATURA, O GANHO EM POTÊNCIA GERADA, QUE É PEQUENO, SERÁ CREDITADO AO RENDIMENTO DA TURBINA OU TURBINAS ACIONADAS POR ESTE VAPOR.**
- **NO PRÓXIMO SLIDE FICA CLARO QUE HÁ UMA DIMINUIÇÃO NA ENTALPIA DO VAPOR QUANDO SE AUMENTA A PRESSÃO MANTENDO-SE A TEMPERATURA CONSTANTE.**



# DIAGRAMA DE MOLLIER – ENTALPIA/ENTROPIA

ADAPTADO DO LIVRO “CANE SUGAR ENGINEERING” AUTOR – PETER REIN



# GANHOS NA ENTALPIA DO VAPOR

VARIANDO A PRESSÃO COM TEMPERATURA CONSTANTE

ADAPTADO DO LIVRO "CANE SUGAR ENGINEERING- PETER REIN

<b>PRESSÃO DO VAPOR</b>	<b>BAR</b>	<b>60</b>	<b>80</b>	<b>90</b>	<b>100</b>	<b>125</b>
<b>TEMPERATURA DO VAPOR</b>	<b>°C</b>	<b>500</b>	<b>500</b>	<b>500</b>	<b>500</b>	<b>500</b>
<b>ENTALPIA DO VAPOR</b>	<b>kJ/kg</b>	<b>3422</b>	<b>3399</b>	<b>3387</b>	<b>3375</b>	<b>3343</b>
<b>ENTALPIA PERDIDA SOBRE 60 BAR</b>	<b>%</b>	<b>0</b>	<b>0,67</b>	<b>1,02</b>	<b>1,37</b>	<b>2,31</b>
<b>ENTALPIA PERDIDA SOBRE 80 BAR</b>	<b>%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,35</b>	<b>0,71</b>	<b>1,65</b>
<b>ENTALPIA PERDIDA SOBRE 90 BAR</b>	<b>%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,35</b>	<b>1,30</b>
<b>ENTALPIA PERDIDA SOBRE 100 BAR</b>	<b>%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,95</b>



# ENERGIA ELÉTRICA LÍQUIDA EXPORTADA

## COMPARAÇÃO ENTRE AS PRESSÕES DE 68 BAR x 100 BAR A 520°C

	Equipamento	68 BAR 520°C	100 BAR 520°C	Acréscimo (%)	
		MWh	MWh	Energia elétrica exportada	Investimento
UTE	CALD.:1 x 300 TVH TG: 1 x 40MW CP TG: 1 x 40 MW CD	294.000	307.000	4,40	13,0

## **CUSTOS NA ESCOLHA DA PRESSÃO E TEMPERATURA DO VAPOR**

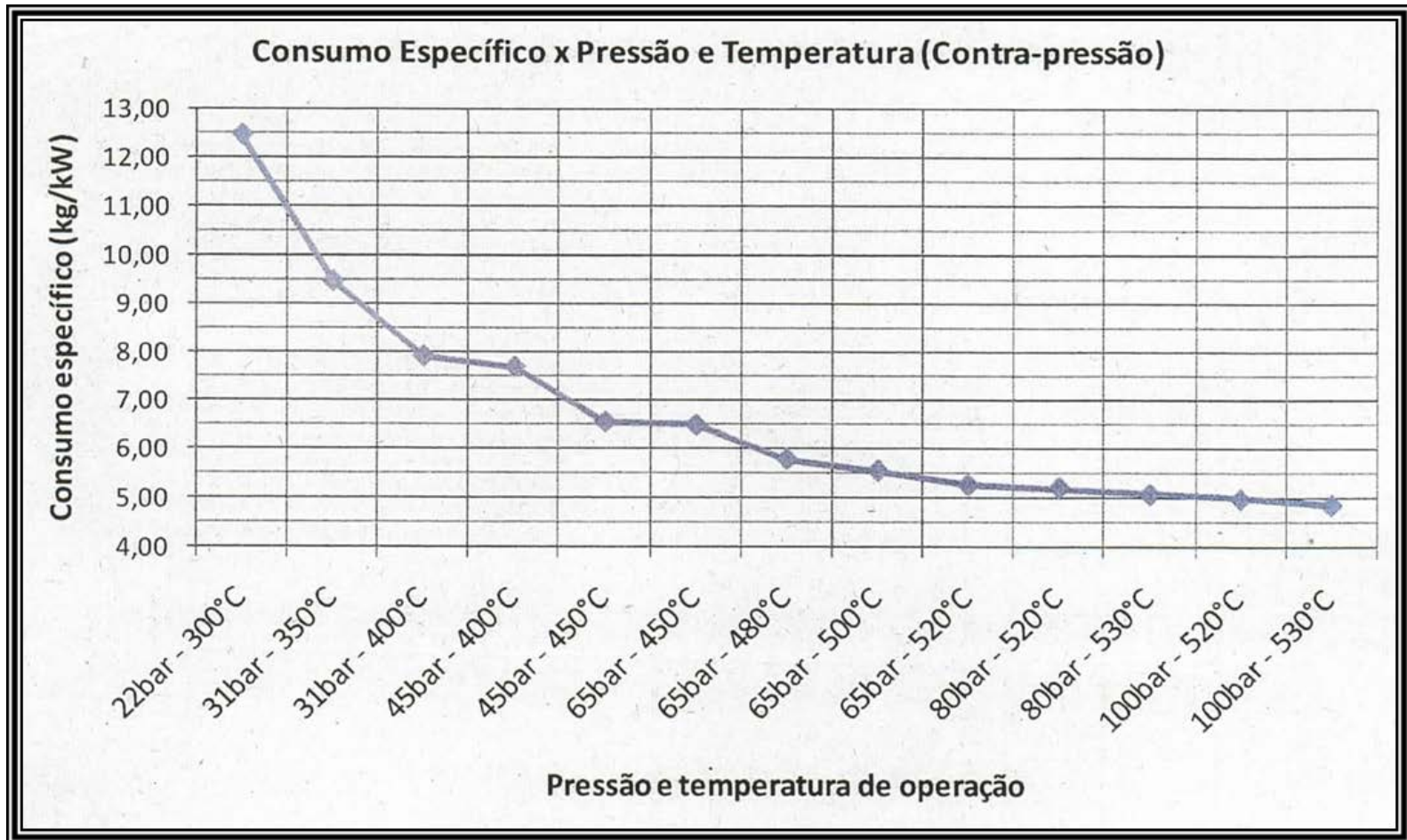
- **O CUSTO DOS EQUIPAMENTOS NO INVESTIMENTO INICIAL , ASSIM COMO OS CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO, NÃO SÃO MARGINAIS EM RELAÇÃO ÀS CONDIÇÕES, DE PRESSÃO DE 65 BAR E 520°C DE TEMPERATURA , ADOTADAS MAIS COMUMENTE.**
- **OS CUSTOS SÃO MAIORES E DEVIDOS A:**
- **MATERIAIS EMPREGADOS NA PRÓPRIA CALDEIRA: TUBULÃO, TUBOS DAS PAREDES D'ÁGUA E DO BOILER BANK ,VÁLVULAS E ACESSÓRIOS DIVERSOS SOB ALTA PRESSÃO**
- **MATERIAIS DAS VALVULAS, TUBULAÇÕES E DEMAIS ACESSÓRIOS DAS LINHAS DE CONDUÇÃO DESTE VAPOR E DE ALIMENTAÇÃO DE ÁGUA À CALDEIRA**
- **CARACTERÍSTICAS DAS TURBINAS ACIONADAS POR ESTE VAPOR**
- **TRATAMENTO DIFERENCIADO DA ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA**

## **CONSUMO DE VAPOR POR TURBINAS À CONTRA-PRESSÃO E À CONDENSAÇÃO**

- **O GRÁFICOS APRESENTADOS A SEGUIR EVIDENCIAM QUE PRESSÕES E TEMPERATURAS DO VAPOR ACIMA DE 65 BAR E 525°C NÃO CONTRIBUEM SIGNIFICATIVAMENTE PARA A REDUÇÃO DO CONSUMO ESPECÍFICO DE VAPOR EM TURBINAS A VAPOR, EM KG/KW GERADO.**
- **ASSIM, A ESCOLHA DA PRESSÃO E DA TEMPERATURA DO VAPOR DA CALDEIRA A SER ADQUIRIDA TEM DE PASSAR TAMBÉM POR UM ESTUDO MUITO BEM FEITO DE VIABILIDADE ECONÔMICA.**

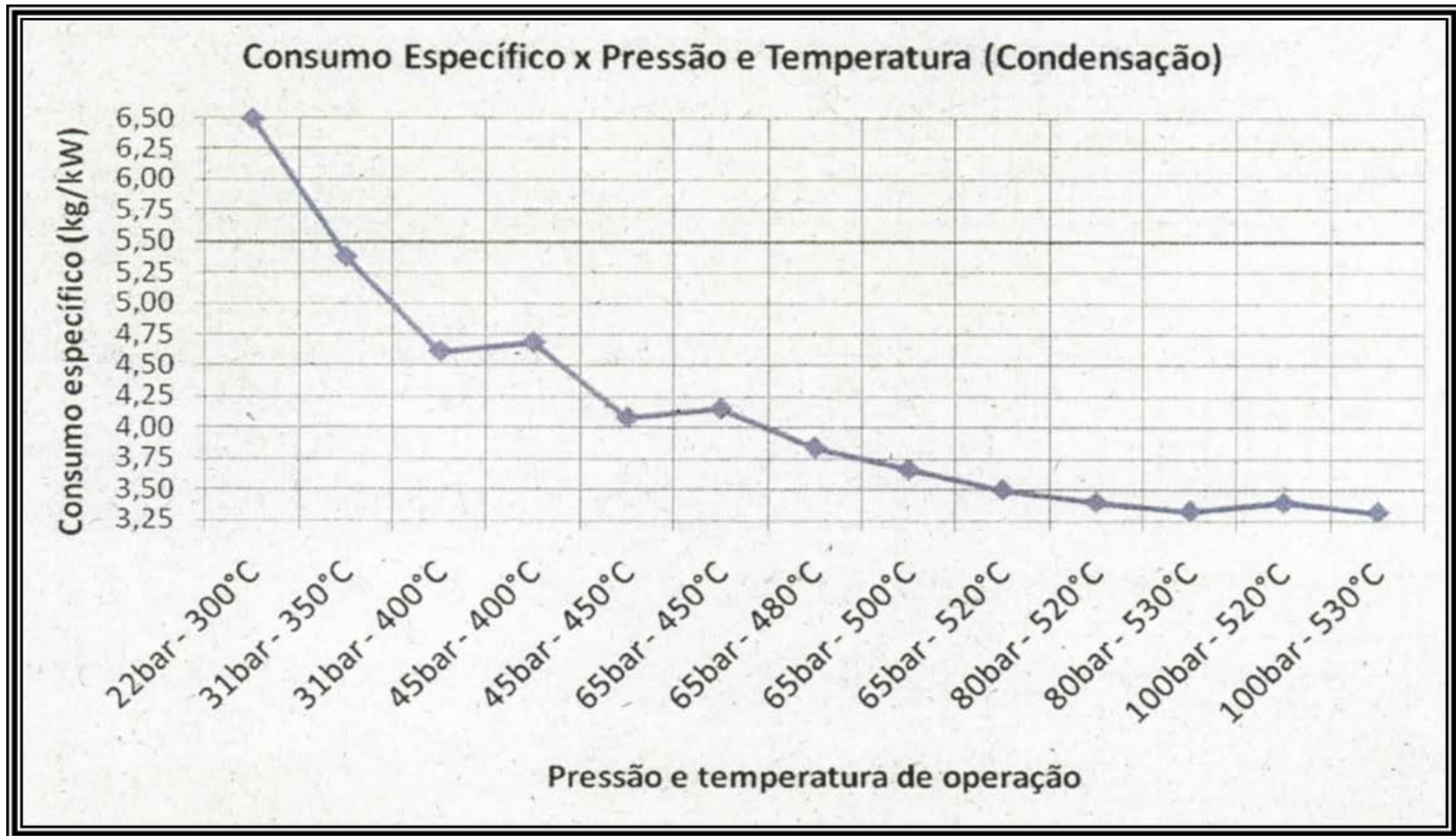
# CONSUMO ESPECÍFICO DE VAPOR A DIVERSAS PRESSÕES E TEMPERATURAS

## TURBINA A CONTRA-PRESSÃO



# CONSUMO ESPECÍFICO DE VAPOR A DIVERSAS PRESSÕES E TEMPERATURAS

## TURBINA A CONDENSAÇÃO



## **EXEMPLOS CONCRETOS DA DIFERENÇA QUE FAZ O USO DE PRESSÕES E TEMPERATURAS DO VAPOR, ELEVADAS**

### **USINA IRACEMA:**

- **MOAGEM 16.000 TCD**
- **CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE: 14 MWH**
- **CONSUMO PRÓPRIO: 11 MWH**
- **EXPORTAÇÃO DE ELETRICIDADE: 3 MWH**
- **PRODUZ AÇÚCAR E ETANOL**

### **USINA BOA VISTA (ATÉ 2012):**

- **MOAGEM: 16.000 TCD**
- **CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA: 80 MWH**
- **CONSUMO PRÓPRIO: 21 MWH**
- **EXPORTAÇÃO DE ELETRICIDADE: 59 MWH**
- **PRODUZIA SÓ ETANOL**

## **EXEMPLOS CONCRETOS DA DIFERENÇA QUE FAZ O USO DE PRESSÕES E TEMPERATURAS DO VAPOR, ELEVADAS**

### **USINA SÃO MARTINHO ATÉ 2007:**

- **MOAGEM 35.000 TCD**
- **CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE: 18 MWH**
- **CONSUMO PRÓPRIO: 16 MWH**
- **EXPORTAÇÃO DE ELETRICIDADE: 2 MWH**
- **PRODUZINDO AÇÚCAR E ETANOL**

### **USINA SÃO MARTINHO ENTRE 2008 E 2012:**

- **MOAGEM: 42.000 TCD**
- **CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA: 33 MWH**
- **CONSUMO PRÓPRIO: 28 MWH**
- **EXPORTAÇÃO DE ELETRICIDADE: 5 MWH**
- **PRODUZINDO AÇÚCAR E ETANOL**

## **EXEMPLOS CONCRETOS DA DIFERENÇA QUE FAZ O USO DE PRESSÕES E TEMPERATURAS DO VAPOR, ELEVADAS**

### **USINA SÃO MARTINHO EM 2013:**

- **MOAGEM: 45.000 TCD**
- **CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA: 33 MWH NA CASA DE FORÇA ANTIGA COM TURBINAS A VAPOR DE 22 BAR E 300°C**
- **NOVA CASA DE FORÇA: TERMOELÉTRICA DEDICADA:**
- **1 TURBINA A VAPOR DE 65 BAR E 520°C DE CONTRA-PRESSÃO GERANDO 40 MWH**
- **1 TURBINA A VAPOR DE 65 BAR E 520°C DE CONDENSAÇÃO GERANDO 40 MWH**
- **GERAÇÃO TOTAL: 33 + 80 = 113 MWH**
- **CONSUMO PRÓPRIO: 32 MWH**
- **EXPORTAÇÃO DE ELETRICIDADE: 81 MWH**
- **PRODUZINDO AÇÚCAR E ETANOL**



## **NOVA TRANSIÇÃO – CALDEIRAS APTAS A QUEIMAR O NOVO BAGAÇO**

- **SEM DÚVIDA ESTAMOS VIVENCIANDO UMA NOVA TRANSIÇÃO DEVIDA À MUDANÇA DAS QUALIDADES DO COMBUSTÍVEL.**
- **HÁ AGORA A NECESSIDADE DE SE ESTAR PREPARADO PARA A QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS COM CARACTERÍSTICAS DIFERENTES DAS DO BAGAÇO TRADICIONAL.**
- **ENTRE ESTES COMBUSTÍVEIS DESTACA-SE A PALHA DE CANA QUE ESTÁ SENDO CADA VEZ MAIS USADA COMO COMBUSTÍVEL COMPLEMENTAR PARA GERAR EXCEDENTES DE ENERGIA ELÉTRICA.**
- **A PALHA DE CANA QUE CHEGA À USINA TEM UMIDADE BASTANTE VARIÁVEL, ALTO TEOR DE CINZAS E ALTO CONTEÚDO DE IMPUREZAS MINERAIS.**

## **NOVA TRANSIÇÃO – CALDEIRAS APTAS A QUEIMAR O NOVO BAGAÇO**

- **O BAGAÇO RESULTANTE DA EXTRAÇÃO DO CALDO POR DIFUSOR TAMBÉM TEM CARACTERÍSTICAS QUE DIFICULTAM SUA QUEIMA EM CALDEIRAS DE GRELHA CONVENCIONAL.**
- **NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NA ENTRE-SAFRA AS CALDEIRAS SÃO ALIMENTADAS COM BAGAÇO NORMALMENTE ARMAZENADO AO TEMPO, SEMPRE MAIS ÚMIDO QUE AO SAIR DA MOENDA.**
- **NA ENTRE-SAFRA PODE SURGIR A POSSIBILIDADE DE SE QUEIMAR RESÍDUOS DE OUTRAS INDÚSTRIAS E TAMBÉM ‘CGR’ QUE É O RESÍDUO SÓLIDO TRATADO PRODUZIDO POR CENTRAIS DE TRATAMENTO DE LIXO URBANO.**

# VISTA GERAL DE SISTEMA DE SEPARAÇÃO DE PALHA

## USINA BEVAP



# QUALIDADE DA PALHA SEPARADA

## USINA BEVAP





# QUALIDADE DA PALHA SEPARADA

## USINA BEVAP



# QUALIDADE DA PALHA SEPARADA

USINA BOA VISTA

## Palha

<b>DATA</b>	<b>P.AMOSTRA</b>	<b>P.INICIAL</b>	<b>P.FINAL</b>	<b>UMIDADE</b>
<b>07/10/2013</b>	<b>50,01</b>	<b>732,94</b>	<b>704,55</b>	<b>56,77</b>
<b>08/10/2013</b>	<b>50,02</b>	<b>733,34</b>	<b>702,52</b>	<b>61,62</b>

## Palmito

<b>Data</b>	<b>P.AMOSTRA</b>	<b>P.INICIAL</b>	<b>P.FINAL</b>	<b>UMIDADE</b>
<b>07/10/2013</b>	<b>50,03</b>	<b>726,34</b>	<b>690,78</b>	<b>71,08</b>
<b>08/10/2013</b>	<b>50,01</b>	<b>726,23</b>	<b>689,96</b>	<b>72,53</b>

## Palha + Palmito

<b>Data</b>	<b>P.AMOSTRA</b>	<b>P.INICIAL</b>	<b>P.FINAL</b>	<b>UMIDADE</b>
<b>07/10/2013</b>	<b>50,01</b>	<b>764,53</b>	<b>733,43</b>	<b>62,19</b>
<b>08/10/2013</b>	<b>50,01</b>	<b>764,74</b>	<b>733,3</b>	<b>62,87</b>

# QUALIDADE DA PALHA SEPARADA

## USINA BOA VISTA

DATA	Palha Seca			
	P.AMOSTRA	P.INICIAL	P.FINAL	UMIDADE
26/10/2013	50,05	726,58	698,94	55,22
DATA	Palmito			
	P.AMOSTRA	P.INICIAL	P.FINAL	UMIDADE
26/10/2013	50,06	732,61	698,53	68,08
DATA	Palha + Palmito			
	P.AMOSTRA	P.INICIAL	P.FINAL	UMIDADE
26/10/2013	50	764,08	731,03	66,10

## **NOVA TRANSIÇÃO – CALDEIRAS APTAS A QUEIMAR O NOVO BAGAÇO**

- **A ESCOLHA DAS CARACTERÍSTICAS DA NOVA CALDEIRA DA USM LEVOU EM CONTA, ALÉM DOS FATORES JÁ MENCIONADOS COM RELAÇÃO À PRESSÃO E TEMPERATURA DO VAPOR, OS SEGUINTE ASPECTOS:**
  - 1. CALDEIRA PREPARADA PARA QUEIMAR BIOMASSAS DE CARACTERÍSTICAS VARIADAS, POR EXEMPLO: RESÍDUOS DA EXPLORAÇÃO FLORESTAL, PALHA DE CANA, BAGAÇO DE LARANJA, ETC., COM UMIDADE CHEGANDO ATÉ 65 %.**
  - 2. CALDEIRA CAPAZ DE ATENDER OS PADRÕES DE EMISSÃO DE PARTICULADOS E DE NO<sub>x</sub> PARA OS GASES CONSIDERANDO NORMAS JÁ EXISTENTES NO EXTERIOR MAIS EXIGENTES QUE AS ATUALMENTE PRATICADAS NO BRASIL.**
  - 3. ALTA EFICIÊNCIA NA QUEIMA DE BIOMASSAS.**
  - 4. OPERAÇÃO ESTÁVEL SOB REGIME CARGA REDUZIDA.**



# **ESCOLHA DA CALDEIRA PARA A UTE DA USINA SÃO MARTINHO**

- **BASES DO ANTE-PROJETO:**
- **BAGAÇO EXCEDENTE: 300 A 400 MIL TONELADAS POR SAFRA**
- **TERMO-ELÉTRICA DEDICADA**
- **CAPACIDADE DA CALDEIRA – 300 TVH**
- **PRESSÃO DE OPERAÇÃO – 67 A 68 BAR**
- **TEMPERATURA DO VAPOR – 520°C A 530°C**
- **2 TURBO-GERADORES:**
- **1 COM POTÊNCIA DE 40 MW ACIONADO POR TURBINA À CONTRA-PRESSÃO DE 2,5 BAR E COM EXTRAÇÃO CONTROLADA A 16/17 KG/CM<sup>2</sup>**
- **1 COM POTÊNCIA DE 40 MW ACIONADO POR TURBINA A CONDENSAÇÃO**

# UTE USINA SÃO MARTINHO

## **CALDEIRA ESCOLHIDA:**

- **CAPACIDADE: 300 TVH**
- **CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO :**
- **PRESSÃO: 66 BAR**
- **TEMPERATURA: 520° C**
- **TIPO: MONODRUM SUSPENSA**
- **RELAÇÃO BAGAÇO/VAPOR: 2,27 kgv /kgb**
- **BAIXA EMISSÃO DE NO<sub>x</sub>, CO,NÃO QUEIMADOS,ETC.**
- **OPERAÇÃO ESTÁVEL A ATÉ 50% DA CAPACIDADE NOMINAL**
- **FORNALHA: LEITO FLUIDIZADO BORBULHANTE**

# UTE - Usina São Martinho

## Comparativo Técnico Leito Fluidizado x Grelha Pin Hole

### Parâmetro

### LEITO FLUIDIZADO - BFB

### GRELHA PIN HOLE

Flexibilidade de queima de biomassa

Alta

Limitada

Níveis de emissões atmosféricas

Atende padrões nacionais e internacionais

Atende padrões nacionais

Operação

Muito estável

Estável

Operação carga reduzida (% MCR)

Até 30

60

RELAÇÃO VAPOR/BAGAÇO (kg vapor /kg bag. @ 50 % um)

2,27

2,11

Potência Consumida (MW)

5,5

4,3

Acréscimo de energia para venda (MWh/safra)

16.000

---

# UTE - Usina São Martinho

## Comparativo Técnico Leito Fluidizado x Grelha Pin Hole

### Parâmetro

### LEITO FLUIDIZADO - BFB

### GRELHA PIN HOLE

Umidade do combustível

48 a 65 %

48 a 53 %

Excesso de ar

20 a 30 %

35 a 50 %

Velocidade de gases na  
fornalha

6 a 7 m/s

11 a 12 m/s

Eficiência sobre o PCI

90,2 %

83,2 %

Temperatura de operação

820°C a 870° C no leito

180° C a 200° C na grelha

Rampa de Aquecimento

9 horas

8 horas

Resfriamento

20 horas

8 horas

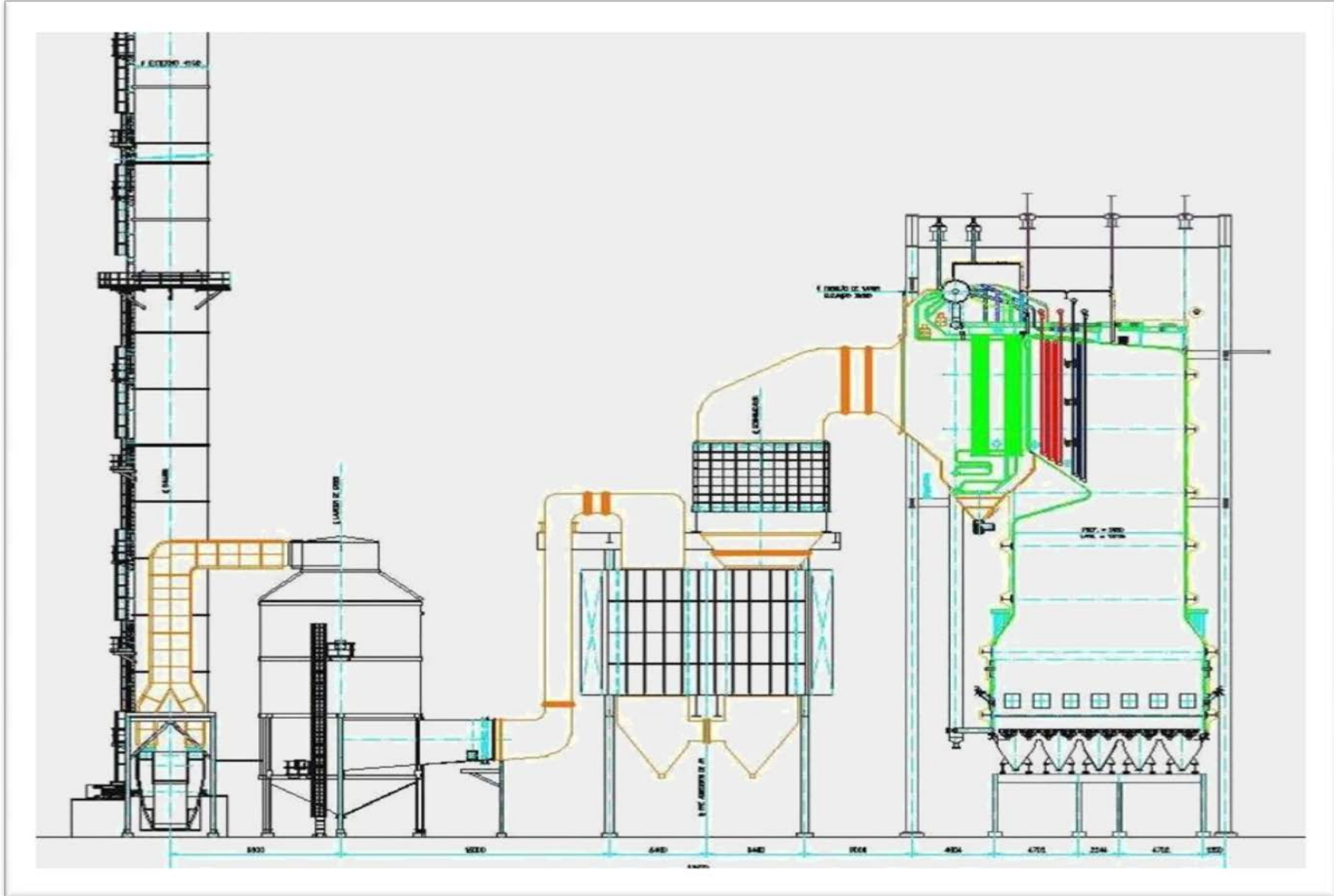
## **Verificação da diferença de rendimento entre Leito Fluidizado e Grelha Pin Hole**

<b>Fatores de contribuição para o acréscimo de eficiência</b>	<b>Grelha</b>	<b>LF</b>	<b>LF/Grelha (%)</b>
<b>Temperatura do ar na entrada do pré-ar (°C)</b>	<b>27,0</b>	<b>55,3</b>	<b>2,5</b>
<b>Excesso de ar (%)</b>	<b>35,0</b>	<b>25,0</b>	<b>0,5</b>
<b>Não queimados (%)</b>	<b>3,5</b>	<b>0,5</b>	<b>4,5</b>
<b>Perdas não contadas (maioria: perdas nas cinzas) (%)</b>	<b>1,5</b>	<b>0,9</b>	<b>0,9</b>
<b>Eficiência ao PCI Calculada pela USM (%)</b>	<b>83,2</b>	<b>90,2</b>	<b>8,4</b>



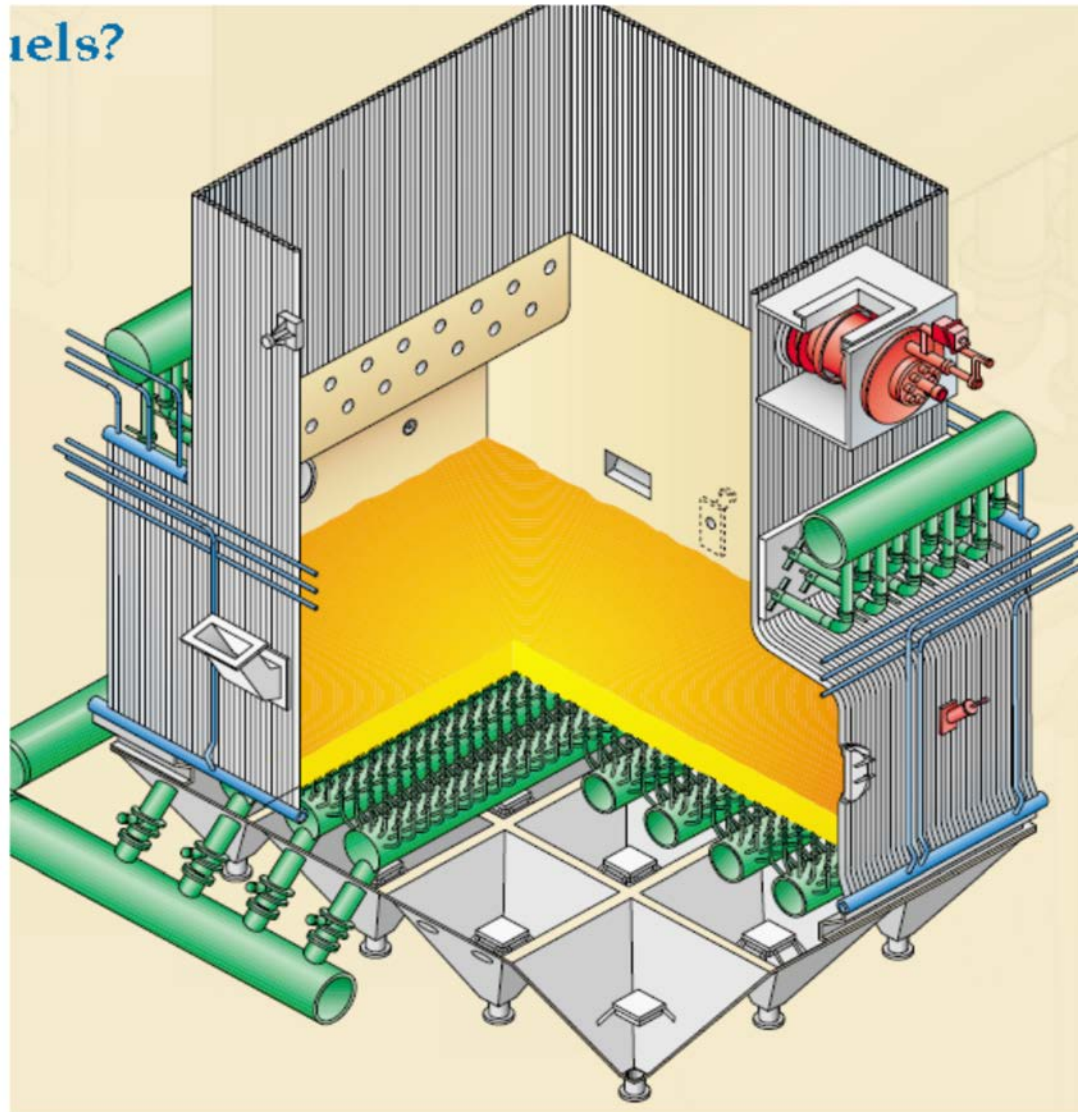


# CALDEIRA-FORNALHA TIPO LEITO FLUIDIZADO BORBULHANTE

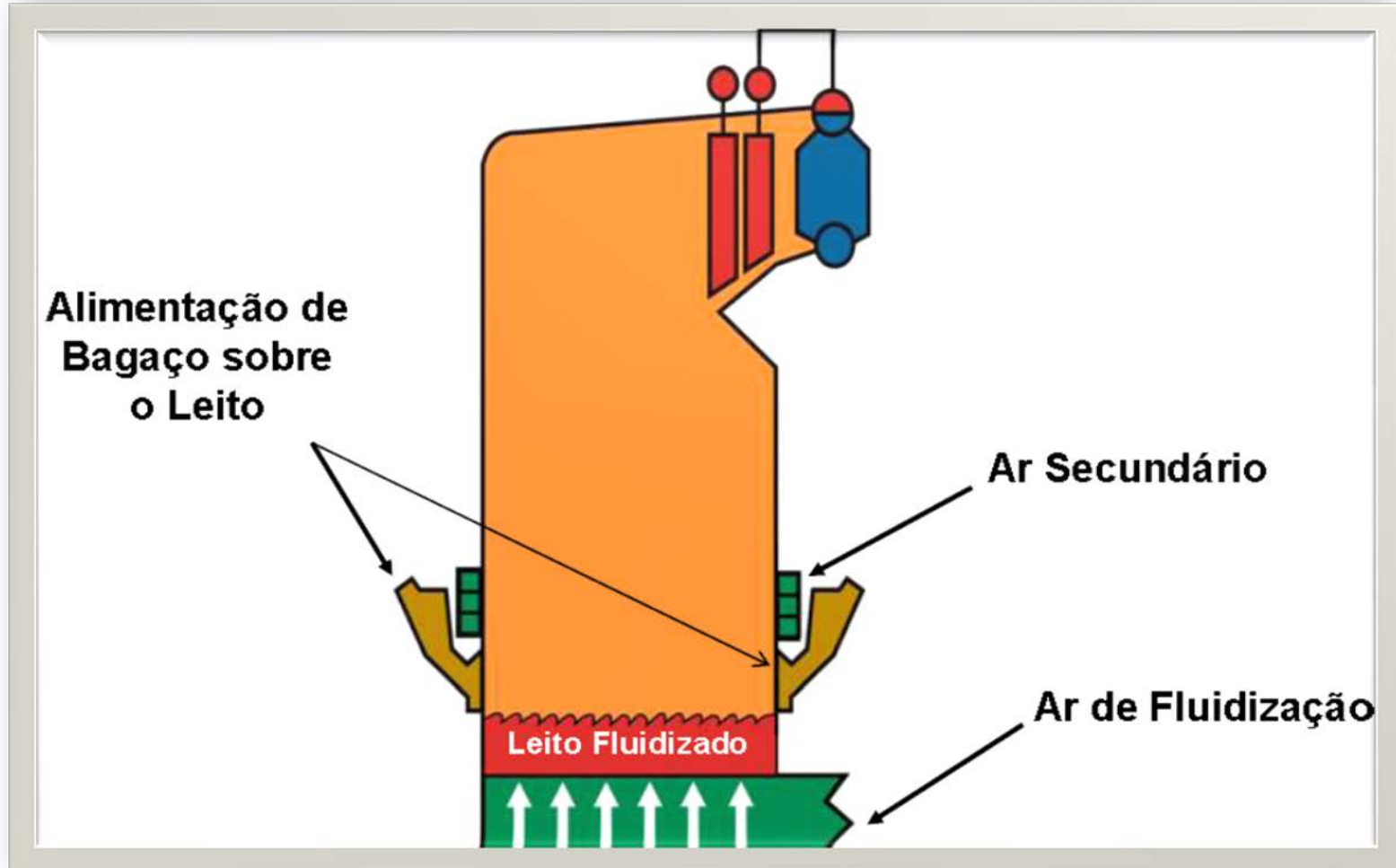




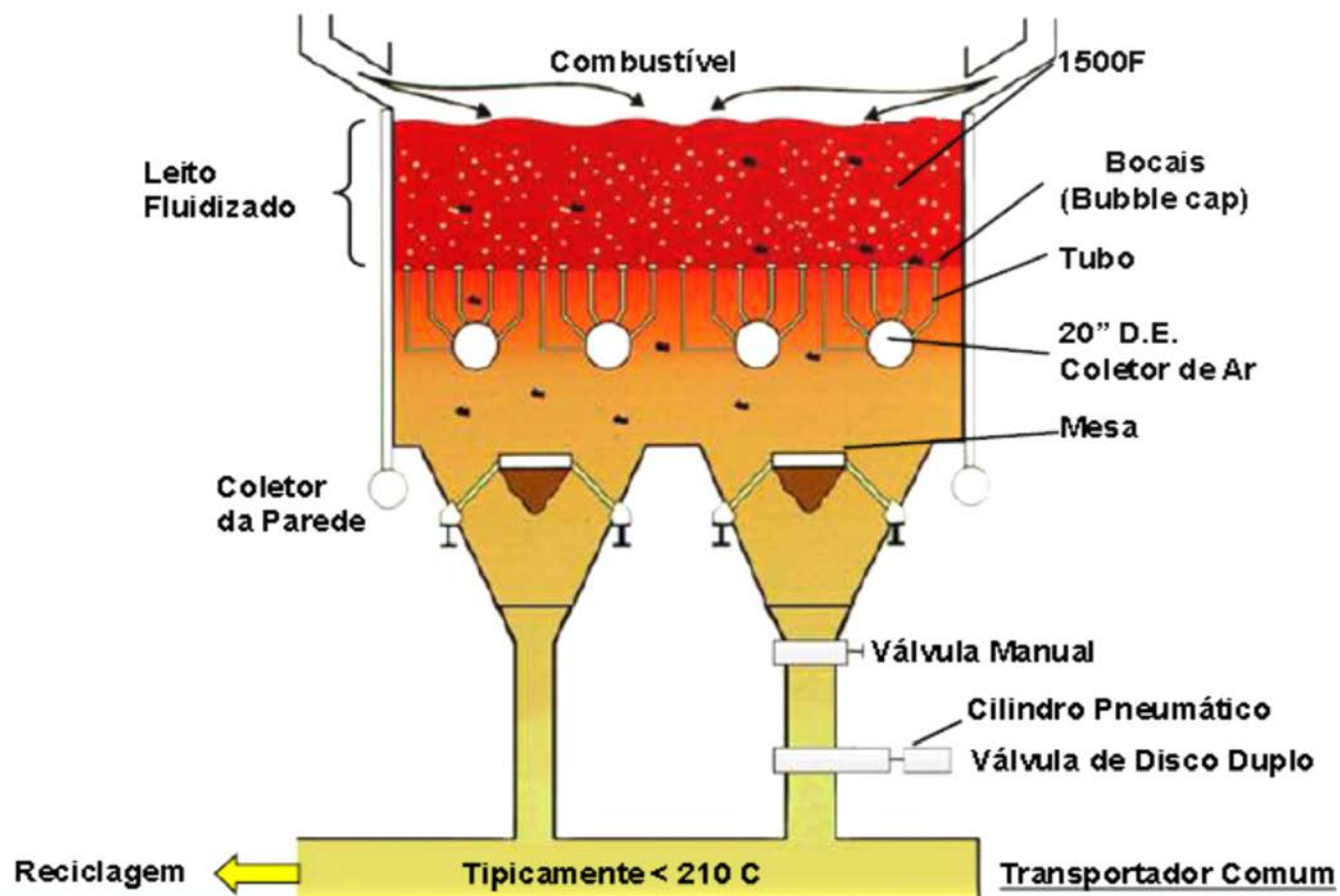
# CALDEIRA LEITO FLUIDIZADO – CORTE



# CALDEIRA LEITO FLUIDIZADO CORTE ESQUEMÁTICO

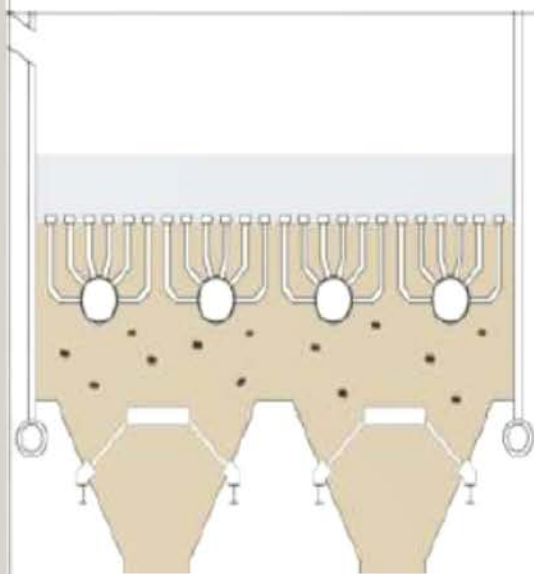


# Leito Fluidizado de Fundo Aberto

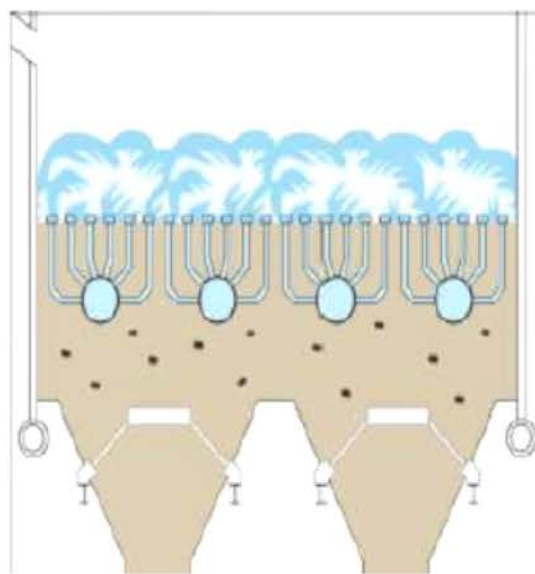


# Caldeiras de Leito Fluidizado – Operação

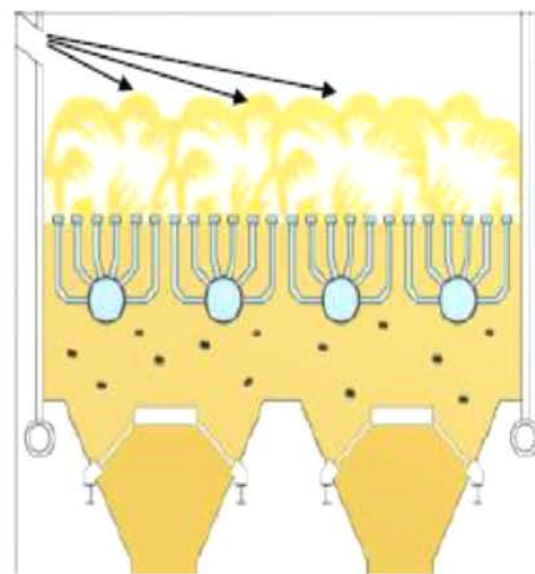
**Fora de Operação**  
Altura do Leito  $\approx 20''$



**Leito com Ar**  
Altura do Leito  $\approx 32''$



**Leito Aquecido**  
Operação Normal

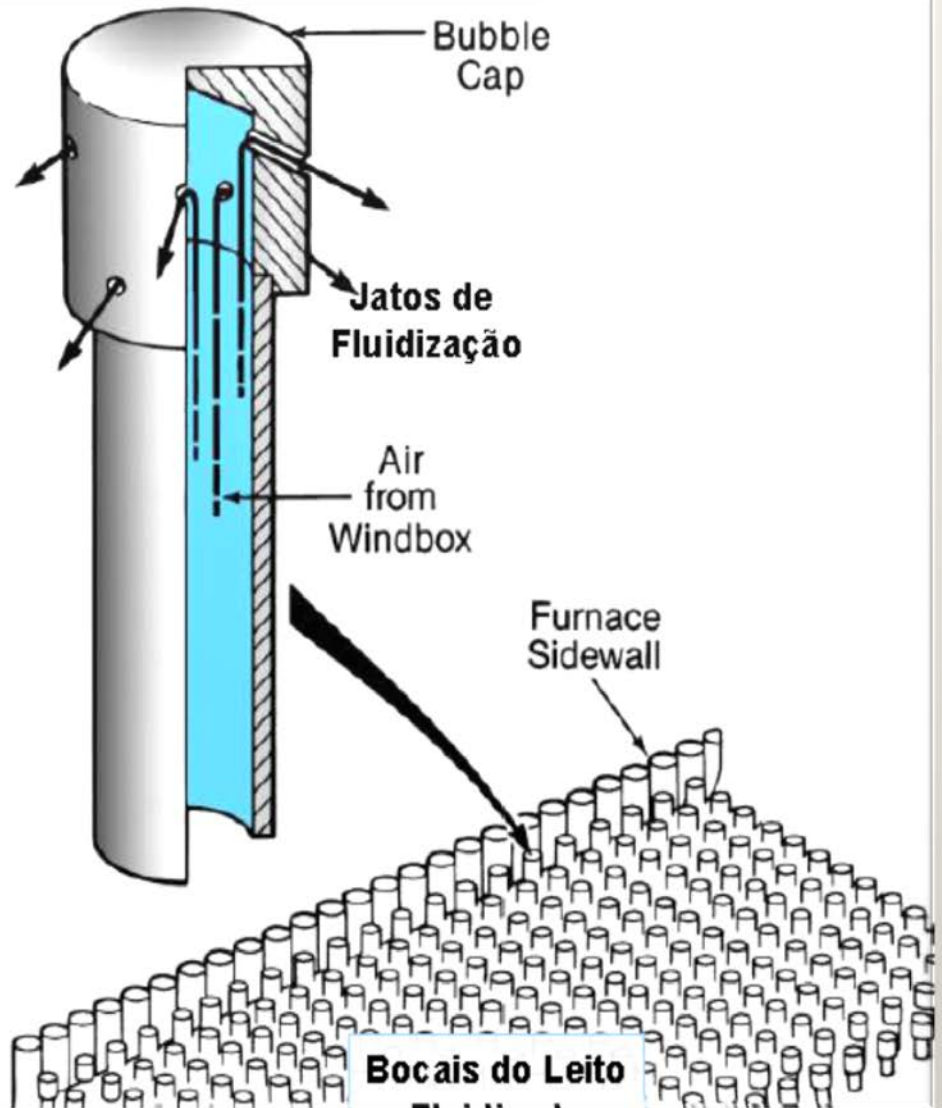




# BOCAIS DE FLUIDIZAÇÃO



# Bocal de Fluidização Típico "Bubble Cap"



# MOEGAS





# **Bocais (Bubble Cap) / Coletores de Ar / Bicas de Descarga**





# Fotos Leito – Processo de Enchimento







# Fotos Leito – Regularização do Nível da Areia



## **CARACTERÍSTICAS DA OPERAÇÃO**

- **EXIGE CONTROLES AUTOMÁTICOS MAIS SOFISTICADOS:**
  1. **MEDIÇÃO E CONTROLE DA TEMPERATURA DO LEITO**
  2. **MEDIÇÃO E CONTROLE DAS VAZÕES DE AR PRIMÁRIO E SECUNDÁRIO**
  3. **MEDIÇÃO E CONTROLE DA VAZÃO DO GÁS DE RECIRCULAÇÃO**
  4. **CONTROLE DAS PURGAS DE AREIA DO LEITO FLUIDIZADO**
  5. **CONTROLE DA LIMPEZA DOS FILTROS DE MANGAS**

## **CARACTERÍSTICAS DA OPERAÇÃO**

### **EM COMPENSAÇÃO:**

#### **MENOR EMISSÃO DE PARTICULADOS:**

**GRELHA: 150 A 200 mg/Nm<sup>3</sup>**

**LFB: 60 A 150 mg/Nm<sup>3</sup>**

#### **MENOR EMISSÃO DE NO<sub>x</sub>:**

**GRELHA: ACIMA DE 300 mg/Nm<sup>3</sup>**

**LFB: ABAIXO DE 300 mg/Nm<sup>3</sup>**

#### **MENOR CONSUMO DE ÁGUA NOS LAVADORES DE GÁS:**

**GRELHA: 1,0 m<sup>3</sup>/ton. de vapor**

**LFB: 0,6 m<sup>3</sup>/ton. de vapor**

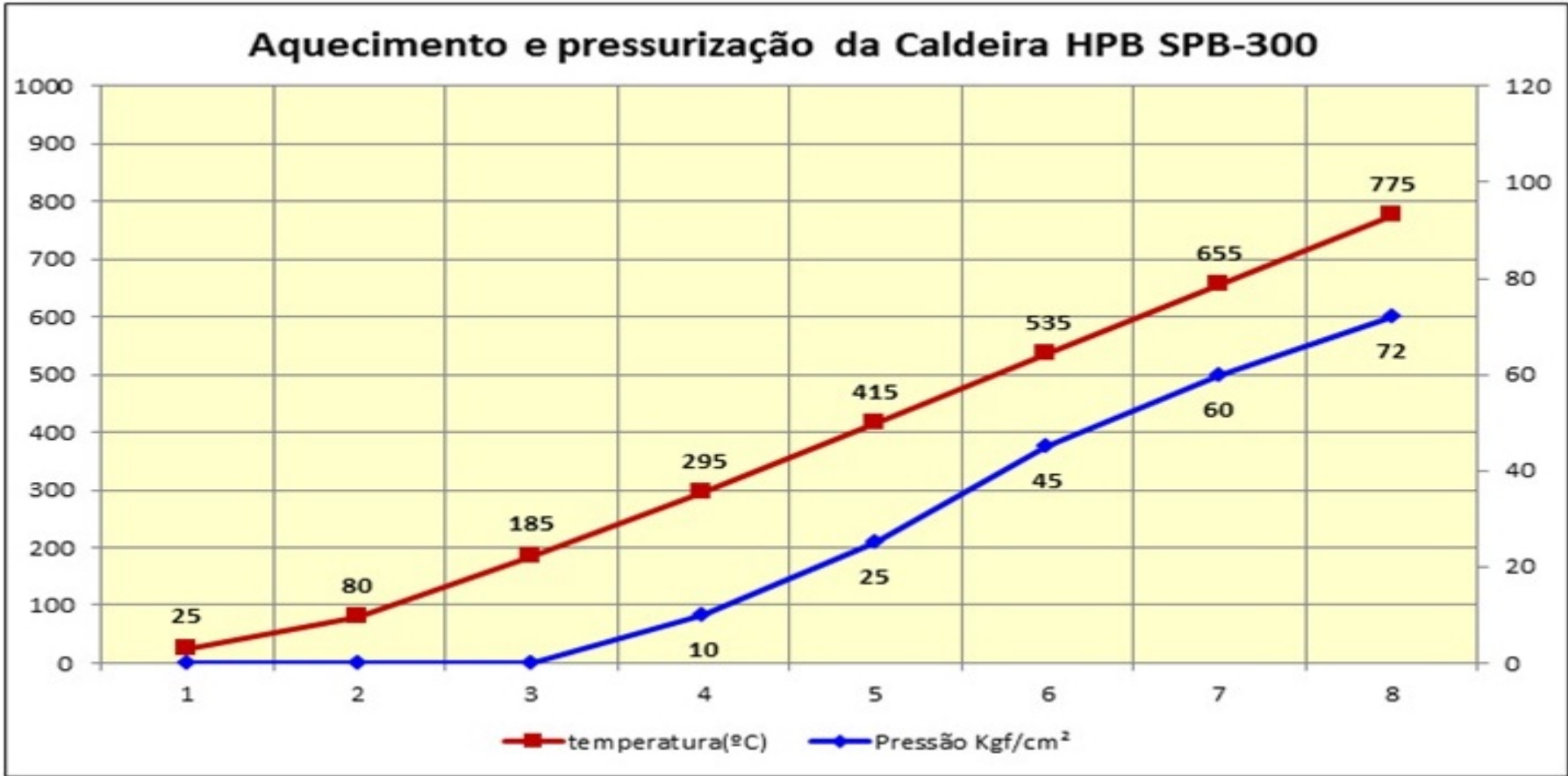
**CONSUMO DE AREIA NO LEITO: 1,3 m<sup>3</sup>/DIA**

# CARACTERÍSTICAS DA OPERAÇÃO

Combustível		Bagaço		Bagaço
Capacidade de carga a 100% MCR	t/h	300		300
Temperatura do vapor após a válvula principal	°C	525		525
Pressão do vapor na saída da válvula principal	kgf/cm <sup>2</sup>	67		67
Temperatura da água de alimentação	°C	110		120
Temperatura final dos gases	°C	160 ± 10		160 ± 10
Qualidade do vapor, em termos de sólidos arrastados, com base na concentração especificada de sólidos na água da caldeira	ppm	1,0		1,0
Limite de ruídos a 3,0 mts da caldeira	dBA	85		85
Máxima emissão de particulados 100% MCR	mg/Nm <sup>3</sup>	< 200		< 200
Eficiência térmica ao PCI	%	91,0±1,0		91,0±1,0
Consumo de combustível	t/h	141,10		139,00



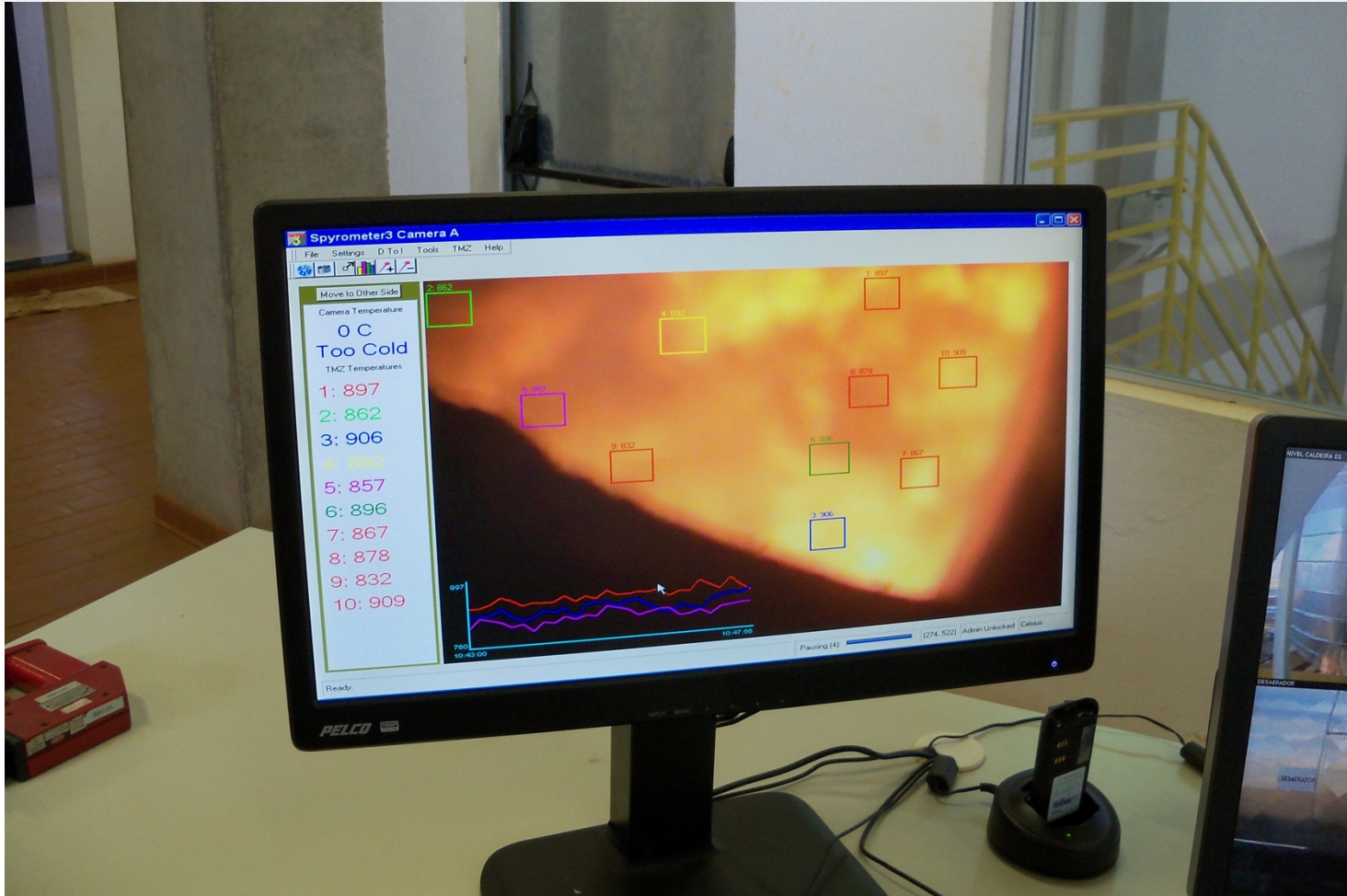
# Aquecimento e Pressurização da Caldeira







# Monitoramento do Leito





# Caldeiras de Leito Fluidizado – Operação





# Controle Temperatura do Leito

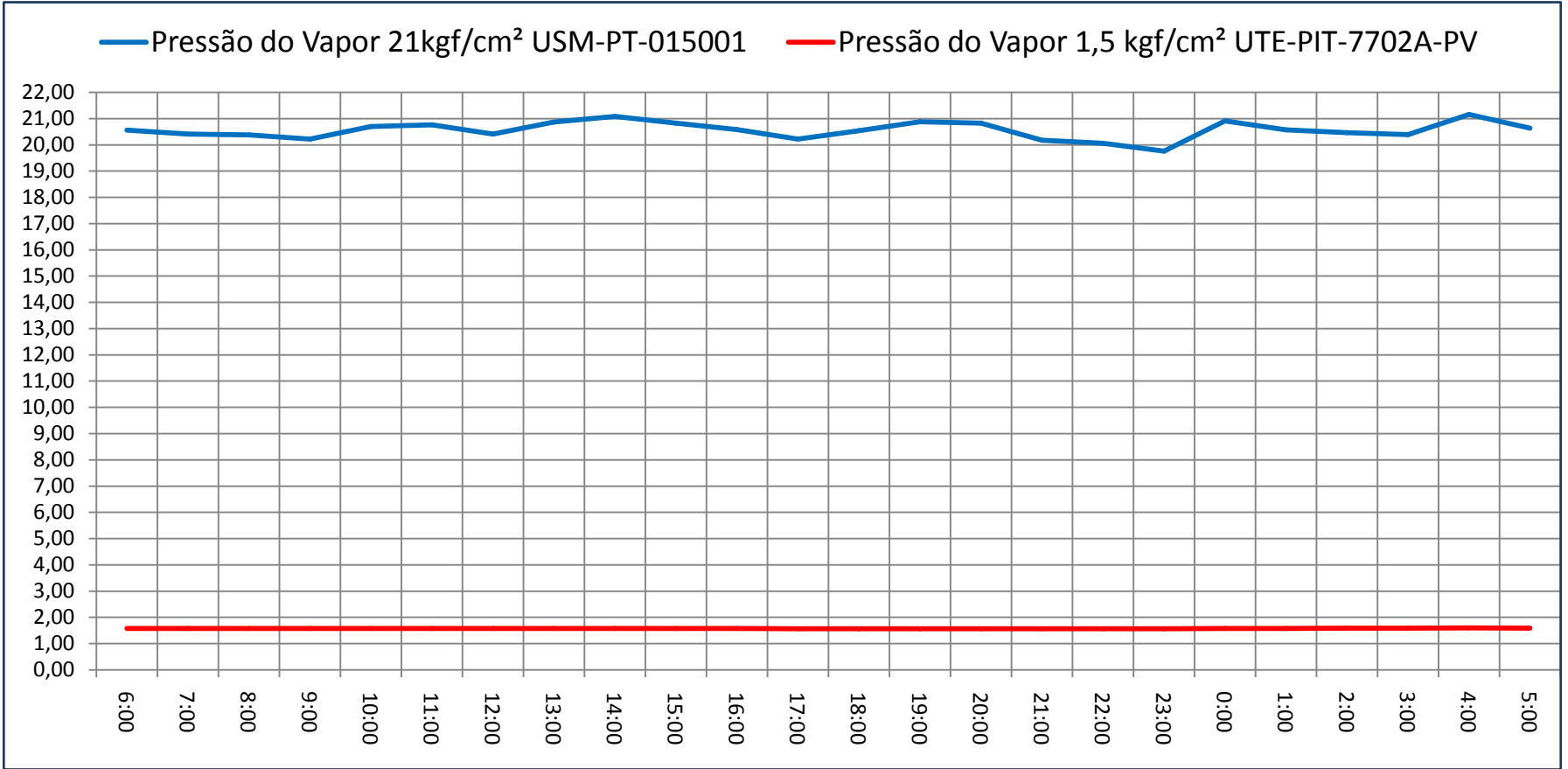
TIT-71601		QUEIMADOR 06		QUEIMADOR 05		QUEIMADOR 04		TEMP ATIVAS			
823,66	°C							30			
TIT-71601EA	816,54 °C	TIT-71601EB	821,01 °C	TIT-71601EC	835,69 °C	TIT-71601ED	839,89 °C	TIT-71601EE	827,23 °C	TIT-71601EF	822,55 °C
TIT-71601DA	809,56 °C	TIT-71601DB	811,70 °C	TIT-71601DC	832,06 °C	TIT-71601DD	838,83 °C	TIT-71601DE	833,80 °C	TIT-71601DF	821,08 °C
TIT-71601CA	805,95 °C	TIT-71601CB	814,05 °C	TIT-71601CC	831,98 °C	TIT-71601CD	835,98 °C	TIT-71601CE	829,41 °C	TIT-71601CF	815,64 °C
TIT-71601BA	811,84 °C	TIT-71601BB	819,92 °C	TIT-71601BC	831,93 °C	TIT-71601BD	833,42 °C	TIT-71601BE	827,93 °C	TIT-71601BF	812,97 °C
TIT-71601AA	813,52 °C	TIT-71601AB	813,45 °C	TIT-71601AC	827,50 °C	TIT-71601AD	834,75 °C	TIT-71601AE	824,27 °C	TIT-71601AF	815,48 °C
QUEIMADOR 01			QUEIMADOR 02			QUEIMADOR 03					



# Benefícios para o processo Açúcar / Etanol

## Estabilidade de pressão do vapor 21 e 1,5 kgf/cm<sup>2</sup>

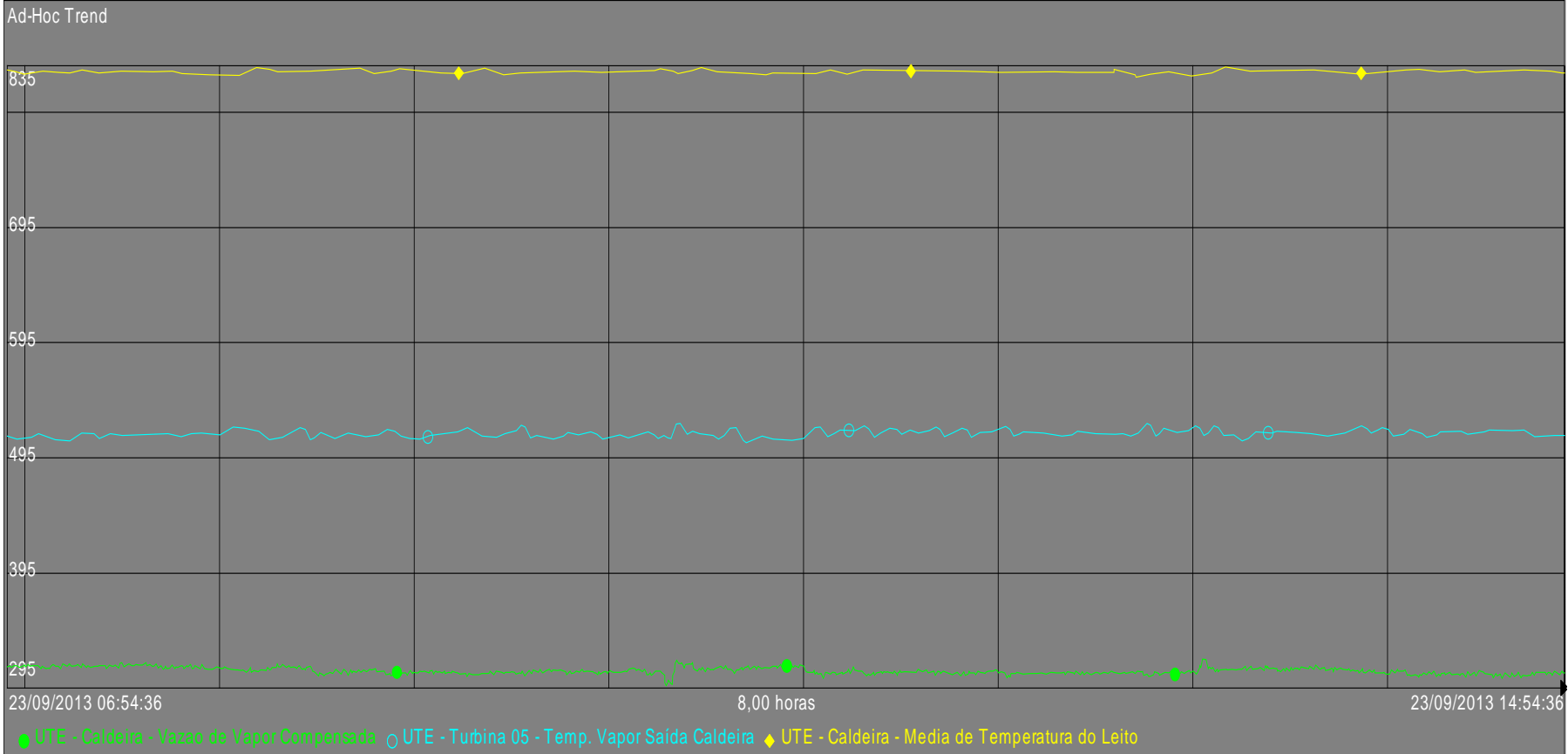
Dados de 08/09/13





# Estabilidade de produção e temperatura do vapor em função da temperatura do leito

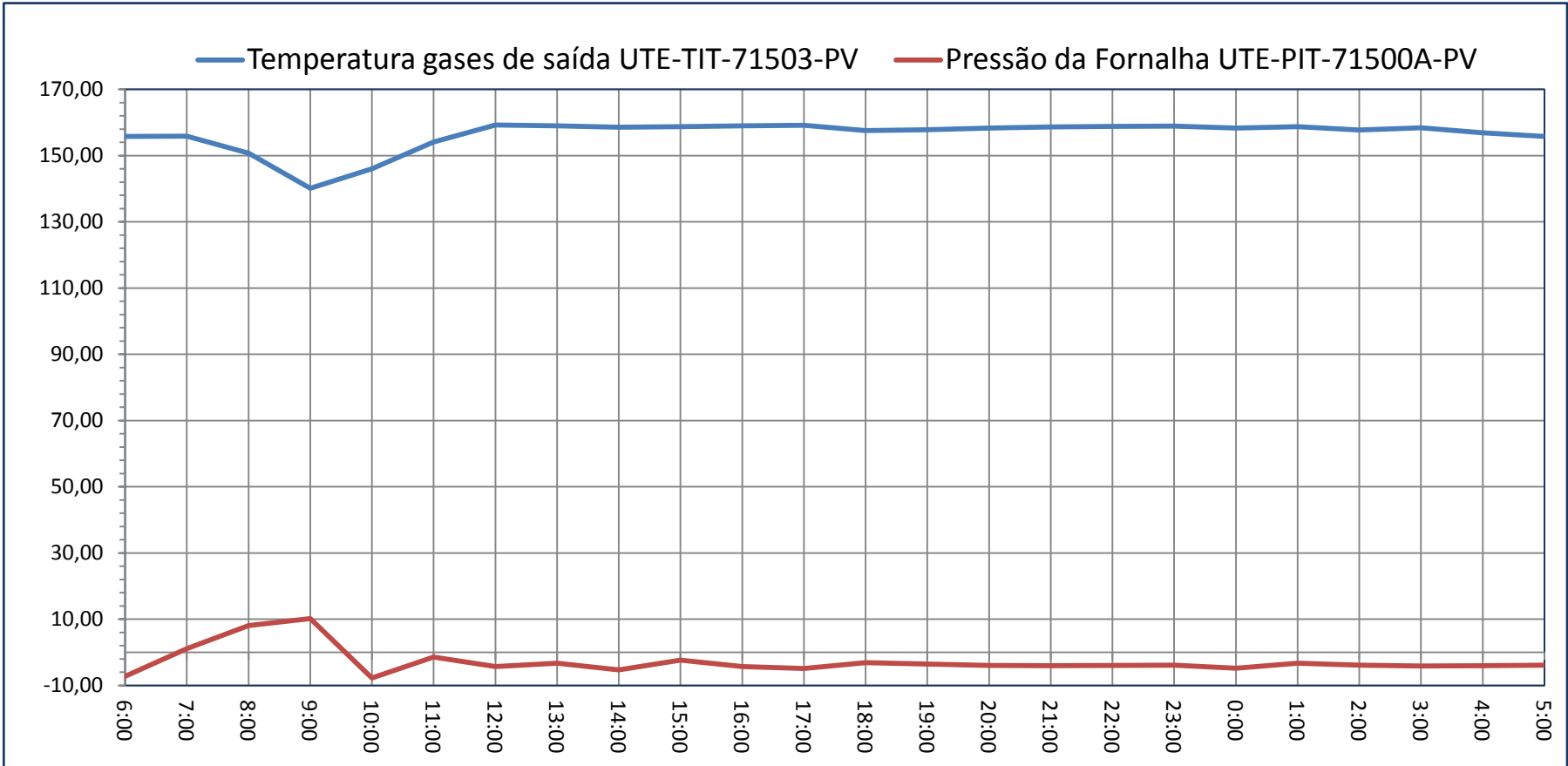
Dados de 23/09/13





# Estabilidade de pressão de fornalha e temperatura de saída dos gases

Dados de 08/09/13



# EMISSÕES – CALDEIRAS USM

SAFRA 2013/2014

CALDEIRAS	LME	01	02	03	04
MP ( mg/Nm <sup>3</sup> ) c/8%O <sub>2</sub>	390	80,55	190,97	149,64	173,99
NOX ( mg/Nm <sup>3</sup> ) c/8%O <sub>2</sub>	350	325,68	294,34	238,6	266,92

CALDEIRAS	LME	05	06	07
MP ( mg/Nm <sup>3</sup> ) c/8%O <sub>2</sub>	450	329,04	342,46	135,43
NOX ( mg/Nm <sup>3</sup> ) c/8%O <sub>2</sub>	350	302,07	372,13	409,69

CALDEIRAS	LME	08
MP ( mg/Nm <sup>3</sup> ) c/8%O <sub>2</sub>	520	224,54
NOX ( mg/Nm <sup>3</sup> ) c/8%O <sub>2</sub>	NA	384,06

CALDEIRAS	LME	09( HPB )
MP ( mg/Nm <sup>3</sup> ) c/8%O <sub>2</sub>	200	61,81
NOX ( mg/Nm <sup>3</sup> ) c/8%O <sub>2</sub>	350	279,32

Caldeira HPB se encaixa na resolução CONAMA nº 382 de 28/12/2006 - L.O. após 02/01/2007

Caldeiras se encaixam na resolução CONAMA nº 436 de 22/12/2011 - L.O. anterior à 02/01/2007

Limites máximos de emissões ( LME ) variam de acordo com a potência da caldeira





# Foto da caldeira







# Purga do Leito – Mecanismo de classificação e reciclagem





# CALDEIRA E CASA DE FORÇA NOVA TERMOELÉTRICA SÃO MARTINHO



# CASA DE FORÇA

## NOVA TERMOELÉTRICA SÃO MARTINHO





# Vídeo Leito Fluidizado e Grelha

[Leito](#)  
[Aquecendo](#)

[Leito](#)  
[Aquecido](#)

[Grelha](#)

## **CONDENSADOR EVAPORATIVO**

- **O CONDENSADOR EVAPORATIVO NADA MAIS É QUE UM TROCADOR DE CALOR POR CONTATO INDIRETO ENTRE O VAPOR A SER CONDENSADO E O MEIO REFRIGERANTE.**
- **É UMA TORRE DE RESFRIAMENTO COMPACTA.**
- **O VAPOR A SER CONDENSADO CIRCULA INTERNAMENTE AOS TUBOS DE UM FEIXE TUBULAR. OS TUBOS FICAM NA POSIÇÃO HORIZONTAL E COM PEQUENO DESNÍVEL PARA FACILITAR A DRENAGEM DO CONDENSADO.**
- **NOS CONDENSADORES TIPO CASCO E TUBO USADOS NORMALMENTE EM TURBINAS DE CONDENSAÇÃO, A ÁGUA DE RESFRIAMENTO É QUE CIRCULA INTERNAMENTE AOS TUBOS E O VAPOR A SER CONDENSADO FLUI EXTERNAMENTE AOS TUBOS.**

## **CONDENSADOR EVAPORATIVO**

- **É PRECISO REMOVER INCONDENSÁVEIS E ISTO PODE SER FEITO COM BOMBA DE VÁCUO OU EJETOR. NO CASO DE CONDENSADOR DE TURBINA A VAPOR O USO DO EJETOR É MANDATÓRIO DEVIDO AO VÁCUO NECESSÁRIO.**
- **O CONTROLE DA PRESSÃO QUE SE DESEJA MANTER NA LINHA DE VAPOR A SER CONDENSADO É FEITO, OU VARIANDO-SE A VELOCIDADE DOS VENTILADORES OU PELO VÁCUO PROVIDO POR EJETORES.**
- **OS TUBOS DO FEIXE TUBULAR SÃO SUBMETIDOS A UM CHUVEIRO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO À TEMPERATURA AMBIENTE.**
- **ESTA ÁGUA É RECIRCULADA E O CALOR ABSORVIDO É REMOVIDO POR UMA CORRENTE DE AR PROVIDENCIADA POR VENTILADORES SEMELHANTES AOS USADOS EM TORRES DE RESFRIAMENTO CONVENCIONAIS**

## **CONDENSADOR EVAPORATIVO**

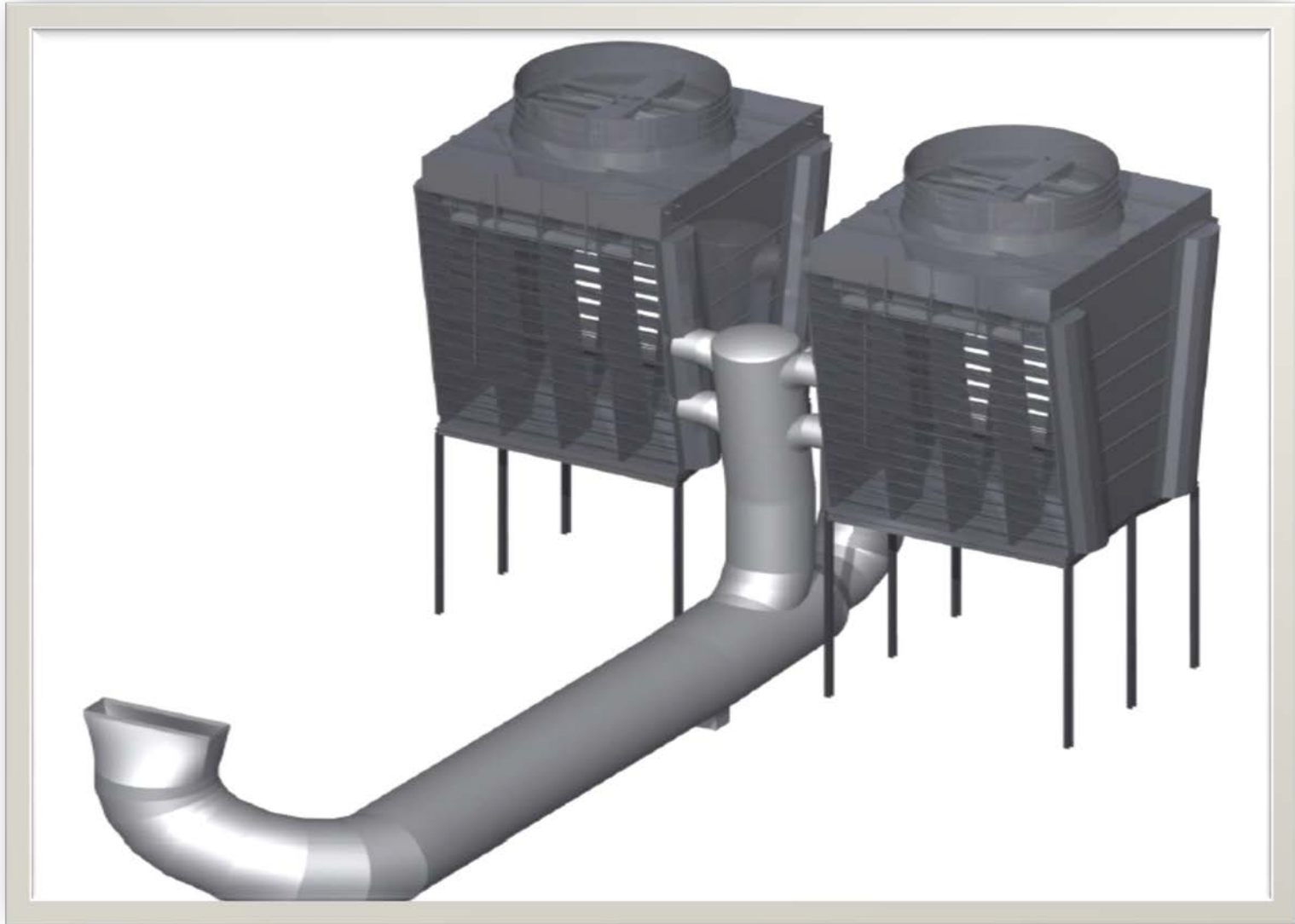
- **O CONDENSADOR EVAPORATIVO SE APLICA BEM AOS EQUIPAMENTOS QUE OPERAM COM UMA VAZÃO CONSTANTE DO VAPOR A SER CONDENSADO.**
- **PODE SER USADO COMO CONDENSADOR PARA TURBINAS DE CONDENSAÇÃO E COMO CONDENSADOR PARA O ÚLTIMO EFEITO DE SISTEMAS DE EVAPORAÇÃO EM MÚLTIPLO EFEITO.**
- **A GRANDE VANTAGEM DESTES EQUIPAMENTOS É A ELIMINAÇÃO DE SISTEMAS CONVENCIONAIS DE RESFRIAMENTO DE ÁGUA, POR ASPERSORES OU TORRES DE RESFRIAMENTO.**
- **JUSTIFICA-SE SEU USO EM INSTALAÇÕES NOVAS E QUANDO NÃO HÁ SOBRA DE CAPACIDADE DOS SISTEMAS DE RESFRIAMENTO DE ÁGUA EXISTENTES.**
- **PELAS CARACTERÍSTICAS DA TROCA TÉRMICA O EQUIPAMENTO É DE GRANDE PORTE E É NECESSÁRIO TER ÁREA ADEQUADA PARA SUA INSTALAÇÃO.**

# **CONDENSADOR EVAPORATIVO**

## **INSTALADO NA TERMOELÉTRICA DA USM**

- **CARACTERÍSTICAS:**
- **DOIS CONJUNTOS EM PARALELO.**
- **CAPACIDADE INDIVIDUAL DE CONDENSAÇÃO: 75 TVH**
- **CAPACIDADE DE CONDENSAÇÃO DO CONJUNTO: 150 TVH**
- **POTÊNCIA INDIVIDUAL DOS VENTILADORES: 175 CV**
- **ÁGUA DE REPOSIÇÃO: 150 m<sup>3</sup>/h**
- **MATERIAL DE CONSTRUÇÃO:**
- **TUBOS – AÇO INOX 304 CORPO – AÇO INOX 304**
- **PRESSÃO SOB VÁCUO: 0,110 BAR**
- **TEMPERATURA DO VAPOR: 48°C**
- **VÁCUO PROVIDO POR EJETORES A VAPOR**
- **MALHAS DE MONITORAÇÃO DO VÁCUO, NÍVEL DO CONDENSADO NO ‘POÇO QUENTE’, CONTROLE DO NÍVEL DA ÁGUA DE RECIRCULAÇÃO, CONTROLE DA PRESSÃO DOS EJETORES E CONTROLE DO NÍVEL DE CONDENSADOS NO TUBULÃO DE INTERLIGAÇÃO COM A TURBINA**

# CONDENSADOR EVAPORATIVO

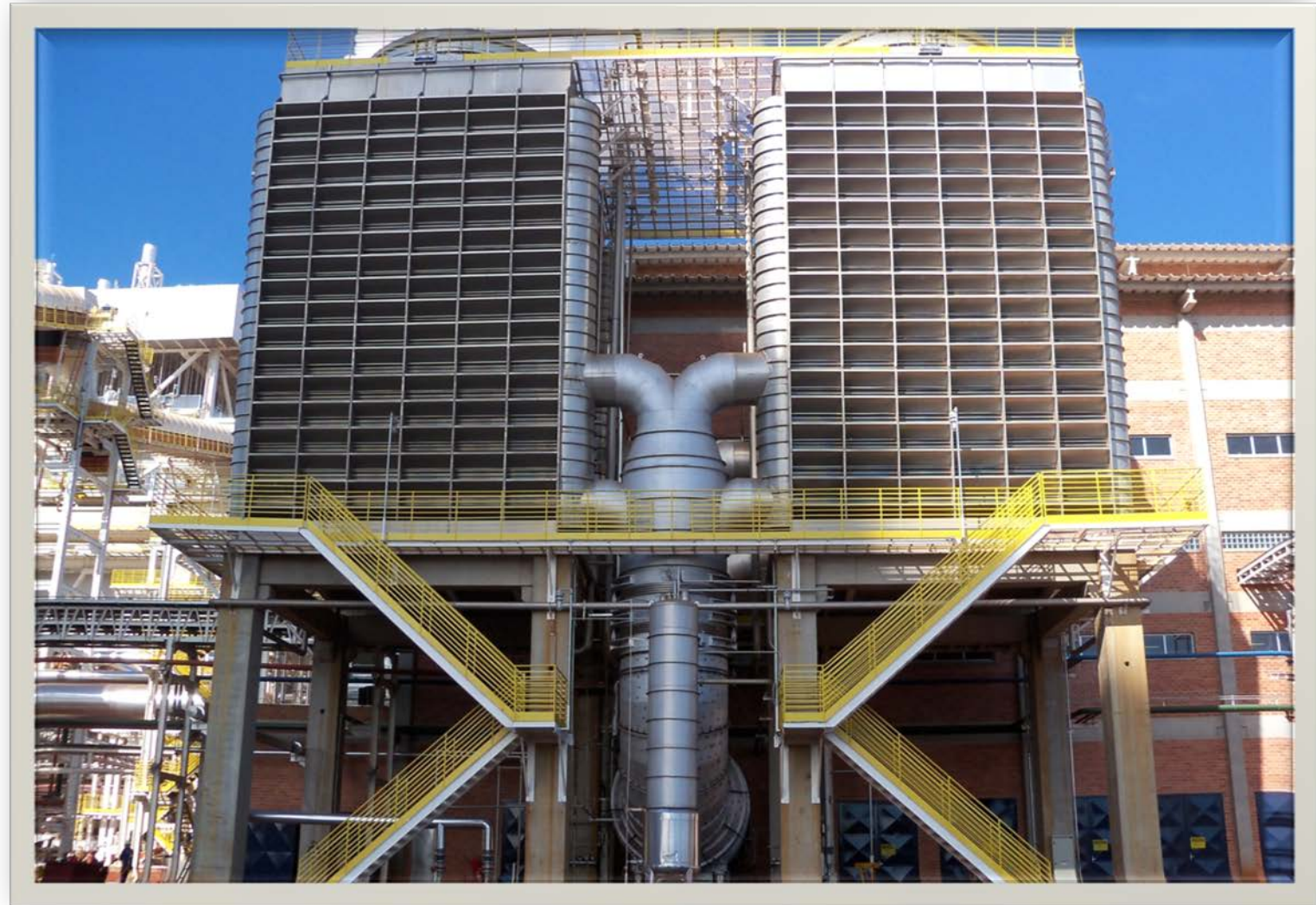




# CONDENSADOR EVAPORATIVO



# CONDENSADOR EVAPORATIVO





# CONDENSADOR EVAPORATIVO



# CONDENSADOR EVAPORATIVO



# CONDENSADOR EVAPORATIVO



# **14º SBA – A USINA DA SUPERAÇÃO**

**VISÃO ATUALIZADA SOBRE A PRODUÇÃO DE VAPOR  
EM USINAS E DESTILARIAS**

***OBRIGADO !!!***

**ERICSON MARINO**

**30/10/2013**