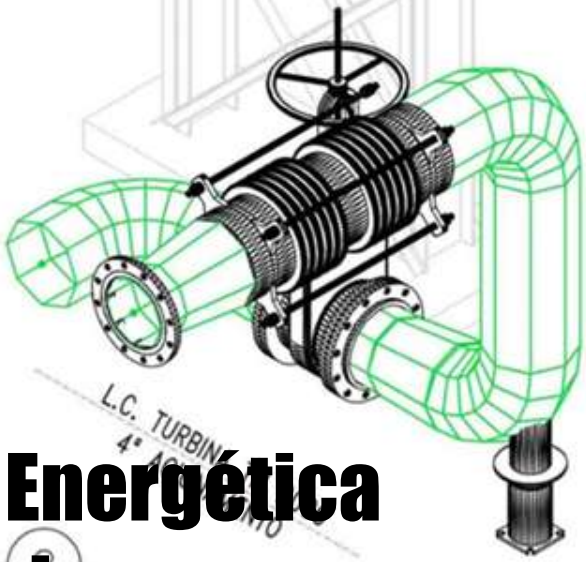


MCE Engenharia e Sistemas
campanari@mceprojetos.com.br

CEISE Br
Centro Nacional das Indústrias do Setor Sucroenergético e Biocombustíveis

UNICA
UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR



Eficiência e Otimização Energética em Plantas Industrias e Centrais Termelétricas

José Campanari Neto
MCE Engenharia e Sistemas
campanari@mceprojetos.com.br

DESEN
LIBERADO
EXECU

ESPECIFICAÇÃO PARA SOLDAGEM				

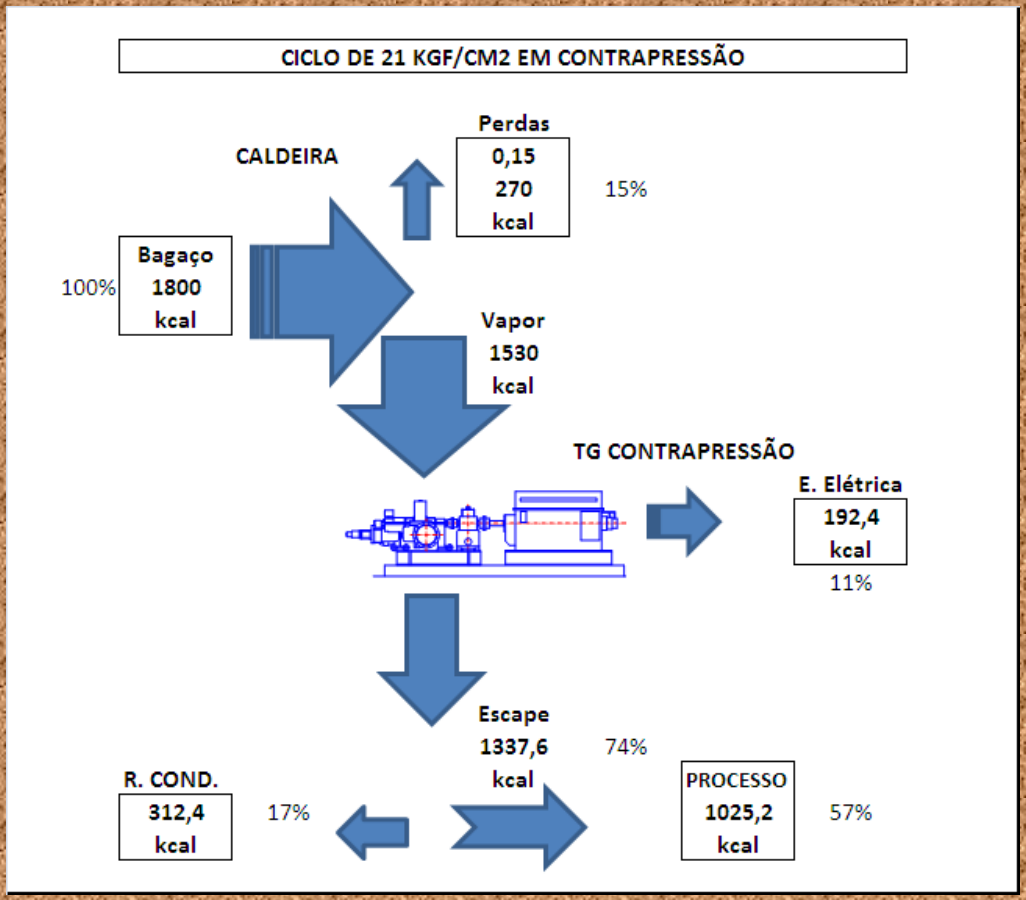
Tópicos

- Principais Rotas para Otimizar a Produção de Energia Elétrica.
- Plantas Existentes
- Plantas Novas.
- Utilização da palha da cana;

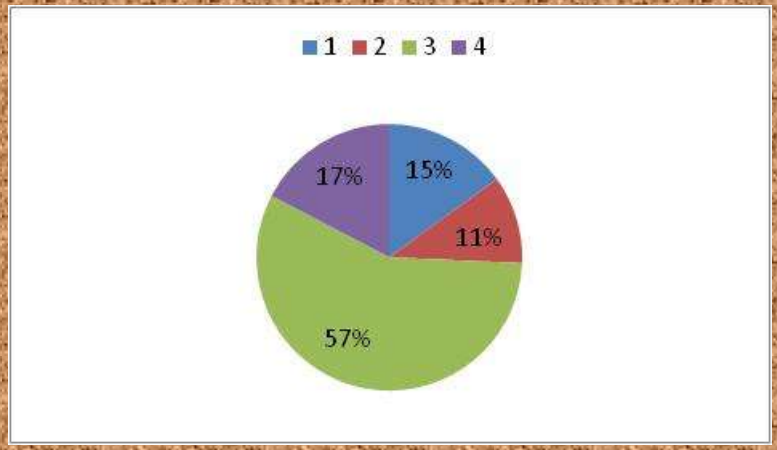
Rotas para Otimizar a Geração de Energia Elétrica

- **Redução do Consumo específico de vapor pelo processo;**
- **Maior eletrificação dos acionamentos mecânicos, substituindo turbinas simples estágio por motores elétricos;**
- **Otimização e / ou substituição de caldeiras;**
- **Manutenção periódica do isolamento térmico das tubulações e equipamentos;**
- **Sistemas de drenagem e recuperação de condensados;**
- **Aplicação de trocadores de calor regenerativos;**
- **Avaliação da seleção de acionamentos: Bombas; Ventiladores, Moinhos;**
- **Avaliação do balanço hídrico e aplicação de sistemas de reutilização da água;**

Redução do Consumo de Vapor Pelo Processo



1	Perdas da Cald.	15%
2	E. Elétrica	11%
3	Processo	57%
4	Condensados	17%



Plantas Novas

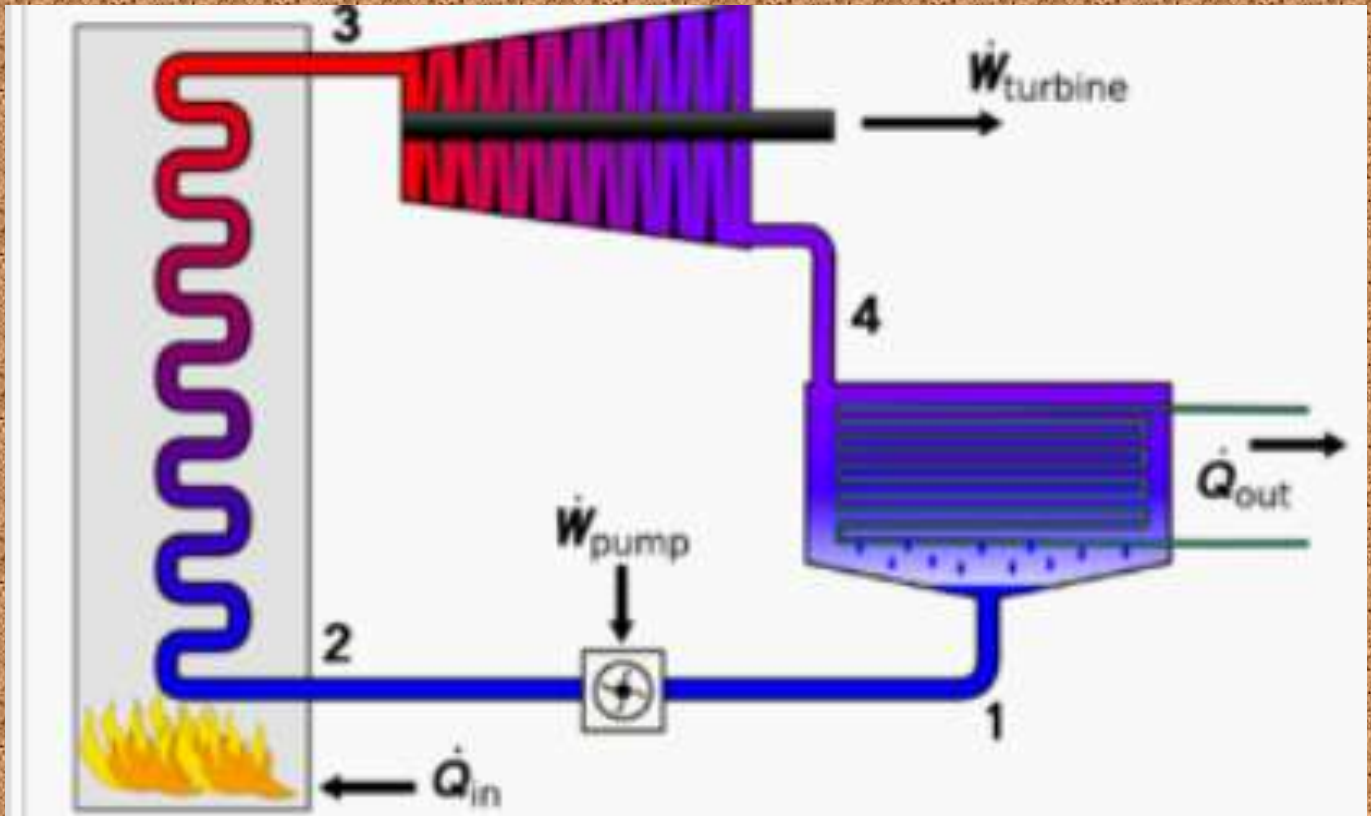
Seleção Simultânea da Caldeira e Turbo Gerador

Quando da seleção de um ciclo térmico com a aplicação de trocadores regenerativos, torna-se imperativo que a caldeira e o conjunto turbo gerador sejam selecionados simultaneamente, pois ao fatores: ***1-Temperatura da água de alimentação; 2-Sangrias de vapor da turbina***;

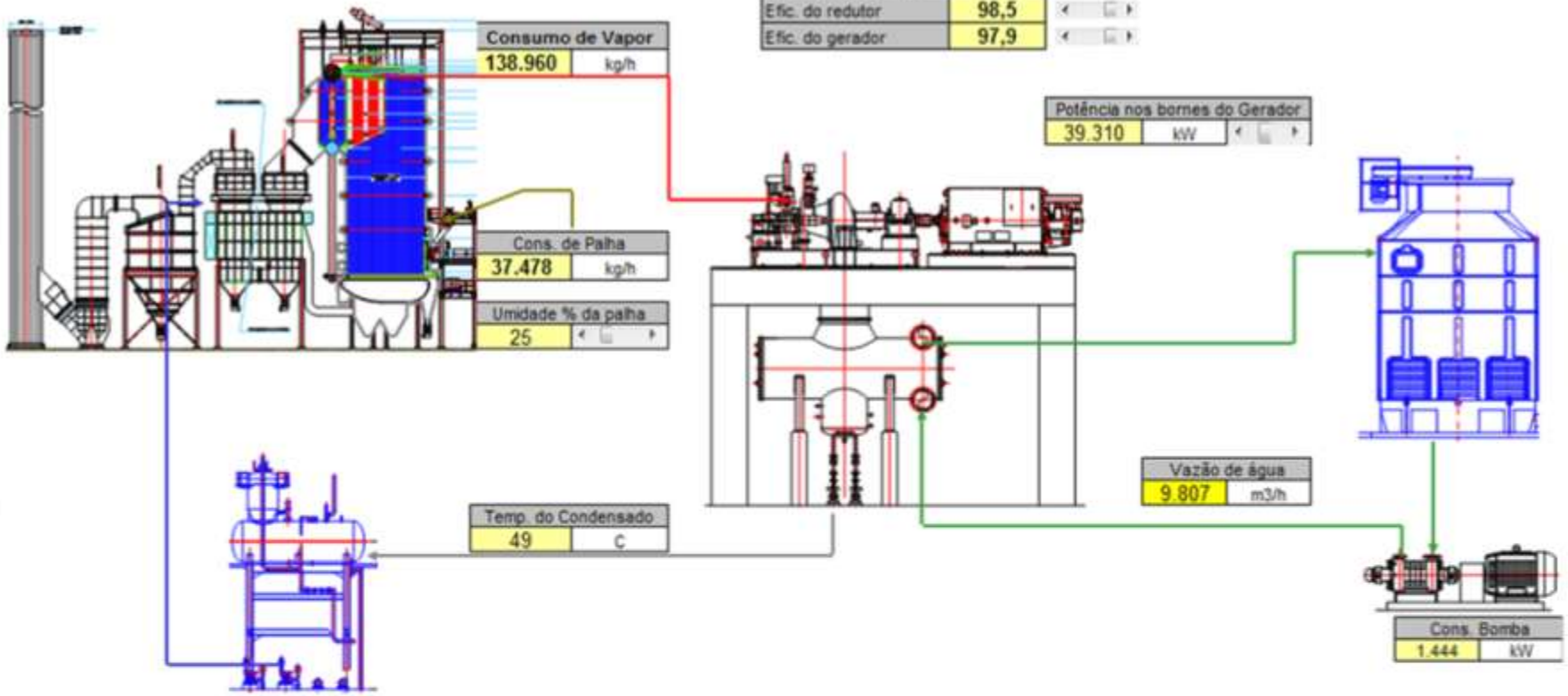
Irão interferir no dimensionamento e seleção dos dois equipamentos.

Plantas Existentes

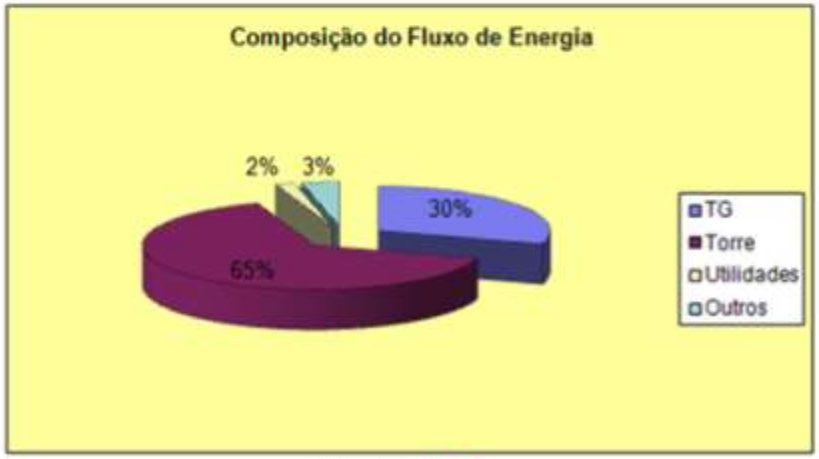
Ciclo Rankine convencional



Apresentação física dos quatro processos termodinâmicos usados no ciclo Rankine



Pressão de Admissão do vapor	kgf/cm2 G	65
Temperatura do vapor	C	530
Pressão absoluta de condensação	kgf/cm2 a	0,12
Temp. da água de alim.da caldeira	C	110
Eficiência térmica da caldeira	%	88,88
Consumo de palha a 25 % de umidade	kg_{vapor} / kg_{palha}	3,7078
Eficiência do conj. Turbo Redutor Gerador	%	83,41
Salto entalpico teórico	kcal/kg	297,61
Consumo de água para o condensador	m3/h.kW	0,25
Potência Bruta	kW/ t_{vapor}	282,89
Consumo especifico da Turbina	kgvapor / kW	3,53
Eficiência térmica (bruta) do ciclo	%	29,92
Kg_{palha} / kW		0,95
Consumo de energia para o Desaerador	kcal / kW	214,07
Potencia consumida em bombeamentos	kW /kW_{gerado}	3,19
Eficiência liquida do ciclo	%	29,56



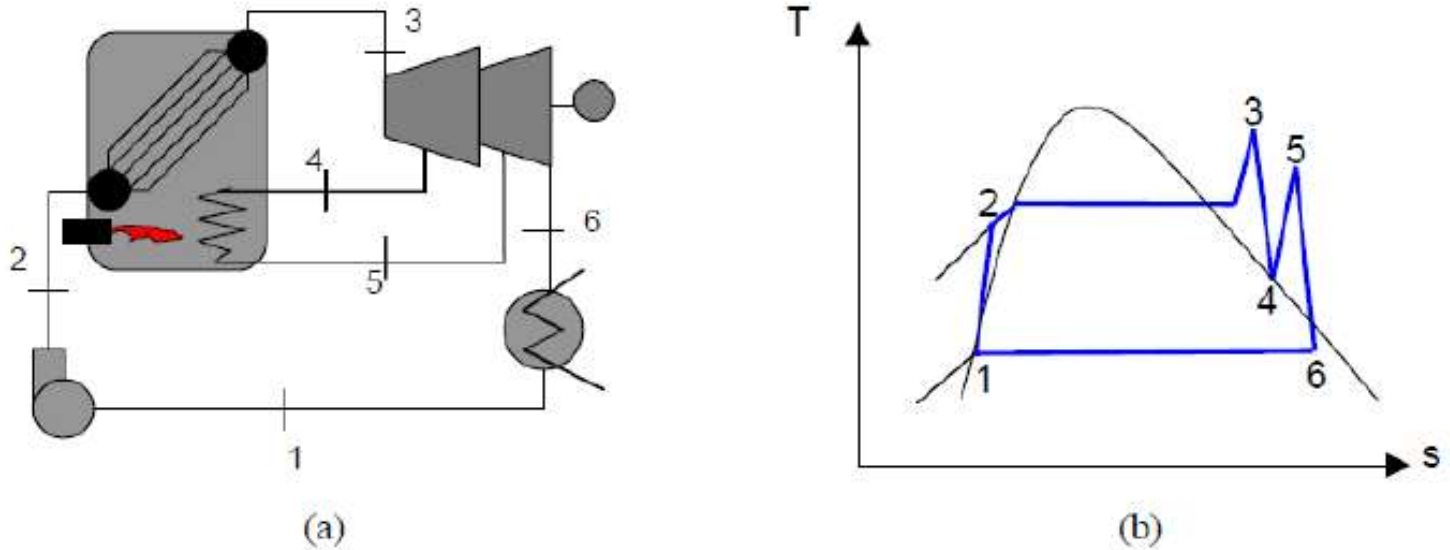
MCE Engenharia e Sistemas

Alternativas para aumentar a eficiência do Ciclo Rankine

- Aumentar a pressão do vapor direto;
- Reduzir a contrapressão da turbina;
- Aumentar a Temperatura do vapor direto;
- Utilizar Ciclo Térmico com Reaquecimento do Vapor;
- Utilizar Ciclo Regenerativo

Ciclo Térmico com Reaquecimento do Vapor

- Ciclo com reaquecimento: neste o vapor expande até uma pressão intermediária na turbina, e é então reaquecido na caldeira e retorna à seção de média pressão da turbina a vapor. Com isso, o rendimento aumenta devido ao emprego de temperaturas mais elevadas na entrada do segundo estágio da turbina, bem como se evita a umidade excessiva do vapor nos estágios de baixa pressão.

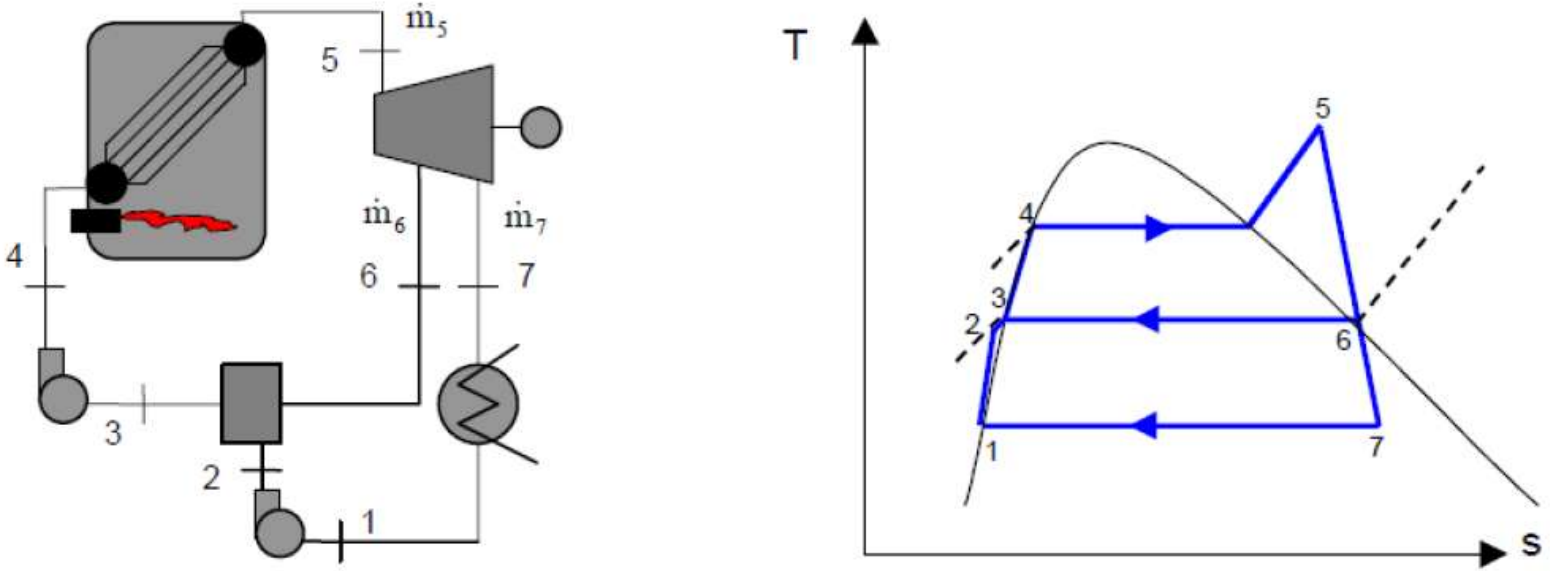


(a) (b)

Figura 3.7 - Ciclo a vapor com reaquecimento (a) esquema; (b) diagrama T-s

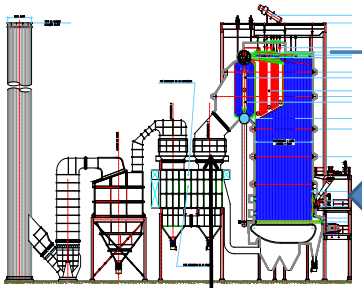
Ciclo Rankine com Regenerativo

- Emprego de regeneradores (ciclo regenerativo): neste, o vapor entra na turbina no estado 5. Após a expansão até o estado 6, parte do vapor é extraído e entra no aquecedor da água de alimentação. O vapor não extraído expande-se na turbina até o estado 7 e é então levado ao condensador. Esse condensado é bombeado para o aquecedor da água de alimentação, onde se mistura com o vapor extraído da turbina e sai como liquido saturado no estado 3. O aumento de rendimento é devido ao aumento da temperatura média na qual o calor é fornecido.



(a) (b)

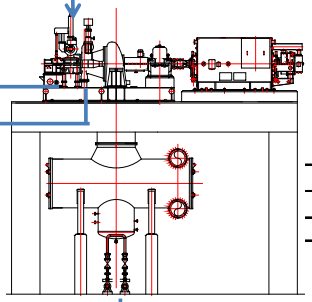
Figura 3.8 - Ciclo a vapor regenerativo (a) esquema; (b) diagrama T-s



Vapo vivo	
96.625	kg/h
100	kgf/cm²a
530	°C

Eficiências	
Gerador	0,96
Redutor	0,975
Condensação	0,828
1a Extr	0,468
2a Extr	0,71

Consumo de Bagaço	
39.214	kg/h
50	%



Potência Liquida	
21.846	kW

2ª Extr P	
2,5	kgf/cm²a

Vácuo	
0,12	kgf/cm²a
49,4	°C

120

Temp. Água de Alim.	
200	°C

1ª Extr P	
21,5	kgf/cm²a

1ª extração		
11.212	kg/h
215,3	°C

2ª extração	
9.870	kg/h
125,7	°C

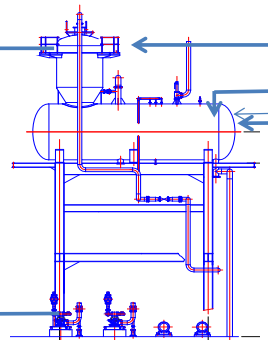
Condensado	
75.000	kg/h

Vapor p Desaerador	
4.041	kg/h

Condens da 2ª Extraçao	
5.829	kg/h

Make up	
	kg/h
15	ºC

Temp Cond após Reg	
90	°C



Água desaerada	
100.000	kg/h
125	ºC

Vazão Total Necessária de Vapor 96.081 kg/h

$kg_{vapor}/kg_{bagaço}$	2,4641

$kW/Kg_{bagaço}$	0,5571

Parâmetros Importantes para comparação da eficiência entre os diferentes arranjos para o Ciclo Rankine

Heat Rate

Consumo específico de calor (Heat Rate)

Este parâmetro é calculado pela razão entre a quantidade de energia fornecida ao sistema pela potência líquida que dele resulta e é expresso por:

$$HR = \frac{3600.Mcomb.PCi}{Wliq} \quad [\frac{kJ}{kWh}]$$

Onde:

HR.....Heat Rate;

M_{comb}.....Consumo de combustível pela caldeira [kg/h];

PCi.....Poder Calorífico inferior do combustível [kJ/kg];

W_{liq}.....Potência líquida produzida pelo ciclo [KWh]

Steam Rate

Consumo específico de Vapor (Steam Rate)

Este parâmetro corresponde à razão entre a vazão de vapor produzido pela potência líquida gerada pelo sistema:

$$SR = \frac{Mv}{Wliq} \qquad [\frac{kg}{kWh}]$$

Onde:

SR.....Steam Rate;

M_v.....Vapor produzido pela caldeira [kg/h];

W_{liq}.....Potência líquida produzida pelo ciclo [KWh]

Fuel Rate

Consumo específico de Combustível (Fuel Rate)

Este parâmetro corresponde à razão entre a vazão de combustível consumido e a potência líquida gerada pelo sistema:

$$FR = \frac{Mcomb}{Wliq} \quad [\frac{kg}{kWh}]$$

Onde:

FR.....Fuel Rate;

M_{comb}.....Consumo de combustível pela caldeira [kg/h];

W_{liq}.....Potência líquida produzida pelo ciclo [KWh]

Aspectos Relacionados com a Caldeira em Ciclos Regenerativos

Equação básica utilizada para caldeiras

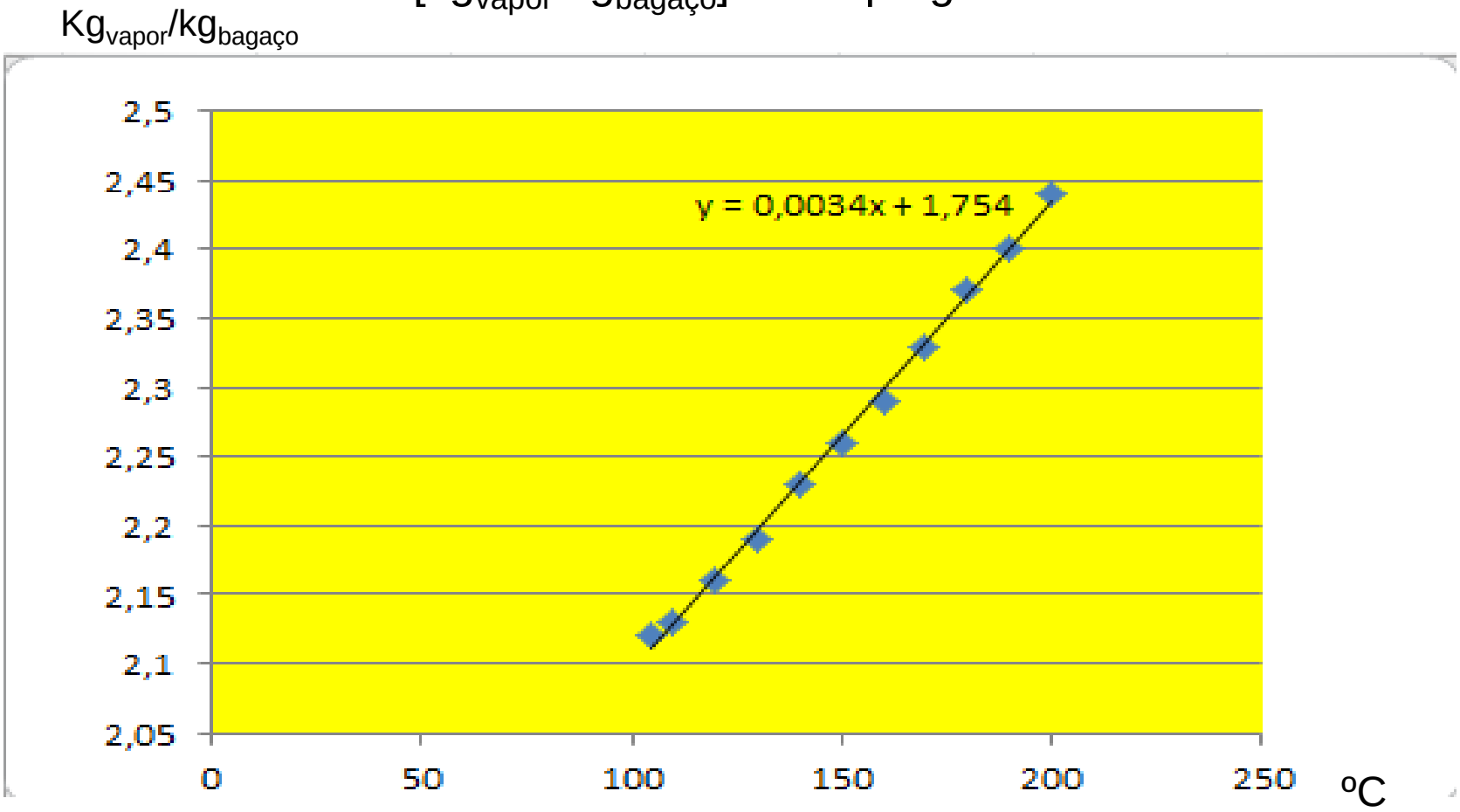
$$Q_{bagaço} * PC_i * \eta_{cald} = Q_{vapor} * (h_v - t_a)$$

$$Q_{vapor} = (PCi * \eta_{cald}) / (h_v - t_a) \quad [kg_{vapor}/kg_{bagaço}]$$

$Q_{bagaço}$ .....Consumo de bagaço pela caldeira;
Pc_i .....Poder calorífico do bagaço;
η_{cald} .....Efiência da Caldeira;
Q_{vapor}.....Produção de Vapor;
h_v.....Entalpia do vapor na saída da caldeira;
t_a .....Temperatura da água de alimentação da caldeira

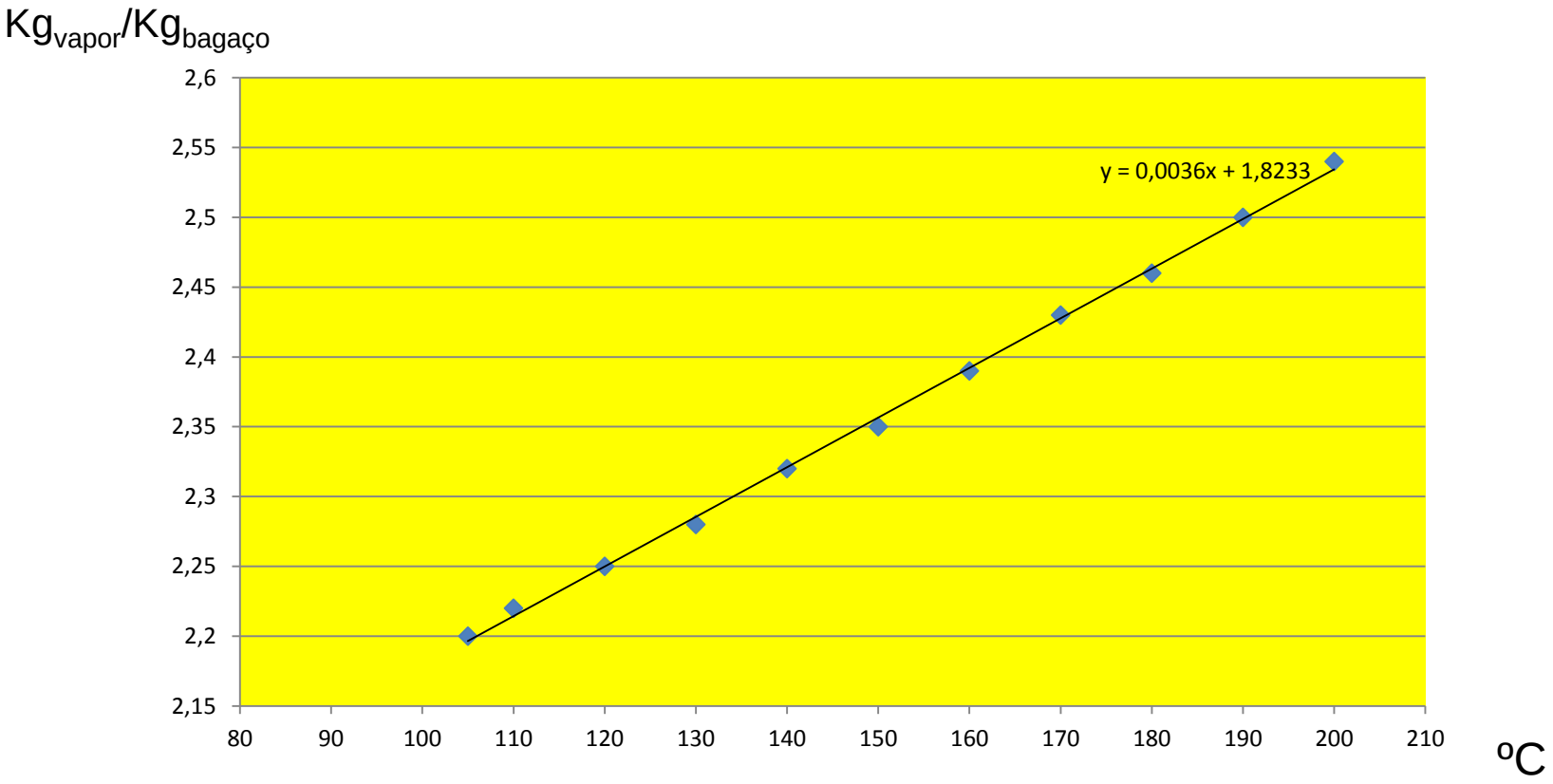
Produção Específica de Vapor para caldeiras, 67 kgf/cm^2, 520 ºC, convencionais

[$kg_{vapor}/kg_{bagaço}$] x Temp água



η da caldeira 84,5 %

Produção Específica de Vapor para caldeiras, 67 kgf/cm^2, 520 ºC, convencionais [$kg_{vapor}/kg_{bagaço}$] x Temp água

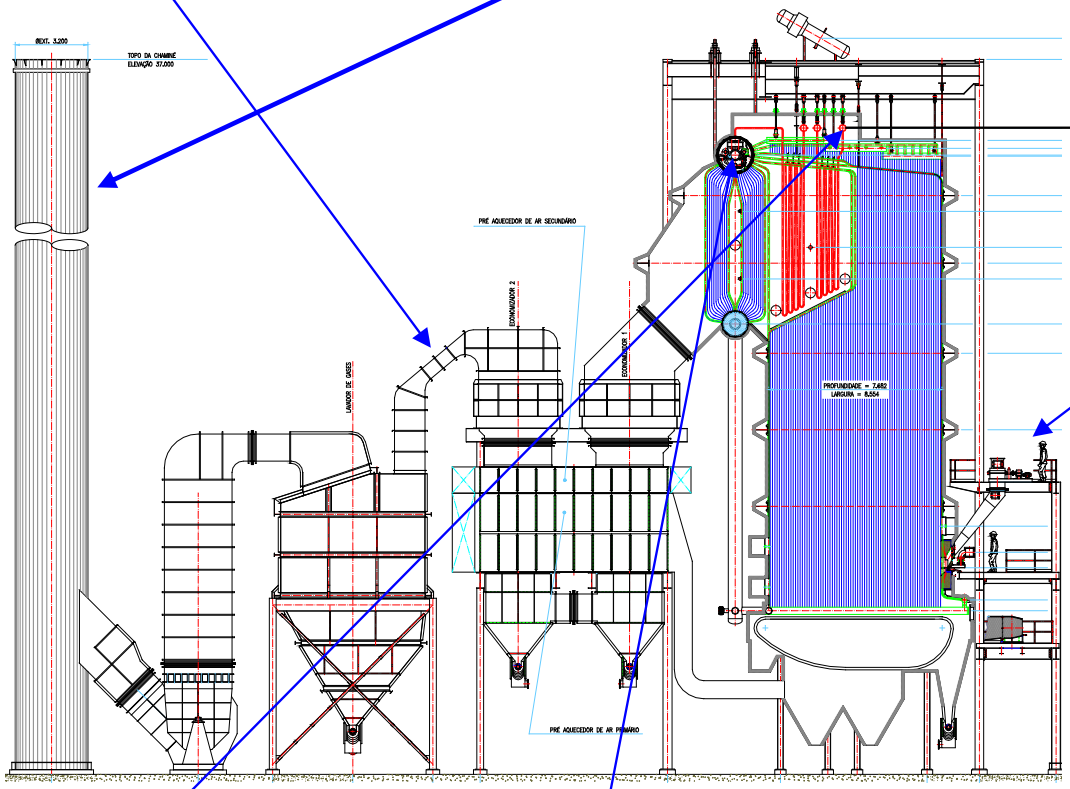


η da caldeira 87,5 %

PRESSÃO DE OPERAÇÃO	65	kgf/cm2
TEMPERATURA DO VAPOR	520	ºC
NUMERO DE PAREDES DE ÁGUA	4	
TEMPERATURA CONSIDERADA PARA O AR AMBIENTE	30	ºC

CO2
14,7

Tem. do gás
170



Temp. do vapor
520

bagaço
50

Eficiencia ao Pci	
85,51	%

Pressão do vapor
65

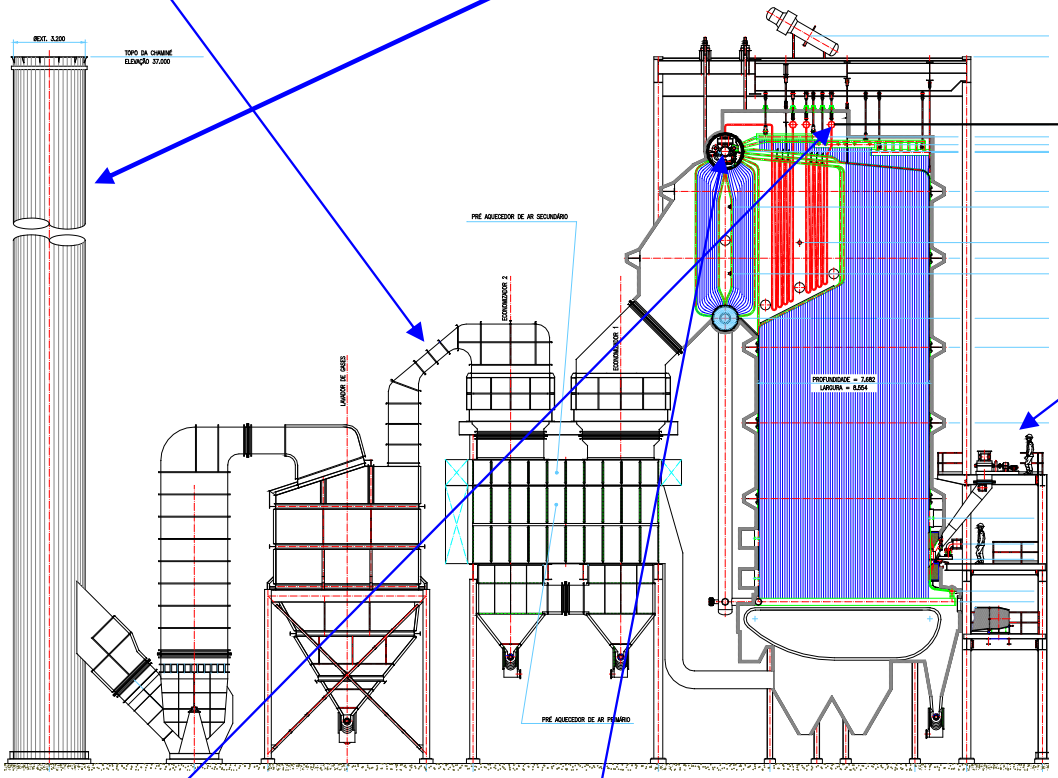
Temp. água alim.
105

PRODUÇÃO DE VAPOR	200	t/h
CONSUMO DE BAGAÇO	93.666	kg/h
EXCESSO DE AR	35,47	%
CONSUMO ESPECÍFICO DE BAGAÇO	2,14	kg_v/kg_b

PRESSÃO DE OPERAÇÃO	65	kgf/cm2
TEMPERATURA DO VAPOR	520	ºC
NUMERO DE PAREDES DE ÁGUA	4	
TEMPERATURA CONSIDERADA PARA O AR AMBIENTE	30	ºC

CO2: 14,7

Tem. do gás: 170



Temp. do vapor: 520

bagaço: 50

Eficiencia ao Pci: 85,52 %

Pressão do vapor: 65

Temp. água alim.: 180

PRODUÇÃO DE VAPOR	223	t/h
CONSUMO DE BAGAÇO	93.569	kg/h
EXCESSO DE AR	35,47	%
CONSUMO ESPECÍFICO DE BAGAÇO	2,38	kg_v/kg_b

		CONVENCIONAL	COM CICLO REG.
PRESSÃO DO VAPOR	(kgf/cm²)	67,00	67,00
TEMPERATURA	(°C)	520	520
CAPACIDADE NOMINAL	(kgv/h)	200.000	200.000
CAPACIDADE REAL	(kgv/h)	200.000	200.000
NÚMERO PAREDES D'AGUA.....		4	4
BAGAÇO			
UMIDADE % BAGAÇO	(%)	50,00	50,00
POL % BAGAÇO	(%)	1,75	1,75
PCs	(kcal/kg)	2.277	2.277
PCi	(kcal/kg)	1.802	1.802
GASES			
% CO2	(%)	14,70	14,70
% CO	(%)	0,01	0,01
% O2	(%)	5,00	5,00
% N2	(%)	80,29	80,29
TEMPERATURA GÁS	(°C)	180	180
RESULTADOS			
PCS	(kcal/kgb)	2.277	2.277
PESO GAS SECO	(kg/kgb)	4,02	4,02
PESO AR SECO REAL	(kg/kgb)	3,84	3,84
PESO AR TEÓRICO	(kg/kgb)	2,82	2,82
EXCESSO DE AR	(%)	**36,32**	**36,32**
ENERGIA SAÍDA CALDEIRA.....	(MBTU/h)	655,90	655,90

PERDAS

PERDA GASES SECOS	(kcal/kg)	147,45	147,45
PERDA NÃO QUEIMADOS	(kcal/kg)	56,93	56,93
PERDA UMIDADE BAGAÇO	(kcal/kg)	325,83	325,83
PERDA ÁGUA FORMADA	(kcal/kg)	186,34	186,34
PERDA UMIDADE AR	(kcal/kg)	3,48	3,48
PERDA CO	(kcal/kg)	0,89	0,89
PERDA RADIAÇÃO	(kcal/kg)	5,85	5,85
PERDA INDETERMINADA	(kcal/kg)	22,77	22,77
EFICIÊNCIA	(% PC_S)	67,09	67,09
EFICIÊNCIA	**(% PC_i)**	**84,77**	**84,77**
TEMP. DA ÁGUA DE ALIM	(C)	105	180
CONSUMO DE BAGAÇO	(kg/h)	94.454	84.635

SELEÇÃO DO IDF E FDF

VENTILADOR DE AR PRIMÁRIO (FDF)

TEMP. AMBIENTE	(^oC)	30	30
ALTITUDE LOCAL	(m)	500	500
PRESSÃO BAROMÉTRICA	(mmHg)	716,04	716,04
VAZÃO EM MASSA	(kg/h)	363.103	325.357
VAZÃO VOLUMÉTRICA	(m^3/h)	330.816	296.427

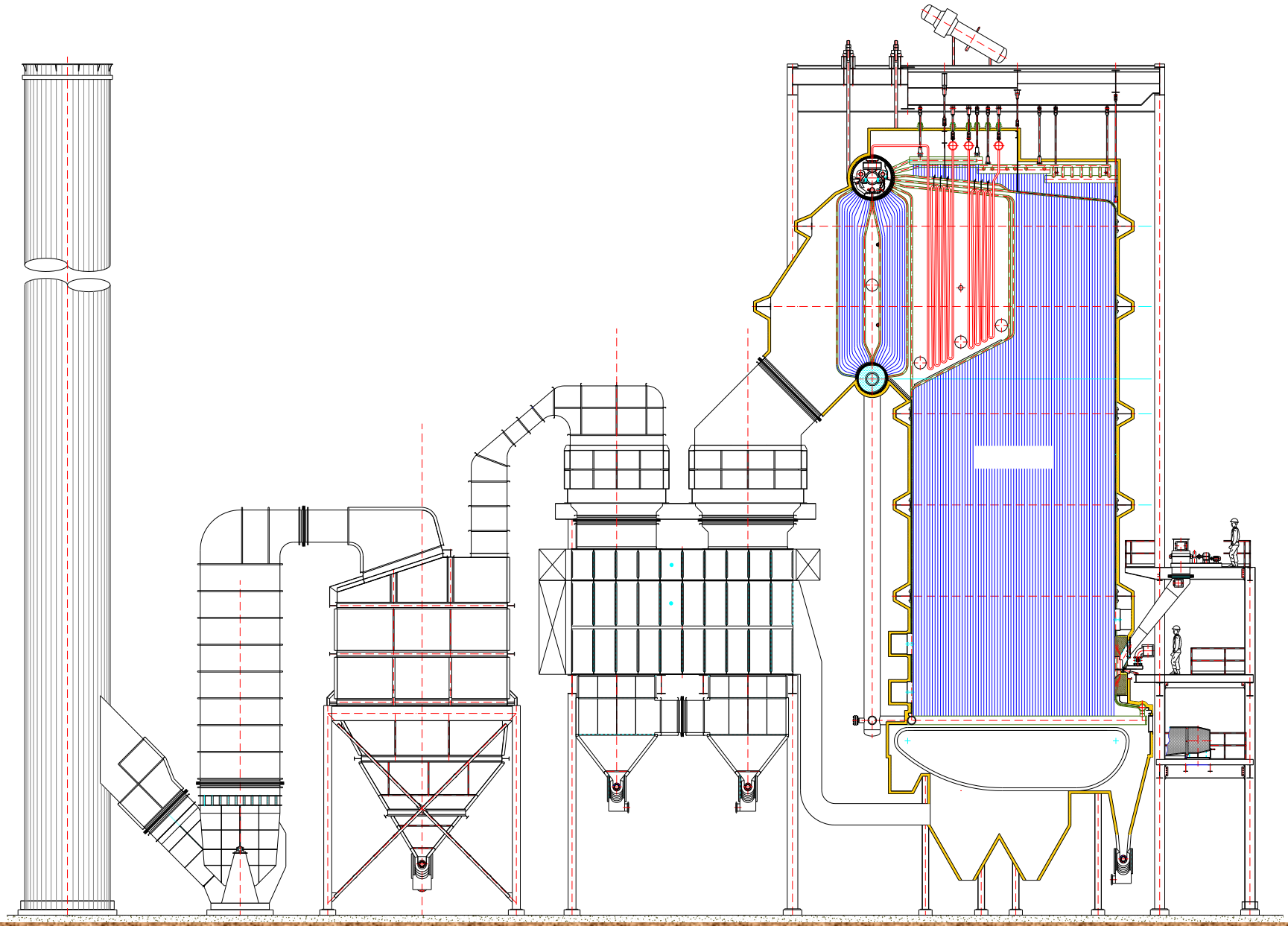
EXAUSTOR (IDF)

TEMPERATURA DOS GASES.....	(^oC)	180	180
VAZÃO EM MASSA.....	(kg/h)	457.556	409.993
VAZÃO VOLUMÉTRICA.....	(m^3/h)	657.713	589.343

DADOS PARA SELEÇÃO:

OVER FIRE	kg/h	83.514	74.832
FDF	kg/h	334.054	299.329
IDF	kg/h	526.190	471.492

Partes de uma Caldeira que sofrem modificações quando aplicamos o ciclo regenerativo



Partes da Caldeira a serem modificadas quando aplicamos o ciclo regenerativo em caldeira convencional

- Internos do balão de vapor
- Superaquecedor
- Pre-Ar
- Economizador

Partes da Caldeira que não serão modificadas quando aplicamos o ciclo regenerativo em caldeira convencional

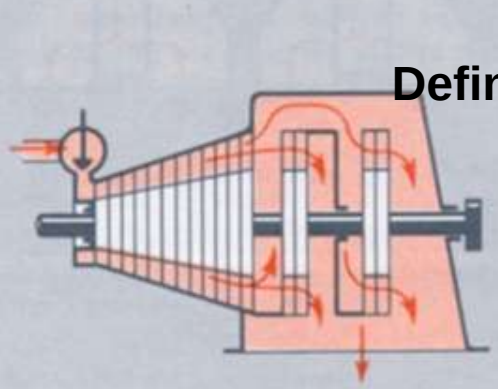
- grelha
- fornalha
- Feixe tubular
- Elétrica e instrumentação;
- Exaustores e Ventiladores;
- Sistemas de purificação dos gases;
- Sistema de alimentação de combustíveis;

Partes da Turbina convencional a serem modificadas

- Verificar a capacidade do corpo de válvulas de admissão para suportar a vazão adicional de vapor;
- Necessidade de implantação de bocais de sangrias nas carcaças, identificando a melhor posição entre os estágio do rotor;
- Verificar a capacidade do redutor e gerador,(sobre potência)
- Avaliar a eficiência termodinâmica para a nova situação;
- Verificação da disponibilidade de espaço físico para as modificações;

Partes do Turbo Gerador a Serem modificados

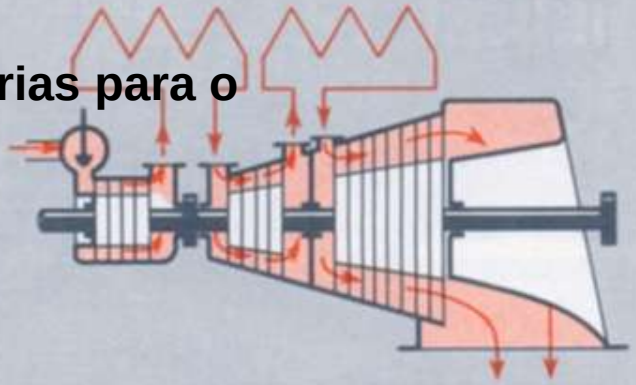
Definição das sangrias necessárias para o ciclo regenerativo



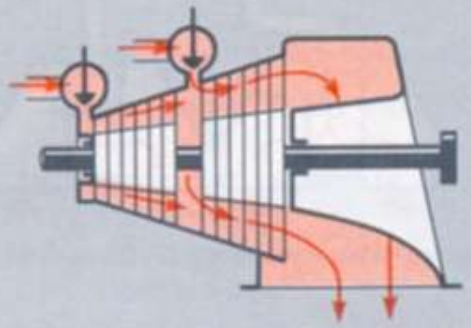
Double-flow-exhaust



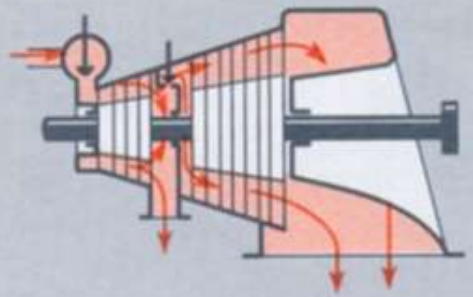
Single-reheat



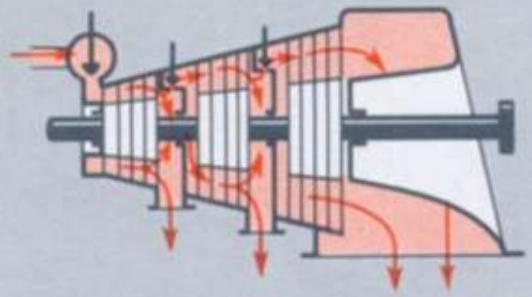
Double-reheat



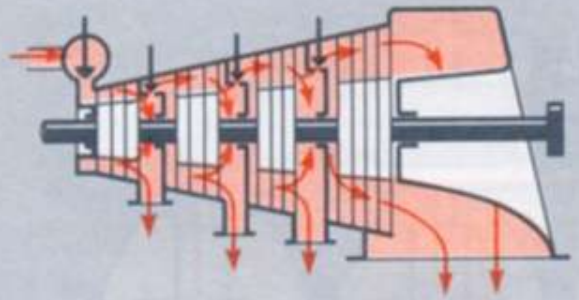
Mixed-pressure



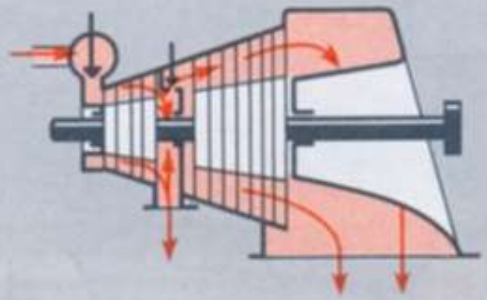
Single-automatic-extraction



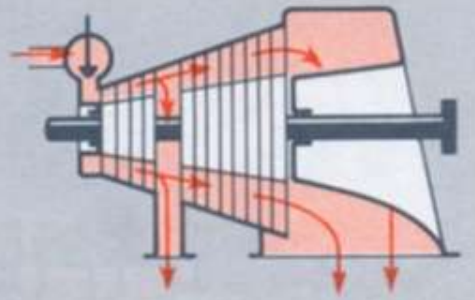
Double-automatic-extraction



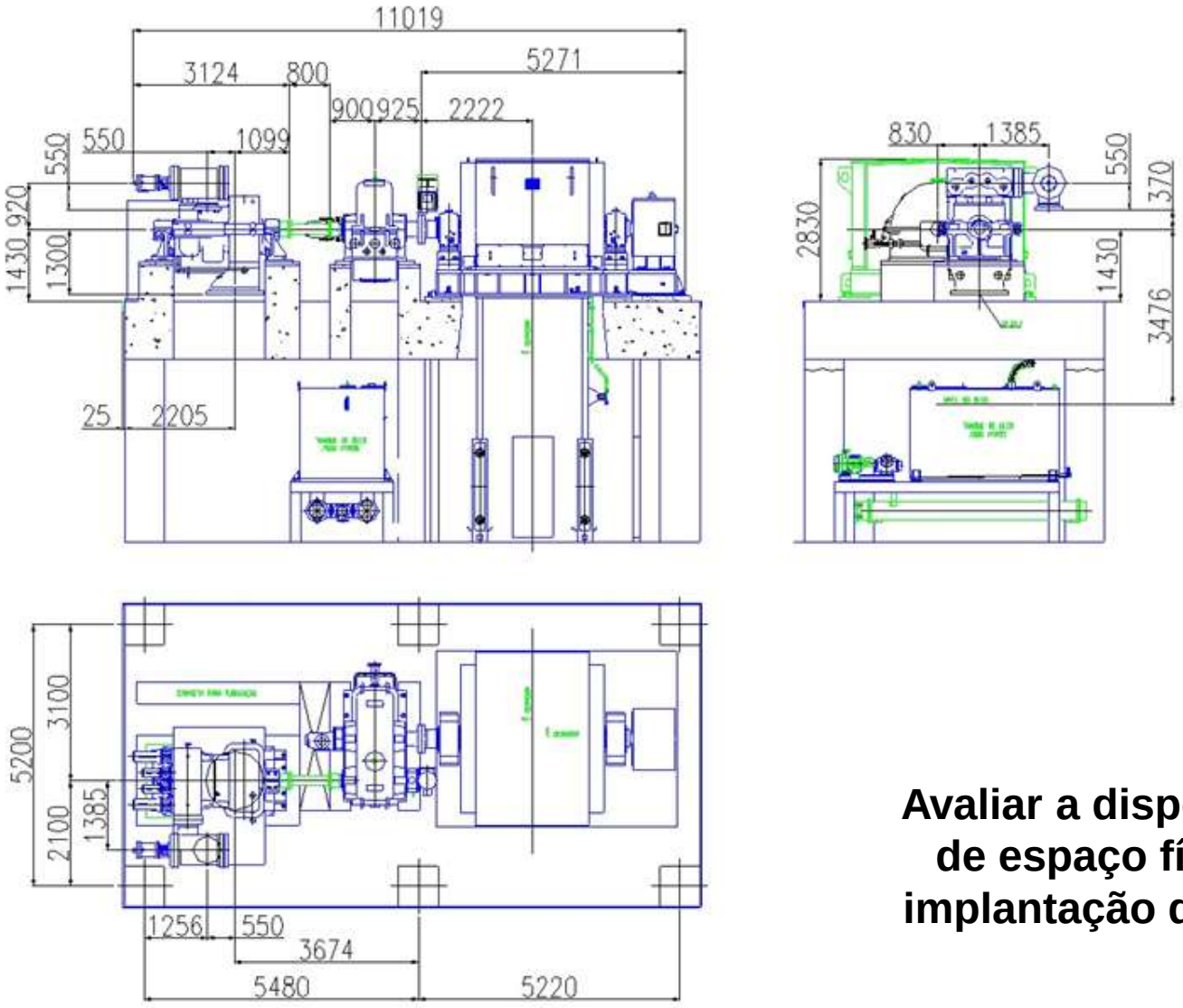
Triple-automatic-



Single-automatic-extraction mixed-pressure

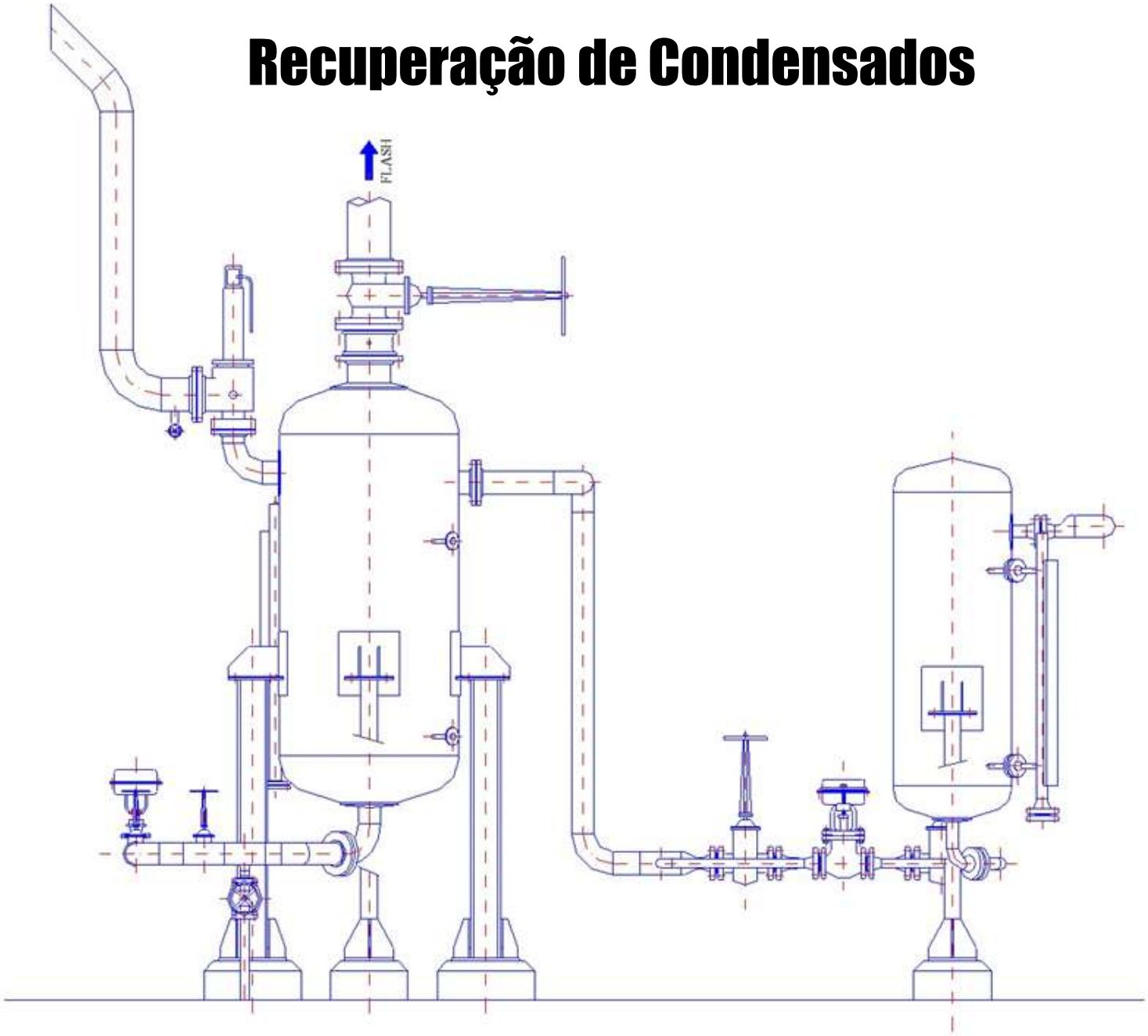


Single-nonautomatic-extraction



Avaliar a disponibilidade de espaço físico para implantação de sangrias

Recuperação de Condensados

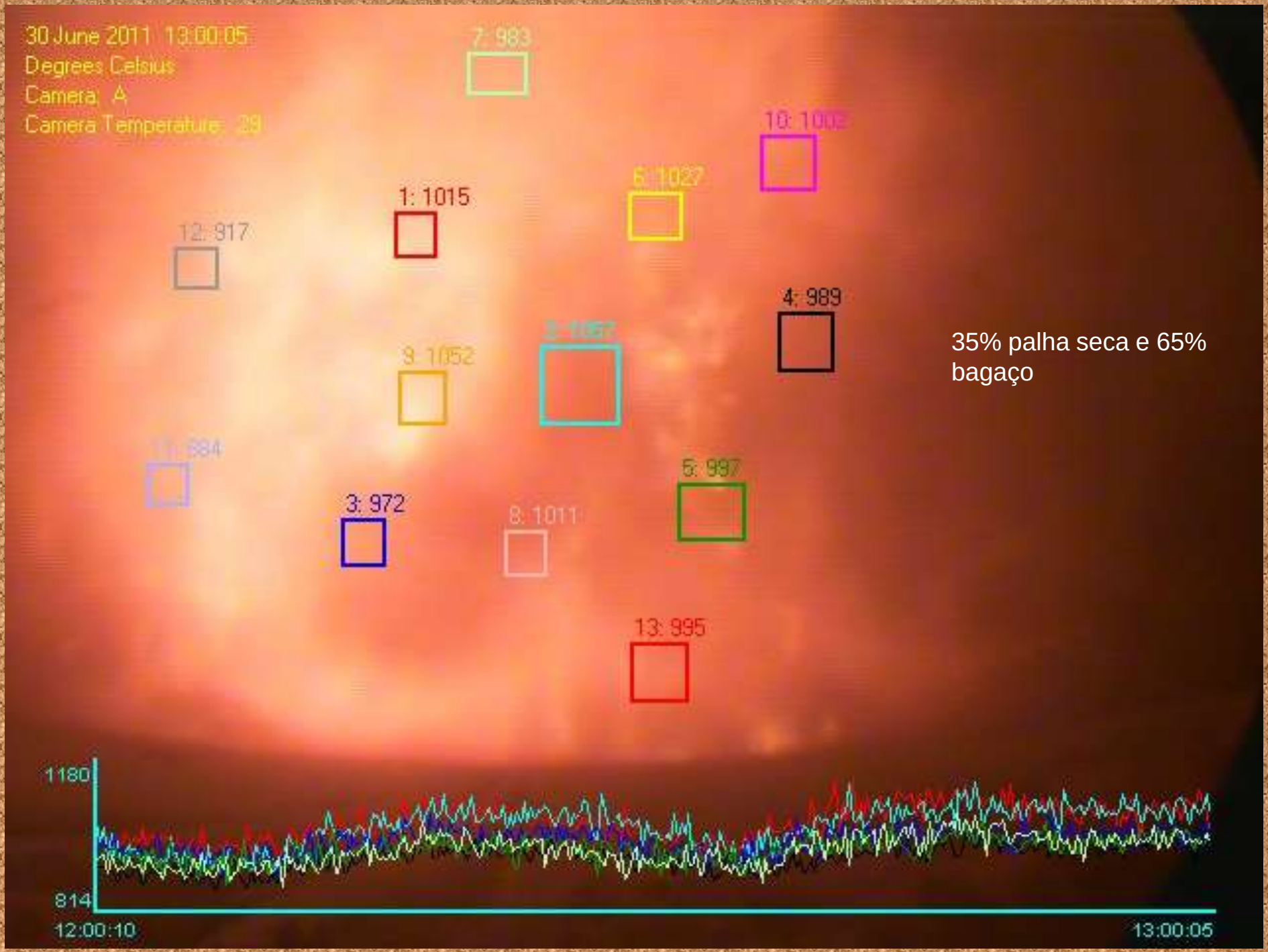



Queima de mistura bagaço / Palha

Lado Positivo da Utilização da Palha

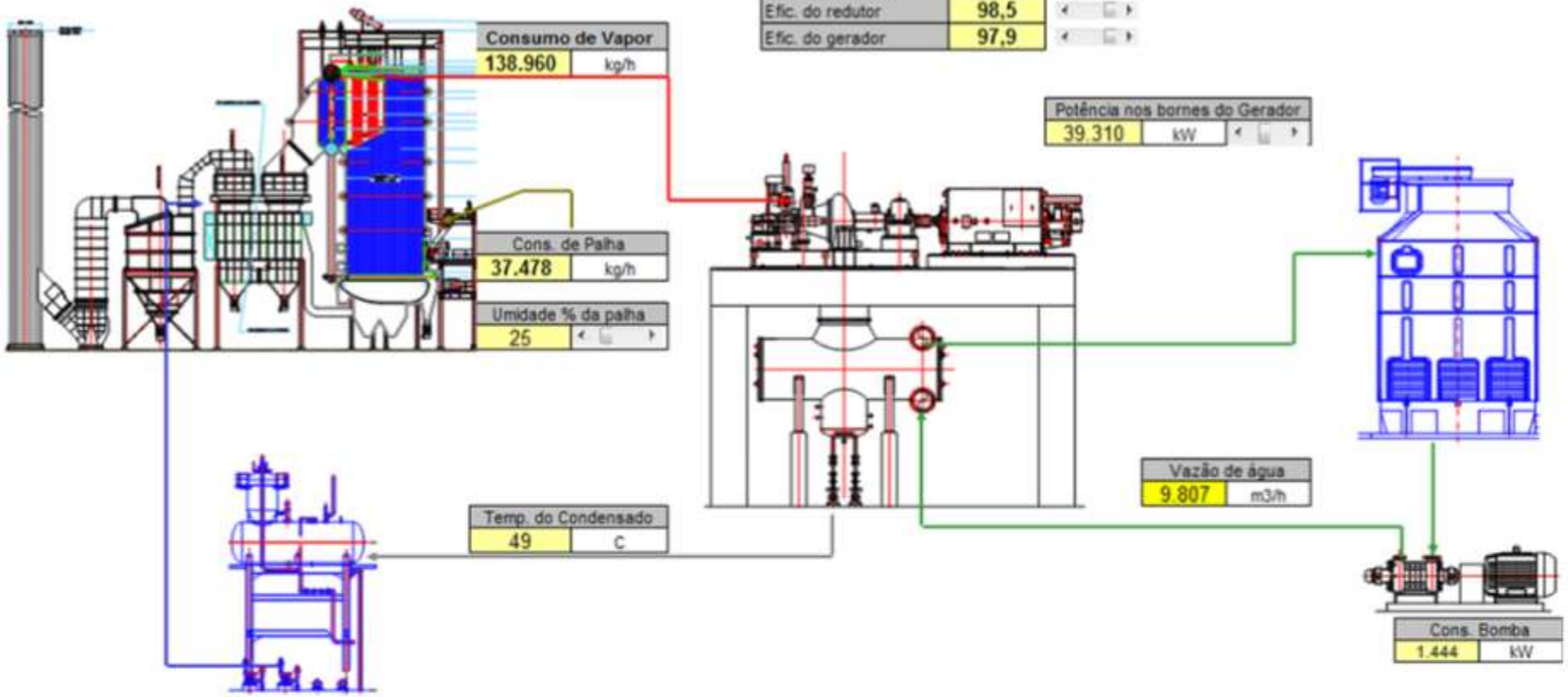
- Aumento substancial na capacidade de geração de energia elétrica da unidade;
- É uma biomassa gerada naturalmente no processo e está sob o controle da unidade;
- Aumenta a produção de energia limpa;
- A palha seca melhora a combustão;

ITEM	UNID.	BAGAÇO	PALHA	MISTURA	% mistura
				PALHA%	**35**
				BAGAÇO%	**65**
CARBONO	% PESO	23,9	42,5	30,41	
HIDROGENIO	% PESO	3,3	5,9	4,21	
OXIGENIO	% PESO	21,9	39,4	28,03	
NITROGENIO	% PESO	0	0	0,00	
CINZAS	% PESO	0,9	2,2	1,36	
UMIDADE	% PESO	**50**	**10**	**36,00**	
TOTAL		100,00	100,00	100,00	
PCI	**Kcal/kg**	**1.794**	**3.564**	**2.414**	
PCS	**Kcal/kg**	**2.262**	**3.936**	**2.848**	

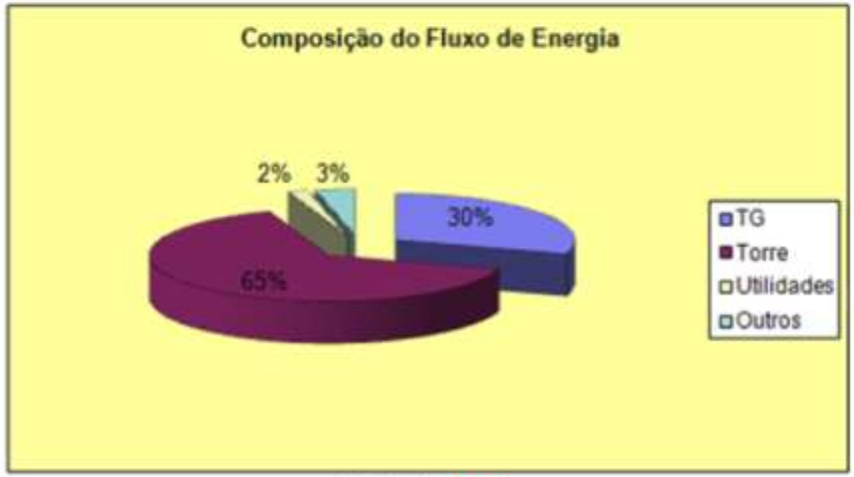


35% palha seca e 65% bagaço

Efic.term. da turbina	86,5
Efic. do redutor	98,5
Efic. do gerador	97,9



Pressão de Admissão do vapor	kgf/cm2 G	65
Temperatura do vapor	C	530
Pressão absoluta de condensação	kgf/cm2 a	0,12
Temp. da água de alim.da caldeira	C	110
Eficiência térmica da caldeira	%	88,88
Consumo de palha a 25 % de umidade	kg_{vapor} / kg_{palha}	3,7078
Eficiência do conj. Turbo Redutor Gerador	%	83,41
Salto entalpico teórico	kcal/kg	297,61
Consumo de água para o condensador	m3/h.kW	0,25
Potência Bruta	kW/ t_{vapor}	282,89
Consumo especifico da Turbina	kgvapor / kW	3,53
Eficiência térmica (bruta) do ciclo	%	29,92
Kg_{palha} / kW		0,95
Consumo de energia para o Desaerador	kcal / kW	214,07
Potencia consumida em bombeamentos	kW /kW_{gerado}	3,19
Eficiência liquida do ciclo	%	29,56



MCE Engenharia e Sistemas

Referência sobre o potencial de Geração de E. El. Considerando o adicional da Palha

- Produção de cana por hectare considerado.....90,0 TC
- Produção de E. El. para exportação.....0,10 MW/TC
- Produção de palha por hectare considerado.....18,0 T/Hec
- Coleta de palha considerada (1/3).....6,0 T/Hec
- E. El exportada na cogeração com bagaço.....9,0 MW/Hec
- Adicional de geração com 33% da palha.....6,31 MW/Hec
- Preço da Energia considerado.....170,00 R$/MWh
- Faturamento bruto com a energia elétrica.....2.603,27 R$/Hec
- Preço aproximado para o fardo posto Usina.....90,00 R$/T
- Faturamento Bruto com a palha.....540,00 R$/Hec
- Adiconal de Energ. Eletr.proporcionado pela palha....1.072,70 R$/Hec

Cuidados para Caldeiras Convencionais queimando mistura de bagaço com palha.

Pelo surgimento de elementos indesejados no bagaço, tais como S e Cl, bem como pela quantidade crescente de impurezas inorgânicas, não recomendamos especificar caldeiras novas com eficiência térmica acima de 84,5% ao PCi.

Na verdade estamos limitando a temperatura na saída dos gases da caldeira em 180 ºC, de modo a reduzir o efeito corrosivo da condensação dos gases.

Isso passa a ser importante no balanço de massa e energia, pois aumenta o consumo de bagaço pelas caldeiras.



OBRIGADO

José Campanari Neto
Diretor
MCE Engenharia e Sistemas
campanari@mceprojetos.com.br
Cel. 019 98178 1553