

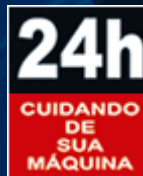


Engenharia Operacional

A oportunidade de produzir consumir energia com:

- **Maior Eficiência Energética**
- **Menor Impacto Ambiental**
- **Menor Risco e Maior Disponibilidade**

■ **Leonardo Buranello / Flávio Natal**





 **EFICIÊNCIA**

ENERGÉTICA

Ganhos Relacionados às Variáveis e Qualidade do Vapor:

O rendimento da turbina é dependente das variáveis de vapor, e o máximo rendimento só ocorre na condição nominal de projeto.

- **Temperaturas e pressões abaixo das nominais** ocasionam perda de rendimento térmico da turbina e perda de vazão máxima, e com isso aumento do consumo específico de vapor, em alguns casos limitando a potência máxima.
- **Temperaturas e pressões acima da nominal** para buscar aumento da eficiência devem respeitar limites conforme Especificação IEC 45 do projeto da turbina em questão.

Vapor de escape:

A **temperatura do vapor de escape** da turbina é resultado da pressão de escape e da eficiência térmica da máquina. É possível controlar a pressão de escape, mas não é possível controlar a temperatura de escape para uma mesma condição de entrada de vapor

Para as turbinas de contrapressão:

- É um parâmetro de avaliação de rendimento da máquina. Quando ocorre incrustação no palhetamento a temperatura de escape tende a aumentar, ocasionando perda de eficiência.

Para turbina de condensação:

- A temperatura de escape é resultado do sistema de vácuo, do condensador e da temperatura da água de resfriamento. Perda de selagem da turbina, incrustação interna nos tubos do condensador e temperatura da água de resfriamento acima da nominal causam aumento da pressão e da temperatura de escape da condensação, normalmente chamado de “perda de vácuo”, resultando em perda de potência.

Qualidade do vapor:

É definida por norma quanto aos limites de impurezas presentes no vapor/condensado, e consta do manual do fabricante da turbina

Os depósitos no palhetamento fixo e móvel da turbina mudam a geometria do canal de fluxo do vapor, com consequências negativas:

- Perda de rendimento e aumento do consumo específico de vapor
- Limitações de potência
- Aumento do esforço axial na turbina- pode causar falha no mancal axial
- Aumento da temperatura de escape e da pressão da câmara da roda
- Corrosão dos componentes
- Travamento de hastes de válvulas de controle / segurança



ENGENHARIA

OPERACIONAL

Visão Sistemática da Engenharia Operacional:

- Mapear as unidades consumidoras
- Entender como funciona cada equipamento e cada rotina

☐ **Aproveitar o máximo potencial:**

- Identificando gargalos;
- Oferecendo soluções;
- Estabelecendo indicadores de monitoramento;
- Medindo e comparando a eficiência.

OBJETIVO:

- Maximizar geração de energia elétrica baseado na avaliação e disponibilidade de recursos térmicos EXISTENTES e/ou RETROFIT.

❑ Definir mix de produção da usina:

- Valor de mercado dos produtos (Etanol, Açúcar e Energia);
- Disponibilidade operacional;
- Matéria-prima;
- Níveis de estoque dos produtos;
- Custo operacional;
- Flexibilidade da planta;

Metodologia Engenharia Operacional:

- Através de modelagem e simulação das possíveis variações de produção, obter ações operacionais monitoradas e continua, garantindo desempenho máximo da planta.

Este trabalho desenvolve uma metodologia de análise de desempenho de turbinas a vapor e a avaliação do seu estado técnico.

Utilizando esta metodologia, é possível determinar a influência dos principais parâmetros do vapor: pressão, temperatura e vazão mássica, sobre o desempenho térmico e a operação da turbina.

Primeiramente, é feito o cálculo do balanço térmico do ciclo a vapor em torno da turbina.

A partir deste balanço são calculadas a eficiência e a potência para cada equipamento.

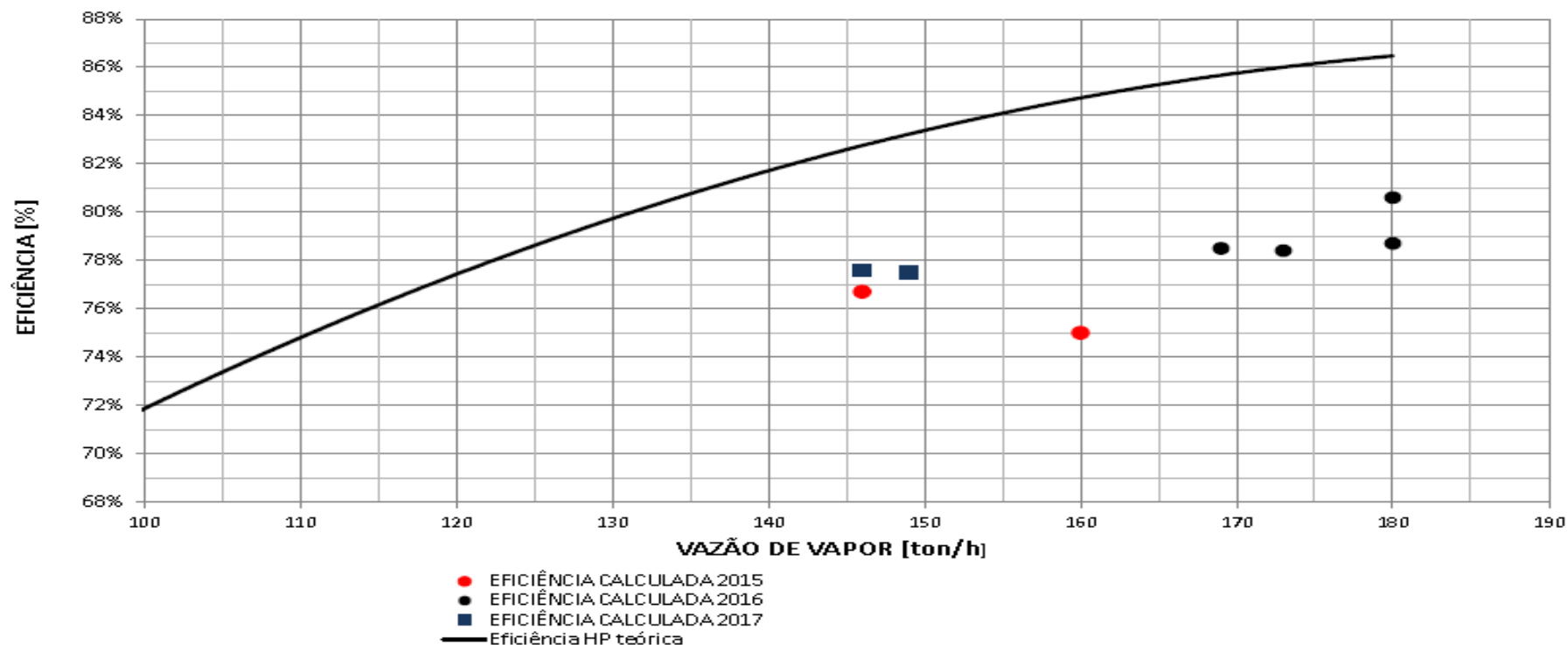
Dentre as potencialidades desta metodologia, está a possibilidade de se visualizar através de análise de engenharia, a perda de desempenho térmico da máquina em relação ao ponto de projeto.

O estado técnico da máquina pode ser determinado pela avaliação e interpretação dos dados de projetos e dos resultados obtidos durante testes de desempenho.

Assim, podemos criar uma metodologia de desempenho térmico considerando:

- Os dados de desempenho das turbinas e dos componentes do ciclo durante a operação inicial e após a manutenção para estabelecer uma referência que permita identificar as causas das perdas de desempenho;
- ∅ Testes periódicos de desempenho da turbina e do ciclo térmico;
- ∅ Avaliação apropriada e análise dos dados de desempenho até que a perda possa ser detectada, localizada, a sua tendência determinada e corrigida com a melhor relação custo – benefício.

EFICIÊNCIA X VAZÃO DE VAPOR





 **PROJETOS**

EXEMPLOS

- Repotenciamento de turbogerador resultando no ganho de importação de energia de 1,5 MWh;

Planta 01 - Retrofit

Ø Turbina BBC – Max. 23,5 MW

- Adequação das condições de vapor de admissão resultando no ganho de exportação de energia de 1,0 MWh;

Planta 02 – Adequação das condições de vapor

Ø Turbina NG – 35,0 MW

- Evitar rebaixar vapor de 67 kgf/cm² para 1,5 kgf/cm² resulta em ganho de exportação de energia de até 6,2 MWh ;

Planta 03 – Rebaixando de vapor

Turbina TGM – 22,0 MW



 **PLANTA 1**

RETROFIT

Dados de operação atual:

IT.	DESCRIÇÃO	TIPO	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	UND
01	FABRICANTE	BBC				
02	MODELO	IT - BBC				
03	PRESSÃO DE VAPOR VIVO	-----	47			Bar abs
04	TEMP. VAPOR VIVO	-----	430			°C
05	PRESSÃO DE ESCAPE	-----	5			Bar abs
06	VAZÃO DE VAPOR VIVO	-----	210	150	250	Ton/h
07	PRESSÃO DE EXTRAÇÃO	-----	-----	14	-----	Bar abs
08	VAZÃO DE EXTRAÇÃO	-----	75	50	100	Ton/h
09	POTENCIA	-----	20,00	13,1	23,50	MW
10	ROTAÇÃO	-----	3600			RPM

REDE ELÉTRICA CONCESSIONÁRIA



Importação
10 MWh

Consumo
30,0 MWh

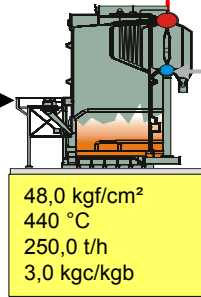
Valor pago EE
R\$ 260,00 / MWh
R\$ 2.210,00 / hora
R\$ 1.872.000,00 / mês
R\$ 22.464.400,00 / ano

Produzido
20,0 MWh

REDE ELÉTRICA INTERNA

Combustível
Cavaco/Resíduo

70,7 t/h



48 kgf/cm²
435° C
210,0 t/h

90 kgf/cm²
120,0° C
215,0 t/h

Valor pago
Combustível
R\$ 100,00 /ton
R\$ 7.070,00 / hora
R\$ 5.904.000,00 / mês
R\$ 61.084.800,00 / ano



0,5 kgf/cm²
90,0° C
149,0 t/h

1,5 kgf/cm²
282° C
17,0 t/h

0,5 kgf/cm²
120,0° C
215,0 t/h

0,5 kgf/cm²
30,0° C
54,0 t/h

Make-up

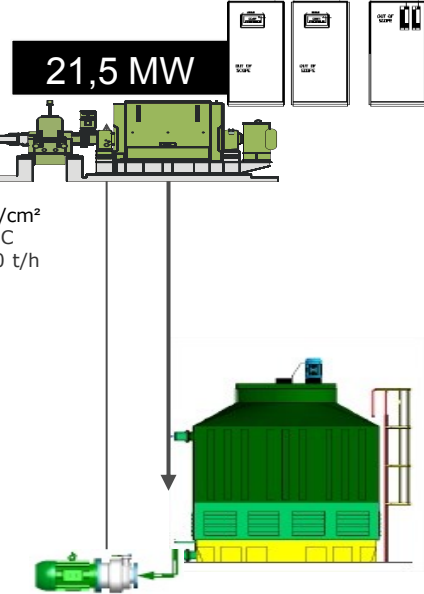


47 kgf/cm²
430° C
212 t/h

13,0 kgf/cm²
289° C
75,0 t/h

4 kgf/cm²
195° C
135,0 t/h

1,5 kgf/cm²
282° C
17,0 t/h



Condição de operação após o repotenciamento:

	Condições de Trabalho				
Máquina acionada	Gerador				
Modelo da turbina	BBC				
Condição de operação	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	
Potência nos bornes do gerador	21.500	14.000	24.000	27.200	kW
Pressão do vapor de entrada	47	47	47	47	Bar (a)
Temperatura do vapor de entrada	430	430	430	430	° C
Vazão do vapor de entrada	210.000	150.000	250.000	266.000	Kg/h
Pressão do vapor na extração	13,5	13,5	13,5	13,5	Bar (a)
Vazão de vapor na extração	75.000	50.000	100.000	100.000	Kg/h
Pressão do vapor no escape	5,0	5,0	5,0	5,0	Bar (a)
Vazão do vapor no escape	135.000	100.000	150.000	166.000	Kg/h
Rotação da turbina	3.600	3.600	3.600	3.600	Rpm
Rotação da máquina acionada	3.600	3.600	3.600	3.600	Rpm
Tolerância	1	1	1	1	%
	Rotação da turbina: Anti-Horário				
	Eficiência adotada para o gerador 97,5%				

REDE ELÉTRICA CONCESSIONÁRIA



Importação
8,5 MWh

Consumo
30,0 MWh

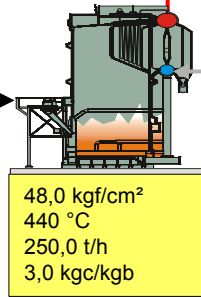
Valor pago EE
R\$ 260,00 / MWh
R\$ 2.210,00 / hora
R\$ 1.591.200,00 / mês
R\$ 19.094.400,00 / ano

Produzido
21,5 MWh

REDE ELÉTRICA INTERNA

Combustível
Cavaco/Resíduo

70,7 t/h



48 kgf/cm²
435 °C
212,0 t/h

90 kgf/cm²
120,0 °C
215,0 t/h



47 kgf/cm²
430 °C
212 t/h

13,0 kgf/cm²
277 °C
76,0 t/h

4 kgf/cm²
195 °C
136,0 t/h

0,5 kgf/cm²
90,0 °C
149,0 t/h

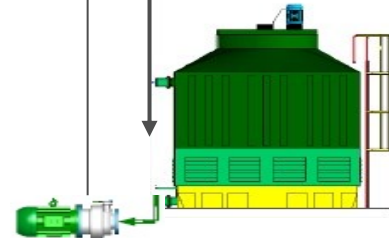
1,5 kgf/cm²
282 °C
17,0 t/h

1,5 kgf/cm²
282 °C
17,0 t/h

0,5 kgf/cm²
120,0 °C
215,0 t/h

0,5 kgf/cm²
30,0 °C
54,0 t/h

Make-up



Instalação Atual / Projeto

Consumo de Cavaco	Importação de Energia
70,0 t/h	10,0 MWh
Custo Anual Combustível	Custo Anual Energia
R\$ 60.480.000,00	R\$ 22.464.000,00
Custo Anual de Combustível + Energia Elétrica	
R\$ 82.944.000,00	

Instalação Atual / Repotenciamento

Consumo de Cavaco	Importação de Energia
70,7 t/h	8,5 MWh
Custo Anual Combustível	Custo Anual Energia
R\$ 61.084.800,00	R\$ 19.574.400,00
Custo Anual de Combustível + Energia Elétrica	
R\$ 80.659.200,00	

Comparativo	Instalação atual X Instalação atual / Repotenciamento
Consumo de Combustível Cavaco	Aumento de 0,7 t/h 1,0%
Importação de Energia Elétrica	Redução de 1,5 MWh 15,0 %
Custo Anual Combustível	Aumento de R\$ 604.800,00 1,0%
Custo Anual Energia Elétrica	Redução de R\$ 2.889.600,00 12,9%
Custo Anual de Combustível + Energia	Redução de R\$ 2.284.800,00 2,8%
Valor do investimento	R\$ 3.000.000,00



PLANTA 2

ADEQUAÇÕES DAS
CONDIÇÕES DE VAPOR

Dados da turbina:

Máquina acionada	GERADOR		
	Projeto	Operação	
Potência nos bornes do gerador	35.000	32.000	kW
Pressão do vapor de entrada	45	42	Bar(a)
Temperatura do vapor de entrada	450	420	°C
Vazão do vapor de entrada	242.000	236.000	Kg/h
Pressão do vapor no escape	2,5	2,5	Bar(a)
Temperatura do vapor no escape	155	140	°C
Vazão do vapor no escape	242.000	236.000	Kg/h

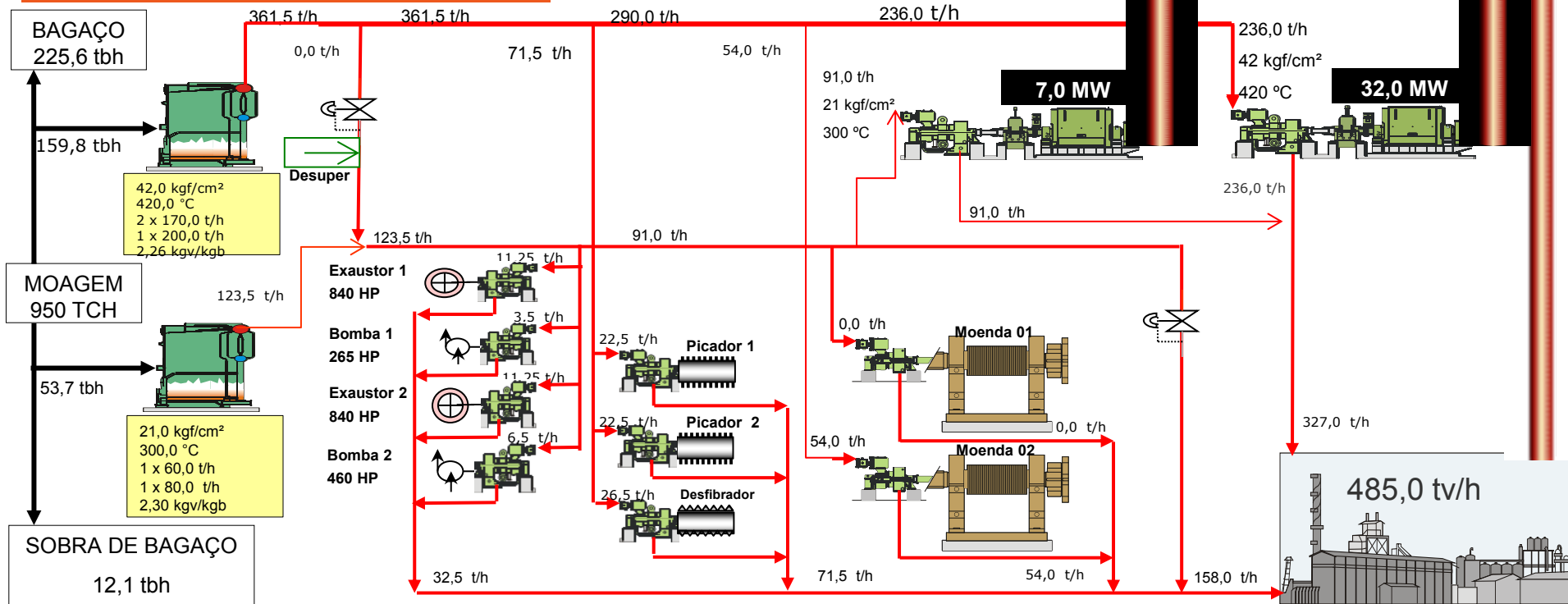
REDE ELÉTRICA CONCESSIONÁRIA

Exportação
27,0 MWh

Geração
39,0 MWh

Consumo
12,0 MWh

REDE ELÉTRICA INTERNA



Dados da turbina:

Máquina acionada	GERADOR		
	Projeto	Retrofit	
Potência nos bornes do gerador	35.000	35.000	kW
Pressão do vapor de entrada	45	42	Bar(a)
Temperatura do vapor de entrada	450	420	°C
Vazão do vapor de entrada	242.000	257.000	Kg/h
Pressão do vapor no escape	2,5	2,5	Bar(a)
Temperatura do vapor no escape	155	140	°C
Vazão do vapor no escape	242.000	257.000	Kg/h

REDE ELÉTRICA CONCESSIONÁRIA

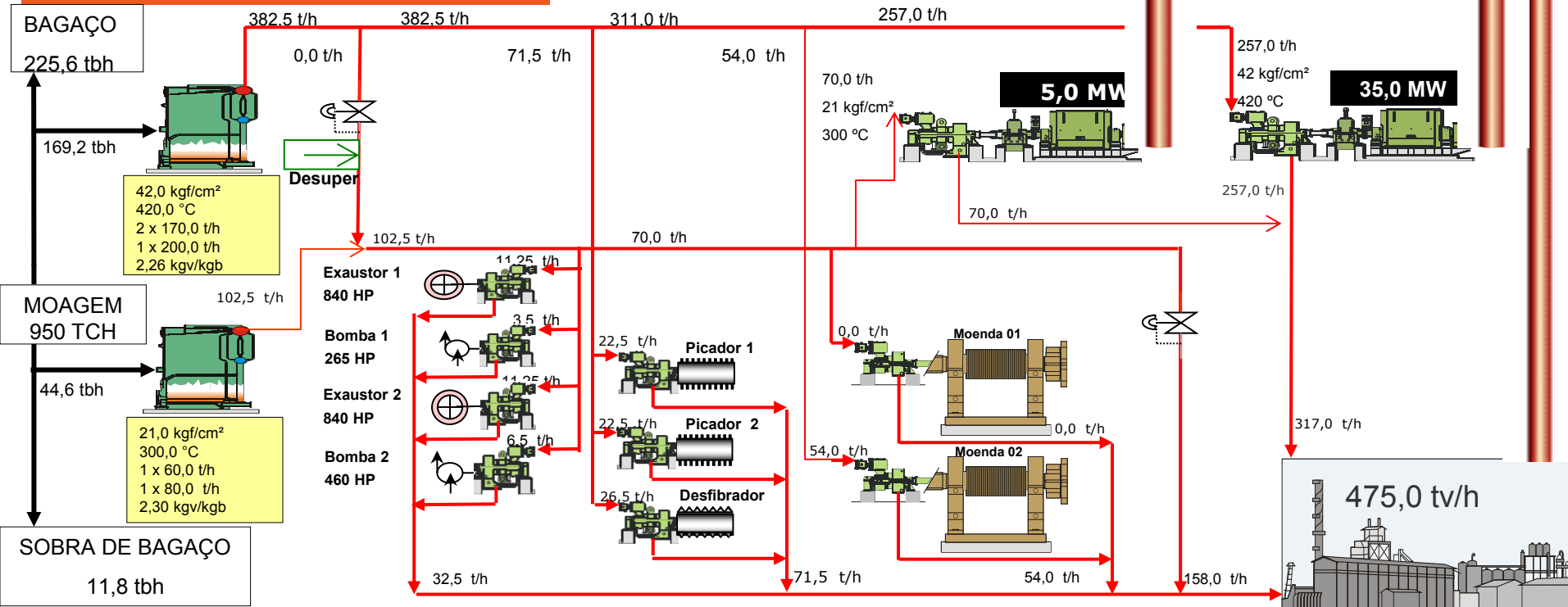
REDE ELÉTRICA INTERNA

Exportação
28,0 MWh

+ 3,8 MWh

Geração
40,0 MWh

Consumo
12,0 MWh





PLANTA 3

REBAIXANDO O VAPOR

REDE ELÉTRICA CONCESSIONÁRIA

REDE ELÉTRICA INTERNA

Exportação

28,6 MWh

Geração

43,6 MWh

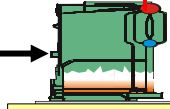
Consumo

15,0 MWh

BAGAÇO
136,9 t/h

274,5 t/h

133,9 t/h



67,0 Bar
520,0 °C
1 x 275,0 t/h
2,05 kgv/kgb

MOAGEM
500 TCH

SOBRA
BAGAÇO
3,0 t/h

SOBRA
BAGAÇO
13.800 ton safra

bomba d'água

0,0 t/h

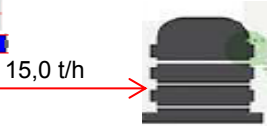
12,5 t/h

140 t/h

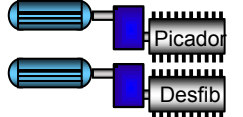
127,5 t/h

13,4 MWh

TM 15000A



Peneira Molecular



1° ao 6° Ternos

221,5 t/h

22,0 MWh

TME 35000A

81,5 t/h

127,5 t/h

209,0 t/h

32,5 t/h

8,2 MWh

TMC 15000A

0,0 t/h

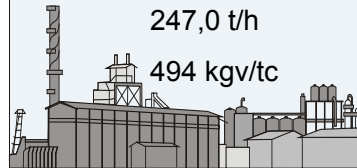
20,5 t/h

24,3 t/h

24,3 t/h

29,0 t/h

218,0 t/h



247,0 t/h
494 kgv/tc

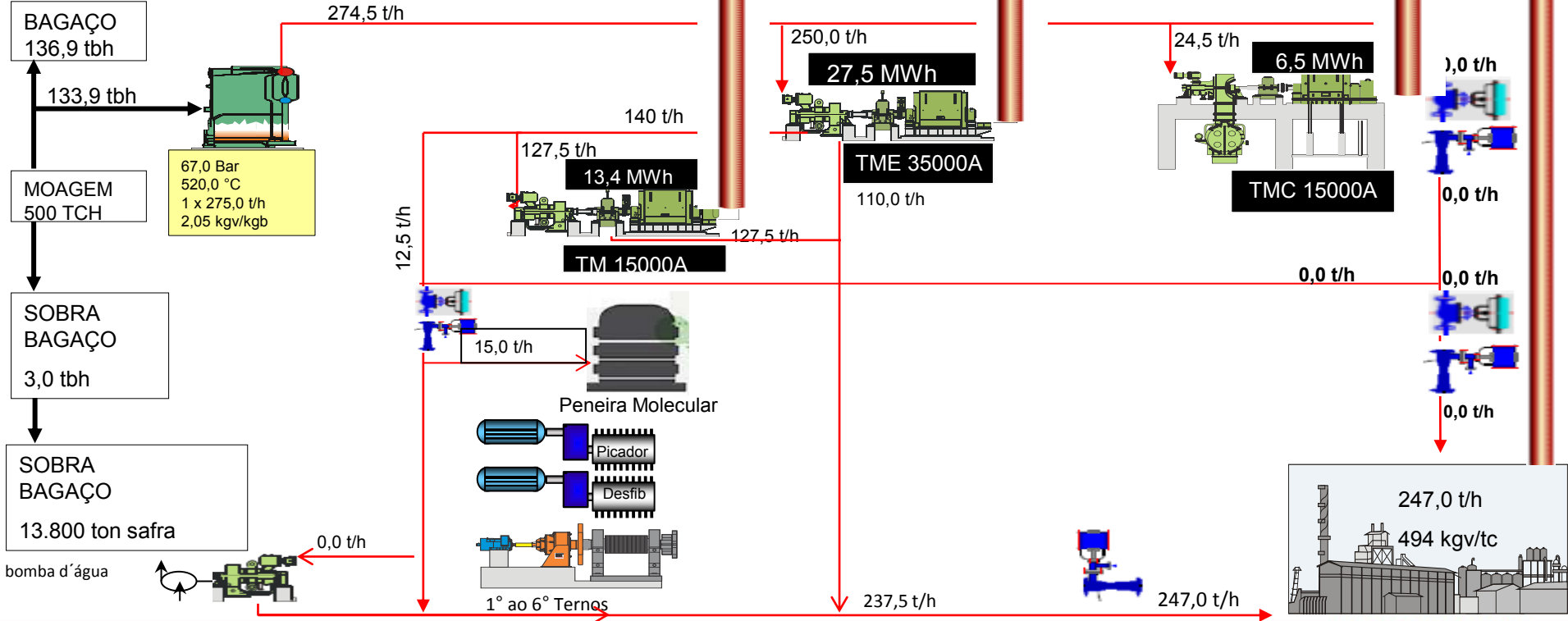
REDE ELÉTRICA CONCESSIONÁRIA

REDE ELÉTRICA INTERNA

Exportação
32.4 MWh + 3,8 MWh

Geração
47,4 MWh

Consumo
15.0 MWh



REDE ELÉTRICA CONCESSIONÁRIA

REDE ELÉTRICA INTERNA

Exportação

34.8 MWh + 6,2 MWh

Geração

49,8 MWh

Consumo

15,0 MWh

BAGAÇO
136,9 tbh

274,5 t/h

133,9 tbh

MOAGEM
500 TCH

SOBRA
BAGAÇO
3,0 tbh

SOBRA
BAGAÇO
13.800 ton safra

bomba d' água

67,0 Bar
520,0 °C
1 x 275,0 t/h
2,05 kgv/kgb

12,5 t/h

0,0 t/h

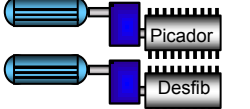
0,0 MWh

TM 15000A

12,5 t/h



Peneira Molecular
Picador
Desfib



1° ao 6° Ternos

15,0 t/h

166,5 t/h

27,5 MWh

TME 35000A

154,0 t/h

0,0 t/h

241,0 t/h

108,0 t/h

22,3 MWh

TMC 15000A

0,0 t/h

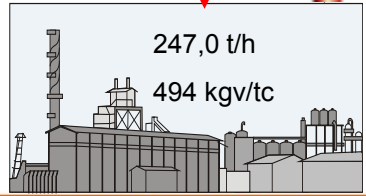
247,0 t/h

0,0 t/h

0,0 t/h

0,0 t/h

0,0 t/h



247,0 t/h

494 kgv/tc



ENGENHARIA

OPERACIONAL

- Muitas plantas foram aumentando a fábrica sem analisar o impacto no ciclo térmico e acabam tendo que rebaixar vapor para atender o processo devido a limites no projeto das turbinas. Nesse caso, conseguimos através de um retrofit no equipamento passar esse vapor pela turbina e gerar energia.
- E alguns casos permitem ainda melhorar o desempenho das turbinas devido a avanços tecnológicos sobre o perfil aerodinâmico das palhetas. Isso a TGM tem feito tanto em equipamentos de fabricação própria quanto de outros fabricantes.
- A engenharia operacional contribuirá com procedimentos e metodologias que permite a redução dos custos operacionais e aumento da eficiência, disponibilidade operacional e confiabilidade de centrais térmicas.

Qual o custo desse projeto, com a entrega dos estudos para a empresa?

A TGM realiza todas as visitas necessárias na empresa e todo estudo apresentado com as possíveis melhorias de eficiência **sem custo nenhum para o cliente.**



Nós somos o que fazemos todo dia. Deste modo a excelência não é um ato, mas um hábito.

Se sua empresa busca eficiência, a TGM tem a melhor solução.



Marca de Confiança.

Leonardo Buranello

Gerente de Desenvolvimento de Negócios - Unidade de Negócio Turbinas



+55 16 2105-2521 R 2521 leonardo.buranello@tgmturbinas.com.br

+55 16 9 9633-1740

GRUPOTGM.COM.BR

Flávio Henrique Stahlberg Natal

Engenharia de Campo - Unidade de Negócio Serviços



+55 16 2105-2600 R 2601

flavio.natal@tgmsestabilizadores.com.br

+55 16 9 9711-8650

GRUPOTGM.COM.BR