

# ESTUDO DE PLANTA DE COGERAÇÃO COM CALDEIRA DE RECUPERAÇÃO BI-COMBUSTÍVEL COM QUEIMA DE GÁS NATURAL E ÓLEO ULTRA VISCOSO

**Felipe de Menezes Tedesco**

felipe.tedesco@gmail.com

## **Resumo**

*Este trabalho visa à compreensão do uso da Cogeração na indústria, bem como o estudo da aplicação de caldeira de recuperação bicombustível no ciclo, para obtenção de flexibilidade de insumo energético, criando uma possível economia financeira de utilização, perante a um maior gasto inicial com equipamentos de apoio e controle de emissões atmosféricas.*

*O combustível base a ser utilizado na Planta será o Gás Natural, devido a atual vasta utilização e pela conveniência de ser um insumo não armazenado não necessitando, portanto, reposição periódica, sendo entregue através de gasodutos. O combustível flexível usado será o óleo ultra viscoso(4A) pela questão de baixo custo.*

*O interesse na utilização de dois insumos energéticos é criada em detrimento de grandes variações no preço e oferta do Gás Natural atualmente no Brasil, impedindo assim, previsões de longo prazo e até em alguns casos críticos, a viabilidade de implantação da Planta de Cogeração.*

**Palavras chave:** Cogeração de Energia Elétrica, Caldeira a Vapor, Óleo e Gás.

## **1. Introdução**

Com a evolução econômica e populacional no mundo, torna-se cada vez mais importante devido ao aumento de demanda, que o sistema de geração Elétrica seja também desenvolvido e aumentado. Como a matriz energética brasileira se baseia na geração hidrelétrica e que está quase em sua máxima utilização, ocorre a necessidade de meios de geração complementares. Uma das possibilidades é o uso da Cogeração, que é um sistema muito interessante pelo ponto de vista da eficiência térmica, algo que sempre é buscado, pelo fato financeiro e da escassez futura de recursos naturais, além da Cogeração ser um mecanismo interessante de geração distribuída, proporcionando maior estabilidade no sistema.

## **2. Definição de Cogeração**

Segundo a COGEN (Associação da Indústria de Cogeração de Energia), Cogeração significa produção simultânea e de forma seqüenciada de duas ou mais formas de energia a partir de um insumo energético.

O processo mais comum é a produção de eletricidade e energia térmica (calor ou frio) a partir do uso de gás natural, de biomassa, de óleos combustíveis, de diesel entre outros, para uso em indústrias que necessitem essas duas fontes de energia como parte do seu processo ou cadeia produtiva, podendo também dependendo da conveniência ocorrer à venda de excedente de energia elétrica para Rede Integrada.

A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), órgão regulamentador do Sistema Elétrico brasileiro, estabelece os requisitos necessários à qualificação de Centrais Cogedoras de Energia no território nacional na RESOLUÇÃO NORMATIVA No 235, DE 14 DE NOVEMBRO DE 2006.

## **3. Tecnologia**

As oportunidades criadas nas últimas décadas, com o crescente mercado de equipamentos e de tecnologias adequadas para a geração distribuída, atraíram muitos investimentos em pesquisa e surgiram muitos fabricantes que atualmente oferecem tecnologias competitivas para a implantação dos sistemas de Cogeração. Os principais equipamentos que compõem esses sistemas são aqueles que utilizando um combustível (biomassa, gás natural, óleos combustíveis e outros) produzem energia mecânica, para mover um gerador que produz eletricidade e, complementarmente, outros equipamentos produzem energia térmica, que pode ser usada para geração de água gelada ou aquecimento de sistemas. Entre outros equipamentos presentes nas Plantas de Cogeração podemos relacionar os seguintes:

- motores a combustão (ciclo Otto ou Diesel);
- caldeiras que produzem vapor para as turbinas a vapor;
- turbinas a gás;
- caldeiras de recuperação e trocadores de calor;
- geradores elétricos, transformadores e equipamentos elétricos associados;
- sistemas de chillers de absorção, que utilizam calor (vapor ou água quente) para produção de frio (ar condicionado);
- sistemas de ciclo combinado (turbinas a vapor e gás) numa mesma central;
- equipamentos e sistemas de controle de geração e de uso final de energia.

Os sistemas de Cogeração por caracterizarem uma geração distribuída apresentam como principal vantagem, a economia de investimentos em transmissão e uma elevada eficiência energética, quando comparada aos sistemas

tradicionais de geração de eletricidade através de Termelétricas convencional. Esse fato pode ser visualizado nas figuras a seguir.

Fazendo uma análise simplória e superficial, para uma mesma quantidade de insumo queimado, a Termelétrica apresenta 65% de perdas enquanto a Cogeração pode apresentar apenas 15% por aproveitar os gases quentes para produção de vapor que será usado no processo interno da indústria. É evidente que existem possibilidades de se aumentar a eficiência de uma Termelétrica mudando e adicionando alguns processos ao sistema, mas não chegam a ultrapassar a eficiência do sistema de Cogeração.

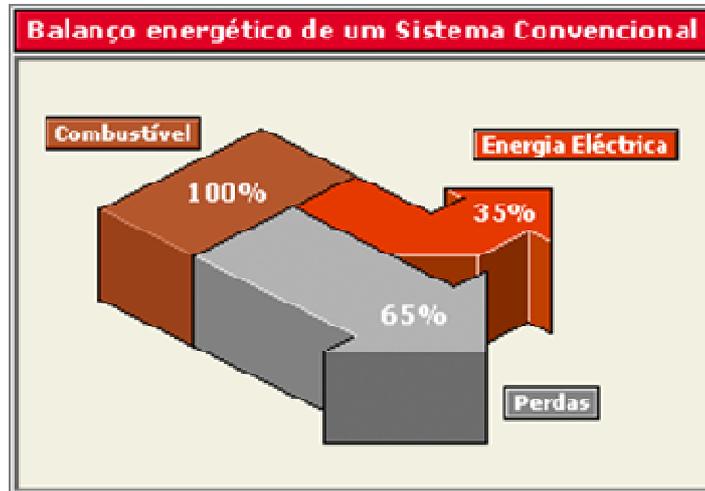


Figura 1. Balanço energético de um Sistema Convencional (Cogen)

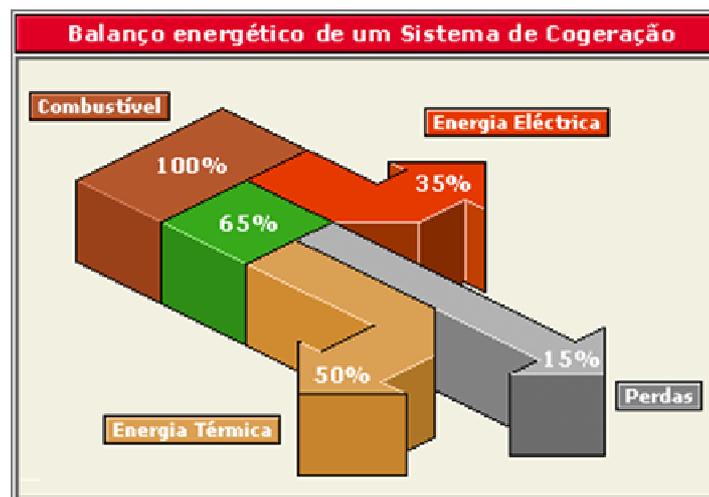


Figura 2. Balanço energético de um sistema de Cogeração (Cogen)

#### 4. Aspectos básicos de um sistema de Cogeração

Uma Central de Cogeração apresenta máquinas térmicas semelhantes àquelas utilizadas, por exemplo, em uma Central de Utilidades que gera vapor e energia elétrica de forma independente. A grande distinção entre essas duas formas de geração consiste, basicamente, na caracterização do uso da energia utilizada para atendimento das demandas apresentadas pela empresa ou população. O esquema básico do atendimento das demandas por meio de Central de Cogeração deve apresentar conexão com sistemas independentes de geração eletromecânica, com a concessionária de energia elétrica local e com Caldeiras auxiliares, de modo que aumente a confiabilidade de geração térmica e elétrica nos impedimentos da unidade; essas últimas devem estar presentes para suprir a demanda de energia nas condições de saída forçada das Centrais de Cogeração bem como nas situações em que a estratégia de operação desta última dispõe pelo seu desligamento. A figura a seguir ilustra o esquema básico a ser adotado no planejamento de Centrais de Cogeração.

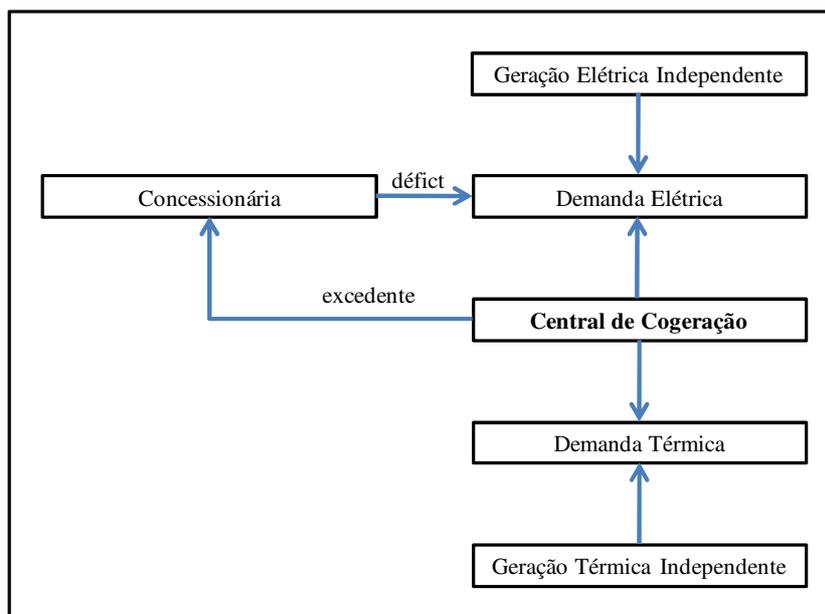


Figura 3. Esquema básico de atendimento de demandas de energia (Balestieri 2002)

Um projeto de Central de Cogeração além de ser capaz de atender às necessidades de demanda do processo associado, deve ser também economicamente viável. Em função dos elevados custos de investimento que sua implantação representa, implica na necessidade de que o projeto proposto seja adequado em termos conceituais e com limites de custo aceitáveis. Com respeito aos aspectos técnicos, o projeto deve considerar níveis mínimos de eficiência das máquinas, de emissões de poluentes e de confiabilidade, para garantir o adequado funcionamento da unidade de geração. Um projeto de Central de Cogeração adequado em termos conceituais é aquele que não só atende as demandas operacionais prescritas pelo processo, mas também consegue garantir o nível de excedentes planejado, nos períodos ajustados pelo processo, com confiabilidade e eficiência. Nos casos em que isso não é alcançado, as falhas na geração e a queda de eficiência que lhe são decorrentes, ocasionam, respectivamente, aumentos nos custos de operação e manutenção, pagamento de multas contratuais e aumento nos custos dos combustíveis utilizados (mesmo que a central queime resíduos ou subprodutos do processo).

Os principais ciclos termodinâmicos utilizados para configurações de Centrais de Cogeração são:

- Ciclo Rankine ou a vapor
- Ciclo Brayton ou a gás
- Ciclo combinado
- Ciclo Diesel

## 5. Aplicações da Cogeração

Os processos de Cogeração podem ser aplicados nas suas diferentes formas em inúmeros diferentes setores de atividade. A seguir se apresenta algumas das principais aplicações.

1. Setor Industrial: Calor de Processo e Produção de Vapor

- Indústria Química, Petroquímica e Farmacêutica; Indústria de Beneficiamento de Biomassa; Indústria de Alimentos e Bebidas; Indústria de Papel e Celulose; Indústria Têxtil.

2. Setor Industrial: Aquecimento Direto e Forno a Alta Temperatura

- Indústria de Vidro; Indústria de Cimento; Indústria de Cerâmica; Siderúrgica.

3. Setor Comércio e Serviços: Ar-Condicionado Central e Aquecimento de Água

- Shopping Center; Centros Comerciais; Supermercado; Hotel; Hospital; Lavanderia e Tinturaria; Clubes Desportivos.

## 6. Análise crítica

### 6.1 Vantagens da Cogeração

As principais vantagens gerais podem ser avaliadas pelos seguintes fatores:

1. Baixo custo de energia (elétrica e térmica);
2. Grande confiabilidade de fornecimento de energia;
3. Boa qualidade da energia produzida;
4. Pequenos custos de transmissão e de distribuição de eletricidade;

5. Grande eficiência energética;
6. Baixa emissão de poluentes (vantagens ambientais);
7. Cria novas oportunidades de trabalho e de negócios

## 6.2 Desvantagens da Cogeração

As principais desvantagens gerais podem ser avaliadas pelos seguintes fatores:

1. Necessidade de planejamento de operação e expansão do sistema elétrico;
2. Necessidade de mão de obra extremamente especializada;
3. Necessidade de espaço físico suficiente para a instalação da Central;
4. Necessidade de isolamento para manutenção do sistema elétrico;
5. Alta variância no preço dos insumos energéticos;
6. Necessidade de estudo e previsão de consumo pela indústria.
7. Alto custo de implementação.

## 7. Combustíveis

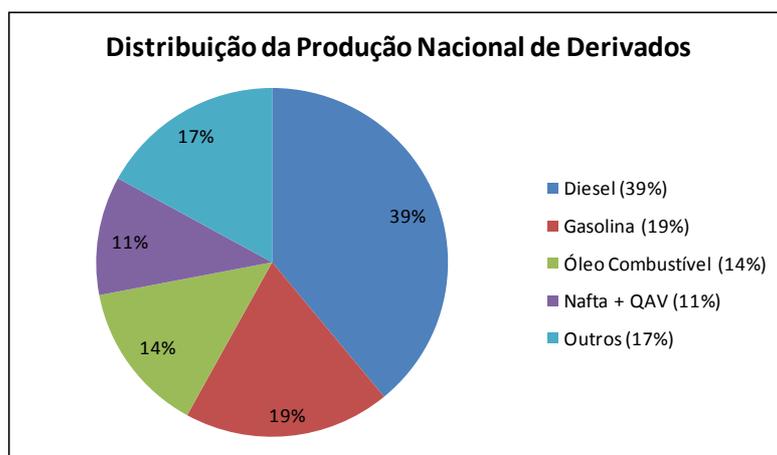


Gráfico 1. Produção Nacional de Derivados (2008)

Pode-se observar que a grande maioria é composta por Diesel seguido pela Gasolina. O fato é que esses combustíveis são usados predominantemente para a frota de veículos nacionais o que encarece o preço final do produto. Logo após temos os óleos combustíveis que são muito mais baratos e são usados com frequência na indústria.

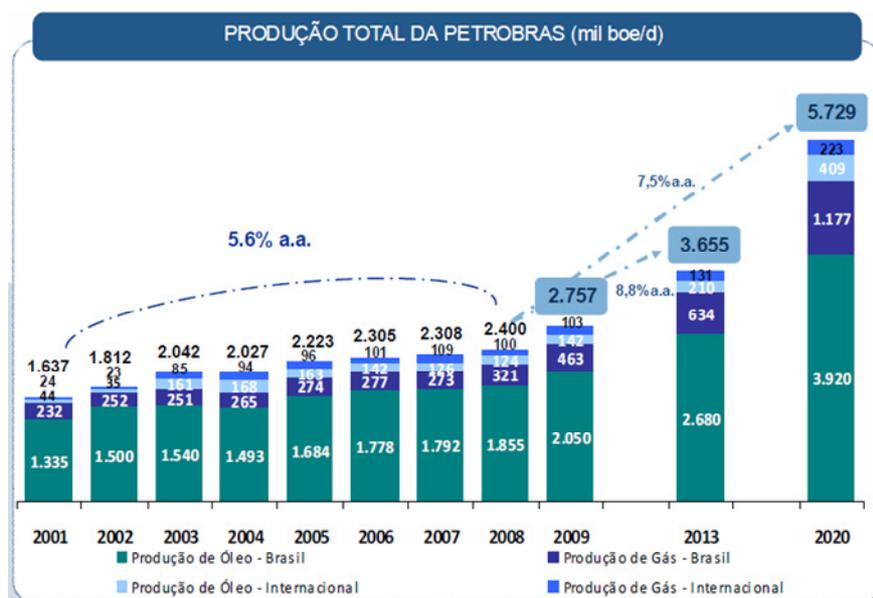


Gráfico 2. Projeção da produção (plano de negócios 2009-2013, Petrobras)

Podemos notar pela figura acima, que a produção de Gás Natural e Óleo Combustível irão aumentar no mercado Nacional. Fato muito animador, já que praticamente os mesmos são usados quase e que em sua totalidade na indústria, fato que tendê a diminuir o preço devido a uma grande oferta

## 8. Proposição

Para o estudo completo de viabilidade se faz necessária a escolha de uma indústria real, ou com parâmetros criados mais próximos aos reais possíveis, para que o estudo seja sustentado e com grande margem de aplicabilidade.

Para tanto, devido ao acesso à dados de uma indústria real, o estudo se baseará totalmente na viabilidade para a implantação de uma Central de Cogeração, para uma indústria de médio/grande porte do ramo de produção e beneficiamento de papel e papelão.

A descrição das informações iniciais principais seguem abaixo:

- Produção:

7 dias por semana – 24 horas por dia

- Consumo de vapor:

Média: 30 t/h @ 28,5 kgf/cm<sup>2</sup> – 230 °C

Pico: 35 t/h @ 28,5 kgf/cm<sup>2</sup> – 230 °C

- Demanda de energia elétrica:

Média: 6,6 MW

Pico: 8,4 MW

- Consumo atual de combustíveis:

Gás natural = 22.3504.234 m<sup>3</sup>/ano

O estudo a ser realizado se baseará na demanda média de operação, atendendo também as demandas de pico em casos extremos. Portanto, dependendo da escolha e arranjo do ciclo e máquinas a serem utilizados, pode ser necessária a compra de energia elétrica da rede ou pode ser criada a possibilidade de venda de excedentes. O estudo de viabilidade surge então para sanar esses conflitos e tentar propor um arranjo ótimo para implementação.

## 9. Estudo de Viabilidade

No estudo de viabilidade de implantação de um sistema de Cogeração em uma Indústria já existente é necessário que se faça uma análise comparativa das possíveis soluções energéticas e qual se adéqua melhor as possibilidades e interesses da indústria, comparando também, um Sistema simples, usando apenas Caldeira convencional para atender a demanda de energia térmica da Indústria, comprando toda a energia necessária diretamente da Rede.

Como já discutido anteriormente, para a construção de uma Central de Cogeração, vários fatores devem ser checados. Primeiramente deve-se estudar o local onde ocorrerá a instalação, já que a proximidade com o captador da energia térmica, em forma de vapor, é de suma importância, pois os gastos e perdas com transporte do mesmo podem inviabilizar o projeto.

Ponto chave também é a relação precificada entre a Energia Elétrica comprada diretamente da Rede e o preço do Óleo Combustível e do Gás Natural para Industrial e para Cogeração. Essa relação pode ser crucial para implementação ou não da Central, já que para preços baixos de Energia Elétrica e altos de Óleo Combustível e Gás Natural para Cogeração em relação ao Industrial é desinteressante a geração própria de Energia.

Deve-se após a escolha do arranjo ideal de geração fazer um estudo básico todos os custos envolvidos. Uma pesquisa de preço dos equipamentos a serem utilizados, preço da operação e manutenção durante a vida da Central incluindo custos com pessoal, custos relativos à construção civil necessária, montagem dos equipamentos, insumos energéticos e preço de compra e venda de Energia Elétrica da Rede Integrada.

O cálculo do preço de venda de insumos e Energia Elétrica se torna extremamente complicado haja vista que são preços variáveis com o tempo e precisam assim sendo, ser estimados com base em análise e projeção de mercado, algo que exige muita habilidade, conhecimento, estudo e experiência no setor.

Para um estudo básico a proposição é que tratemos o preço como invariante no tempo, mas que contemple uma projeção da média durante o período a ser estudado.

Essencialmente com o crescimento desse mercado, existem empresas de Outsourcing que realizam o estudo e projeto, praticam a implementação e operação/manutenção de contratos de Cogeração para indústrias visando a excelência em serviços deste tipo, mais conhecidos como produtos de Utilidades. Isso se torna muito interessante, pois a indústria principal não perde o foco de seu Core Business e contratualmente é resguardada para o recebimento da Energia acordada.

## 10. Metodologia

Para o atendimento dos requisitos de produção de vapor e energia térmica será aplicado o seguinte método:

- Operação Média:

Cálculo da Produção de vapor

Cálculo do Consumo de energia

Cálculo do Consumo de gás natural

Cálculo da Contratação de energia complementar e energia de reserva

- Operação de Pico:

Dimensionamento da capacidade dos equipamentos e instalações

Contratação de demanda de energia complementar

Das possíveis soluções, podemos dividi-las em duas categorias. As que têm parte de importação de energia da rede como forma natural de complemento de atendimento da demanda, e as que têm exportação de excedentes. Mas mesmo a com exportação de excedentes, em alguns períodos como, por exemplo, a manutenção preventiva do elemento gerador, pode optar por importação da rede.

Para o exemplo proposto iremos estudar configurações formadas por Turbina a gás e Caldeira de recuperação. Está escolha se da devido à mesma possibilitar atender a demanda de elétrica e gerar grande energia térmica que será recuperada na Caldeira. Quando a demanda elétrica é muito maior que a térmica, pode-se optar por sistemas de Ciclo Combinado de Potência, utilizando um ciclo Rankine gerando energia elétrica complementar na Turbina a Vapor, em detrimento de menor fornecimento térmico para a Indústria.

Para o começo do cálculo deve-se pesquisar por fabricantes de turbinas no mercado e escolher as que mais se adequem a demanda final, procurando valores pouco acima e pouco abaixo da potência elétrica média. Para alguns casos, onde se quer ter uma maior confiabilidade que a rede integrada e grande disponibilidade de geração, prefere-se optar por mais de uma turbina na Planta de Cogeração. Isso, pois em caso de uma queda de geração individual o fornecimento elétrico não é totalmente prejudicado.

Com os dados de consumo da Turbina, e de sua geração elétrica pode-se dimensionar a necessidade de compra ou possibilidade de venda de excedentes e pode-se calcular a energia térmica rejeitada e que será recuperada na Caldeira de Recuperação.

A partir da energia térmica rejeitada que será recuperada na Caldeira de Recuperação, pode-se calcular o consumo de combustível necessário na queima suplementar. A soma das energias térmicas da Turbina e da queima suplementar tem que atender a demanda de vapor para a Indústria.

Como a Caldeira a ser estudada é bi-combustível, pode-se optar pela queima individual de cada um dos combustíveis dependendo da conveniência de preço ou possibilidade de uso do mesmo. No caso do uso do óleo ultra viscoso, pela necessidade do armazenamento térmico e aquecimento para injeção no queimador, tem-se mais uma parcela de energia térmica a ser atendida que deve ser descontada da disponibilizada para a Indústria.

Esse cálculo representa apenas uma parcela de custos para estudo de viabilidade, pois avalia apenas o custo de “Operação” ideal da Planta, deixando de lado os custos de compra dos equipamentos, instalação, obras civis, manutenção, armazenagem do óleo combustível entre outros gastos.

Para o estudo foram adotadas as seguintes hipóteses simplificadoras:

- Valores dos insumos invariantes no tempo, mas que contemple uma projeção da média durante o período a ser estudado.

- Preço de compra e venda de energia invariantes no tempo, mas que contemple uma projeção da média durante o período a ser estudado.

- Demanda de Energia Elétrica e Energia Térmica da Indústria invariantes no tempo.

## 11. Configurações

A seguir estão apresentadas três configurações de Cogeração que serão estudadas neste Trabalho, e que serão ao final comparadas com um sistema Caldeira convencional e compra total da energia elétrica da rede.

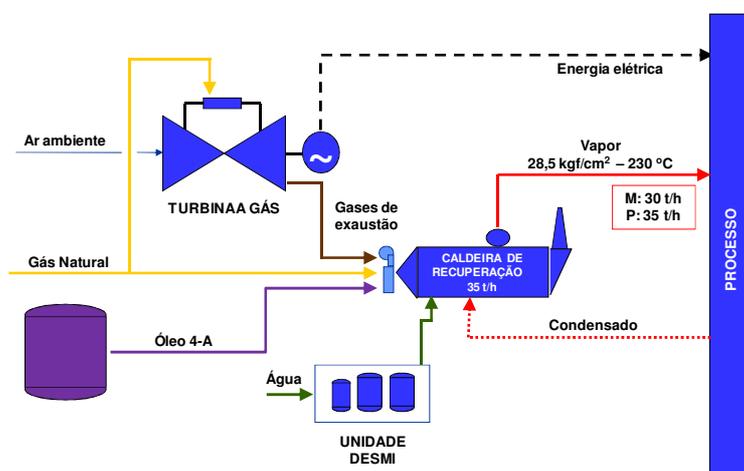


Figura 4. Fluxograma para as três configurações de Cogeração

Primeira Configuração:

Turbina a gás (Taurus 60 - Solar) de capacidade de 5,5 MW ISO + caldeira de recuperação bi-combustível aqua-tubular 35 t/h @ 28,5 kgf/cm<sup>2</sup> - 230 °C.

Segunda Configuração:

Turbina a gás (Taurus 70 - Solar) de capacidade de 7,5 MW ISO + caldeira de recuperação bi-combustível aqua-tubular 35 t/h @ 28,5 kgf/cm<sup>2</sup> - 230 °C.

Terceira Configuração:

Turbina a gás (Mars 100 - Solar) de capacidade de 11,4 MW ISO + caldeira de recuperação bi-combustível aqua-tubular 35 t/h @ 28,5 kgf/cm<sup>2</sup> - 230 °C.

Quarta Configuração:

Sistema convencional com Caldeira aqua-tubular de capacidade de 35 t/h 28,5 kgf/cm<sup>2</sup> - 230 °C.

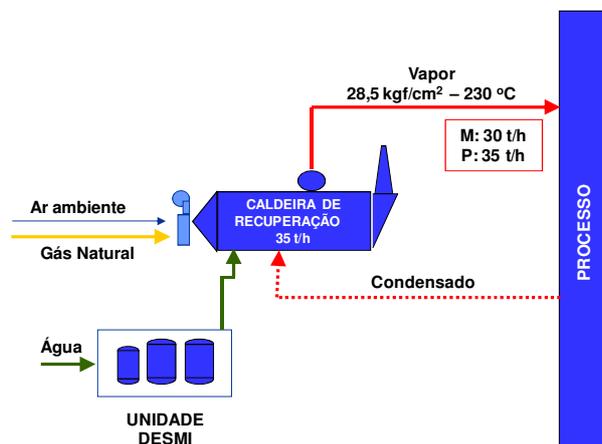


Figura 5. Fluxograma da configuração com Caldeira convencional

## 12. Cálculos

Para as rotinas de cálculos foram usadas planilhas em Excel e também o programa ESS.

As Turbinas escolhidas foram do fabricante Solar Turbines e os catálogos foram retirados do site do próprio fabricante, a seguir temos a planilha de cálculo.

Tabela 1. Cálculo das Turbinas

Turbina			
calor específico do ar (kJ/kg K)	1,075		
Disponibilidade	95%		
	Modelo Taurus 60	Modelo Taurus 70	Modelo Mars 100
Potência elétrica ISO (kW)	5500	7520	11430
Potência elétrica (kW) @ 28°C	5000	6600	10000
Heat Rate (kJ/kWh)	12200	11200	11250
Vazão dos gases de exaustão (kg/h)	78900	97000	152080
T dos gases de exaustão (°C)	510	485	485
Consumo de gás m <sup>3</sup> /h	1714	2077	3161
Consumo de gás t/h	1,3	1,6	2,4
Energia para recuperação kJ/h	26590286	30213681	47370069
Potência Auxiliar da Planta kW	350	420	580
Potência Líquida kW	4650	6180	9420

Com os gases quentes da Turbina que irão ser recuperados na Caldeira de recuperação, pode-se determinar a energia térmica suplementar necessária para atender a demanda de vapor da Indústria. Os cálculos seguem a seguir.

Tabela 2. Cálculo das Caldeiras

	Modelo Taurus 60	Modelo Taurus 70	Modelo Mars 100	Caldeira
Energia Suplementar Total (kJ/h)	58499209	55034475	38633380	83075520
Consumo gás Natural na Caldeira (m <sup>3</sup> /h)	0	0	0	2334
Consumo de Óleo na Caldeira (kg/h)	1479	1391	976	0

Com o cálculo da Turbina pode-se obter a energia líquida gerada, e com a demanda elétrica da Indústria, pode-se calcular os gastos ou receitas relativos a energia elétrica, em cada um dos casos.

A seguir segue a planilha de cálculo.

Tabela 3. Cálculo de Energia Elétrica

	Modelo Taurus 60	Modelo Taurus 70	Modelo Mar 100	Caldeira	
Importação	3.750	2.220	-	8.400	kW
	17.082.000	3.679.200	-	57.816.000	kWh
Reserva	4.650	6.180	8.400		kW
	2.036.700	2.706.840	3.679.200		kWh
Venda	-	-	23.468.040		kWh

Com o cálculo da Turbina e da queima suplementar na Caldeira, pode-se definir o volume de gás e óleo 4A que será utilizada na Planta de Cogeração para suprir todas as demandas energéticas.

Tabela 4. Cálculo do consumo total de combustível

	Modelo Taurus 60	Modelo Taurus 70	Modelo Mar 100	Caldeira
Consumo Total de Gás Natural (kg/h)	1.310	1.587	2.415	1.783
Consumo Total de Óleo (kg/h)	1.479	1.391	976	-

A partir de todos esses cálculos é possível avaliar economicamente a viabilidade da Cogeração como um todo. A seguir será feita a análise do ponto de vista de Operação/Manutenção e Implantação do empreendimento.

### 13. Resultados

Tabela 5. Resultados consolidados de todas as configurações

	Taurus 60	Taurus 70	Mars 100	Caldeira	[]
<b>Operação</b>					
Energia Elétrica	5.297.494	2.221.606	-464.465	14.645.780	Reais/ano
Gás Natural	9.359.956	11.332.665	17.172.779	17.232.112	Reais/ano
Óleo	6.869.482	6.462.623	4.536.665	0	Reais/ano
Água	341.640	341.640	341.640	341.640	Reais/ano
<b>Total</b>	<b>21.868.572</b>	<b>20.358.535</b>	<b>21.586.618</b>	<b>32.219.532</b>	<b>Reais/ano</b>
<b>Manutenção</b>					
<b>Total</b>	<b>2.650.000</b>	<b>2.860.000</b>	<b>3.080.000</b>	<b>985.000</b>	<b>Reais/ano</b>
<b>Total (Manut + Oper)</b>	<b>24.518.572</b>	<b>23.218.535</b>	<b>24.666.618</b>	<b>33.204.532</b>	<b>Reais/ano</b>
<b>Implantação</b>					
<b>Total</b>	<b>29.000.000</b>	<b>31.600.000</b>	<b>35.280.000</b>	<b>9.000.000</b>	<b>Reais</b>
<b>Tempo de Operação</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>Anos</b>
<b>Total Corrigido</b>	<b>26.451.906</b>	<b>25.325.202</b>	<b>27.018.618</b>	<b>33.804.532</b>	<b>Reais/ano</b>
	<b>2.204.325</b>	<b>2.110.433</b>	<b>2.251.552</b>	<b>2.817.044</b>	<b>Reais/mês</b>
<b>Tempo de Retorno</b>	<b>3,3</b>	<b>3,2</b>	<b>4,1</b>		<b>Anos</b>

## 14. Análises dos resultados

Após a análise dos resultados a opção que se mostra economicamente mais viável, observando apenas os custos de Operação e Manutenção, é a configuração com a Turbina Taurus 70 no valor de aproximadamente 23,2 milhões de Reais por ano, por ter um equilíbrio de consumo de combustível e compra de Energia Elétrica da Rede Integrada. É seguida pela configuração com a Turbina Mars 100, que por vender excedentes de energia elétrica à rede, compensa os altos custos de combustíveis que possui.

Observando apenas o valor de Manutenção ou Implantação, o Sistema com Caldeira convencional, sendo composto por aproximadamente 985 mil de Reais por ano com Manutenção, e apenas 9 milhões de Reais para Implantação por não possuir nenhuma Turbina, é o que se destaca. É seguida pela opção com a Turbina Taurus 60 que por ser menor que as concorrentes, é conseqüentemente mais barata.

Por fim a opção mais viável levando em conta o valor Total Corrigido, que significa a divisão de todos os custos equivalentemente durante os 15 anos de previsão de operação, é a opção com a turbina Taurus 70 com um valor de aproximadamente 2,1 milhões de Reais por mês. Comparado com o sistema com Caldeira convencional, a redução mensal chega próxima a 700 mil Reais, uma redução percentual de aproximadamente 25%.

O tempo estimado de retorno do Capital investido é de 3,2 anos, fato que indica uma forte viabilidade econômica para implantação e construção de Plantas de Cogeração, possibilitando grande crescimento no setor, que ainda é bem discreto no Brasil.

Mesmo com o possível o aumento da Energia Elétrica, tanto para compra como para venda, pelo fato do valor de venda ser muito baixo comparado com a compra da rede, ainda não seria a melhor opção uma Central grande de Cogeração, visando venda de excedentes elétricos como é o caso do uso da Turbina Mars 100.

Importante informação foi conseguida em conversa com Luis Fabiani, que trabalha na empresa Dynamis, referência nacional em estudos e projetos técnicos na área térmica que confirmou que é sim possível desenvolver um queimador de Caldeira Bicomustível com queima suplementar de Gás Natural e Óleo ultra viscoso. Dúvida surgiu devido a não existir no mercado queimador com tais características, mostrando pioneirismo no estudo. O queimador pode ser o mesmo usado para queima de gás natural e óleos leves, a menos das pastilhas de nebulização, pois como os óleos leves têm uma temperatura de ebulição muito baixa, logo que ele é injetado ele se transforma em gás ocorrendo o risco de se formar um bolsão de combustível sem O<sub>2</sub> para a queima, o que não ocorre com os óleos pesados.

Houve um contato inicial com a Empresa Petrobras para pedido de maiores informações dos óleos comercializados, mas devido à política restritiva da mesma, são necessárias uma serie de condições para que eles forneçam tais dados, o que dificulta bastante os estudos nessa área.

Fica claro após esse estudo preliminar que o mercado de Cogeração no Brasil está em crescimento e permanecerá por alguns anos devido à constante alta nos preços de energia elétrica e possibilidade grande de redução de custos do Gás Natural e Óleos Combustíveis, já que constantemente são encontradas novas jazidas de exploração no Brasil.

Novas tecnologias e estudos serão sempre interessantes e de grande importância para melhora na eficiência energética de sistemas geradores bem como diminuição de emissões de agentes poluidores do meio ambiente.

## 15. Agradecimentos

Agradeço a minha família pelo apoio e força prestada durante a caminhada da vida e dos estudos. Agradeço ao Luis Filipe Fabiani que trabalha na empresa Dynanys Ltda pela ajuda em relação a queimadores bicomustíveis em Caldeiras de Recuperação, ao engenheiro Nilson Fajardo Frias gerente de O&M da EnergyWorks do grupo Iberdrola na ajuda e idéia do tema estudado bem como interessantes conversas e aprendizado durante meu estágio e ao engenheiro Mario Soares gerente de engenharia da EnergyWorks do grupo Iberdrola pela ajuda na questão do estudo de viabilidade de Centrais de Cogeração. Agradeço também ao professor Dr. Silvio de Oliveira pela orientação e auxílio no estudo proposto.

## 16. Referências

- [1] BALESTIERI, José A. P. Cogeração – Geração Combinada de Eletricidade e Calor. Editora da UFSC. Florianópolis. 2002.
- [2] INCROPERA, Frank P. e DEWITT, David P. Fundamentos de Transferência de Calor e Massa. LTC. Rio de Janeiro, 2002.
- [3] JARENO, XAVIER PONCE. Projeto de um Gerador de Vapor a Óleo Combustível. 1990. Tese entrega a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Professor orientador Hildo Pera.
- [4] PERA, HILDO. Geradores de Vapor: um compêndio sobre a conversão de energia com vistas à preservação da ecologia. Editora Fama 1990.
- [5] VAN WYLEN, Gordon J., SONNTAG, Richard E., BORGNACKE, Claus. Fundamentos da Termodinâmica. Tradução da 6ª edição americana. Edgard Blücher. São Paulo. 2003.
- [6] GIACAGLIA, GIORGIO E. - Cogeração por ciclos de turbinas a gás -São Paulo. Fdte/EPUSP, 1987
- [7] R. González P.; S. Nebra P.; A. Walter S.; W. Galarza S.- Análise da viabilidade econômica e financeira para sistemas de cogeração- estudo de caso: HC-UNICAMP.
- [8] Plano de Negócios 2009 - 2013 Petrobras.

Sítios:

- [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br) (Agencia Nacional de Energia Elétrica) – Informações sobre consumo e distribuição de energia no Brasil (Acessado em maio 2009).
- [www.petrobras.com.br](http://www.petrobras.com.br) (Petróleo Brasileiro S/A) – Informações sobre combustíveis e insumos energéticos (Acessado em abril 2009).
- [www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br) (Ministério das Minas e Energia) – Informações referentes a legislação e regulamentação do setor energético (Acessado em abril 2009).
- [www.cogensp.com.br](http://www.cogensp.com.br) (Associação Paulista de Cogeração de Energia) – Informações e dados de números da Cogeração no Estado de São Paulo (Acessado em maio 2009).
- [www.ccee.org.br](http://www.ccee.org.br) (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica) – Informações de preço de venda de energia no mercado livre semanalmente (Acessado em abril 2009).
- [www.inee.org.br](http://www.inee.org.br) (Instituto Nacional de Eficiência Energética) – Informações de sistemas de energia visando alta eficiência energética (Acessado em junho 2009).
- [www.anp.gov.br](http://www.anp.gov.br) (Agencia Nacional do Petróleo, Gás Natural e B combustíveis) - Informações sobre combustíveis e insumos energéticos (Acessado em abril 2009).
- [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) (Wikipedia, the free encyclopedia) – Informações em Geral (Acessado em abril 2009).
- [www.google.com](http://www.google.com) (buscador virtual de sítios) – Sítio utilizado para pesquisa em Geral na WEB (Acessado em abril 2009).
- [www.ibama.gov.br](http://www.ibama.gov.br) (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) – Normas, Legislações e Resoluções referentes a controle de emissão e poluentes atmosféricos e resíduos industriais (Acessado em abril 2009).
- <http://www.lete.poli.usp.br/teaching/pme-2520-emissoes-atmosfericas/> (Laboratory of Environmental and Thermal Engineering) – Aulas da disciplina PME 2502 da Escola Politécnica da USP, Emissões Atmosféricas. (Acessado em maio 2009).
- <http://mysolar.cat.com> (Indústria de Turbinas Solar)
- [www.energyworks.com.br](http://www.energyworks.com.br) (Empresa de Outsourcing de Centrais de Cogeração com aproximadamente 100 MW instalados no país)
- <http://www.sabesp.com.br> (Empresa de fornecimento de água e recebimento de esgoto)
- [www.demec.ufmg.br/disciplinas/ema003/liquidos/oleocomb](http://www.demec.ufmg.br/disciplinas/ema003/liquidos/oleocomb) (Apostila do Curso de Sistemas Térmicos I (EMA003) da Faculdade UFMG)

## 17. Direitos autorais

O autor é o único responsável pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

## STUDY OF A COGENERATION POWER PLANT USING DUAL FUEL HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR WITH NATURAL GAS AND HIGH VISCOSITY FUEL OIL

**Felipe de Menezes Tedesco**

felipe.tedesco@gmail.com

### **Abstract**

*This academic research aims to understand the Cogeneration system applied in the industry and also to study the application of a dual fuel heat recovery steam generator in the cycle, to obtain flexibility in terms of fuel, creating an financial economy on the operation costs, confronting to a initial greater expense with support equipment and equipment of atmospheric emissions control.*

*The standard fuel to be used in the Plant will be Natural Gas, due to current widespread use and the convenience of not be a stored fuel, providing no need of periodic replacement, because it is delivered through pipelines. The flexible fuel will be ultra viscous oil (4A) being cheaper than the gas.*

*The interest in the use of two energy inputs is created because of large variations of the price and the supply of Natural Gas currently in Brazil, preventing long-term forecasts and even in some critical cases, the feasibility of deployment of the Cogeneration system.*

**Keywords:** Cogeneration of electricity, Steam Generator, Natural Gas and Fuel Oil.