

ALEX DEVID NOGUEIRA ANDREASSA

**ESTUDO DE CASO DE COGERAÇÃO EM UM CONDOMÍNIO
RESIDENCIAL**

**São Paulo
2016**

ALEX DEVID NOGUEIRA ANDREASSA

**ESTUDO DE CASO DE COGERAÇÃO EM UM CONDOMÍNIO
RESIDENCIAL**

**Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Especialista em Energias Renováveis,
Geração Distribuída e Eficiência
Energética.**

**São Paulo
2016**

ALEX DEVID NOGUEIRA ANDREASSA

**ESTUDO DE CASO DE COGERAÇÃO EM UM CONDOMÍNIO
RESIDENCIAL**

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Área de concentração: Engenharia elétrica, cogeração, gás natural e geração distribuída.

Orientador: Prof. MSc. Ronaldo Andreos

São Paulo
2016

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada à fonte.

Catalogação-na-publicação

ANDREASSA, ALEX
ESTUDO DE CASO DE COGERAÇÃO EM UM CONDOMÍNIO
RESIDENCIAL / A. ANDREASSA -- São Paulo, 2016.
73 p.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.Engenharia 2.Cogeração 3.Gás Natural 4.CHP I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t.

Dedico este trabalho primeiramente a Deus por permitir que eu alcançasse este objetivo. Também o dedico à minha esposa Amanda Santos pelo apoio e compreensão por todo o período de estudo no qual me dediquei.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que me ajudaram diretamente ou indiretamente para que este trabalho pudesse ser concluído.

Agradeço aos amigos que sempre estiveram me apoiando neste objetivo e também ao orientador Profº MSc. Ronaldo Andreos pela dedicação, paciência e conhecimento transmitido.

A percepção do desconhecido é a mais fascinante das experiências. O homem que não tem os olhos abertos para o misterioso passará pela vida sem ver nada.

Albert Einstein

RESUMO

Analisando as necessidades do mercado de energia elétrica, estudaremos a possibilidade de implantação de cogeração com CHP (combined heat and power) em um condomínio residencial. Esta sugestão foi feita para se aplicar novas formas de geração de energia elétrica, devido às intensas quedas de energia por causa da instabilidade no sistema elétrico brasileiro. O estudo se baseia em avaliar a demanda térmica para aquecer a água de 16 apartamentos, sendo esta utilizada para banho e uso geral, e com esses valores dimensionar um equipamento que atenda esta necessidade e que também atenda a resolução da ANEEL para cogeração. O equipamento também será conectado à rede elétrica da área comum e com isso, diminuirá o consumo de energia elétrica resultando em uma diminuição no valor pago a concessionária de energia.

Será feita uma análise econômica para verificar a viabilidade deste projeto, analisando o custo de implantação da CHP com a economia que poderá ser feita na conta de energia elétrica e também na economia de gás natural que atualmente é utilizado para aquecimento de água.

Palavras-chave: Engenharia. Cogeração. Gás Natural. Setor Residencial. CHP

ABSTRACT

Analyzing the needs of the electricity market, we will study the possibility of cogeneration implementation with CHP (combined heat and power) in a residential condominium. This suggestion was made to apply new forms of electricity generation due to large power outages because of instability in the Brazilian electrical system. The study is based on evaluating the thermal demand for heating the water of 16 apartments, which is used for bath and general use, and these values quantify equipment that meets this need and also meet ANEEL resolution to cogeneration. The equipment will also be connected to the grid of the common area and it will decrease the power consumption resulting in a decrease in the amount paid for the power utility. It will be held an economic analysis in order to assess the viability of this project, analyzing the cost of implementation of CHP with the savings that can be made in the electricity bill and also in the natural gas economy that is currently used for water heating.

Keywords: Engineering. CHP. Natural Gas. Residential sector. CHP

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Relação entre PCS dos principais combustíveis	15
Tabela 2.2 - Composição típica do Gás Natural Região Centro-Oeste, Sudeste e Sul	18
Tabela 3.1 - Empreendimentos em operação	22
Tabela 3.2 - Termelétricas com Cogeração	23
Tabela 3.3 - Termelétricas com cogeração em construção não iniciada.....	23
Tabela 3.4 - Termelétricas com cogeração em construção	24
Tabela 3.5 - Segmento de aplicação por setor.....	26
Tabela 4.1 - Dados informativos sobre volume de consumo de água quente por pessoas/usuário nas edificações	32
Tabela 4.2 - Dados informativos sobre número de pessoas que habitam as edificações	32
Tabela 4.3 - Informações da MCHP CG100/S-NG.....	37
Tabela 4.4 - Consumo da MCHP GSC12/S	38
Tabela 4.5 - Balanço Energético	38
Tabela 4.6 - Tabela de parâmetros FC e X	39
Tabela 4.7 - Cálculo da tarifa de energia elétrica anual – Residencial.....	40
Tabela 4.8 - Cálculo da tarifa de gás natural mensal– Residencial Coletivo.....	41
Tabela 4.9 - Tarifa média por m ³ de gás – Residencial Coletivo mensal	41
Tabela 4.10 - Cálculo da tarifa de gás natural mensal – Cogeração.....	42
Tabela 4.11 - Cálculo da tarifa de gás natural mensal– Residencial Coletivo após a instalação da micro CHP	42
Tabela 4.12 - Tarifa média por m ³ de gás – Residencial Coletivo mensal após a instalação da CHP	43
Tabela 4.13 - Resultado do estudo para implantação da micro CHP	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Balanço energético de um sistema convencional e um sistema de cogeração (Andreos, 2016)	2
Figura 2.2 - Combined Heat and Power Bottoming Cycle - Fonte: https://www.eia.gov/workingpapers/pdf/chp-Industrial_81415.pdf	3
Figura 2.3 - Combined Heat and Power Topping Cycle - Fonte: https://www.eia.gov/workingpapers/pdf/chp-Industrial_81415.pdf	4
Figura 2.4 - Ciclo Brayton com turbina a gás (Andreos, 2016)	5
Figura 2.5 - Microturbina Capstone (HEIMER, 2016).....	5
Figura 2.6 - Cogeração com turbina a vapor (Andreos, 2016)	6
Figura 2.7 - Ciclo Rankine com turbina a vapor (Andreos, 2016)	7
Figura 2.8 – Turbina a Vapor (SIEMENS, 2016)	7
Figura 2.9 - Motor Ciclo Otto (Fonte: BMW)	8
Figura 2.10 - Motor Diesel CUMMINS modelo 6CT8.3 Visto em Corte (STEMAC, 2007)	9
Figura 2.11 - Motor Diesel MTU utilizado em um grupo gerador (STEMAC, 2016)	10
Figura 2.12 - Ciclo motor diesel 04 tempos (Fonte: http://maquinasmotorenapescavso.blogspot.com.br/p/motor-do-ciclo-diesel.html)	11
Figura 2.13 - Ciclo motor diesel 02 tempos (Fonte: http://carros.hsw.uol.com.br/diesel-2-tempo1.htm).....	12
Figura 2.14 - CHP Powerlink - Fonte Powerlink 2016	12
Figura 2.15 - Modelo Simples de instalação de uma CHP - Powerlink 2016	13
Figura 2.16 - Autorizada de Plantas de Produção de Biodiesel, por Região das Unidades da Federação, Período 2005 a 2008. (Fonte ANP (2009)).	16
Figura 2.17 - Produção de açúcar no Brasil (Andreos, 2016)	16
Figura 2.18 - Grupo Gerador a gás natural com motor Scania (STEMAC, 2016)	17
Figura 2.19 - MCI Cummins (CUMMINS, 2016)	18
Figura 2.20 - MCI Waukesha (GE POWER, 2016).....	19
Figura 2.21 - Turbina a gás (GE POWER, 2016)	19
Figura 2.22 - MCI Caterpillar (CATERPILLAR, 2016)	20
Figura 2.23 - Turbina a gás (SOLAR TURBINE, 2016).....	20
Figura 2.24 - Turbina a gás SGT-750 (SIEMENS, 2016)	20
Figura 2.25 - Produtos Capstone (HEIMER, 2016)	21
Figura 2.26 - Produtos Powerlink (Powerlink, 2016)	21
Figura 4.1 - Fluxograma proposto para a instalação	36
Figura 4.2 - Micro CHP GSC12/S - Powerlink - 2016.....	37

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1 - Termelétricas com cogeração - Fonte: ANEEL – 2016.....	23
Gráfico 4.1 - Consumo de energia elétrica na área comum.....	31
Gráfico 4.2 - Payback Simples	44
Gráfico 4.3 - Fluxo descontado 6% a.a.....	45
Gráfico 4.4 - Fluxo descontado 12% a.a.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
μ TG	Micro Turbina a Gás
ANP	Agência Nacional do Petróleo
BIG	Banco de Informação de Geração
CHP	Combinata Heat and power
COGEN	Associação da Indústria de Cogeração de Energia
COMGAS	Companhia de Gás de São Paulo
FUE	Fator de Utilização de Energia
GN	Gás Natural
MCI	Motor de Combustão Interna
PCI	Poder Calorifico Inferior
PCS	Poder Calorifico Superior
TG	Turbina a Gás
TIR	Taxa Interna de Retorno
TV	Turbina a Vapor

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

MW	Megawatt
MWe	Megawatt Elétrico
MPa	Mega Pascal
m^3/kWh	Metro cúbico por Quilowatt hora
kW	Quilowatt
MWh	Megawatt hora
$^{\circ}C$	Graus Celsius
atm	Pressão atmosférica
kWe	Quilowatt Elétrico
h	Horas
s	Segundos
$^{\circ}F$	Graus Fahrenheit
η_e	Eficiência Elétrica
E	Energia Elétrica gerada
PCI	Poder calorífico inferior do combustível
η_t	Eficiência Térmica
Q	Calor gerado
W	Trabalho
Qu	Calor útil
m	Vazão mássica
H_2O	Água
m^3	Metro cúbico
kg	Quilo grama
L	Litro
Et	Energia da utilidade de calor
Ef	Energia da fonte
X	Fator de ponderação
Ee	Energia da utilidade eletromecânica
Fc%	Fator de cogeração
kWh/h	Quilowatt hora por hora
R\$	Reais

Sumário

1.	Introdução	1
2.	Estado Da Arte	2
2.1.	Conceito De Cogeração	2
2.2.	Tipos De Cogeração:	3
2.3.	Equipamentos Empregados Na Cogeração:	4
2.3.1.	Turbina E Microturbina A Gás.....	4
2.3.2.	Turbina A Vapor	6
2.3.3.	Motores De Combustão Interna.....	8
2.3.4.	Combined Heat And Power (CHP).....	12
2.4.	Fator De Utilização De Energia:	13
2.5.	Combustíveis Aplicados	15
2.6.	Principais Fabricantes	18
3.	Cogeração No Brasil:.....	22
3.1.	Cenário Atual:	22
3.2.	Segmentos De Aplicação Para A Cogeração:	25
3.3.	Legislação Brasileira	26
3.4.	Benefícios Da Cogeração	28
3.5.	Barreiras Para A Cogeração	29
4.	Estudo De Caso De Cogeração Para Um Condomínio Residencial.	30
4.1.	Introdução	30
4.2.	Premissas Adotadas	30
4.3.	Parâmetros Utilizados:	32
4.4.	Proposta Para Instalação Da Cogeração:	36
4.5.	Balanço Energético.	37
4.6.	Fator De Utilização Da Cogeração:	40
4.7.	Cálculo Da Tarifa De Energia Elétrica	40
4.8.	Tarifa Do Gás Natural	41
4.9.	Resultados:	43
5.	Conclusões:.....	46
	Bibliografia	48
	Anexos.....	51

1. INTRODUÇÃO

Objetivos

O objetivo desta monografia é um estudo da implantação de uma planta de cogeração para suprir as necessidades de um condomínio residencial situado na cidade de São Paulo, onde foi realizada a análise da parte técnica e econômica a fim de avaliar a viabilidade deste estudo.

Motivação

O desenvolvimento deste trabalho foi motivado pelos seguintes fatores:

- O aumento das tarifas da energia elétrica no Brasil nos últimos anos;
- A instabilidade no fornecimento de energia elétrica devido a secas e consequentemente a diminuição dos níveis dos reservatórios das hidrelétricas;
- O aumento da produção de gás natural no Brasil;
- A utilização de combustíveis menos poluentes e com menor impacto ambiental;
- Motivar investimentos em cogeração, onde podemos com apenas um equipamento gerar energia elétrica e calor para aquecimento de água, substituindo as atuais caldeiras a gás e grupos geradores de emergência à Diesel;

Justificativas

Atualmente, a principal fonte de geração de energia elétrica do Brasil é através das usinas hidrelétricas que corresponde a 61,19% de toda a energia gerada, segundo dados obtidos no mês de agosto/2016 no Banco de informações de Geração (BIG) no site da ANEEL. Como a principal fonte de geração de energia depende do nível dos reservatórios, podemos ter períodos de crises hídricas, como ocorreu no Brasil no ano de 2015, onde muitas termoelétricas foram acionadas para suprir a geração de energia elétrica devido à falta de chuvas e redução nos níveis dos reservatórios, elevando a tarifa de energia elétrica devido uso de combustíveis fósseis, como óleo diesel e carvão mineral, que são prejudiciais ao meio ambiente devido a emissão de gases de exaustão da queima destes combustíveis.

Analisando o mercado residencial atual, observamos que muitos condomínios estão adquirindo fontes de geração de energia própria, mesmo que em regime de

emergência, que são movidas a combustíveis fosseis e utilizam o gás natural para aquecimento de água através de caldeiras. A sugestão deste estudo é unir essas duas necessidades em um único equipamento, onde poderemos reduzir os gastos com energia elétrica, pois através de uma parcela do gás que é utilizado para aquecer a água, pode-se gerar energia térmica e elétrica através de equipamentos dedicados a este fim.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. Conceito de cogeração

Para podermos tratar sobre a cogeração, se faz necessário mencionar que segundo BAlestieri (livro Cogeração: Geração combinada de eletricidade e vapor. 2002. P.22), a cogeração corresponde à produção simultânea de diferentes formas de energia útil, como as energias eletromecânica e térmica, para suprir as necessidades de uma unidade de processo, seja ela do setor industrial, agrícola, terciário ou um sistema isolado, a partir da mesma fonte energética primária. Em outras palavras, seria o aproveitamento de uma parcela da energia que teria de ser obrigatoriamente rejeitada por força da Segunda Lei da Termodinâmica, resultando em um aumento da eficiência global do ciclo térmico.

Na cogeração podemos obter até 85 % de eficiência considerando energia elétrica e térmica.

A figura 2.1 mostra a taxa de aproveitamento dos dois sistemas:

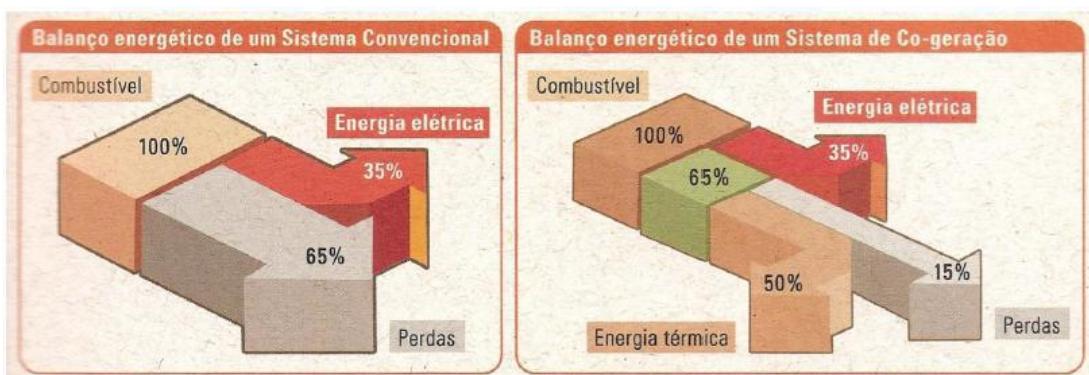


Figura 2.1 - Balanço energético de um sistema convencional e um sistema de cogeração (Andreos, 2016)

2.2. Tipos de Cogeração:

Na maioria, os sistemas de cogeração são caracterizados como Bottoming Cycle ou Topping Cycle.

Bottoming Cycle

Este ciclo é projetado para atender primeiramente toda a demanda térmica, sendo que uma parte do calor rejeitado é recuperado e utilizado para produzir energia elétrica através de uma turbina a vapor. Na figura abaixo temos uma demonstração deste processo.

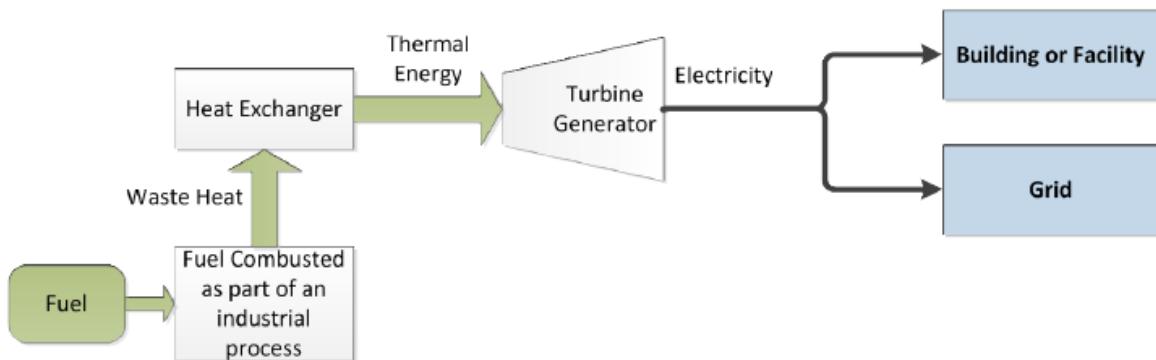


Figura 2.2 - Combined Heat and Power Bottoming Cycle - Fonte: https://www.eia.gov/workingpapers/pdf/chp-Industrial_81415.pdf

Topping Cycle

Este ciclo é oposto ao Bottoming Cycle, pois o projeto é feito para atender primeiramente toda a demanda elétrica, acionando uma turbina acoplada a um alternador para produzir eletricidade. O calor produzido na queima do combustível é utilizado no processo térmico é transferido para aquecimento de água ou de algum ambiente. Isso é ilustrado na figura 2.3.

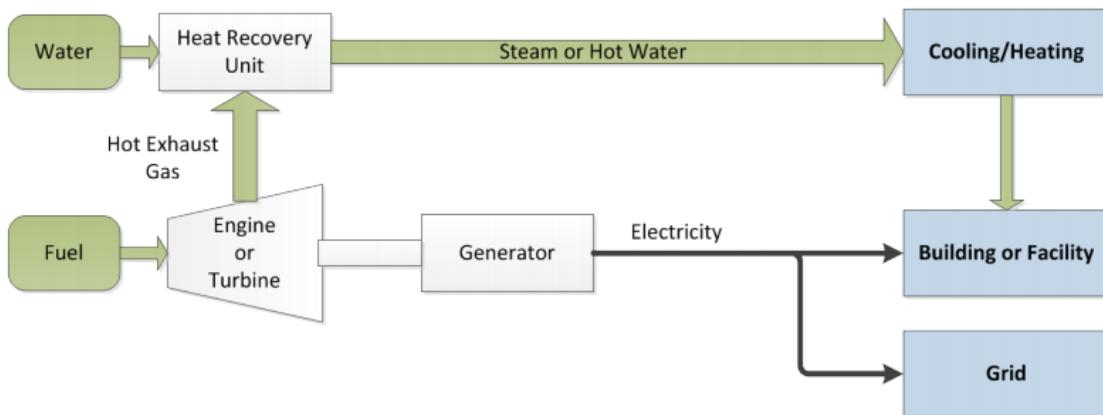


Figura 2.3 - Combined Heat and Power Topping Cycle - Fonte: https://www.eia.gov/workingpapers/pdf/chp-Industrial_81415.pdf

2.3. Equipamentos empregados na cogeração:

Segue a relação de alguns equipamentos dedicados para cogeração elétrica e térmica, de pequeno e médio porte, presentes no mercado brasileiro.

- *Turbina e microturbina a gás (TG/ μ TG);*
- *Turbina a vapor (TV);*
- *Motor a combustão interna (MCI);*
- *CHP (Combined Heat and Power);*

2.3.1. Turbina e microturbina a gás

A turbina a gás é um equipamento compacto, composta de compressor, câmara de combustão e turbina e em alguns casos por mais unidades, formando um grupo gerador, muito conhecido como “conjunto a gás”. Os combustíveis mais utilizados são gás natural, óleo desmineralizado e gases oriundos de processos de gaseificação do carvão e biomassas. O termo “turbina a gás” refere-se aos gases consumidos como fluído de trabalho na câmara de combustão.

A turbina a gás opera no ciclo Brayton, o ar entra no compressor e é transferido para a câmara de combustão, onde ocorre a combustão (queima do combustível), sob pressão constante. Após este ciclo, os gases são expandidos na turbina que aciona o compressor e gera potência mecânica que utilizável em um alternador para gerar energia.

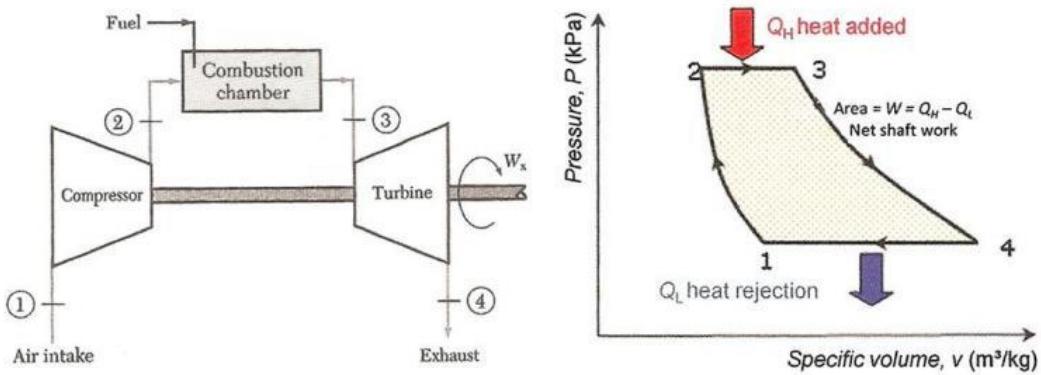


Figura 2.4 - Ciclo Brayton com turbina a gás (Andreos, 2016)

As tecnologias aplicadas para as turbinas a gás servem para vários tipos de aplicações. O tempo de partida curto e o custo de investimento em comparação com as demais tecnologias tornam a turbina a gás um atrativo para aplicação em locais com picos de cargas.

A microturbina a gás possui as mesmas características da Turbina a Gás, porém, em menor escala.

Algumas empresas, como a CAPSTONE estão oferecendo microturbinas a gás para cogeração. Essas microturbinas estão substituindo os grupos geradores a Diesel por serem mais eficientes e poluírem muito menos.

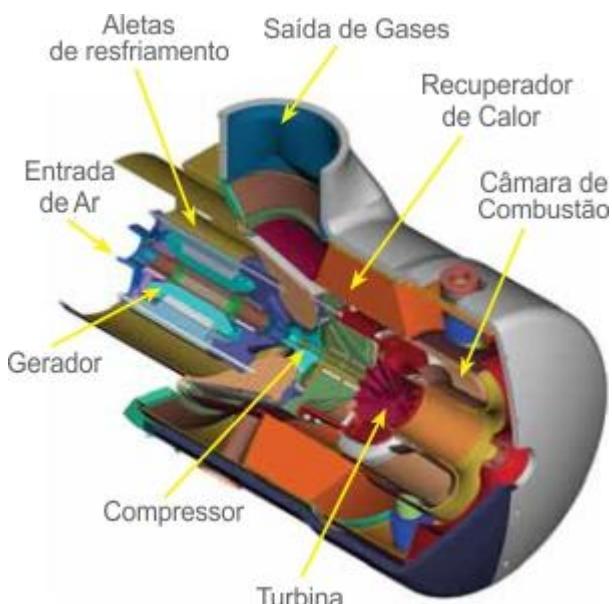


Figura 2.5 - Microturbina Capstone (HEIMER, 2016)

2.3.2. Turbina a vapor

Turbinas a vapor são equipamentos que operam com vapor em alta pressão na condição de vapor superaquecido e podem ser classificadas como:

- Turbinas de contrapressão pura;
- Turbinas de condensação e extração.

- Turbinas de contrapressão pura:

São turbinas que fornecem integralmente a mesma vazão de vapor recebida para os trocadores de calor situados a jusante da turbina, submetendo-o a uma expansão desde a condição inicial (de alta pressão) até níveis de pressão da ordem de 0,2 a 1,0Mpa (BALESTIERI, 2002, p.102).

- Turbinas de condensação e extração:

São turbinas que recebem o vapor de alta pressão e de um ou mais pontos entre a admissão e a descarga, extrai-se vapor de processo com pressão pré-fixada conforme necessidade da unidade, sendo o restante expandido até a pressão do condensador (valores entre 0,005 e 0,01Mpa) (BALESTIERI, 2002, p.102).

As turbinas mais recomendadas nos processos industriais onde a demanda calor e a energia elétrica são aproximadamente iguais, são as turbinas de contrapressão. Nestas aplicações, deve-se manter uma regulagem para manter a pressão de vapor constante atrás da turbina, para que seja obtido a potência elétrica proporcional ao consumo de vapor. Este tipo de turbina é muito utilizado para a cogeração, como observamos na figura 2.6.

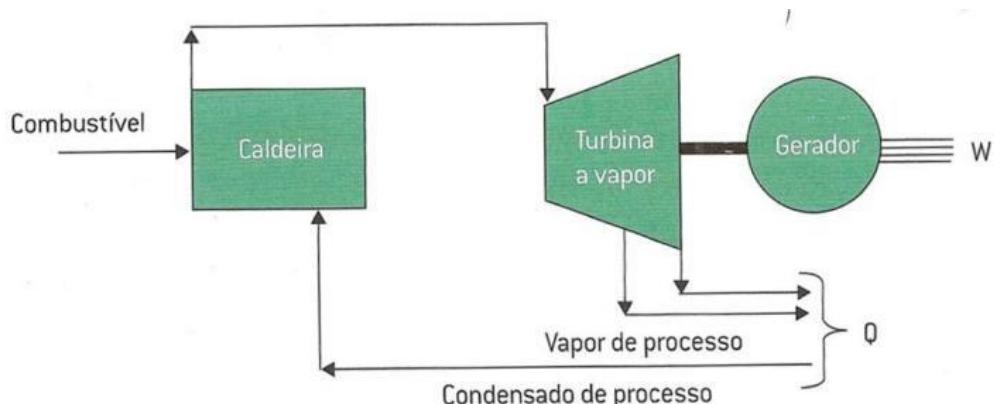


Figura 2.6 - Cogeração com turbina a vapor (Andreos, 2016)

Em processos em que a energia elétrica ou mecânica é prioritária em relação a energia térmica, ou seja, ciclo Topping, empregamos as turbinas de condensação e extração. Estes tipos de turbinas são projetados para centrais térmicas de geração de energia elétrica, onde a energia térmica não tem prioridade. O ciclo de funcionamento desta turbina a vapor é o ciclo Rankine, o vapor ao sair da turbina, perde calor alterando sua fase para o estado líquido. Após isso, é bombeado para a caldeira onde o ciclo irá recomeçar. Pode-se utilizar vários tipos de combustíveis nas turbinas a vapor, sendo o gás natural, o óleo diesel, carvão, gases provenientes da biomassa e óleo combustível.

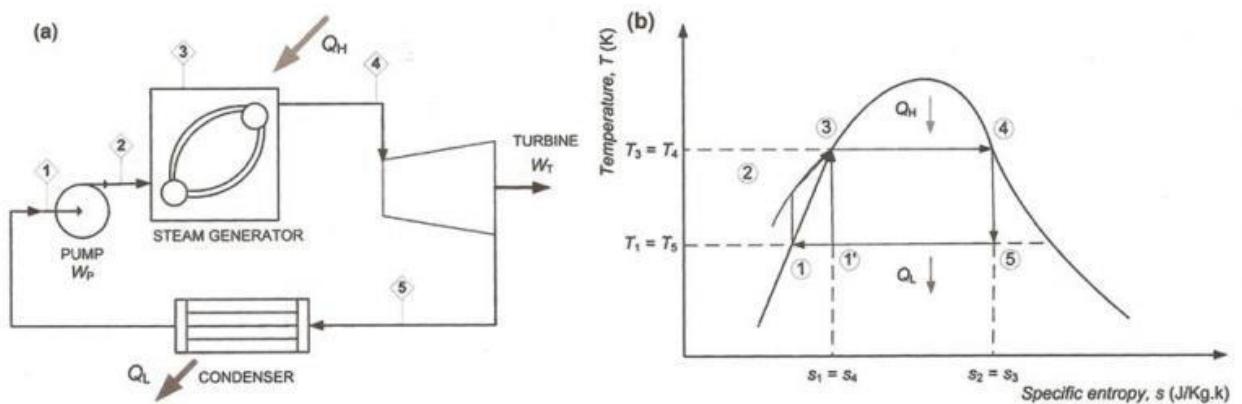


Figura 2.7 - Ciclo Rankine com turbina a vapor (Andreos, 2016)



Figura 2.8 – Turbina a Vapor (SIEMENS, 2016)

2.3.3. Motores de combustão Interna

Os motores de combustão interna são muito utilizados em grupos geradores movidos a óleo diesel e gás natural. Também são utilizados em veículos automotores movidos a gasolina e etanol.

Os MCI são classificados em motores do ciclo Otto e motores do ciclo Diesel, nomes devidos aos seus inventores.

- Motores do ciclo Otto:

São aqueles que aspiram a mistura ar-combustível preparada antes de ser comprimida no interior dos cilindros. A combustão da mistura é provocada por centelha produzida numa vela de ignição. É o caso de todos os motores a gasolina, álcool, gás, ou metanol, que são utilizados, em geral, nos automóveis.



Figura 2.9 - Motor Ciclo Otto (Fonte: BMW)

- Motores do ciclo Diesel:

São aqueles que aspiram ar, que após ser comprimido no interior dos cilindros, recebe o combustível sob pressão superior àquela em que o ar se encontra. A combustão ocorre por autoignição quando o combustível entra em contato com o ar aquecido pela pressão elevada. O combustível que é injetado ao final da compressão do ar, na maioria dos motores do ciclo Diesel é o óleo Diesel comercial,

há outros combustíveis, tais como nafta, óleos minerais mais pesados e óleos vegetais podem ser utilizados em motores construídos especificamente para a utilização destes combustíveis. O processo Diesel não se limita a combustíveis líquidos. Nos motores segundo o processo Diesel podem ser utilizados também carvão em pó e produtos vegetais. Também é possível a utilização de gás como combustível no processo Diesel, nos motores conhecidos como de *combustível misto* ou conversíveis, que já são produzidos em escala considerável e vistos como os motores do futuro.

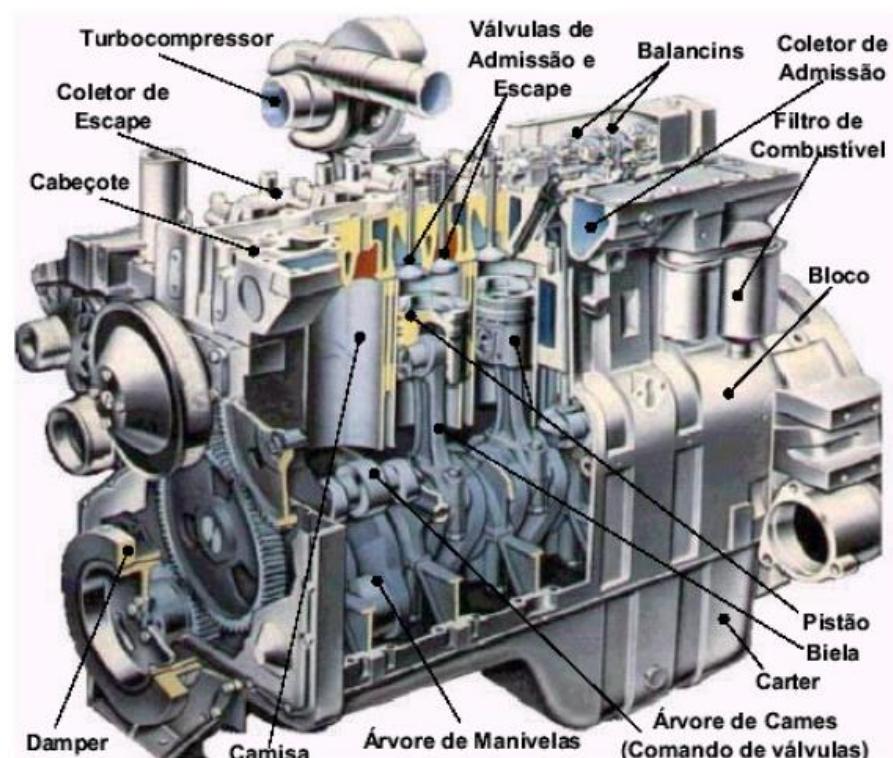


Figura 2.10 - Motor Diesel CUMMINS modelo 6CT8.3 Visto em Corte (STEMAC, 2007)

O motor Diesel pode ser aplicado da seguinte forma:

Motores Estacionários: São destinados ao acionamento de máquinas estacionárias, tais como Grupos Geradores de energia, máquinas de solda, bombas ou outras máquinas que operam em rotação constante;

Motores Veiculares: São destinados ao acionamento de veículos de transporte em geral, tais como caminhonetes, caminhões, alguns modelos de carros e ônibus;

Motores Industriais: São destinados ao acionamento de máquinas de construção civil, como tratores, carregadeiras, guindastes, compressores de ar, máquinas de mineração e outras aplicações onde se exijam características especiais específicas do acionador;

Motores marítimos: São destinados à propulsão de barcos e máquinas de uso naval. Conforme o tipo de serviço e o regime de trabalho da embarcação existem uma vasta gama de modelos com características apropriadas, conforme o uso. (Laser, trabalho comercial leve, pesado, médio-contínuo e contínuo).



Figura 2.11 - Motor Diesel MTU utilizado em um grupo gerador (STEMAC, 2016)

Os MCI podem ser classificados como motores de dois ou quatro tempos:

Motores de quatro tempos:

- **1º Tempo: Admissão da mistura combustível:** A válvula de admissão está aberta e o êmbolo desloca-se do ponto morto superior ao ponto morto inferior efetuando a admissão de ar.

- **2º Tempo: Compressão da mistura:** As válvulas estão fechadas e o êmbolo desloca-se até o ponto morto superior e o ar é intensamente comprimido. Antes do

êmbolo atingir o ponto máximo superior, o combustível é injetado na câmara sob pressão em quantidade controlada pela bomba de combustível.

- **3º Tempo: Explosão, expansão dos produtos de combustão e escape:** No ponto máximo de compressão, com as válvulas ainda fechadas e a elevada temperatura provocada pela compressão do ar, faz com que o combustível se queime à medida que é injetado no interior do cilindro. Com a expansão dos gases, o êmbolo é impulsionado para o ponto máximo inferior.
- **4º Tempo: Expulsão dos produtos de combustão:** A válvula de admissão está fechada e a de escapamento aberta com o êmbolo se deslocando para o ponto máximo superior ocorrendo a expulsão dos gases.

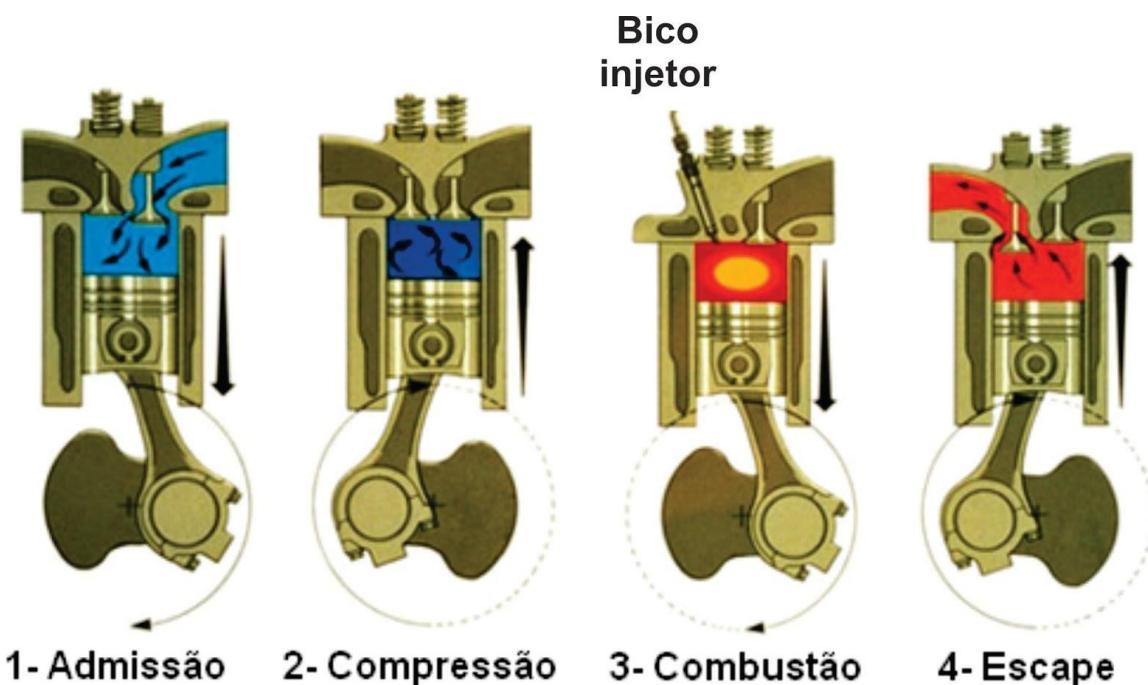


Figura 2.12 - Ciclo motor diesel 04 tempos (Fonte: <http://maquinasmotoresnapescavso.blogspot.com.br/p/motor-do-ciclo-diesel.html>)

Motores de dois tempos:

- **1º Tempo: Admissão da mistura e a compressão do combustível:** A mistura ar-combustível entra em combustão e devido à explosão, o êmbolo é empurrado para baixo, neste mesmo momento, uma nova mistura ar-combustível entra no cárter pela admissão. O êmbolo quando volta a subir, empurra o combustível para a janela de transferência e começa a abrir a janela de escape.

- 2º Tempo: Combustão, expansão e escape dos gases: A janela de transferência é aberta, passando a mistura para a parte superior do cilindro e os gases são expulsos. O êmbolo sobe, fechando a janela de escape e comprimindo a mistura ar combustível que entra em combustão após a faísca elétrica enviada pela vela.

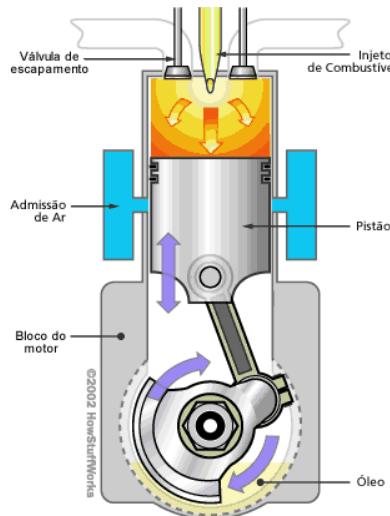


Figura 2.13 - Ciclo motor diesel 02 tempos (Fonte: <http://carros.hsw.uol.com.br/diesel-2-tempo.htm>)

2.3.4. Combined Heat and Power (CHP)

A CHP (Combined Heat and Power) é um equipamento fabricado para a produção combinada e simultânea entre duas ou mais energias a partir de uma única fonte de combustível. O processo mais comum utilizado é a produção de energia elétrica e energia térmica através do uso do gás natural como combustível.



Figura 2.14 - CHP Powerlink - Fonte Powerlink 2016

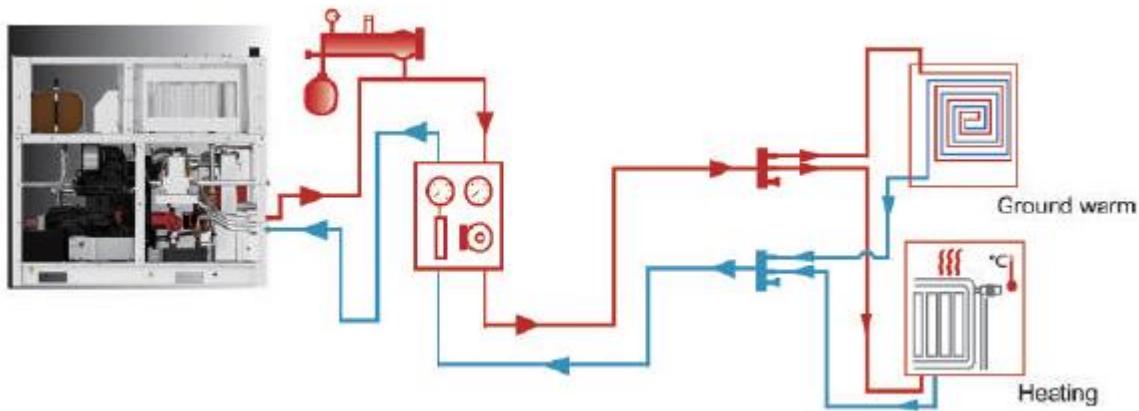


Figura 2.15 - Modelo Simples de instalação de uma CHP - Powerlink 2016

O combustível mais utilizado em uma CHP é o gás natural, pois estes equipamentos em sua grande maioria são fabricados utilizando motores a combustão interna.

Abaixo seguem alguns benefícios da CHP:

- Melhora a eficiência energética, pois a eficiência destes equipamentos é bem alta (> 90%) e, portanto, pode resultar em economias de custo operacional.
- Reduz as emissões de carbono, pois utiliza gás natural como combustível;
- Aquisição de uma única fonte de combustível para alcançar tanto a produção de eletricidade, quanto a de calor.

2.4. Fator de utilização de energia:

O Fator de Utilização de Energia (FUE) define o percentual de energia do combustível utilizado na forma de produção de energia elétrica ou mecânica mais a energia térmica útil. Em termos de aproveitamento térmico, o objetivo principal é desenvolver uma configuração de cogeração em que o FUE se aproxime do ideal (100%). Em geral esse fator pode chegar a 85% (MARTENS, 1998).

Em projetos de cogeração, o fator de utilização de energia (FUE) é muito utilizado para verificar a eficiência da planta. Este fator é dado pela energia aproveitada no ciclo (Térmica e Eletromecânica) e a energia utilizada pela queima do combustível conforme equação 2.1:

$$FUE = \frac{Qu + W}{M_{Comb} \times PCI}$$

(2.1)

Onde:

FUE - Fator de utilização de energia;

Qu - Potência térmica gerada pelo sistema de cogeração (kW);

W - Potência elétrica gerada pelo sistema de cogeração (kW);

M_{comb} - Massa do combustível fornecida ao sistema de cogeração (kg/s);

PCI - Poder Calorífico Inferior (kJ/kg);

Outras equações também podem ser utilizadas em um processo de cogeração. Através delas, obtemos os rendimentos: elétrico, térmico e global.

A equação 2.2 refere-se ao cálculo do rendimento elétrico:

$$\eta_e = \frac{E}{m \times PCI}$$

(2.2)

A equação 2.3 refere-se ao cálculo do rendimento térmico:

$$\eta_t = \frac{Q}{m \times PCI}$$

(2.3)

A equação 2.4 refere-se ao cálculo do rendimento global:

$$\eta_g = \frac{E + Q}{m \times PCI}$$

(2.4)

Onde:

η - Eficiência;

Q – Energia térmica gerada (Calor);

E – Energia elétrica gerada;

M - Vazão mássica de combustível (kg/s);

PCI - Poder Calorífico Inferior (kJ/kg);

2.5. Combustíveis Aplicados

Combustíveis são materiais que liberam energia quando ocorre uma mudança em suas estruturas químicas.

Para entender como os combustíveis são classificados, temos que detalhar alguns conceitos, sendo eles:

Poder Calorífico Superior (PCS): O PCS é o valor da soma da energia liberada na forma de calor + a energia gasta na vaporização (ou condensação) da água que se forma numa reação de oxidação (queima).

Poder Calorífico Inferior (PCI): O PCI é somente o valor da energia liberada na forma de calor numa reação de oxidação (queima), sem considerar a energia gasta na vaporização da água.

Para combustíveis que não contenham hidrogênio na sua composição, o valor de PCS é igual ao do PCI, porque não existe a formação de água e consequentemente não se gasta energia na sua vaporização. Quanto maior a quantidade de hidrogênio (H_2) ou umidade (H_2O) no combustível, maior será a diferença entre o PCS e PCI.

Para a cogeração residencial, são aplicadas tecnologias que utilizam combustíveis líquidos, sólidos e gasosos.

Tabela 2.1 - Relação entre PCS dos principais combustíveis

Combustível	Unidade de comercialização (UC)	Poder Calorífico Superior (PCS) por unidade de comercialização (kcal / UC)
Gás Natural	m^3	9.400
Biogás	m^3	5.000
Óleo Combustível B1	kg	10.161
Óleo Combustível A1	kg	10.073
Óleo Combustível A2	kg	10.035
Óleo Combustível 3A	kg	9.962
GLP	kg	11.800
Lenha	estéreo (m^3 empilhado)	1.287.000
Carvão (CE 6000)	kg	5.760
Carvão (CE 5200)	kg	4.992
Bagaço de Cana	kg	2.257
Querosene Iluminante	l	8.761
Óleo Diesel	l	9.159

(Fonte ANDREOS, 2016)

- **Combustíveis Líquidos:** Podem ser derivados de petróleo, como o óleo combustível, óleo Diesel e a gasolina, porém estes tipos de combustíveis são de difícil viabilidade econômica. Também temos os biocombustíveis como o Etanol e o Biodiesel e também resíduos de processos, como o licor negro, que tem alta viabilidade em ciclo Bottoming.

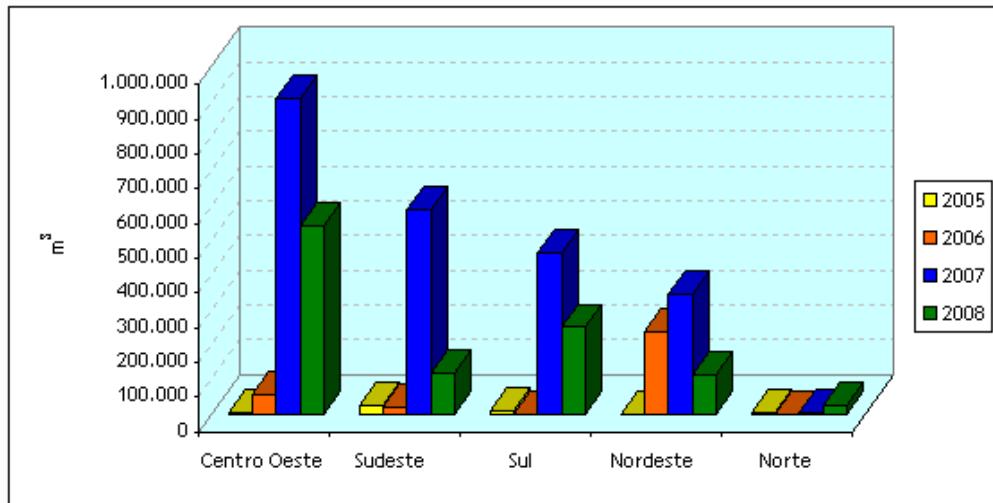


Figura 2.16 - Autorizada de Plantas de Produção de Biodiesel, por Região das Unidades da Federação, Período 2005 a 2008. (Fonte ANP (2009)).

- **Combustíveis Sólidos:** Podem ser utilizados derivados de biomassa como bagaço e palha de cana de açúcar, lenha, pallets de madeira e carvão. São combustíveis de baixo custo unitário e muito empregados em ciclo Bottoming.

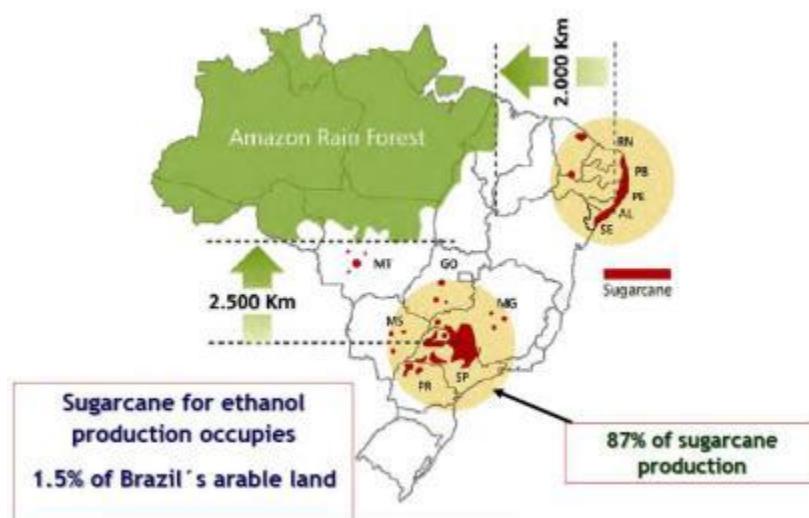


Figura 2.17 - Produção de açúcar no Brasil (Andreos, 2016)

- **Combustíveis Gasosos:** O combustível gasoso mais usual é o gás natural, mas também podemos utilizar o biogás e resíduos de processos como gás de coqueria, gás de alto forno, etc. Este tipo de combustível tem uma maior diversidade de soluções e uma maior viabilidade técnica e econômica.



Figura 2.18 - Grupo Gerador a gás natural com motor Scania (STEMAC, 2016)

Gás natural:

O gás natural é uma mistura de gases formada por átomos de carbono e hidrogênio (hidrocarbonetos) encontrados no subsolo, na qual o metano tem maior participação. É resultado da transformação de fósseis de animais e plantas, sendo uma fonte de energia totalmente natural. Para aumentar a segurança das pessoas, o gás é odorizado, podendo ser detectado facilmente em caso de vazamentos, e sua qualidade é monitorada diariamente através de analisadores on-line posicionados na rede de distribuição (COMGÁS, 2016).

Tabela 2.2 - Composição típica do Gás Natural Região Centro-Oeste, Sudeste e Sul

ELEMENTO	UNIDADE	VALOR
Oxigênio - O ₂	%mol/mol	0,000
Nitrogênio - N ₂	%mol/mol	0,594
Dióxido de Carbono - CO ₂	%mol/mol	1,616
Metano - C ₁ H ₄	%mol/mol	88,683
Etano - C ₂ H ₆	%mol/mol	5,844
Propano - C ₃ H ₈	%mol/mol	2,339
Iso Butano - C ₄ H ₁₀	%mol/mol	0,328
Normal Butano - C ₄ H ₁₀	%mol/mol	0,443
Iso Pentano - C ₅ H ₁₂	%mol/mol	0,076
Normal Pentano - C ₅ H ₁₂	%mol/mol	0,052
Hexano e superiores - C ₆ H ₁₄	%mol/mol	0,025

(Fonte: COMGÁS, 2016)

2.6. Principais Fabricantes

Abaixo segue os principais fabricantes de equipamentos utilizados na cogeração:

- **Cummins:** Empresa com sede em Columbus, Indiana, EUA é uma das maiores fabricantes de MCI no mundo, além de motores, ela também fabrica grupos geradores, turbo compressores e filtros.



Figura 2.19 - MCI Cummins (CUMMINS, 2016)

- **General Electric (GE):** A GE é uma empresa americana fundada por Thomas Edison, ela tem uma grande participação no mercado de cogeração, com a fabricação de MCI Waukesha, também com a fabricação de turbinas a gás e a vapor, além de outros equipamentos.



Figura 2.20 - MCI Waukesha (GE POWER, 2016)

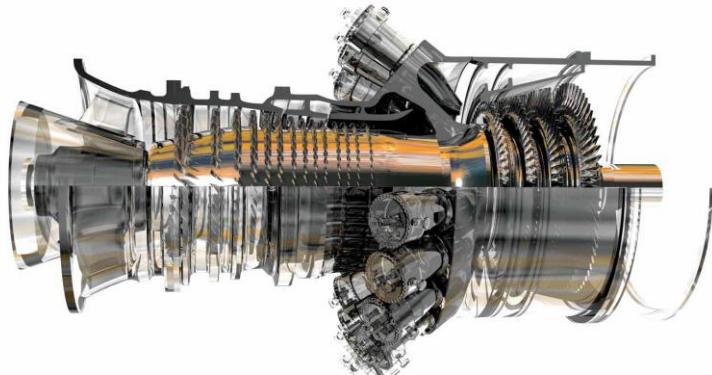


Figura 2.21 - Turbina a gás (GE POWER, 2016)

- **Caterpillar:** A Caterpillar é uma empresa americana que fabrica MCI e grupos geradores. A Caterpillar também é muito conhecida pela fabricação de máquinas agrícola e equipamentos para construção civil, como tratores. A empresa também fabrica turbinas, muito conhecidas pela marca Solar turbines. Estas turbinas a gás são muito utilizadas para uso em geração de energia elétrica, compressão de gás e sistemas de bombeamento.



Figura 2.22 - MCI Caterpillar (CATERPILLAR, 2016)

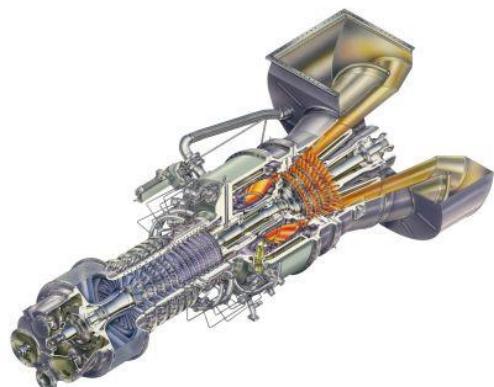


Figura 2.23 - Turbina a gás (SOLAR TURBINE, 2016)

- **Siemens:** A Siemens é uma empresa fundada em 1847 em Berlim, Alemanha. É uma das maiores empresas do mundo no segmento de automação, digitalização e eletrificação. No segmento de cogeração, a Siemens fabrica turbinas a gás e a vapor.



Figura 2.24 - Turbina a gás SGT-750 (SIEMENS, 2016)

Capstone Turbine Corporation: A Capstone é uma empresa americana, fundada em 1988 no estado da Califórnia, nos Estados Unidos da América, sendo uma grande fabricante de turbinas a gás para utilização em microturbina em projeto de sistemas de cogeração para aquecimento e resfriamento.



Figura 2.25 - Produtos Capstone (HEIMER, 2016)

Powerlink: A Powerlink é uma empresa do ramo de energia e equipamentos para geração energia, fundada no ano de 2001. Seus principais produtos são: Grupos Geradores a Diesel, grupos geradores a gás, compressores de ar, torres de iluminação e CHP.



Figura 2.26 - Produtos Powerlink (Powerlink, 2016)

3. Cogeração no Brasil:

3.1. Cenário Atual:

Segundo a ANEEL, tendo como referência o mês de setembro de 2016, o Brasil, possui atualmente 4573 empreendimentos em operação para a geração de energia elétrica, totalizando 147.756.838 KW de potência instalada. A tabela 04 mostra como a potência está distribuída pelos tipos de usina geradora:

Tabela 3.1 - Empreendimentos em operação

Empreendimentos em Operação				
_tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	%
CGH	561	440.338	442.420	0,3
EOL	385	9.467.008	9.393.830	6,36
PCH	446	4.854.790	4.837.026	3,27
UFV	40	26.962	22.962	0,02
UHE	218	101.061.620	90.419.248	61,19
UTE	2.921	42.374.056	40.651.352	27,51
UTN	2	1.990.000	1.990.000	1,35
Total	4.573	160.214.774	147.756.838	100

(Fonte - ANEEL 2016)

Onde:

CGH - Central Geradora Hidrelétrica

CGU - Central Geradora Undi-elétrica

EOL - Central Geradora Eólica

PCH - Pequena Central Hidrelétrica

UFV - Central Geradora Solar Fotovoltaica

UHE - Usina Hidrelétrica

UTE - Usina Termelétrica

UTN - Usina Termonuclear

As usinas hidrelétricas correspondem a 61,19% de toda produção de energia elétrica no Brasil, tornando a matriz energética brasileira dependente deste tipo de geração.

Em segundo lugar, temos as usinas termelétricas, que correspondem a 27,51% de toda a produção de energia elétrica.

Das usinas termelétricas, temos apenas 4.222.890 KW utilizados para a cogeração, ou seja, apenas 10% (Ver tabela 3.2). Isso significa que em 90% das termelétricas temos um baixo fator de utilização de energia.

Tabela 3.2 - Termelétricas com Cogeração

Termelétricas com Co-Geração				
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%	
Construção não iniciada	5	10.660	0,25	
Construção	1	7.902	0,19	
Operação	86	4.204.328	99,56	
Total	92	4.222.890	100	

(Fonte - ANEEL 2016)

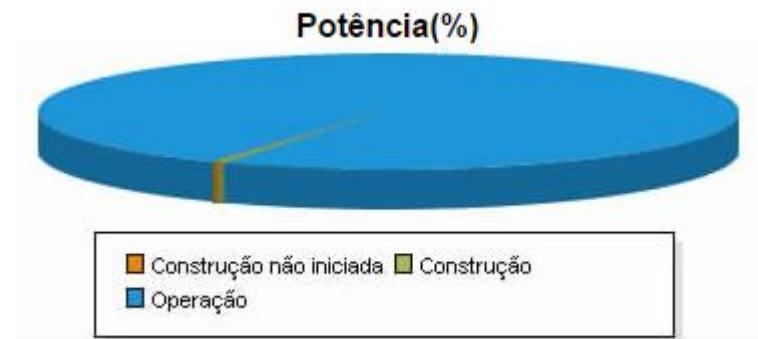


Gráfico 3.1 - Termelétricas com cogeração - Fonte: ANEEL – 2016

Termelétricas com cogeração em construção não iniciada:

Na tabela 3.3, temos a relação de usinas térmicas que serão utilizadas para cogeração que ainda não iniciaram suas construções, estas já estão qualificadas e apenas aguardando o inicio das obras.

Tabela 3.3 - Termelétricas com cogeração em construção não iniciada

USINAS do tipo UTE com Co-Geração Qualificada em Construção não iniciada				
Usina	Potência Outorgada (kW)	Proprietário	Município	Fonte Nível 2
S. A. V. - Unisinos	4.600	100% para Associação Antônio Vieira	São Leopoldo - RS	Gás Natural
Engevix-Blu 1	3.000	100% para Engevix Engenharia S.A	Blumenau - SC	Gás Natural

Bangu Shopping	1.300	100% para BSC Shopping Center S.A.	Rio de Janeiro - RJ	Gás Natural
CNH Urucumacuã	880	80% para Central Administração e Participações S.S Ltda 20% para Rovema Energia S.A	Chupinguaia - RO	Óleo Diesel
CNH Izidolandia	880	80% para Central Administração e Participações S.S Ltda 20% para Rovema Energia S.A	Alta Floresta d'Oeste - RO	Óleo Diesel
Total: 5 Usina(s)		Potência Total: 10.660 kW		

(Fonte - ANEEL 2016)

Termelétricas com cogeração em construção:

Na tabela 3.4, já temos a relação de usinas térmicas que estão em fase de construção e serão utilizadas para cogeração.

Tabela 3.4 - Termelétricas com cogeração em construção

USINAS do tipo UTE com Co-Geração Qualificada em Construção					
Usina	Potência Outorgada (kW)	Destino da Energia	Proprietário	Município	Fonte Nível 2
Jaguariúna	7.902	PIE	100% para Companhia Brasileira de Bebidas	Jaguariúna - SP	Gás Natural
Total: 1 Usina(s)		Potência Total: 7.902 kW			

(Fonte - ANEEL 2016)

Termelétricas com cogeração em operação:

A relação de usinas termelétricas com cogeração que estão em operação no Brasil encontra-se em anexo.

3.2. Segmentos de aplicação para a cogeração:

A cogeração é indicada para empreendimentos que buscam autossuficiência energética, qualidade da energia elétrica recebida e sustentabilidade através da alta eficiência energética da alternativa. Ela pode ser aplicada nos segmentos residenciais, comerciais e industriais. Abaixo seguem alguns exemplos de setores para a aplicação da cogeração:

- Alimentos e bebidas;
- Condomínios comerciais e residenciais;
- Hospitais;
- Hotéis;
- Shoppings centers;
- Siderurgia;
- Supermercados.
- Têxtil;

No setor industrial, os principais ciclos utilizados são Rankine e Brayton. O balanço energético é baseado no Bottoming Cycle e por consequência pode-se utilizar os diversos tipos de combustíveis primários, tais como gasosos, líquidos, sólidos e até resíduos de processo.

No setor terciário, o principal ciclo utilizado é o MCI ciclo Otto. O balanço energético é baseado no Topping Cycle e por consequência são utilizados os combustíveis primários líquidos ou gasosos, como por exemplo, o gás natural. Segundo ANDREOS (2016), em aplicações que o funcionamento da planta é contínuo e a demanda térmica é alta, recomenda-se a utilização de turbinas a gás do ciclo Brayton com dimensionamento do balanço energético Bottoming Cycle.

Na tabela 3.5, temos uma comparação entre a cogeração no setor industrial e no setor terciário:

Tabela 3.5 - Segmento de aplicação por setor

Característica	Cogeração industrial	Cogeração setor terciário
Segmento típico	Química, papel e celulose, metalúrgica, alimentos, bebidas, têxtil, madeira, mineração, cerâmica, laminação e tratamento térmico, forno de vidro e refinaria de petróleo	Supermercado, shopping center, hospital, hotel, edifício comercial e corporativo, data center e call center
Facilidade de integração com energias renováveis e resíduais	Moderada - Alta (particularmente energia de vapor de processo industrial)	Baixa - Moderada
Nível de temperatura	Alto	Baixo para médio
Capacidade do sistema	1 a 500 MWe	até 10 MWe
Máquina térmica primária	Turbina a vapor, turbina a gás, ciclo combinado (sistemas maiores) e motor a combustão interna do ciclo Diesel	Motor a combustão interna do ciclo Otto, motor stirling, célula combustível e microturbina
Combustível de energia primária	Combustível gasoso, líquido ou sólido, gás residual de processo (gás de alto forno)	Combustível gasoso ou líquido
Principais usos	Indústria (energia para as utilidades)	Usuários finais e utilidades
Balanço energético	Bottoming cycle	Topping cycle
Principal geração de energia	Vapor e eletricidade	Eletricidade, climatização e água quente

(Fonte - ANDREOS, 2016)

3.3. Legislação brasileira

Para a implantação de uma usina de cogeração, foram criadas leis para regulamentar este mercado, abaixo seguem algumas das principais leis para a certificação de uma central de cogeração:

Decreto nº 2.003, de 10 de setembro de 1996: Este decreto define e regulamenta a produção independente e a autoprodução de energia elétrica com fontes alternativas e renováveis. Este decreto complementa a Lei N° 9.074 ampliando os acessos de produtores de energia industriais e comerciais.

Lei nº 9.478, de 6 agosto de 1997: Esta lei define a política energética nacional que determina as diretrizes do uso racional das fontes de energia, inclusive as tecnologias alternativas.

Em dezembro de 1997, a ANEEL iniciou suas atividades para regular o setor elétrico brasileiro, por meio da **Lei nº 9.427/1996** e do **Decreto nº 2.335/1997**.

As principais atribuições da ANEEL são:

- **Regulamentar** a geração (produção), transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica;
- **Fiscalizar**, diretamente ou mediante convênios com órgãos estaduais, as concessões, as permissões e os serviços de energia elétrica;
- Implementar as políticas e diretrizes do governo federal relativas à exploração da energia elétrica e ao aproveitamento dos potenciais hidráulicos;
- Estabelecer **tarifas**;
- **Dirimir as divergências**, na esfera administrativa, entre os agentes e entre esses agentes e os consumidores, e
- Promover as atividades de **outorgas de concessão**, permissão e autorização de empreendimentos e serviços de energia elétrica, por delegação do Governo Federal.

Resolução Normativa ANEEL nº 167 de 10 de outubro de 2005: Esclarece o processo de contratação de energia proveniente de geração distribuída.

Resolução Normativa ANNEL nº 235 de 14 de novembro de 2006: Requisitos para a qualificação de centrais termelétricas cogeradoras de energia e dá outras providências.

Resolução Normativa ANEEL nº 247 de 21 de dezembro de 2006: Condições para a comercialização de energia elétrica, oriunda de empreendimentos de geração que utilizem fontes primárias incentivadas, com unidade ou conjunto de unidades consumidoras cuja carga seja maior ou igual a 500 kW e dá outras providências. Esta resolução prevê uma redução de 50% nas tarifas de uso dos sistemas de transmissão e distribuição para as gerações incentivadas e no caso da cogeração a gás natural, a capacidade da usina é limitada a 1 MW.

Resolução Normativa ANEEL nº 390 de 15 de dezembro de 2009: Requisitos necessários à outorga de autorização para exploração e alteração da capacidade instalada de usinas termelétricas e de outras fontes alternativas de energia, os procedimentos para registro de centrais geradoras com capacidade instalada reduzida e dá outras providências.

Esta normativa estabelece a obrigatoriedade de registro para centrais com capacidade de geração de até 5 MW e de autorização para centrais com capacidade superior a 5 MW.

Resolução Normativa ANEEL nº 482 de 17 de abril de 2012 (Atualizada em 01/03/2016): Condições gerais para o acesso de microgeração (Até 75 KW) e minigeração (03 MW – hidráulica e 05 MW- outras fontes) distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.

Esta resolução limita a capacidade máxima instalada de 5 MW apesar da geração distribuída ter o seu limite de 30 MW.

3.4. Benefícios da Cogeração

A cogeração tem um papel muito importante para a produção de energia elétrica no Brasil. Aplicada em grande escala, pode contribuir para o desenvolvimento social do país e também para a competitividade do empreendedor, do ponto de vista econômico.

- Benefícios para o Brasil: O benefício da cogeração para o Brasil é a aplicação da usina cogeradora dentro do centro de carga, dispensando a necessidade de utilização do atual sistema de transmissão e distribuição de energia elétrica que se encontra saturado, sem a capacidade de instalação de novas cargas. Ao implantar a cogeração no centro de cargas podemos proporcionar o seguinte:

- Eliminação das perdas técnicas na transmissão e distribuição de energia, que segundo ANDREOS, chegam a 18%;
- Disponibilidade de energia para o crescimento do PIB, pois muitos empreendimentos principalmente os comerciais, produzem energia térmica para a climatização e ao implantar a cogeração, tiramos essa demanda de energia do sistema elétrico integrado disponibilizando para outras utilidades;
- Maior participação do gás natural na geração de energia elétrica, sendo este combustível mais eficiente e ecológico do que os óleos combustíveis e carvão utilizados em termelétricas;

- Benefícios para o Empreendedor: A cogeração tem diversos benefícios para os empreendedores:

- Ser o fornecedor da própria eletricidade. Nos grandes centros, os apagões têm ocorridos com frequência, com a possibilidade de gerar a própria energia, pode se garantir a continuidade do negócio, independente dos problemas do sistema de distribuição de energia elétrica;
- Evita o risco de oscilação da rede que pode danificar diversos equipamentos, pois o estabelecimento que possui a cogeração pode garantir a qualidade da energia elétrica e evitar variações de tensão, frequência e apagões que ocorrem no sistema de distribuição de energia elétrica;
- Venda de energia excedente as distribuidoras através de contratos com agências reguladoras;
- Redução do custo com energia elétrica devido o preço do gás natural para a cogeração ser inferior ao custo da energia elétrica e também pelo uso da energia térmica do processo de cogeração;

- Benefícios ao meio ambiente: Além dos benefícios ao país e ao empreendedor, a cogeração também contribui com o meio ambiente:

- Sustentabilidade. O uso racional do gás natural na cogeração aproveitando o máximo de energia, aumenta a vida útil das reservas de gás e também é possível produzir o dobro de energia com a cogeração em comparação com uma usina termelétrica a gás.
- Menor impacto global. Ao compararmos a cogeração com a geração de energia térmica, temos um ganho de eficiência de mais de 50%, reduzindo a emissão de gases de efeito estufa.

3.5. Barreiras para a cogeração

Mesmo com vários benefícios, a cogeração ainda enfrenta muitas barreiras, sendo:

- ✓ Alto Investimento inicial;
- ✓ Equipamentos importados;
- ✓ Dependência da tarifa do gás;
- ✓ Falta de mão de obra qualificada para operação das usinas;
- ✓ Dificuldade de conexão na rede;

4. Estudo de caso de cogeração para um condomínio residencial.

4.1. Introdução

Atualmente os condomínios residenciais vêm se modernizando a instalando novas tecnologias para o conforto de seus moradores. Uma destas tecnologias é o aquecimento de água central através do gás natural para o uso em chuveiros, cozinhas, lavanderias e também na área comum no edifício, como o uso da piscina. Outra tecnologia utilizada, é a geração de energia própria com uso de óleo diesel, em grande parte, somente em períodos de apagões.

4.2. Premissas adotadas

Condomínio existente, situado na cidade de São Paulo, possui 16 apartamentos com quatro dormitórios e três banheiros. Este condomínio possui uma caldeira a gás para aquecimento de água de todos os apartamentos e também um grupo gerador para suprir toda a área comum e os apartamentos em uma eventual interrupção do fornecimento de energia elétrica. Pretende-se instalar uma central de cogeração para diminuir o consumo de energia elétrica da área comum e também diminuir o consumo de gás natural utilizado pela caldeira para aquecimento de água.

Energia Elétrica:

Por se tratar de um empreendimento residencial, ele não possui demanda contratada, porém foi feito um estudo do consumo de energia da área comum através de uma medição das cargas instaladas e também analisando o consumo médio anual, obtendo os seguintes valores:

- Demanda máxima para a área comum: 100kW;
- Consumo energia anual: 44.342kwh
- Consumo energia mensal: 3.695kwh;

O gráfico 4.1 mostra a curva do consumo médio de energia elétrica no decorrer de um ano:

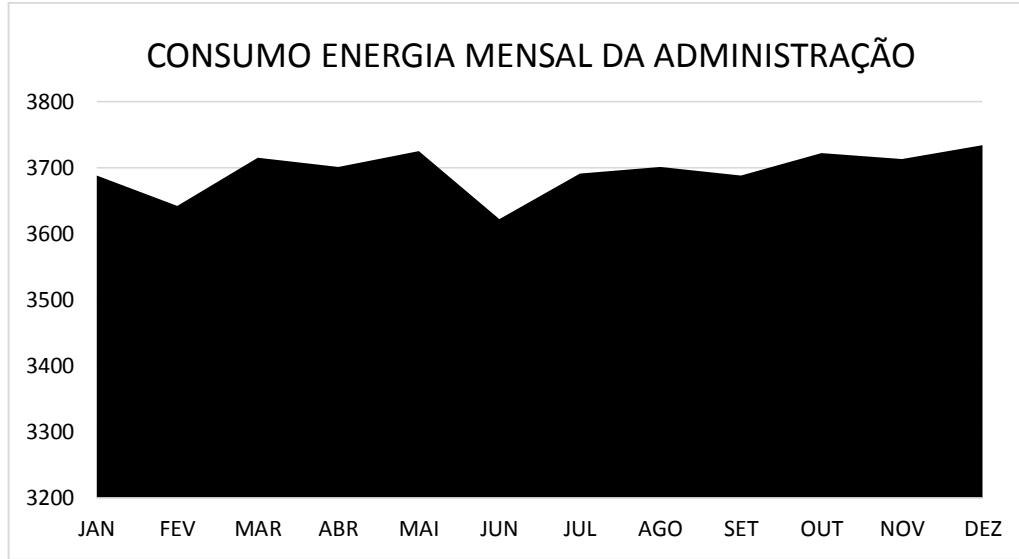


Gráfico 4.1 - Consumo de energia elétrica na área comum

Energia térmica:

O condomínio necessita de energia térmica (Calor) durante 24 horas, porém com maior uso no período das 06:00 as 20:00hs. Uma das maneiras de determinação do volume total de água quente consumido diariamente na edificação é utilizar uma estimativa do consumo per capita. Além disso, o número de usuários é imprescindível para a determinação do volume diário de água quente consumida.

A equação 4.1 pode ser utilizada para cálculo do volume de consumo:

$$V_{CONSUMO} = V_{DIA} \times N \quad (4.1)$$

Onde:

$V_{consumo}$ - Volume total de água quente consumido diariamente na edificação (l/dia);

V_{dia} - Consumo de água quente por dia por pessoa (l/dia);

N - Quantidade de pessoas residentes na edificação.

O volume diário de água consumido pela edificação pode também ser obtido a partir do volume diário consumido por cada unidade multiplicado pelo número total de unidades através da equação 4.2.

$$V_{INDIVIDUAL} = V_{DIA} \times N_{APARTAMENTO} \quad (4.2)$$

Onde:

$V_{individual}$ - Volume de consumo diário por unidade habitacional (l/dia);

V_{dia} - Consumo de água por dia, por pessoa (l/dia);

$N_{apartamento}$ - Quantidade de pessoas residentes na unidade habitacional

Na tabela 4.1 encontramos os dados informativos sobre o consumo de água quente por usuário.

Tabela 4.1 - Dados informativos sobre volume de consumo de água quente por pessoas/usuário nas edificações

Região/País	Peça de utilização	Volume (l/dia)
Brasil (ABNT NBR 12 269)	Chuveiro	66 a 120
Brasil (ABNT NBR 12 269)	Lavatório	6 a 9,6
São Paulo / BR (Recomendações ABRASIP e ABRAVA)	Chuveiro	80
São Paulo / BR (Recomendações ABRASIP e ABRAVA)	Cozinha	10
São Paulo / BR (Recomendações ABRASIP e ABRAVA)	Lavatório	5

(Fonte: Comgás – 2016)

De acordo com a tabela 4.2, foi calculada a demanda de água quente dos apartamentos. São 16 apartamentos, com quatro dormitórios e três banheiros.

Tabela 4.2 - Dados informativos sobre número de pessoas que habitam as edificações

Região/País	Região/País	Pessoas por apartamento
IBGE (ABRAVA)	Brasil	3,6
Recomendações técnicas (ABRASIP e ABRAVA)	São Paulo	1 por dormitório + 1 (Max. 5 pessoas) (*)

Nota (*): neste caso multiplica-se o total de pessoas por um fator de ocupação, que varia conforme a quantidade de apartamentos no edifício, sendo $F=1$ para edifícios com menos de 10 apartamentos, $F=1,2 - 0,02 \times (\text{apartamentos})$ para edifícios de 10 a 25 apartamentos e $F=0,7$ para edifícios com mais de 25 apartamentos.

(Fonte: Comgás – 2016)

4.3. Parâmetros utilizados:

- População: 01 pessoa por dormitório, mais 01, limitado a 05 pessoas;
- Fator de ocupação: 80%;
- Consumo de água: 100 litros de água quente para banho, 08 litros para torneiras e 05 litros para pias, totalizando 113 litros por dia por pessoa;
- Temperatura ambiente da água: 20,2 °C;

- Temperatura de consumo: 45 °C;
- Temperatura de saída da CHP: 90 °C;
- Fator de simultaneidade (FS) = 0,6

A população residente é calculada da seguinte maneira:

$$N_{TOTAL} = N_{APTO} \times N_{PESSOAS} \quad (4.3)$$

Onde:

- N_{total}** - Número total de pessoas no local;
- N_{apto}** - Número de apartamentos do edifício;
- N_{pessoas}** - Número de pessoas por apartamento;

$$N_{TOTAL} = 16_{APTO} \times 5_{PESSOAS POR APTO} = 80_{PESSOAS}$$

Multiplicada a população pelo fator de ocupação, teremos:

$$N = N_{TOTAL} \times FO \quad (4.4)$$

onde:

- N** – Número total de pessoas na edificação;
- N_{total}** - Número total de pessoas no local;
- FO** - Fator de ocupação do edifício;

$$N = 80 \times 0,8 = 64_{PESSOAS}$$

O volume de água consumido diariamente na edificação é calculado pela equação 4.1:

$$V_{CONSUMO} = V_{DIA} \times N$$

Portanto:

$$V_{CONSUMO} = 113_{LITROS POR DIA POR PESSOA} \times 64_{PESSOAS} = 7232_{LITROS POR DIA}$$

O volume de água consumido diariamente na unidade habitacional é:

$$V_{INDIVIDUAL} = V_{DIA} \times N_{APARTAMENTO}$$

Portanto:

$$V_{CONSUMO} = 113_{LITROS POR DIA POR PESSOA} \times 5_{PESSOAS} = 565_{LITROS POR DIA}$$

Cálculo do volume diário de água quente em uma hora do período de maior consumo

$$V_{DIARIO} = \frac{V_{CONSUMO} \times (T_{CONSUMO} - T_{AGUA FRIA})}{(T_{SAIDA CHP} - T_{AGUA FRIA})} \quad (4.5)$$

$$V_{DIARIO} = \frac{7232 \times (45 - 20,2)}{(90 - 20,2)} = 2569,53_{LITROS}$$

O cálculo do volume de água quente necessário no período de maior consumo em uma hora é obtido através da expressão:

$$V_{PICO} = V_{DIARIO} \times FS \quad (4.6)$$

Onde:

V_{pico} - Volume de água quente máximo consumido em uma hora (l);

$V_{individual}$ - Volume de consumo diário por unidade habitacional (l)

FS - Fator que representa a simultaneidade de uso, em uma unidade habitacional;

$$V_{PICO} = 2569,53 \times 0,6 = 1541,72_{LITROS}$$

Determinado o volume de água necessária para suprir a hora de maior consumo, através da expressão:

$$V_{ARMAZ} = V_{PICO} \times F_{ARMAZ} \quad (4.7)$$

Onde,

V_{armaz} - Volume mínimo de armazenamento do sistema de aquecimento a gás (l)

V_{pico} - Volume de água quente máximo consumido em uma hora (l)

F_{armaz} - Fator de minoração para determinar o volume mínimo de armazenamento (Tabelado)

$$V_{ARMAZ} = 1541,72 \times \frac{1}{4} = 385,43 \text{ LITROS}$$

Para determinar a potência térmica para aquecer a água no momento de maior consumo, deve-se definir a capacidade de recuperação do reservatório no instante mais crítico:

$$V_{RECUP} = V_{DIARIO} - V_{ARMAZ} \quad (4.8)$$

Onde:

V_{recup} - Volume necessário para recuperação do sistema na hora mais crítica (l/h)

V_{pico} - Volume de água quente máximo consumido em uma hora (l)

V_{armaz} - Volume de armazenamento do sistema de aquecimento a gás (l)

$$V_{RECUP} = 1541,72 - 385,43 = 1156,29 \text{ LITROS}$$

Definido o volume necessário de recuperação do sistema é preciso calcular a potência térmica que atenda a estas condições.

$$Q = V_{RECUP} \times c \times (T_{ARMAZ} - T_{AGUA\,FRIA}) \quad (4.9)$$

Onde:

Q = Potência útil do(s) aquecedor(es) (kcal/h)

V_{recup} = Volume necessário para recuperação do sistema na hora mais crítica (l/h)

c = Calor específico da água (igual a 1 kcal/kg °C)

T_{armaz} - Temperatura de armazenamento da água (°C)

$T_{água\,fria}$ - Temperatura da água fria do local de instalação (°C)

$$Q = 1156,29 \times 1 \times (90 - 20,2) = 80709,04 \frac{\text{kcal}}{\text{H}}$$

Fator utilizado 1 kcal = 0,001163 kWh

Convertendo para KW, temos 93,86kW_t/hora.

Ou seja, a energia térmica necessária para aquecer a água é de 93,86kWt/h.

4.4. Proposta para instalação da cogeração:

A figura 4.1 é a proposta de instalação da cogeração no condomínio, a caldeira a gás será mantida como backup em caso de manutenção da CHP e também para atender os horários de alta demanda de água quente. A concessionária de energia também ficará em paralelo com a CHP, para atender a energia elétrica da área comum nos momentos que a cogeração estiver desligada e também para atender os picos de demanda de energia elétrica que podem ocorrer durante o dia.

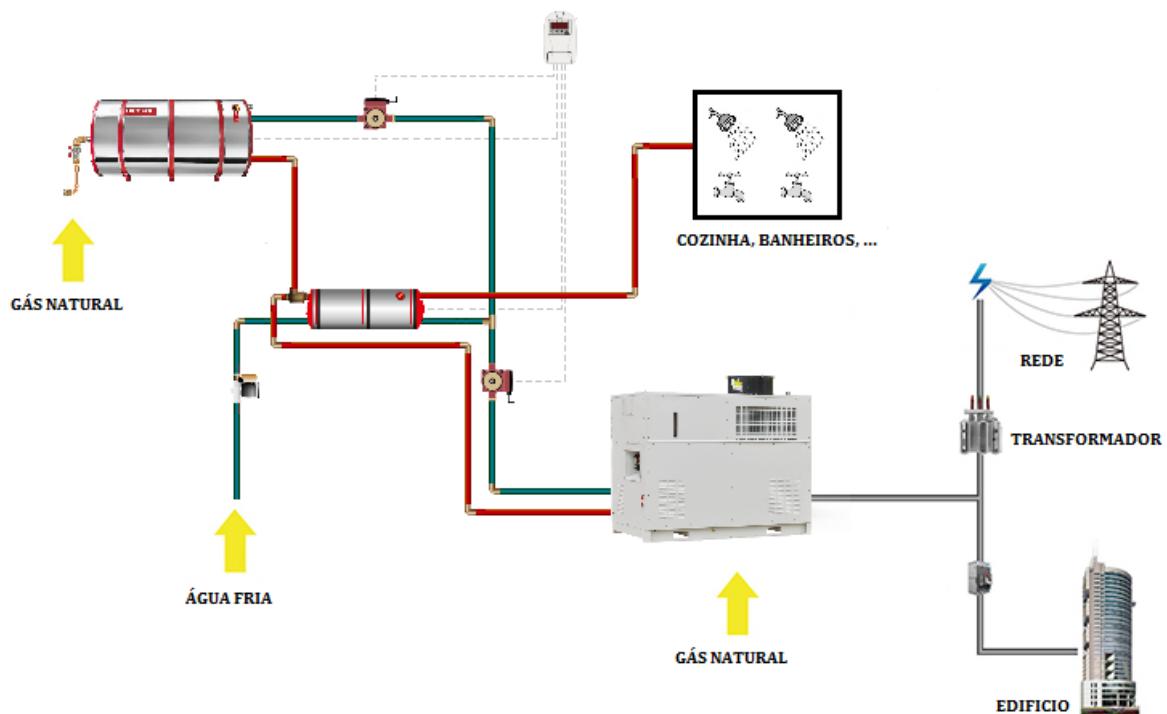


Figura 4.1 - Fluxograma proposto para a instalação

Configuração adotada:

Para poder implantar um equipamento que atenda a resolução 235 da ANEEL, será utilizado um micro CHP da empresa Power link modelo GSC12/S que possui as seguintes características:

Tabela 4.3 - Informações da MCHP CG100/S-NG

MCHP parameters	GSC12S	
Frequency	Hz	50/60
Electrical power	kW	12/15
Thermal power	kW	26
Fuel input	kW	41/51
Electrical efficiency	%	29.6
Thermal efficiency	%	63.7
Total efficiency	%	93.3
Heating water temp. outlet °C	90~95	
Heating water temp. return °C	75~82	
Hot water output	t/h	1.411
Gas consumption MJ/kWh		
100% Load		12.3
75% Load		10.3
50% Load		7.1
Dimension	mm	1400x750x1270
Weight	kg	826
Noise level	dB(A)	≤55
Emission	mg/Nm ³	NOx : ≤200

(Fonte: Powerlink – 2016)



Figura 4.2 - Micro CHP GSC12/S - Powerlink - 2016

4.5. Balanço energético.

Na tabela 4.4 segue os cálculos com os dados energéticos do gás natural para a micro CHP:

Tabela 4.4 - Consumo da MCHP GSC12/S

Consumo de combustível	PCI	Consumo
2937,81kcal/kwh	8560kcal/m³	0,3432m³/kwh

Na tabela 4.5, segue os valores do balanço energético:

Tabela 4.5 - Balanço Energético

Balanço Energético	
Consumo CHP	0,3432m³/kwh
Capacidade	15kW
PCI GN	8560kcal/kwh
Energia Consumida	50kW
Energia Térmica Fornecida	26kW
Eficiência Elétrica	29,60%
Eficiência Térmica	63,70%

Para confirmar se a cogeração poderá entrar em operação, devemos cumprir os requisitos de qualificação da Cogeração - ANEEL Resol. nº 235 14/11/06 que estão nas equações 4.10 e 4.11:

$$\frac{Et}{Ef} \geq 15\% \quad (4.10)$$

$$\left(\frac{Et}{Ef} \right) \div X + \frac{Ee}{Ef} \geq Fc\% \quad (4.11)$$

Onde:

Et - Energia da fonte: Energia recebida pela central termelétrica cogeradora, no seu regime operativo médio;

Ee - Energia da utilidade eletromecânica: Energia cedida pela central termelétrica cogeradora, no seu regime operativo médio, em kWh/h;

Et - Energia da utilidade calor: Energia cedida pela central termelétrica cogeradora, no seu regime operativo médio, em kWh/h,

Fc % - Fator de cogeração: Parâmetro definido em função da potência instalada e da fonte da central termelétrica cogeradora, o qual se aproxima do conceito de eficiência Energética;

X - Fator de ponderação: Parâmetro adimensional definido em função da potência instalada e da fonte da central termelétrica cogeradora, obtido da relação entre a eficiência de referência da utilidade calor e da eletromecânica, em processos de conversão para obtenção em separado destas utilidades.

Os valores de Fc % e X podem ser obtidos através da tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Tabela de parâmetros FC e X

Fonte/potência elétrica instalada	X	Fc%
Derivados de Petróleo, Gás Natural e Carvão:		
Até 5 MW	2,14	41
Acima de 5 MW e até 20 MW	2,13	44
Acima de 20 MW	2,00	50
Demais combustíveis:		
Até 5 MW	2,50	32
Acima de 5 MW e até 20 MW	2,14	37
Acima de 20 MW	1,88	42
Calor recuperado de processo:		
Até 5 MW	2,60	25
Acima de 5 MW e até 20 MW	2,17	30
Acima de 20 MW	1,86	35

(Fonte: ANDREOS – 2016)

Para o projeto temos os seguintes valores:

$$E_f = 49,77 \text{ kWh/h}$$

$$E_e = 8,68 \text{ kWh/h}$$

$$E_t = 25,8 \text{ kWh/h}$$

$$X = 2,14 \text{ (instalação com até 5 MW de potência elétrica)}$$

$$Fc = 41\%$$

$$\frac{E_t}{E_f} = \frac{25,8}{49,77} = 51,83\% \geq 15\%, \text{ portanto atende o requisito "a"}$$

$$\frac{\frac{E_t}{E_f}}{X} + \frac{E_e}{E_f} = 0,2422 + 0,1744 = 41,66\% \geq 41\%, \text{portanto atende o requisito "b"}$$

4.6. Fator de utilização da cogeração:

O Cálculo do fator de utilização de energia para a instalação de cogeração pode ser obtido através da equação 4.12 :

$$FUE = \frac{W + Q_u}{Q_{COMB}}$$

(4.12)

$$W = 15kWe$$

$$Q_u = 25,8kWt$$

$$Q_{comb} = 49,77kW$$

$$FUE = \frac{15 + 25,8}{49,77} = 81,97\%$$

4.7. Cálculo da tarifa de energia elétrica

Adotando a tarifa residencial vigente no Mês de Setembro de 2016, obtemos os valores gastos com energia elétrica para a área comum:

Tabela 4.7 - Cálculo da tarifa de energia elétrica anual – Residencial

Calculo do consumo de energia área comum - Anual				
Aliquota	Base de Calculo	ICMS	Consumo	Tarifa com impostos
25,00%	R\$ 25.896,37	6474,09	44342	0,584014
Fornecimento				
Consumo x TUSD (Valor do kWh)				
44342	0,18041		7999,74	
Consumo x TE (Valor do kWh)				
44342	0,22402		9933,49	
Tributos				Valor Total sem Impostos
PIS/PASEP	1,02%		264,14	R\$ 17.933,24
COFINS	4,73%		1224,90	
ICMS	25,00%		6474,09	
				Valor Total com Impostos
				R\$ 25.896,37

(Fonte: Valores AES Eletropaulo 2016)

Os valores de tarifação foram baseados em um histórico de 12 meses na bandeira verde, período em que o preço da energia elétrica é mais baixo.

4.8. Tarifa do Gás Natural

Na tabela 4.8, temos o valor gasto mensalmente com a caldeira a gás natural para o aquecimento de agua coletivo:

Tabela 4.8 - Cálculo da tarifa de gás natural mensal– Residencial Coletivo

		Residencial Coletivo	
Residencial Coletivo		Valor fatura s/ ICMS	R\$ 17.100,03
		Valor fatura c/ ICMS	R\$ 19.431,85
		Tarifa média s/ ICMS	2,854285 R\$/m3
		Tarifa média c/ ICMS	3,243506 R\$/m3

Termo Fixo e Variável(Residencial Coletivo)					
Faixas	m3		Termo Fixo	Termo Variável	Valores
1	0,00	a	500,00	39,63 R\$/m3	3,159970 R\$/m3
2	500,01	a	2.000,00	39,63 R\$/m3	3,008046 R\$/m3
3		>	2.000,00	39,63 R\$/m3	2,847671 R\$/m3
					R\$ 17.100,03

(Fonte: Valores Comgás 2016)

Na tabela 4.9, temos o valor da tarifa média por m³ do gás para residencial coletivo, esta tarifa deve ser considerada, pois o condomínio se enquadra nesta tarifação.

Tabela 4.9 - Tarifa média por m³ de gás – Residencial Coletivo mensal

Residencial Coletivo	
Valor fatura s/ ICMS	R\$ 17.100,03
Valor fatura c/ ICMS	R\$ 19.431,85
Tarifa média s/ ICMS	2,854285 R\$/m3
Tarifa média c/ ICMS	3,243506 R\$/m3

(Fonte: Valores Comgás 2016)

Com a utilização da micro CHP, iremos ter uma redução na conta mensal de gás natural, uma vez que o gás utilizado pela cogeração tem tarifa diferenciada. Na

tabela 4.10, temos os valores do gasto mensal com gás natural para atender a micro CHP:

Tabela 4.10 - Cálculo da tarifa de gás natural mensal – Cogeração

Volume mensal:				2.023 m3	
Termo Variável (Cogeração)				Tarifas	Valores
1	0,00 a	5.000	2.023,00 m3	0,456510 R\$/m3	R\$ 923,52
2	5.000,01 a	50.000	0,00 m3	0,358505 R\$/m3	R\$ 0,00
3	50.000,01 a	100.000	0,00 m3	0,308626 R\$/m3	R\$ 0,00
4	100.000,01 a	500.000	0,00 m3	0,234441 R\$/m3	R\$ 0,00
5	500.000,01 a	2.000.000	0,00 m3	0,242347 R\$/m3	R\$ 0,00
6	2.000.000,01 a	4.000.000	0,00 m3	0,219358 R\$/m3	R\$ 0,00
7	4.000.000,01 a	7.000.000	0,00 m3	0,191941 R\$/m3	R\$ 0,00
8	7.000.000,01 a	10.000.000	0,00 m3	0,164521 R\$/m3	R\$ 0,00
9	>	10.000.000	0,00 m3	0,136465 R\$/m3	R\$ 0,00
Termo Variável				0,456510 R\$/m3	R\$ 923,52
Termo Fixo =				0,639076 R\$/m3	R\$ 1.292,85
COGERAÇÃO				Valor fatura s/ ICMS	R\$ 2.216,37
				Valor fatura c/ ICMS	R\$ 2.518,60
				Tarifa média s/ ICMS	1,095586 R\$/m3
				Tarifa média c/ ICMS	1,244984 R\$/m3

(Fonte: Valores Comgás 2016)

Na tabela 4.11, temos os valores para o gás natural utilizado pela caldeira considerando a economia devido ao uso da micro CHP para aquecimento de água.

Tabela 4.11 - Cálculo da tarifa de gás natural mensal– Residencial Coletivo após a instalação da micro CHP

				Residencial Coletivo	
				Valor fatura s/ ICMS	R\$ 13.586,00
Residencial Coletivo				Valor fatura c/ ICMS	R\$ 15.438,64
				Tarifa média s/ ICMS	2,856001 R\$/m3
				Tarifa média c/ ICMS	3,245456 R\$/m3

Termo Fixo e Variável (Residencial Coletivo)					
Faixas	m3		Termo Fixo	Termo Variável	Valores
1	0,00	a	500,00	39,63 R\$/m3	3,159970 R\$/m3
2	500,01	a	2.000,00	39,63 R\$/m3	3,008046 R\$/m3
3		>	2.000,00	39,63 R\$/m3	2,847671 R\$/m3
					R\$ 13.586,00

(Fonte: Valores Comgás 2016)

Na tabela 4.12 temos o valor da tarifa de gás residencial coletivo após a instalação da micro CHP.

Tabela 4.12 - Tarifa média por m³ de gás – Residencial Coletivo mensal após a instalação da CHP

Residencial Coletivo	
Valor fatura s/ ICMS	R\$ 13.586,00
Valor fatura c/ ICMS	R\$ 15.438,64
Tarifa média s/ ICMS	2,856001 R\$/m3
Tarifa média c/ ICMS	3,245456 R\$/m3

(Fonte: Valores Comgás 2016)

4.9. Resultados:

O trabalho se baseia em um edifício residencial, sendo que o maior consumo de energia elétrica e de água quente ocorre no período entre 06:00hs e 20:00hs, com isso, estaremos considerando nos cálculos, a CHP em funcionamento apenas neste período, sendo que no período entre 20:00hs e 06:00hs toda a energia elétrica será suprida pela concessionária de energia e a energia térmica de água quente pela caldeira à gás.

Na tabela 4.13 temos o resultado do estudo da implantação da micro CHP, com a redução na tarifa de gás para a cogeração e a economia anual.

Tabela 4.13 - Resultado do estudo para implantação da micro CHP

Cogeração 06:00 as 20:00		
UTILIDADES	CONVENCIONAL	COGERAÇÃO
ENERGIA ELÉTRICA		
Consumo Anual Total (kWh)	44.342	2.217
Custo Específico (R\$/kWh) - C/ Impostos	R\$0,5840	R\$0,5840
Custo anual total de energia elétrica	R\$25.896,37	R\$1.294,82
AQUECIMENTO A GÁS NATURAL COM CALDEIRA		
Calor gerado anualmente (kWh)	608.212	482.966
Consumo anual (m ³)	71.889	57.085
Custo anual de gás (R\$)	R\$ 233.171,49	R\$ 185.107,17
GERAÇÃO DE ENERGIA A GÁS NATURAL		CHP
Capacidade Elétrica (kWe)		15,0
Capacidade Térmica (kWt)		25,8
Geração térmica útil (kWh)		125.246

Geração de energia elétrica (kWh)		72.818
Energia Elétrica Útil (kWh)		42.125
Consumo de gás (m3/ano)		24.273
Custo de gás		R\$ 30.218,87
Custo de manutenção		R\$ 5.461,31
Custo total da Cogeração		R\$ 35.680
CUSTO OPERACIONAL	CONVENCIONAL	COGERAÇÃO
Custo anual total de energia elétrica	R\$25.896	R\$1.294,82
Custo anual de GN aquecimento	R\$ 233.171,49	R\$185.107,17
Custo anual de GN cogeração	R\$0	R\$30.218,87
Custo com Manutenção da planta de cogeração	R\$0	R\$5.461,31
CUSTO OPERACIONAL TOTAL	R\$259.067,86	R\$222.082,18
ECONOMIA OPERACIONAL	REFERÊNCIA	R\$36.985,69
		14,3%
INVESTIMENTOS	CONVENCIONAL	COGERAÇÃO
Aquisição da CHP		R\$88.305,00
Instalação da CHP		R\$30.000,00
INVESTIMENTO TOTAL	REFERÊNCIA	R\$118.305,00
PAYBACK SIMPLES (anos)		3,2
PAYBACK DESCONTADO (6% a.a.)		3,7
PAYBACK DESCONTADO (12% a.a.)		4,3
TIR		17,01%

O gráfico 4.2 mostra a economia financeira com a implantação da cogeração para o Payback Simples. Da mesma maneira, os gráficos 4.3 e 4.4 mostram esta economia para o Payback descontado em 6% e para o Payback descontado em 12% respectivamente:

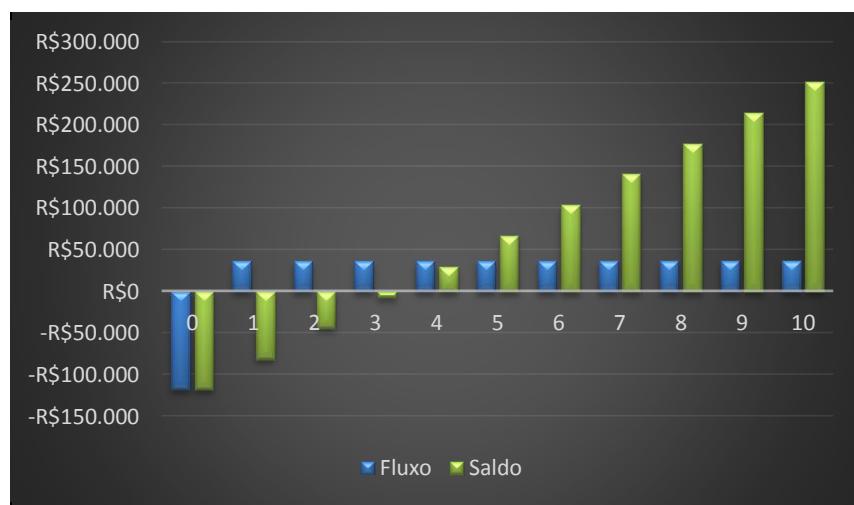


Gráfico 4.2 - Payback Simples

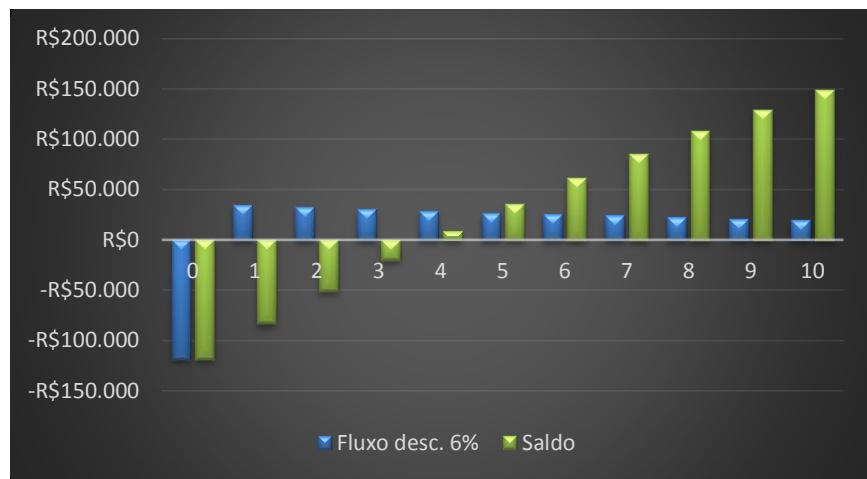


Gráfico 4.3 - Fluxo descontado 6% a.a

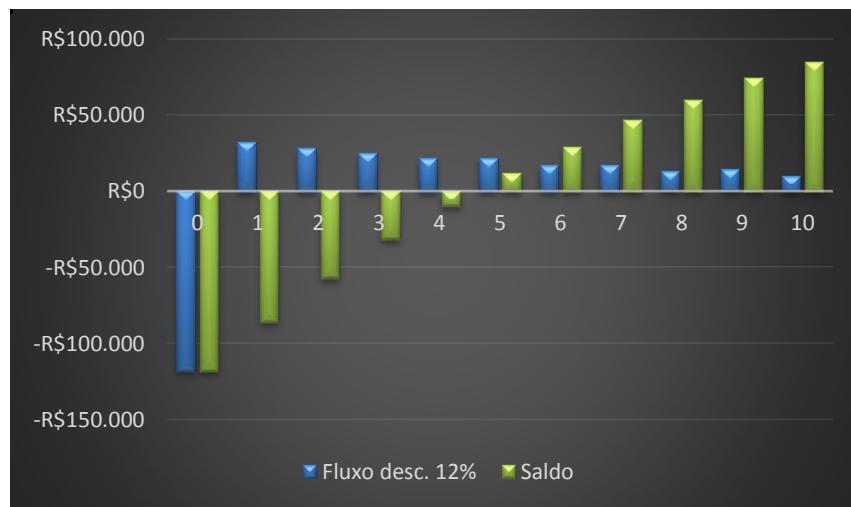


Gráfico 4.4 - Fluxo descontado 12% a.a

5. Conclusões:

Os projetos com centrais de cogeração são viáveis economicamente, pois possibilitam mais de um tipo de energia, como por exemplo, a energia térmica e a energia elétrica. Estes equipamentos podem ser implantados em diversos tipos de empreendimentos para atender as diversas necessidades do mercado. Os equipamentos utilizados na cogeração podem ser fabricados por várias empresas, utilizando desde motores de combustão interna a turbinas movidas a gás natural. Este último tem um custo de implantação elevado, logo, dependendo do tipo de projeto o retorno do investimento pode ser mais longo.

Apesar dos custos de implantação, existe uma perspectiva no uso do gás natural para a cogeração, pois a utilização deste vem aumentando nos últimos anos o que torna o preço mais atraente para o investidor.

No estudo de caso, foi avaliada a condição de implantação de um equipamento de cogeração para atender um condomínio residencial, visando diminuir o custo com energia elétrica e também com o gás natural que atende o sistema de aquecimento por caldeira, com isso, para tornar o projeto viável, foi utilizado o equipamento GSC12/S que irá atender parte da demanda de água quente e de energia elétrica, diminuindo assim consideravelmente, o gasto com ambos. Analisando o perfil do local de instalação, o melhor método para instalar a CHP foi no horário entre 06:00hs e 20:00hs, pois neste período o consumo de energia térmica e elétrica é mais intenso.

Para este condomínio onde foi realizado o estudo, houve uma redução 14,3 % do custo operacional com o uso da cogeração em relação ao sistema convencional, obtendo um *payback* de 3,2 anos e um *payback* descontado à uma taxa de 12% de 4,3 anos. A TIR ficou em 17,01%.

Os resultados obtidos mostram a viabilidade econômica na instalação da cogeração para atender a demanda elétrica e térmica (água quente) por conta do baixo tempo de retorno do investimento.

O projeto proposto não atinge a autossuficiência elétrica, caso contrário a geração térmica resultante não seria aproveitada e consequentemente não atenderá a Resolução 235 da ANEEL, neste caso, a tarifa de gás seria residencial inviabilizando a economia operacional.

Por fim, considerando a configuração proposta, será necessário manter um grupo gerador Diesel ou a gás natural para operar em emergência com base na potência máxima instalada de 100kW da área comum e também manter a caldeira a gás para ser utilizada em eventuais paradas da cogeração para manutenções.

BIBLIOGRAFIA

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ***BIG - Banco de Informações de Geração.***

Disponível em:

<<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>.

ANDREOS, R. **Slides de aula – Cogeração.** Especialização em energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética. Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2016.

ANDREOS, RONALDO. **Estudo de viabilidade técnico-econômica de pequenas centrais de cogeração a gás natural no setor terciário do estado de São Paulo.** São Paulo, 2013. 168f.

Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-30042013-154221/publico/RonaldoAndreos.pdf>

ASSOCIAÇÃO DA INDÚSTRIA DE COGERAÇÃO DE ENERGIA.

Dados atuais de cogeração no Brasil.

Disponível em: <<http://www.cogen.com.br>>.

BALESTIERI, J.A.P. **Cogeração: Geração combinada de eletricidade e vapor.** Florianópolis: Editora da UFSC, 2002. 279 p.

CATERPILLAR. ***Catálogos de motores de combustão interna e turbinas a gás.***

Disponível em: http://www.cat.com/pt_BR/products/new/power-systems/marine-power-systems.html

COMGÁS – Manual Técnico para Projeto e Construção de Sistemas de Aquecimento Solar e Gás Natural.

Disponível em:

http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/manuais/Manual_Tecnico_para_Projeto_e_Construcao_de_Sistemas_de_Aquecimento_Solar_e_Gas_Natural.pdf

Energy Information Administration – **CHP Industrial Bottoming and Topping Cycle with Energy Information Administration Survey Data.**

Disponível em: https://www.eia.gov/workingpapers/pdf/chp-Industrial_81415.pdf

CUMMINS. ***Catálogos de equipamentos de motores de combustão interna***

Disponível em: <http://www.cummins.com.br/>

GE POWER GENERATION. ***Catálogos de equipamentos de motores de combustão interna.***

Disponível em: <https://www.gepower.com/>

HEIMER. ***Catálogos de equipamentos de micro turbinas e grupos geradores.***

Disponível em: <http://www.heimer.com.br/>

HODGE, B.K. **Sistemas e aplicações de energia alternativa.**

Rio de Janeiro: Editora LTC, 2011. 28cm.

MARTENS, A. **The energetic feasibility of CHP compared to the separate production of heat and power.** *Applied Thermal Engineering*, v.18. 1998. p.935-946

MIYAKUCHI, BRUNO. **Viabilidade técnico-econômica da cogeração residencial no Brasil.**

São Paulo, 2015. 126 p.

Disponível em: <http://www.pecepoli.com.br/PT/ListaDeMonografia.aspx>

POWER LINK. ***Catálogos de equipamentos de microturbinas e CHP.***

Disponível em: <http://www.powerlinkworld.com/>

SANTOS, RODRIGO. **Estudo de caso de cogeração a gás natural em hospital.**

São Paulo, 2015. 72 p.

Disponível em: <http://www.pecepoli.com.br/PT/ListaDeMonografia.aspx>

SIEMENS. ***Catálogos de equipamentos de Turbinas.***

Disponível em: <http://www.siemens.com/>

STEMAC. ***Catálogos de equipamentos de Grupos Geradores a Diesel.***

Disponível em: <http://www.stemac.com.br/>

ANEXOS

ANEXO A: Termelétricas com cogeração em operação

USINAS do tipo UTE com Co-Geração Qualificada em Operação				
Usina	Potência Outorgada (kW)	Proprietário	Município	Fonte Nível 2
Açominas	102.890	100% para Gerdau Açominas S.A	Ouro Branco - MG	Gás de Alto Forno - CM
Camaçari	130.710	100% para BRASKEM S/A	Camaçari - BA	Gás Natural
Cogeração International Paper - Fases I e II	50.500	100% para International Paper do Brasil Ltda	Mogi Guaçu - SP	Óleo Combustível
Colombo Ariranha	105.500	100% para Usina Colombo S.A Açúcar e Álcool	Ariranha - SP	Bagaço de Cana de Açúcar
Energy Works Kaiser Pacatuba	5.552	100% para Energyworks do Brasil Ltda	Pacatuba - CE	Gás Natural
Copesul	74.400	100% para BRASKEM S/A	Triunfo - RS	Outros Energéticos de Petróleo
Globo	5.160	100% para Infoglobo Comunicação e Participações S.A	Duque de Caxias - RJ	Gás Natural
Ipatinga	40.000	100% para Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais S/A	Ipatinga - MG	Calor de Processo - GN
Suape, CGDe, Koblitz Energia Ltda.	4.000	100% para SUAPE PP3E ENERGIA LTDA	Cabo de Santo Agostinho - PE	Gás Natural
Suzano	38.400	100% para Suzano Papel e Celulose S.A.	Suzano - SP	Gás Natural
Celpav IV	139.424	100% para Fibria Celulose S.A	Jacareí - SP	Gás Natural

São José	84.805	100% para Açucareira Zillo Lorenzetti S.A	Macatuba - SP	Bagaço de Cana de Açúcar
Barra Grande de Lençóis	62.900	100% para Usina Barra Grande de Lencóis S.A.	Lençóis Paulista - SP	Bagaço de Cana de Açúcar
LDC Bioenergia Leme (Antiga Coimbra - Cresciumal)	39.600	100% para BIOSEV S.A	Leme - SP	Bagaço de Cana de Açúcar
Celso Furtado (Antiga Termobahia Fase I)	185.891	100% para Petróleo Brasileiro S.A	São Francisco do Conde - BA	Gás Natural
São Francisco	25.200	100% para Usina São Francisco S.A.	Sertãozinho - SP	Bagaço de Cana de Açúcar
Lucélia	15.700	100% para Bioenergia do Brasil S.A	Lucélia - SP	Bagaço de Cana de Açúcar
Santa Adélia	42.000	100% para Termoelétrica Santa Adélia Ltda	Jaboticabal - SP	Bagaço de Cana de Açúcar
Brahma	13.080	100% para Energyworks do Brasil Ltda	Rio de Janeiro - RJ	Gás Natural
Basf Guaratinguetá	3.050	100% para BASF S.A.	Guaratinguetá - SP	Óleo Diesel
UGPU	7.700	100% para Air Liquide Brasil Ltda	Jundiaí - SP	Gás Natural
Capuava	18.020	100% para Capuava Energy Ltda	Santo André - SP	Óleo Combustível
Mandu	90.000	100% para Guarani S.A	Guaíra - SP	Bagaço de Cana de Açúcar
Guarani - Cruz Alta	64.800	100% para Guarani S.A	Olímpia - SP	Bagaço de Cana de Açúcar

São José da Estiva	42.500	100% para UTE São José da Estiva S.A	Novo Horizonte - SP	Bagaço de Cana de Açúcar
PROJAC Central Globo de Produção	4.950	100% para TV Globo Ltda	Rio de Janeiro - RJ	Gás Natural
Governador Leonel Brizola (Antiga TermoRio)	1.058.300	100% para Petróleo Brasileiro S.A	Duque de Caxias - RJ	Gás Natural
Diana	2.873	100% para Destilaria de Álcool Nova Avanhandava Ltda.	Avanhandava - SP	Bagaço de Cana de Açúcar
Rhodia Paulínia	12.098	100% para Rhodia - Poliamida e Especialidades Ltda	Paulínia - SP	Gás Natural
Iguatemi Fortaleza	4.794	100% para Condomínio Civil Shopping Center Iguatemi	Fortaleza - CE	Gás Natural
Cesar Park Business Hotel/Globenergy	2.100	100% para Inpar Construções e Empreendimentos Imobiliários Ltda	Guarulhos - SP	Gás Natural
Bayer	3.840	100% para Bayer S.A	São Paulo - SP	Gás Natural
Euzébio Rocha (Antiga Cubatão - CCBS)	249.900	100% para Petróleo Brasileiro S.A	Cubatão - SP	Gás Natural
CTE Fibra	8.812	100% para Vicunha Rayon Ltda	Americana - SP	Gás Natural
Catanduva (Antiga Cerradinho)	75.000	100% para COFCO BRASIL S.A	Catanduva - SP	Bagaço de Cana de Açúcar

Pioneiros	42.000	26.09% para Pioneiros Bioenergia S.A 73.91% para Pioneiros Termoelétrica Sud Menucci S.A.	Sud Mennucci - SP	Bagaço de Cana de Açúcar
Casa de Força	3.920	100% para Alcoeste Destilaria Fernandópolis S.A	Fernandópolis - SP	Bagaço de Cana de Açúcar
Iguatemi Bahia	8.316	100% para Condomínio Shopping da Bahia	Salvador - BA	Gás Natural
EnergyWorks Corn Products Mogi	30.775	100% para Energyworks do Brasil Ltda	Mogi Guaçu - SP	Gás Natural
EnergyWorks Corn Products Balsa	9.199	100% para Energyworks do Brasil Ltda	Balsa Nova - PR	Gás Natural
Colorado	52.760	100% para Açúcar e Álcool Oswaldo Ribeiro de Mendonça Ltda	Guaíra - SP	Bagaço de Cana de Açúcar
Santa Terezinha Paranacity	46.000	100% para Usina de Açúcar Santa Terezinha Ltda.	Paranacity - PR	Bagaço de Cana de Açúcar
Shopping Taboão	3.355	100% para SDT 3 Centro Comercial Ltda	Taboão da Serra - SP	Gás Natural
Praia da Costa	0	100% para Construtora Sá Cavalcanti Ltda	Vila Velha - ES	Gás Natural
Jesus Soares Pereira (Antiga Vale do Açu)	322.967	100% para Petróleo Brasileiro S.A	Alto do Rodrigues - RN	Gás Natural
Santa Elisa - Unidade I	58.000	100% para BIOSEV Bioenergia S.A	Sertãozinho - SP	Bagaço de Cana de Açúcar

Carioca Shopping	3.200	100% para Administradora Carioca de Shopping Centers S.C Ltda	Rio de Janeiro - RJ	Gás Natural
IGW/Service Energy	2.825	100% para IGW TRUST S.A.	São Paulo - SP	Gás Natural
Santo Antônio	23.000	100% para Usina Santo Antônio S.A	Sertãozinho - SP	Bagaço de Cana de Açúcar
Stepie Ulb	3.300	100% para Stepie Ulb S.A	Canoas - RS	Gás Natural
Rio de Janeiro Refrescos Coca Cola	0	100% para Rio de Janeiro Refrescos Ltda	Rio de Janeiro - RJ	Gás Natural
Salto (Antiga Eucatex)	9.800	100% para Compass Geração LTDA	Salto - SP	Gás Natural
Jacareí	10.500	100% para Companhia de Bebidas das Americas - AMBEV	Jacareí - SP	Gás Natural
Campo Florido	30.000	100% para S.A Usina Coruripe Açúcar e Álcool	Campo Florido - MG	Bagaço de Cana de Açúcar
Coruripe Iturama	24.000	100% para Coruripe Energética S.A	Iturama - MG	Bagaço de Cana de Açúcar
Vale Fertilizantes Araxá (Antiga Bunge Araxá)	23.000	100% para Vale Fertilizantes S.A	Araxá - MG	Outros Energéticos de Petróleo
Millennium	4.781	100% para Millennium Inorganic Chemicals do Brasil S.A	Camaçari - BA	Gás Natural
CENPES - Petrobrás	16.065	100% para Petróleo Brasileiro S.A	Rio de Janeiro - RJ	Gás Natural

Veracel	117.045	100% para Veracel Celulose S.A	Eunápolis - BA	Licor Negro
Hotel Sofitel	264	100% para Ibirapuera Parque Hotel Ltda	São Paulo - SP	Óleo Diesel
Pamesa	4.072	100% para Pamesa do Brasil S.A	Cabo de Santo Agostinho - PE	Gás Natural
Sonda - São Bernardo	2.160	100% para Sonda Supermercados Exportação e Importação Ltda	São Bernardo do Campo - SP	Óleo Diesel
Sonda - Penha	691	100% para Sonda Supermercados Exportação e Importação Ltda	São Paulo - SP	Óleo Diesel
Imcopa	7.000	100% para Importação, Exportação e Indústria de Óleos Ltda	Araucária - PR	Gás Natural
Quirinópolis	80.000	100% para SJC Bioenergia Ltda	Quirinópolis - GO	Bagaço de Cana de Açúcar
Goodyear - Divisão Spiraflex	972	100% para Goodyear do Brasil Produtos de Borracha Ltda	Osasco - SP	Óleo Diesel
Sonda - Santo Amaro	1.800	100% para Sonda Supermercados Exportação e Importação Ltda	São Paulo - SP	Óleo Diesel
Aeroporto de Maceió	790	100% para Petrobrás Distribuidora S.A	Maceió - AL	Gás Natural
Funfarme	1.609	100% para Fundação Faculdade Regional de Medicina de São José do Rio Preto	São José do Rio Preto - SP	Óleo Diesel
Usiminas 2	63.155	100% para Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais S/A	Ipatinga - MG	Gás de Alto Forno - Biomassa

Biancogrêns	5.110	100% para Biancogrêns Cerâmica S.A	Serra - ES	Gás Natural
Alumar	75.200	100% para CONSÓRCIO DE ALUMÍNIO DO MARANHÃO CONSÓRCIO ALUMAR	São Luís - MA	Carvão Mineral
Ahlstrom	1.300	100% para Ecogen Brasil Soluções Energéticas S.A.	Louveira - SP	Gás Natural
Shopping Interlagos	1.750	100% para Intermarcos Administradora Ltda.	São Paulo - SP	Gás Natural
Edifício Rochaverá	5.470	100% para Rochaverá Desenvolvimento Imobiliário Ltda.	São Paulo - SP	Óleo Diesel
Levorin	4.110	100% para Ecogen Brasil Soluções Energéticas S.A.	Guarulhos - SP	Gás Natural
Shopping Campo Grande	4.655	100% para Subcondominio do Centro Comercial do Shopping Eldorado Campo Grande	Campo Grande - MS	Gás Natural
Cabot Mauá	7.000	100% para CABOT BRASIL INDUSTRIA E COMERCIO LTDA	Mauá - SP	Outros Energéticos de Petróleo
CMPC (Antiga Aracruz Unidade Guaíba)	250.994	100% para CMPC Celulose Riograndense Ltda	Guaíba - RS	Licor Negro
Shopping Center Vale	2.055	100% para Centrevale Administração e Participações Ltda.	São Paulo - SP	Gás Natural

Shopping Parque das Bandeiras	3.355	100% para Administradora Shopping Parque das Bandeiras Ltda	Campinas - SP	Óleo Diesel
RJR	12.030	100% para Light Esco Prestação de Serviços S.A.	Rio de Janeiro - RJ	Gás Natural
Cogeração De Millus Av. Brasil	3.699,26	100% para De Millus S.A. Ind. e Com	Rio de Janeiro - RJ	Gás Natural
Sistema backup de geração da Estação de Compressão de Gás Natural de Paulínia/SP	1.150	100% para Transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia-Brasil S.A.	Paulínia - SP	Gás Natural
Blanver Cogeração	2.000	100% para Blanver Farmoquímica Ltda	Itapevi - SP	Gás Natural
COGERAÇÃO ENERGY CENTER MERCEDES BENZ	2.680	100% para MERCEDES-BENZ DO BRASIL LTDA	Iracemápolis - SP	Gás Natural
Total: 86 Usina(s)		Potência Total: 4.204.328 kW		

(Fonte: ANEEL – 2016)