

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
PECE – PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA DA ESCOLA  
POLITÉCNICA DA USP

ALESSANDRO XAVIER DE ASSIS

**“COGERAÇÃO COM SISTEMAS EFICIENTES”  
USO DE GERADORES A GÁS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E  
DE ÁGUA GELADA PARA INDÚSTRIA AUTOMOBILISTA**

São Paulo  
2018

ALESSANDRO XAVIER DE ASSIS

**“COGERAÇÃO COM SISTEMAS EFICIENTES”**

**USO DE GERADORES A GÁS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E  
DE ÁGUA GELADA PARA INDÚSTRIA AUTOMOBILISTA**

Trabalho de conclusão do curso de especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Área de concentração: Eficiência Energética.  
Orientador: Prof. Msc. Ronaldo Andreos.

São Paulo

2018

Primeiramente à Deus, minha esposa, filhos e familiares, amigos e companheiros de classe que contribuíram para que esse sonho e objetivo se concretizasse, e com incentivo e paciência deram-me força para chegar a essa vitória.

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Msc. Ronaldo Andreos, que com todo esmero e respeito nos auxiliou nos dando todo o suporte para o desenvolvimento e estruturação deste trabalho.

A todos os Professores do curso de Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética do PECE, que se dedicaram em transmitir informações e casos que enriqueceram nossos conhecimentos, como também compartilhando suas experiências profissionais e pessoais.

Aos companheiros e colegas deste curso, que durante as inúmeras horas que estudamos juntos tornaram possível um grande aprofundamento nos assuntos abordados nas disciplinas do curso ao longo destes anos.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Projetos instalados .....	16
Figura 2 - Turbina a gás .....	18
Figura 3 - Turbinas Aeronáuticas .....	20
Figura 4 - Turbina a gás GE .....	21
Figura 5 - Gerador a gás .....	23
Figura 6 - Chiller resfriado a água.....	24
Figura 7 - Diagrama mostrando os componentes de um resfriador a água .....	30
Figura 8 - Chiller de Absorção QD .....	32
Figura 9 - Ciclo de Absorção .....	33
Figura 10 - Chiller por absorção .....	36
Figura 11 - Chiller por absorção Broad .....	37
Figura 12 - Fluidos Refrigerantes.....	38
Figura 13 - Fatores Ambientais Refrigerantes.....	38
Figura 14 - VV .....	47
Figura 15 - Veículos produzidos.....	50
Figura 16 - Chiller SABROE .....	54
Figura 17 - Chiller HITACHI .....	55
Figura 18 - Diagrama Cogeração.....	56
Figura 19 - Chiller Absorção - LG.....	57

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 - Conta de luz – janeiro de 2015.....	41
Tabela 2 - Conta de luz – abril de 2015. ....	42
Tabela 3 - Conta de luz – consumo janeiro 2015, tarifa abril 2015 .....	43
Tabela 4 - Consumo específico corrigido de gás natural.....	44
Tabela 5 - Consumo mensal de gás natural. ....	44
Tabela 6 - Tarifa industrial de gás natural. ....	45
Tabela 7 - Custo do gás natural. ....	45
Quadro 1 - Fabricantes de chiller por absorção.....	35
Quadro 2 - Fabricantes de chiller por absorção.....	36
Quadro 3 - Consumo energético de alguns equipamentos. ....	37
Quadro 4 - Demandas térmicas. ....	52
Quadro 5 - Chiller Hitachi, Sabroe .....	52
Quadro 6 - Premissas Cálculos.....	53
Quadro 7 - Exemplo Consumo. ....	54
Quadro 8 - Tarifas GN. ....	57
Quadro 9 - Motogeradores a gás. ....	58
Quadro 10 - Balanço energético. ....	58
Quadro 11 - Qualificação Cogeração. ....	59
Quadro 12 - Parâmetros e resultados financeiros. ....	59
Quadro 13 - Dados da economia. ....	60

## LISTA DE ABREVIATURAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo
CER	Certificado de Emissões Reduzidas
CFC	Clorofluorcarbonetos
COP	Coeficiente de Performance
GD	Geração Distribuída
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
kW	kilowatts
ODP	Esgotamento do Ozono
ONU	Organização Mundial da Saúde
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
RMD	Dispositivo de Medição de Refrigerante
RT	Resistência Térmica
TE	Tarifa de Energia
TUSD	Sistema de Transmissão
UE	União Europeia
VSD	Acionamento de Velocidade Variável

## RESUMO

A monografia em questão tem como foco analisar e estudar formas alternativas para refrigeração/climatização ou aquecimento através da cogeração utilizando-se geradores e chillers a absorção para uma melhor eficiência com menor consumo energético, ou seja, a energia térmica fria mediante seus benefícios pode ser aplicada em outros processos do prédio, utilizada para climatizar e refrigerar outros processos dentro da organização estudada, também como proposta de sustentabilidade. O assunto eficiência energética nunca foi tão estudado ou analisado como nos dias atuais, assim como outras formas de energia nunca foi tratado com tanta importância, como se acompanha. Atualmente o uso de equipamentos de refrigeração, climatização ou para aquecimento de água estão se tornando grandes vilões nas instalações quando se levanta a questão ao consumo energético, desta forma tenta-se explanar meios para otimizar esses custos e dirimir os gastos sem trazer prejuízos para as instalações ou criar limites para os sistemas. Outro fato que ganha espaço neste trabalho, relaciona-se com às emissões de gases, pois, é um assunto bastante abordado em conferências e ponto de suma importância ao futuro da humanidade. Apesar de algumas barreiras tanto internas quanto externas, pode-se verificar neste trabalho que o, tema cogeração se tornará muito eficiente e poderá trazer grandes benefícios para a empresa.

**Palavras-chaves:** Cogeração, Climatização, Turbinas, Sustentabilidade, Refrigeração.

## ABSTRACT

The monograph in question is focused on analyzing and studying alternative forms of refrigeration / heating or heating through cogeneration using generators and chillers for better efficiency with lower energy consumption, ie cold thermal energy through its benefits can be applied in other processes of the building, used to air-conditioning and cooling other processes within the organization studied, also as a proposal for sustainability. The subject of energy efficiency has never been as studied or analyzed as it is today, just as other forms of energy have never been treated as important as it is. Nowadays, the use of refrigeration, air conditioning or water heating equipment is becoming a major villain on the premises when the issue is raised to energy consumption, in this way we try to explain means to optimize these costs and settle the expenses without damaging the facilities or create limits for the systems. Another fact that gains space in this work, is related to the emissions of gases, therefore, it is a subject much approached in conferences and point of utmost importance to the future of the humanity. Despite some internal and external barriers, it can be verified in this paper that the topic of cogeneration will become very efficient and can bring great benefits to the company.

**Keywords:** Cogeneration, Air conditioning, Turbines, Sustainability, Refrigeration.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	11
2 O ESTADO DA ARTE .....	14
2.1 A Refrigeração .....	14
2.2 Conceitos de Cogeração .....	15
2.3 Cogeração Qualificada.....	17
2.4 Turbinas a Gás.....	18
2.5 Ciclo Brayton .....	19
2.6 Turbinas Aeronáuticas .....	20
2.7 Turbo geradores.....	21
2.8 Geradores .....	22
3 CHILLER .....	24
3.1 Chiller Industrial.....	24
3.2 Seleção de Chiller Industrial.....	26
3.3 Aplicação na Indústria .....	27
3.4 Uso em Centrais de Climatização .....	28
3.5 Tecnologia de Resfriamento por Compressão .....	29
3.6 Tecnologia de Absorção .....	31
3.7 Vantagens e Desvantagens .....	34
3.8 Fabricantes e Produtos .....	35
3.9 Refrigerantes .....	38
3.10 Protocolo de Quioto.....	39
3.11 Casos de Cogeração.....	40
3.12 Análise de Sensibilidade nas Tarifas de Energia Elétrica e Gás Natural.....	41
4 HISTÓRICO DA EMPRESA .....	47
5 SITUAÇÃO ATUAL .....	52
6 SITUAÇÃO PROPOSTA.....	56
7 CONCLUSÃO .....	61
8 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	62

## 1 INTRODUÇÃO

Pode-se dizer que, a cogeração pode ser definida como um processo de produção e utilização combinada de calor e eletricidade, a qual é capaz de proporcionar aproximadamente em média setenta por cento da energia térmica, advindos dos combustíveis utilizados nesse processo.

Da mesma forma que, assim como nos veículos, os motores a combustão produzem altas quantidades de calor, entretanto nos automóveis, esse calor é desfeito através do escapamento. A cogeração consiste em aproveitar grande parte deste calor, gerado pelos motores geradores a gás, nos demais processos térmicos de uma empresa.

Nesse sentido, o ganho com a produção de energia confiável pode tornar a unidade industrial ou comercial autossuficiente na geração de energia elétrica eficiente.

Dentro do contexto de Geração Distribuída - GD, a cogeração é um dos destaques positivo como alternativa para a produção descentralizada de energia elétrica, obtendo, eficiência operacional, redução de custos e menor impacto ambiental, satisfazendo demandas térmicas.

Pode-se dizer que, as indústrias ou comércios que possuem demanda por produção de calor, seja para processos produtivos ou mesmo para geração de água quente, como banhos e piscinas, sendo estes modulares, podem ser capazes de atender, desde pequenas demandas térmicas, como academias e escolas até grandes indústrias que demandam altas temperaturas para processos de transformação, aquecimento ou higienização.

A justificativa em relação ao tema proposto relaciona-se com as grandes variações climáticas, a climatização de ambientes cada vez se torna algo imprescindível assim como o uso da água quente nos diversos processos que são fundamentais em uma empresa. Sendo assim a busca incansável para reduzir custos produtivos e formas sustentáveis para os meios produtivos estão longe de um final, pois cada vez mais a meta será a sustentabilidade.

Como objetivo principal pretende-se identificar a e utilização de fontes alternativas de energias térmicas através da cogeração, ou seja, geração de água gelada para climatização de ambientes ou água quente nos processos fabris sendo para uso em vestiários, cozinhas industriais, trocadores ou outros.

Para o desenvolvimento do trabalho, utilizou-se a pesquisa bibliográfica, onde iniciou-se a construção investigativa sobre a “cogeração com sistemas eficientes” uso de geradores a gás para geração de energia elétrica e de água gelada para indústria automobilista. O assunto foi desenvolvido a partir de revisão bibliográficas publicadas em livros, artigos, dentre outros. O estudo de caso teve como motivação os altos custos da energia elétrica vinculada as grandes necessidades de climatização, refrigeração ou aquecimentos em ambientes ou processos, e a cogeração tornou-se um grande álibi em desenvolver formas de dirimir o custo.

Com o propósito aqui descrito, o estudo divide-se em sete capítulos.

A introdução apresenta o estudo, justificativa, objetivo e a metodologia utilizada.

No capítulo segundo faz-se referência a refrigeração, que dentre várias definições, destaca-se que qualquer fenômeno físico ou químico de natureza endotérmica pode ser aproveitado para a produção de frio.

O capítulo terceiro destaca-se o chiller, um resfriador, uma máquina que remove o calor de um líquido por meio de um ciclo de refrigeração por absorção ou compressão por vapor.

No capítulo quarto estuda-se o histórico da empresa, a VV já produziu, no território brasileiro, mais de 15 milhões de veículos.

O capítulo quinto apresenta a situação atual, onde a proposta deste estudo é viabilizar formas de energias sustentáveis e confiáveis que tragam aos processos fabris estabilidades operacionais, visto que atualmente o prédio em estudo sofre com constantes afundamentos de tensões e oscilações aos processos.

O capítulo sexto demonstra a situação proposta, onde verificou-se que as cargas existentes na instalação, chegou-se ao consenso que 3 geradores modelo CG 260-12C, a gás gerando 380 VAC (Trifásicos), atende as demandas, existentes permitindo desta forma que a instalação chegue até mesmo a ser autossustentável.

No capítulo sétimo apresenta-se a conclusão do estudo onde, através dos dados apresentados e de acordo com os estudos feitos, a proposta da cogeração apresentada é eficiente, pois atende as demandas energéticas do

prédio (Ala 13) e está dentro dos parâmetros de uma cogeração qualificada pelos requisitos da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL.

## 2 O ESTADO DA ARTE

### 2.1 A Refrigeração

Dentre várias definições, podemos concluir que qualquer fenômeno físico ou químico de natureza endotérmica pode ser aproveitado para a produção de frio. Entre os processos endotérmicos usados na refrigeração, podemos citar: fusão de sólidos, como gelo comum a 0°C e o gelo seco, a neve carbônica -78,9°, a expansão de um gás de uma forma geral, vaporização de um líquido puro ou uma solução binária, fenômeno de adsorção, máquinas de sílica-gel, fenômeno termelétrico, dentre outros.

A refrigeração pode ser definida como segundo Dossat (1980, p.89):

Qualquer processo de remoção de calor. Mais especificamente, a refrigeração é definida como o ramo da ciência que trata dos processos de redução e conservação da temperatura de um espaço ou material, abaixo da temperatura do ambiente circundante. Para se conseguir isto, o calor deve ser removido do corpo que está sendo refrigerado e transferido para outro corpo, cuja temperatura esteja acima daquela do corpo refrigerado. Uma vez que o calor removido do corpo refrigerado é transferido para outro corpo, é evidente que a refrigeração e o aquecimento, são na verdade, extremidades opostas do mesmo processo. Muitas vezes, somente o resultado desejado distingue um do outro.

A refrigeração é utilizada em vários setores de produção de bens e serviços, segundo Clementino (2001, p.96) descreve:

Na indústria alimentícia a refrigeração tem como função conservar os alimentos, bebidas, leite e derivados, entre outras, na indústria do gelo, é utilizada para comercialização, doméstica, pistas de patinação, entre outras, na indústria da construção, utiliza-se na cura de grandes estruturas, por exemplo: barragens, congelamento de solos para abertura de poços e túneis, na indústria química, a refrigeração é utilizada na remoção de calor de reações exotérmicas, separação de misturas gasosas, recuperação de solventes, a refrigeração também é utilizada no condicionamento do ar, ou seja,

para conforto térmico, indústria fotográfica, têxtil, nas bombas de calor a refrigeração tem como função, fazer o aquecimento de líquidos, na medicina é utilizada na conservação de vacinas e outros medicamentos, liofilização de tecidos, elaboração e conservação de plasma sanguíneo, dentre outras aplicações.

Dentre os vários processos utilizados para produção de frio, três merecem destaque por serem os mais utilizados ou por apresentarem possibilidade de aplicação em cogeração

## 2.2 Conceitos de Cogeração

Conceitualmente a cogeração é capaz de gerar simultânea e sequencialmente duas formas de energias a partir de uma mesma fonte primária, ou seja, uma combinação de energia térmica com energias mecânica e elétrica por meio de uma única fonte de combustível, que no nosso caso será o gás natural. Nestes processos busca-se a melhor produção de energia através da melhor empregabilidade do combustível em questão (BARJA, 2010).

Para se ter um parâmetro, num sistema convencional algo em torno de 65% da energia do combustível utilizado é desperdiçada para o meio através do calor e somente os demais 35% são utilizados para geração de energia elétrica (PINHEIRO, 2012).

Em contrapartida, na cogeração 35% do combustível utilizado é para geração de energia elétrica e aproximadamente algo em torno de 50% é transformada em energia térmica para os processos e os desperdícios caem para algo próximo dos 15%.

Por volta de 1870 nos Estados Unidos, surgiram os primeiros sistemas de cogeração que se baseavam em máquinas a vapor acopladas a geradores elétricos, onde a energia gerada utilizava-se para habitações e o vapor para aquecimento de ambientes.

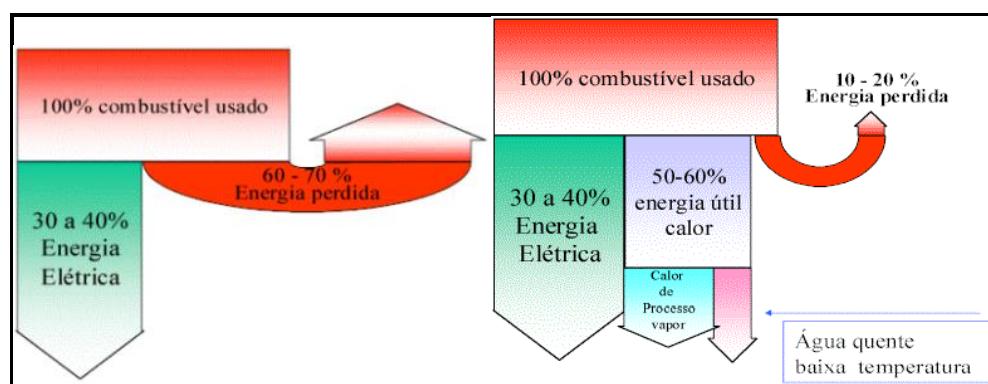
Durante certo período, mais precisamente na década de 40, a cogeração perdeu um pouco de espaço devido às grandes centrais de energia elétrica, porém na década de 70 com a crise do petróleo e as crescentes preocupações ambientais a cogeração ganhou fôlego novamente (CAMARGO, 2005).

Os ciclos de cogeração podem ser definidos como ciclos topping onde a geração de energia elétrica antecede a produção de vapor e o calor rejeitado pelo ciclo é aproveitado pelo processo industrial, já nos ciclos bottoming o calor da queima do combustível é utilizado primeiramente nos processos fabris e o calor rejeitado destes processos são utilizados para produção de energia elétrica. Com estas definições, podemos entender que os processos tipo topping são os mais utilizados, porque o calor rejeitado geralmente está com temperaturas baixas deixando de ser eficiente para geração de energia elétrica (PINHEIRO, 2012).

A cogeração pode ser aplicada em diferentes setores, como por exemplo, no industrial podemos citar as áreas químicas, petroquímicas, farmacêuticas entre outros, e neste contexto podemos verificar alguns benefícios e dentre eles a redução dos gases do efeito estufa, redução da dependência de combustíveis fosseis, e descentralização quanto ao fornecimento de energia permitindo que os indivíduos e empresas sejam menos dependentes das concessionárias distribuidoras de energia.

Nos EUA e em alguns países da Europa, como na Alemanha, a implantação de sistemas de cogeração tem crescido continuamente. Países como a Dinamarca, Finlândia, Rússia, Letônia e Holanda são considerados modelos quanto ao uso desse sistema, sendo que de 30% a 50% da energia total produzida nesses países é gerada por meio da cogeração.

No Brasil a cogeração ainda é pouco explorada, mas já existem alguns projetos instalados, principalmente no estado São Paulo (PINHEIRO, 2012), conforme figura 1.



**Figura 1 - Projetos instalados**  
**Fonte:** Pinheiro (2012)

## 2.3 Cogeração Qualificada

Para que uma central de cogeração seja classificada como “cogeração qualificada” ela deverá atender os seguintes requisitos, segundo (D’Araújo, 2009).

- A planta de cogeração deve estar regularizada perante ANEEL, conforme o dispositivo na legislação específica e na Resolução número 112 de 18 de maio de 1999, a qual foi revogada e substituída pela resolução normativa nº390 de 15 de dezembro de 2009.

- A planta de cogeração deve atender aos requisitos mínimos de racionalidade energética, mediante o cumprimento das inequações a e b conforme demonstrado abaixo

- Atender os requisitos mínimos de racionalidade energética, mediante o cumprimento das inequações (a) e (b) respectivamente, conforme equação 1:

$$a) \frac{Et}{Ef} \geq 15\%$$

$$b) \frac{Et}{Ef} + X + \frac{Ee}{Ef} \geq Fc\%$$

**Equação 1 - Requisitos mínimos de racionalidade energética**

**Fonte:** Resolução Aneel (2016)

Onde:

**Ef** - Energia da fonte: energia recebida pela central termelétrica cogeradora, no seu regime operativo médio, em kWh/h, com base no conteúdo energético específico, que no caso dos combustíveis é o Poder Calorífico Inferior - PCI;

**Ee** - Energia da utilidade eletromecânica: energia cedida pela central termelétrica cogeradora, no seu regime operativo médio, em kWh/h, em termos líquidos, ou seja, descontando da energia bruta gerada o consumo em serviços auxiliares elétricos da central;

**Et** - Energia da utilidade calor: energia cedida pela central termelétrica cogeradora, no seu regime operativo médio, em kWh/h, em termos líquidos, ou seja, descontando das energias brutas entregues ao processo as energias de baixo potencial térmico que retornam à central;

**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 (ANEEL, 2016).

## 2.4 Turbinas a Gás

O termo turbina a gás é mais comumente empregado em referência a um conjunto de três equipamentos: compressor, câmara de combustão e turbina propriamente dita e esta configuração forma um ciclo termodinâmico a gás, cujo modelo ideal denomina-se Ciclo Brayton, concebido por George Brayton em 1870 (AVELINO, 2008), conforme figura 2.

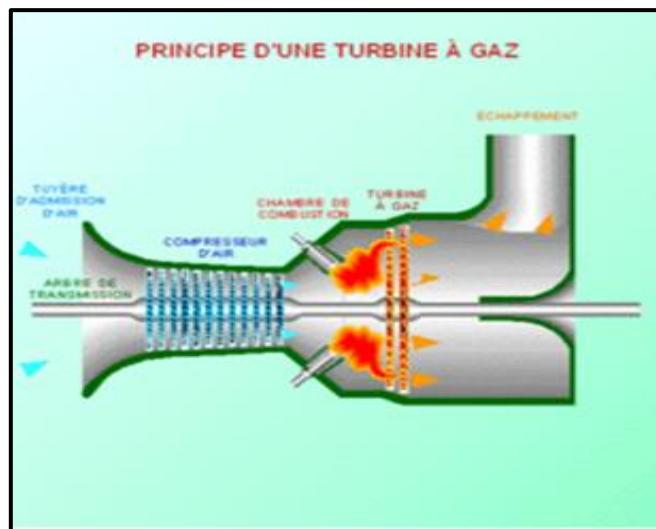


Figura 2 - Turbina a gás  
Fonte: Pires (2009)

O conjunto opera em um ciclo aberto, ou seja, o fluido de trabalho (ar) é admitido na pressão atmosférica e os gases de escape, após passarem pela turbina, são descarregados de volta na atmosfera sem que retornem à admissão.

A denominação turbina a gás pode ser erroneamente associada ao combustível utilizado onde a palavra gás não se refere à queima de gases

combustíveis, mas, sim ao fluido de trabalho da turbina, que é neste caso a mistura de gases resultante da combustão e o combustível em si pode ser gasoso, como gás natural, Gás Liquefeito de Petróleo - GLP, gás de síntese ou líquido, como querosene, óleo diesel e até mesmo óleos mais pesados (HUNT, 2002).

## 2.5 Ciclo Brayton

O ciclo Brayton é um ciclo ideal, uma aproximação dos processos térmicos que ocorrem nas turbinas a gás, descrevendo variações de estado (pressão e temperatura) dos gases, o conceito é utilizado como base didática e para análise dos ciclos reais, que se desviam do modelo ideal, devido a limitações tecnológicas e fenômenos de irreversibilidade, como o atrito (KREITH, 2005).

O ciclo se constitui de quatro etapas, onde primeiramente o ar em condição ambiente passa pelo compressor, onde ocorre compressão adiabática e isentrópica, com aumento de temperatura e consequente aumento de entalpia e o ar comprimido é direcionado às câmaras, onde mistura-se com o combustível possibilitando queima e aquecimento, à pressão constante, ao sair da câmara de combustão, os gases à alta pressão e temperatura, se expandem conforme passam pela turbina, idealmente sem variação de entropia (CORRÊA NETO, 2001).

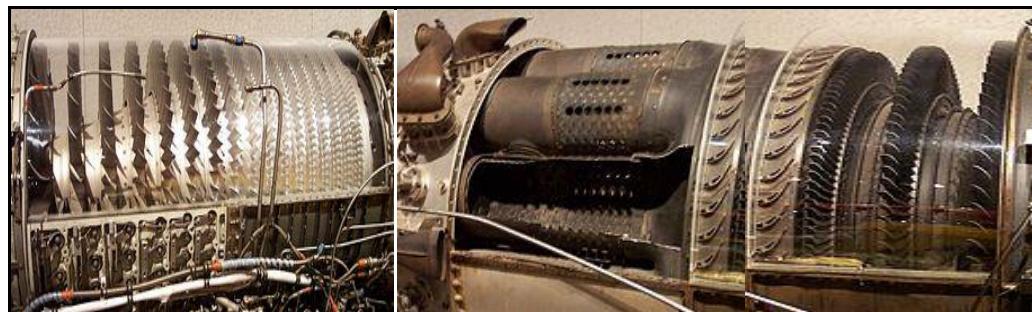
Na medida em que o fluido exerce trabalho sobre as palhetas, reduzem-se a pressão e temperatura dos gases, gerando-se potência mecânica e esta é extraída através do eixo da turbina que é usada para acionar o compressor e eventualmente para acionar outra máquina. Já a quarta etapa não ocorre fisicamente, se tratando de um ciclo termodinâmico aberto conceitualmente, esta etapa representa a transferência de calor do fluido para o ambiente (VAN WYLEN e SONNTAG, 2010).

Desta forma, mesmo se tratando de um ciclo aberto, parte da energia proveniente da combustão é rejeitada sob a forma de calor, contido nos gases quentes de escape sendo que essa rejeição de calor é um limite físico, intrínseco ao funcionamento de ciclos termodinâmicos, mesmo nos casos ideais, como define a segunda lei da termodinâmica (CORRÊA NETO, 2001).

A perda de ciclo ideal pode ser quantificada pela potência proveniente do combustível, descontando-se a potência de acionamento do compressor e a potência líquida assim diminui-se a perda à medida que se reduz a temperatura de escape e se eleva a temperatura de entrada da turbina, o que faz da resistência, a altas temperaturas, das partes da turbina um ponto extremamente crítico na tecnologia de construção destes equipamentos (KREITH, 2005).

## 2.6 Turbinas Aeronáuticas

Turbinas a gás são amplamente empregadas na propulsão de aeronaves, isto se deve principalmente a característica de alta potência em relação a outras máquinas como motores de combustão interna, ou seja, as turbinas a gás geram maiores potências comparadas a máquinas de mesmo peso, o que é vantajoso, uma vez que a redução do peso das aeronaves acarreta em maior eficácia e capacidade de carga (CORRÊA NETO, 2001), conforme figura 3.



**Figura 3 - Turbinas Aeronáuticas**  
Fonte: Clementino (2001)

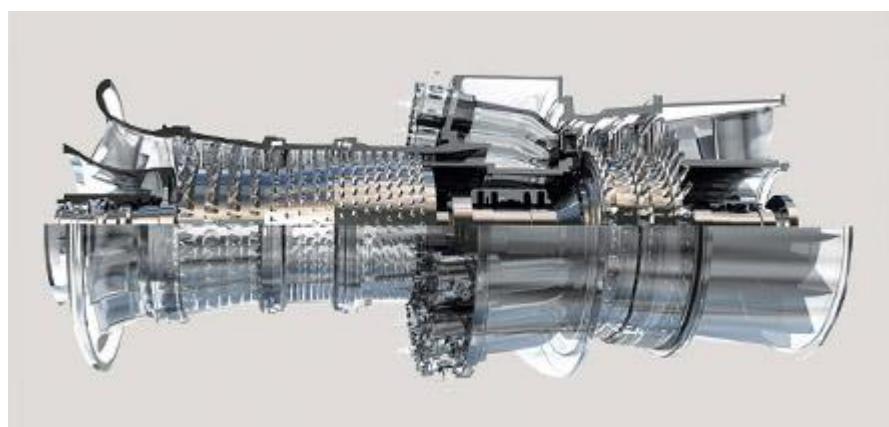
Existem diferentes configurações de turbina aeronáuticas como, por exemplo, em turbinas do tipo turbo jato, onde o eixo movimentado pela turbina propriamente dita, apenas aciona o compressor. Em última análise, através do bocal, o restante da potência útil é consumida na aceleração dos gases, responsável pelo empuxo gerado (JUMP UP, 2006).

Outros tipos de propulsores, turboélices ou turbofans, também baseados em ciclos a gás têm o eixo acoplado a hélices ou ventiladores que impelem parte do ar por by-pass, ou seja, sem que o mesmo passe através da turbina

sendo nestes casos, o empuxo se deve em parte aos gases de escape da turbina e em parte ao fluxo de ar externo (JOHNSON, 2012).

## 2.7 Turbogeradores

Turbinas a gás dedicadas à geração de energia elétrica são divididas em duas principais categorias no que se refere à concepção, a Heavy-duty que são desenvolvidas especificamente para a geração de energia elétrica ou propulsão naval e as aero derivativas, desenvolvidas a partir de projetos anteriores dedicados a aplicações aeronáuticas, conforme figura 4.



**Figura 4 - Turbina a gás GE**  
**Fonte:** Espósito (2010)

Com a exceção das microturbinas, dedicadas à geração descentralizada de energia elétrica o compressor utilizado geralmente trabalha com fluxo axial, tipicamente com 17 ou 18 estágios de compressão onde cada estágio do compressor é formado por uma fileira de palhetas rotativas que impõem movimento ao fluxo de ar, ou seja, energia cinética e uma fileira de palhetas estáticas, que utiliza a energia cinética para compressão (ESPOSITO, 2010).

O ar sai do compressor a uma temperatura que pode variar entre 300°C e 450°C e cerca de metade da potência produzida pela turbina de potência é utilizada no acionamento do compressor e o restante é a potência líquida gerada que movimenta um gerador elétrico(BARBELI, 2015).

Saindo da câmara de combustão, os gases têm temperatura de até 1250°C e após passar pela turbina, estes gases são liberados ainda com significante disponibilidade energética, tipicamente a temperaturas entre 500 e 650°C. Considerando isso, as termelétricas mais eficientes e de maior porte

aproveitam este potencial através de um segundo ciclo termodinâmico, a vapor ou Ciclo Rankine, estes ciclos juntos formam um ciclo combinado, de eficiência térmica superior a 60%, ciclos simples a gás têm tipicamente 35% (JOHNSON, 2012).

Turbinas projetadas para operar em ciclo simples, tendo em vista a eficiência térmica do ciclo, têm temperatura de saída de gases reduzida ao máximo e têm otimizada taxa de compressão. A taxa de compressão é a relação entre a pressão do ar à entrada e saída do compressor. Por exemplo, se o ar entra a 1 atm, e deixa o compressor a 15 atm, a taxa de compressão é de 1:15 (GIAMPAOLO, 2006).

Turbinas a gás específicas para operar em ciclo combinado, são desenvolvidas de modo a maximizar a eficiência térmica do ciclo como um todo. Desta forma, a redução da temperatura dos gases de escape não é necessariamente o ponto mais crítico, em termos de eficiência, uma vez que os gases de saída da turbina ainda são utilizados para gerar potência (BARBELI, 2015).

## 2.8 Geradores

Grupos Geradores são utilizados como fonte principal ou como fonte auxiliar, para suprir a necessidade de energia de forma confiável em empreendimentos de todo e qualquer porte, para quaisquer aplicações, como indústrias, supermercados, shopping Centers, hospitais, edifícios residenciais e comerciais, hotéis e outros (MARTINELLI JUNIOR, 2002).

Os Grupos Geradores são constituídos por um gerador, acionado por motor de combustão, sendo este alimentado por combustível, óleo diesel, gás natural, biogás, dentre outros (GIAMPAOLO, 2006), conforme figura 5.



**Figura 5 - Gerador a gás**  
**Fonte:** Giampaolo (2006)

Uma das tarefas mais importantes na elaboração de projetos de construção, em geral é assegurar um suprimento de energia confiável, pois, estes podem ser primordiais para se alcançar o sucesso desejado.

### 3 CHILLER

Um resfriador, uma máquina que remove o calor de um líquido por meio de um ciclo de refrigeração por absorção ou compressão por vapor. Este líquido pode então ser circulado através de um trocador de calor para resfriar equipamentos ou outro fluxo de processo, como ar ou água de processo. Como um produto necessário, a refrigeração cria calor residual que deve ser exaurido para o ambiente ou para maior eficiência, recuperado para fins de aquecimento (PINHEIRO, 2012), de acordo com a figura 6.



**Figura 6 - Chiller resfriado a água**  
**Fonte:** Hunt (2002)

A água gelada é usada para resfriar e desumidificar o ar em instalações comerciais, industriais e institucionais de médio a grande porte, já estes resfriadores (Chillers) de água podem ser resfriados a água, refrigerados a ar ou resfriados por evaporação sendo que os sistemas refrigerados a água podem proporcionar vantagens de eficiência e impacto ambiental sobre sistemas refrigerados a ar (KREITH, 2005).

#### 3.1 Chiller Industrial

Os resfriadores industriais normalmente vêm como sistemas de circuito fechado completos, incluindo a unidade do resfriador, condensador e estação de bomba e com bomba de recirculação, válvula de expansão, desligamento

sem fluxo, controle de água fria interna, o tanque interno ajuda a manter a temperatura da água fria e evita picos de temperatura (JUMP UP, 2016).

Os chillers industriais de ciclo fechado recirculam um refrigerante limpo ou água limpa com aditivos de condição a uma temperatura e pressão constantes para aumentar a estabilidade e a reproduzibilidade de máquinas e instrumentos resfriados a água. A água flui do resfriador para o ponto de uso e de volta da aplicação, sendo que se os diferenciais de temperatura da água entre a entrada e a saída forem altos, um grande tanque externo de água seria usado para armazenar a água fria (BARJA, 2006).

Neste caso, a água gelada não vai diretamente do resfriador para a aplicação, mas vai para o tanque de água externo, que age como uma espécie de "tampão de temperatura". O tanque de água fria é muito maior do que a água interna vai do tanque externo para a aplicação e a água quente de retorno da aplicação volta para o tanque externo, não para o resfriador (VAN WYLEN, 2010).

Os resfriadores industriais de circuito aberto menos comuns controlam a temperatura de um líquido em um tanque ou reservatório aberto, recirculando-o constantemente, o líquido é retirado do tanque sendo bombeado através do resfriador e de volta ao tanque.

Em resfriadores de água industriais é usado resfriamento a água, em vez de refrigeração a ar, e neste caso, o condensador não resfria o refrigerante quente com ar ambiente, mas usa água que é resfriada por uma torre de resfriamento e este desenvolvimento permite uma redução na necessidade de energia em mais de 15% e também permite uma redução significativa no tamanho do resfriador, devido à pequena área de superfície do condensador à base de água e à ausência de ventiladores. Além disso, a ausência de ventiladores permite níveis de ruído significativamente reduzidos (KREITH, 2005).

A maioria dos resfriadores industriais usa a refrigeração como meio de resfriamento, mas alguns dependem de técnicas mais simples, como o ar ou a água fluindo sobre bobinas que contêm o refrigerante para regular a temperatura. A água é o refrigerante mais comumente usado nos chillers de processo, embora as misturas de refrigerante, principalmente a água com um

aditivo de refrigeração para aumentar a dissipação de calor, seja frequentemente empregadas (JUMP UP, 2016).

### **3.2 Seleção de Chiller Industrial**

Especificações importantes a serem consideradas na pesquisa de resfriadores industriais incluem o custo total do ciclo de vida, a fonte de energia, classificação IP do resfriador, capacidade de resfriamento do resfriador, capacidade do evaporador, material do evaporador, tipo de evaporador, capacidade do condensador, temperatura ambiente, tipo de ventilador do motor, níveis de ruído, materiais internos da tubulação, número de compressores, tipo de compressor, número de circuitos de refrigeração, requisitos de refrigerante, temperatura de descarga de fluido e Coeficiente de Performance – COP, ou seja, a relação entre a capacidade de resfriamento em Resistência Térmica - RT e a energia consumida por todo o resfriador em KW (PINHEIRO, 2012).

Para chillers médios a grandes, isso deve variar de 3,5 a 7,0, com valores mais altos significando maior eficiência e esta é freqüentemente especificada em quilowatts por tonelada de refrigeração (kW/RT). As especificações da bomba de processo que são importantes a considerar incluem o fluxo do processo, pressão do processo, material da bomba, elastômero e material de vedação do eixo mecânico, tensão do motor, classe elétrica do motor, classificação IP do motor e classificação da bomba. Se a temperatura da água fria for inferior a - 5°C, então uma bomba especial precisa ser usada para bombear as altas concentrações de etilenoglicol (RODRIGUES, 2012).

Os recursos do painel de controle que devem ser considerados, ao selecionar entre resfriadores industriais incluem o painel de controle local, o painel de controle remoto, os indicadores de falha, os indicadores de temperatura e os indicadores de pressão e estes recursos adicionais incluem alarmes de emergência, desvio de gás quente, comutação de água da cidade e rodízios (JUMP UP, 2016).

Os chillers desmontáveis também são uma opção para implantação em áreas remotas e onde as condições podem ser quentes e empoeiradas (PINHEIRO, 2012).

### 3.3 Aplicação na Indústria

Na aplicação industrial, a água gelada ou outro líquido do resfriador é bombeado por equipamentos de processo ou de laboratório.

Os Chillers são usados conforme Stoecker (2015, p.52):

Para resfriamento controlado de produtos, mecanismos e maquinário de fábrica em uma ampla gama de indústrias e metais, são frequentemente usados nas indústrias de plásticos, moldagem por injeção e sopro, óleos para corte de metais, equipamento de soldagem, fundição e usinagem, processamento químico, formulação farmacêutica, processamento de alimentos e bebidas, processamento de papel e cimento, sistemas de vácuo, difração de raios, fontes de alimentação e estações de geração de energia, equipamentos analíticos, semicondutores, ar comprimido e resfriamento a gás, e podendo ser utilizados para resfriar itens especializados de alta temperatura, como máquinas de ressonância magnética e lasers, e em hospitais.

Os Chillers para aplicações industriais podem ser centralizados, onde um único chiller atende a múltiplas necessidades de resfriamento ou descentralizado, onde cada aplicação ou máquina possui seu próprio chiller, também é possível ter uma combinação de resfriadores centralizados e descentralizados especialmente se os requisitos de resfriamento forem os mesmos para algumas aplicações ou pontos de 10 toneladas curtas (0.179 a 8.929 toneladas longas; 0.181 a 9.072 t) (BARBELI, 2015).

Os chillers resfriados a água incorporam o uso de torres de resfriamento que melhoram a eficiência termodinâmica dos resfriadores em comparação com resfriadores refrigerados a ar e isto deve-se à rejeição do calor à temperatura do bulbo úmido do ar ou perto dele e não à temperatura mais alta, às vezes muito mais alta, do bulbo seco, porém, os chillers resfriados por

evaporação oferecem maior eficiência do que os chillers resfriados a ar, mas inferiores aos chillers resfriados a água (HUNT, 2002).

Os chillers resfriados a água são normalmente destinados à instalação e operação em ambientes internos, e são resfriados por um circuito separado de água do condensador e conectados a torres de resfriamento externas para expelir o calor para a atmosfera (JUMP UP, 2016)

Os resfriadores refrigerados a ar e evaporativos são destinados à instalação e operação externas. As máquinas resfriadas a ar são resfriadas diretamente pelo ar ambiente, sendo circuladas mecanicamente diretamente através da bobina do condensador da máquina para expelir o calor para a atmosfera (HUNT, 2002).

As máquinas resfriadas por evaporação são similares, exceto que elas implementam uma névoa de água sobre a serpentina do condensador para auxiliar no resfriamento do condensador, tornando a máquina mais eficiente do que uma máquina resfriada a ar tradicional. Nenhuma torre de resfriamento remoto é normalmente necessária com qualquer um desses tipos de chillers resfriados a ar ou resfriados por evaporação (RODRIGUES, 2012).

Quando disponível, a água fria é utilizada diretamente para fazer o resfriamento, substituição ou suplementar torres, permitindo com que a água resfriada seja utilizada em prédios, através de um sistema de resfriamento distrital (JUMP UP, 2016).

A água de retorno é usada para aquecer o abastecimento de água potável da cidade, o que é desejável no clima frio. Sempre que a rejeição de calor de um chiller puder ser usada para um propósito produtivo, além da função de resfriamento, é possível uma eficiência térmica muito alta (STOECKER, 2015).

### **3.4 Uso em Centrais de Climatização**

Em sistemas de ar condicionado, a água gelada é normalmente distribuída para trocadores de calor, em manipuladores de ar ou outros tipos de dispositivos terminais que resfriam o ar em seus respectivos espaços, desta forma a água é então recirculada para o equipamento para ser resfriada novamente (CLEMENTINO, 2001).

Um chiller típico para aplicações de ar condicionado é classificado entre 15 e 2000 toneladas, e pelo menos um fabricante pode produzir resfriadores com capacidade de até 5.200 toneladas de resfriamento, e normalmente as temperaturas da água gelada podem variar de 2 a 7°C (35 a 45°F), dependendo dos requisitos da aplicação e quando os resfriadores, ou seja, os Chillers, para sistemas de ar condicionado não estão operáveis ou precisam de reparo ou substituição. Resfriadores de emergência podem ser usados para fornecer água gelada, onde estes são chamados Chillers de aluguel que são montados em um trailer para que possam ser rapidamente implantados no local, que com grandes mangueiras de água gelada são conectados à rede abastecendo o sistema e suprindo a necessidade (RODRIGUES, 2012).

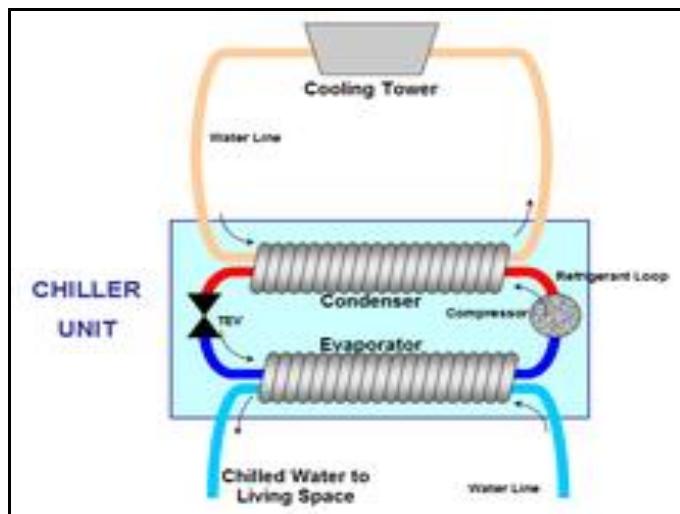
### **3.5 Tecnologia de Resfriamento por Compressão**

Existem quatro tipos básicos de compressores usados em resfriadores de compressão de vapor: compressão recíproca, compressão de rolagem, compressão acionada por parafuso e compressão centrífuga são todas máquinas mecânicas que podem ser alimentadas por motores elétricos, vapor ou turbinas a gás, produzindo efeito de resfriamento através do ciclo de Rankine reverso, ou também conhecido como compressão de vapor. Com a rejeição de calor de resfriamento evaporativo, seus coeficientes de desempenho COP's, são muito altos; tipicamente 4.0 ou mais (LOSEKANN, 2003), conforme equação 2.

$$\text{COP} = \frac{\text{EFEITO ÚTIL (EU)}}{\text{ENERGIA GASTA (EG)}}$$

**Equação 2 - Coeficientes de desempenho**  
**Fonte:** ASHRAE (2001)

A tecnologia atual do chiller de compressão a vapor é baseada no ciclo de "inversão de classificação" conhecido como compressão de vapor. Observa-se os principais componentes do sistema chiller, segundo (MARTINELLI JUNIOR, 2002), conforme figura 7.



**Figura 7 -** Diagrama mostrando os componentes de um resfriador a água  
**Fonte:** Pacheco (2001)

Os compressores de refrigeração são essencialmente uma bomba para gás refrigerante e a capacidade do compressor, portanto é medida em kilowatts de entrada (kW), entrada de potência a cavalo (HP) ou fluxo volumétrico (m<sup>3</sup>/h, ft<sup>3</sup>/h) (LOSEKANN, 2003).

O mecanismo de compressão de gás refrigerante difere entre os compressores, e cada um tem sua própria aplicação. Compressores de refrigeração comuns incluem alternativos, scroll, parafuso ou centrífugos sendo que estes podem ser alimentados por motores elétricos, turbinas a vapor ou turbinas a gás. Tais compressores podem ter um motor integrado de um fabricante específico ou ser um drive aberto - permitindo a conexão a outro tipo de conexão mecânica, podendo ainda serem herméticos (soldados fechados) ou semi-herméticos (parafusados juntos) (SIRBONE, 2011).

Nos últimos anos, a aplicação da tecnologia de Acionamento de Velocidade Variável - VSD, aumentou a eficiência dos resfriadores de compressão a vapor, o primeiro VSD foi aplicado a resfriadores com compressor centrífugo no final da década de 1970 e se tornou a norma à medida que o custo da energia aumentava porém agora, estes estão sendo aplicados aos compressores de parafuso rotativo e tecnologia de rolagem (BRASIL, 2009).

Os condensadores podem ser resfriados a ar, refrigerados a água ou evaporativos. O condensador é um trocador de calor que permite que o calor migre do gás refrigerante para a água ou para o ar, os condensadores

refrigerados a ar são fabricados a partir de tubos de cobre, para o fluxo de refrigerante e de aletas de alumínio, para o fluxo de ar. Cada condensador tem um custo de material diferente e varia em termos de eficiência. Com condensadores de resfriamento evaporativo, seus coeficientes de desempenho COP's são muito altos; tipicamente 4.0 ou mais (LOSEKANN, 2003).

O dispositivo de expansão ou Dispositivo de Medição de Refrigerante - RMD, restringe o fluxo do líquido refrigerante, causando uma queda de pressão que vaporiza parte do refrigerante, esta vaporização absorve o calor do refrigerante líquido próximo. O RMD está localizado imediatamente antes do evaporador para que o gás frio no evaporador possa absorver o calor da água no evaporador e na saída do evaporador há um sensor que permite ao RMD regular o fluxo de refrigerante com base no requisito de projeto do chiller (MARTINELLI JUNIOR, 2002).

Evaporadores podem ser tipo de placa ou tipo de casco e tubo. O evaporador é um trocador de calor que permite que a energia térmica migre do fluxo de água para o gás refrigerante e durante a mudança de estado do líquido remanescente para o gás, o refrigerante pode absorver grandes quantidades de calor sem alterar a temperatura (D'ARAÚJO, 2009).

### **3.6 Tecnologia de Absorção**

O ciclo termodinâmico de um chiller de absorção é acionado por uma fonte de calor e esse calor geralmente é fornecido ao resfriador por meio de vapor, água quente ou combustão. Em comparação com resfriadores com energia elétrica, um resfriador de absorção tem requisitos de energia elétrica muito baixos - muito raramente acima do consumo combinado de 15 kW para a bomba de solução e a bomba de refrigerante, no entanto seus requisitos de entrada de calor são grandes e seu COP é geralmente de 0,5 a 1,0 efeito único ou duplo (LOSEKANN, 2003), conforme figura 8.



**Figura 8 - Chiller de Absorção QD**  
**Fonte:** Johnson (2014)

Para a mesma capacidade de tonelagem, um resfriador de absorção requer uma torre de resfriamento muito maior do que um resfriador de compressão a vapor, porém estes resfriadores de absorção, do ponto de vista da eficiência energética se sobressaem quando o calor barato, de baixa qualidade ou o calor residual estão prontamente disponíveis, desta forma em climas extremamente ensolarados, a energia solar tem sido usada para operar resfriadores de absorção (JUMP UP, 2016).

O ciclo de absorção de efeito único usa água como refrigerante e brometo de lítio como absorvente, e devido as afinidades das duas substâncias o ciclo funciona em boas condições e todo o processo ocorre em quase um vácuo completo (CLEMENTINO, 2001).

**Bomba de Solução:** Uma solução diluída de brometo de lítio (concentração de 63%) é coletada no fundo do reservatório do absorvedor. A partir daqui, uma bomba de solução hermética move a solução através de um trocador de calor de casco e tubo para pré-aquecimento (JOHNSON, 2014).

**Gerador:** Depois de sair do trocador de calor, a solução diluída move-se para o invólucro superior. A solução envolve um conjunto de tubos que transporta vapor ou água quente. O vapor ou a água quente transfere calor para a solução diluída de brometo de lítio (CAMARGO, 2005).

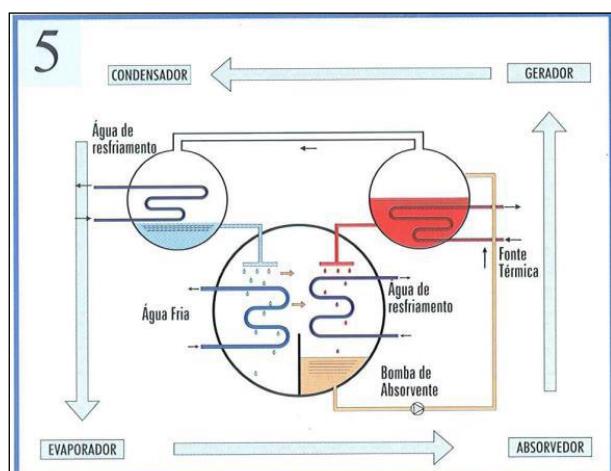
A solução ferve, enviando vapor refrigerante para cima no condensador e deixando para trás o brometo de lítio concentrado. A solução concentrada de

brometo de lítio move-se para o trocador de calor, onde é resfriada pela solução fraca sendo bombeada até o gerador (CLEMENTINO, 2001).

**Condensador:** O vapor refrigerante migra através dos eliminadores de névoa para o feixe do tubo do condensador. O vapor refrigerante condensa nos tubos. O calor é removido pela água de resfriamento que se move através do interior dos tubos. À medida que o refrigerante se condensa, ele é coletado em uma calha na parte inferior do condensador (CAMARGO, 2005).

**Evaporador:** O líquido refrigerante move-se do condensador no invólucro superior até o evaporador no invólucro inferior e é pulverizado sobre o feixe do tubo do evaporador. Devido ao vácuo extremo do revestimento inferior a 6mmHg (0,8 kPa) pressão absoluta, o líquido refrigerante ferve a aproximadamente 39°F (4°C), criando o efeito refrigerante. Este vácuo cria-se pela ação higroscópica - o brometo de lítio de afinidade forte tem para a água - no Absorvedor diretamente em baixo (JOHNSON, 2014).

**Absorvedor:** À medida que o vapor refrigerante migra para o absorvedor do evaporador, a solução forte de brometo de lítio do gerador é pulverizada sobre o topo do feixe do tubo absorvedor. A solução de brometo de lítio forte, na verdade, puxa o vapor de refrigerante para a solução, criando o vácuo extremo no evaporador. A absorção do vapor refrigerante na solução de brometo de lítio também gera calor que é removido pela água de refrigeração. Agora, a solução diluída de brometo de lítio se acumula no fundo da casca inferior, onde flui para a bomba de solução. O ciclo de resfriamento está concluído e o processo começa novamente (CLEMENTINO, 2001), conforme figura 9.



**Figura 9 - Ciclo de Absorção**  
Fonte: Camargo (2005)

### 3.7 Vantagens e Desvantagens

Como o princípio de base de um chiller de absorção é um sistema termoquímico, não existem componentes móveis no sistema, para além das bombas hidráulicas necessárias. Como consequência, este tipo de chillers apresenta uma vida útil longa, geralmente superior a vinte anos, e exigindo muito pouca manutenção. Por outro lado, nos chillers onde se usa água como fluído refrigerante, não é utilizada nenhuma substância nociva da camada de ozônio, como os Clorofluorcarbonetos - CFC, por exemplo, (JOHNSON, 2014).

O consumo elétrico de um chiller de absorção é tipicamente cerca de 10% do consumo dos chillers de compressão elétricos. Nas regiões onde existe uma forte procura de eletricidade ou em que o preço é bastante elevado, é possível reduzir a fatura energética investindo num sistema de arrefecimento que praticamente não necessita eletricidade (D'ARAÚJO, 2009).

Os chillers de absorção de queima indireta apresentam também a vantagem de funcionar com uma ampla gama de fontes quentes: vapor de baixa pressão, água quente, energia solar e processo de purga quente (LOSEKANN, 2003).

A grande desvantagem dos chillers de absorção frente aos chillers de compressão reside no seu relativamente reduzido rendimento energético - COP. Os chillers de absorção apresentam COP's de 1,1, enquanto nos chillers de compressão o valor pode subir até de 6,0. Por outro lado, os chillers de absorção representam um investimento inicial muito superior, entre 1,5 e 2,5 vezes mais elevado (JOHNSON, 2014).

Uma solução alternativa consiste em usar um sistema híbrido integrando os dois tipos de chillers, sendo um chiller elétrico como base, e outro de absorção funcionando durante os períodos de cheia e de ponta (KOSOW, 2007).

Outras vantagens do chiller por absorção, segundo Bandeira (2003, p.52):

- Consumo de energia;
- Baixo nível de ruído interno, atinge grandes capacidades, refrigerante ecológico;
- Simultaneidade;

- Poder de retirada de calor latente;
- Aplicação Especial (Sala limpa);

**Desvantagens:**

- Nível de ruído externo;
- Espaço Para Casa de máquinas;
- Sistemas Bombeamento Hidráulico;
- Automação.

### 3.8 Fabricantes e Produtos

Normalmente, a capacidade dos chillers de absorção varia entre 10 e 17000 KW, embora a maioria dos chillers funcione na gama dos 1000 a 2000 KW. O quadro 1 resume as principais características de alguns modelos de chillers de absorção existentes no mercado.

**Quadro 1 - Fabricantes de chiller por absorção.**

Fabricante/ distribuidor.	Tipo de tecnologia.	Tipo de fonte de calor.	Tipo de fluído refrigerante.	Potência elétrica (KW).	Temperatura de saída de água gelada.
Cooling Heating and Power	Amoníaco	Gás natural	Água/glicol	12	-10°C
	Amoníaco	Gás natural	Água/glicol	18	-10°C
	Brometo de lítio	Gás natural	Água	370-3700	5°C
	Brometo de lítio	Fuel-óleo	Água	370-3700	5°C
	Brometo de lítio	Vapor (7bar)	Água	986-3700	5°C
	Brometo de lítio	Água quente	Água	120-3700	5°C
Dunham- Bush		Vapor Água quente		350-5000 350 - 2700	

**Fonte:** Losekann (2003)

Destaca-se que, o chiller por absorção tem um evaporador acoplado a um absorvedor, formando um vaso único, chamado evaporador-absorvedor, conforme quadro 2.

**Quadro 2 - Fabricantes de chiller por absorção.**

Fornecedor	País de Origem	Tecnologia	Tipo	Modelo	Capacidade
Thermax (Trane)	Índia	Brometo de Lítio	Água quente	LT21C	210 TR
Johnson Controls (York)	Estados Unidos			YIA HW 2A4	205 TR
Carrier Sanyo	Estados Unidos/Japão			16 U 23	210 TR
Broad	China			BYDH 75	220 TR

**Fonte:** Pelizari (2009)

Nesse vaso, no lado do evaporador, o líquido refrigerante, água desionizada vai evaporado quando entra em contato com os tubos de cobre, onde internamente circula o líquido a ser resfriado, água gelada, conforme figura 10.



**Figura 10 - Chiller por absorção**

**Fonte:** Johnson (2010)

Chiller por absorção YIA da Johnson Controls (2010):

- 100 - 1400 TR Gama de Capacidades.
- 0.68 C.O.P.
- 40 °F Temperatura Mínima de Saída de Água Gelada.
- 45 °F Temperatura Mínima de Entrada de Água Condensação.

- GPM/TR Para 17°F Diferencial de Torre Resfriamento. -Vapor de 0 a 15 PSIG (0 a 1 Kg./Cm<sup>2</sup>).

- Água Quente de 240 °F (115 °C) (nominal), Água Quente de 266 °F (130 °C) (opcional), conforme figura 11.



**Figura 11 - Chiller por absorção Broad**

**Fonte:** Johnson (2010)

A seguirvalores referente ao consumo energético de alguns equipamentos, conforme quadro 3.

**Quadro 3 - Consumo energético de alguns equipamentos.**

Sistema	Tipo	Equipamento	Condens.	estado	COP	Energia Elétrica (kW/TR)			Gas Natural (m <sup>3</sup> /TR) PCI = 8560 kcal/m <sup>3</sup>
						Equipam.	1/COP	1/IPLV	
Gás Natural	DXS	GHP	Ar	Novo	1,47	0,10	0,10	0,08	0,23
		GHP Chiller	Ar	Novo	1,41	0,10	0,19	0,15	0,24
	CWS	Chiller Absorção Amônia	Ar	Novo	0,69	0,10	0,19	0,15	0,50
		Chiller Absorção < 300TR	Água	Novo	1,58	0,03	0,23	0,18	0,22
	DXS	Chiller Absorção > 300TR	Água	Novo	1,58	0,03	0,23	0,18	0,22
		Aparelho de Janela	Ar	Novo	1,76	2,00	2,00	2,00	-
	DXS	Split	Ar	Novo	2,61	1,35	1,35	1,35	-
		Self	Ar	Novo	2,61	1,35	1,35	1,28	-
	Elétrico	Splitão	Água	Novo	2,93	1,20	1,31	1,24	-
		VRF	Ar	Novo	2,61	1,35	1,35	1,28	-
	CWS	Chiller Alternativo	Água	Novo	5,23	1,00	1,11	0,80	-
		Chiller Scroll	Ar	Velho	2,34	1,50	1,64	1,56	-
		Chiller Parafuso	Água	Velho	2,81	1,25	1,50	1,43	-
		Chiller Parafuso	Ar	Novo	3,35	1,05	1,14	0,97	-
		Chiller Parafuso	Velho	3,06	1,15	1,29	1,16	-	
		Chiller Parafuso	Água	Novo	3,91	0,90	1,10	0,94	-
		Chiller Parafuso	Velho	3,52	1,00	1,25	1,13	-	
		Chiller Parafuso	Ar	Novo	3,70	0,95	1,04	0,88	-
		Chiller Parafuso	Velho	3,35	1,05	1,19	1,07	-	
		Chiller Parafuso	Água	Novo	4,51	0,78	0,98	0,83	-
		Chiller Parafuso	Velho	4,00	0,88	1,13	1,02	-	
		Chiller Centrifugo	Água	Novo	6,39	0,55	0,75	0,68	-
		Chiller Centrifugo	Velho	5,41	0,65	0,90	0,86	-	

**Fonte:** Andreos (2018)

Geralmente os valores de medidas elétricas relacionadas à distribuição para os locais atendidos por uma subestação em específico, são armazenados em bancos de dados pelas empresas responsáveis pelos serviços.

### 3.9 Refrigerantes

Um chiller de compressão de vapor usa um refrigerante internamente como fluido de trabalho, e nestas condições tem muitas opções de refrigerantes disponíveis e ao selecionar um resfriador, os requisitos de temperatura de resfriamento da aplicação e as características de resfriamento do refrigerante precisam ser corresponder e outros parâmetros considerados como a pressão de operação (ÇENGEL e BOLES, 2006), conforme figura 12.



**Figura 12 - Fluidos Refrigerantes**  
Fonte: Çengel e Boles (2010)

Existem vários fatores ambientais que diz respeito a refrigerantes, e também afetam a disponibilidade futura de aplicações de resfriadores e essa é uma consideração importante em aplicações intermitentes em que um resfriador grande pode durar em média vinte e cinco anos ou mais (FERNANDES, 2006), conforme figura 13.

Refrigerante	ODP	GWP
R12	1	2400
R123	0,012	76
R134a	0	1300
R22	0,05	1700
R290 (propano)	0	3
R401a	0,027	970
R404a	0	3260
R407a	0	2000
R407c	0	1525
R408a	0,016	3020
R409a	0,039	1290
R410a	0	1725
R500	0,7	???
R502	0,18	5600
R507	0	3300
R600a	0	3
R744 (CO <sub>2</sub> ) <sup>[11]</sup>	0	1
R717 (amônia)	0	0
R718 (água) <sup>[12]</sup>	0	0

R12 é a referência do ODP. CO<sub>2</sub> é a referência do GWP

**Figura 13 - Fatores Ambientais Refrigerantes**  
Fonte: Fernandes (2006)

O potencial de Esgotamento do Ozono - ODP e o potencial de aquecimento global (GWP) do refrigerante devem ser considerados, pois, dados ODP e GWP para alguns dos refrigerantes de compressão de vapor mais comuns, observando que muitos desses refrigerantes são altamente inflamáveis e tóxicos (ÇENGEL e BOLES, 2006).

### **3.10 Protocolo de Quioto**

O Protocolo de Quioto é um tratado internacional com compromissos mais rígidos para a redução da emissão dos gases que agravam o efeito estufa, considerados, de acordo com a maioria das investigações científicas, como causas antropogênicas do aquecimento global (SEROA DA MOTTA, 2006).

O acordo é consequência de uma série de eventos iniciada com a Toronto Conference on the Changing Atmosphere, no Canadá no ano de 1988, seguida pelo IPCC's First Assessment Report na, Suécia e que culminou com a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança Climática (CQNUMC, ou UNFCCC em inglês) na ECO-92 no Rio de Janeiro, Brasil (junho de 1992) (SILVA, 2010).

Discutido e negociado em Quioto no Japão em 1997, foi aberto para assinaturas em 11 de dezembro de 1997 e ratificado em 15 de março de 1999. Sendo que para este entrar em vigor precisou que 55 países, que juntos, produzem 55% das emissões, o ratificassem, assim entrou em vigor em 16 de fevereiro de 2005, depois que a Rússia o ratificou em novembro de 2004 (SEROA DA MOTTA, 2006).

Por ele se propõe um calendário pelo qual os países-membros, principalmente os desenvolvidos têm a obrigação de reduzir a emissão de gases do efeito estufa em, pelo menos, 5,2% em relação aos níveis de 1990 no período entre 2008 e 2012, também chamado de primeiro período de compromisso (para muitos países, como os membros da União Europeia - UE, isso corresponde a 15% abaixo das emissões esperadas para 2008).

As metas de redução não são homogêneas a todos os países, colocando níveis diferenciados para os 38 países que mais emitem gases. Países em franco desenvolvimento, como Brasil, México, Argentina e Índia, não

receberam metas de redução, pelo menos momentaneamente (GIRALDI, 2009).

A redução dessas emissões deverá acontecer em várias atividades econômicas. O protocolo estimula os países signatários a cooperarem entre si, através de algumas ações básicas, segundo Seroa da Motta (2006):

Reformar os setores de energia e transportes;

Promover o uso de fontes energéticas renováveis;

Eliminar mecanismos financeiros e de mercado inapropriados aos fins da Convenção;

Limitar as emissões de metano no gerenciamento de resíduos e dos sistemas energéticos;

Proteger florestas e outros sumidouros de carbono.

Se o Protocolo de Quioto for implementado com sucesso, estima-se que a temperatura global reduza entre 1,4°C e 5,8 C até 2100, entretanto, isto dependerá muito das negociações pós-período 2008/2012, pois há comunidades científicas que afirmam categoricamente que a meta de redução de 5,2% em relação aos níveis de 1990 é insuficiente para a mitigação do aquecimento global.

### **3.11 Casos de Cogeração**

A cogeração demonstra sua eficácia em vários casos, dentre estes podemos citar alguns onde as plantas que estão em operação transmitem confiabilidade aos processos fabris assim como entregam retornos financeiros aos empresários.

A seguir, descreve-se alguns exemplos, segundo Esposito (2010):

Fábrica da RIO DE JANEIRO REFRESCOS, autorizada da Coca Cola Brasil localizada em Jacarepaguá.

Fornecimento de utilidades e início de operação em 2013, sendo Energia Elétrica, Vapor e Água Gelada com eficiência global de 86%.

A Companhia de Bebidas das Américas - AMBEV em Jacareí, operação com geração de energia elétrica e térmica.

### 3.12 Análise de Sensibilidade nas Tarifas de Energia Elétrica e Gás Natural

Pode-se dizer que, as categorias de tarifação, bem como os valores praticados pelas distribuidoras, são reguladas pela ANEEL (2016). Pela existência de diversificados tipos de modalidades tarifárias.

Como exemplo, descreve-se o caso de uma lavanderia, que se enquadra em uma modalidade denominada pela ANEEL (2016), Horossazonal A4 – Verde. Nesta modalidade, se paga por demanda contratada de potência (kW) e consumo de energia (kWh). No caso, a demanda contratada de potência é de 80 kW, conhecida como Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão – TUSD, e caso seja ultrapassada essa demanda, cobra-se um valor relativo ao pico mensal.

Na tarifa do tipo Horossazonal A4, existem dois tipos de horário de tarifação: os horários de Ponta e Fora Ponta. Cada horário possui, então, as tarifas TUSD e Tarifa de Energia - TE. O horário de ponta, corresponde ao período das 18 às 21h, nos dias úteis. Além do mais, por conta da situação hidrológica crítica, atualmente em que o país está vivenciando, cobra-se o chamado Adicional Bandeira Vermelha, para os dois horários, além disso, a conta de luz é completada com a tarifa fixa de Contribuição de Iluminação Pública.

Exemplo de conta de luz da lavandeira no mês de janeiro de 2015, conforme tabela 1.

**Tabela 1 - Conta de luz – janeiro de 2015.**

Descrição	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Demandas TUSD (kW)	95,3	18,06200387	1.721,31
Demandas ultrapassagem TUSD (kW)	15,3	36,12400777	552,70
Consumo Ponta TUSD (kWh)	3.086	0,89511756	2.762,33
Consumo Ponta TE (kWh)	3.086	0,43303877	1.336,36
Consumo Fora Ponta TUSD (kWh)	35.494	0,07879286	2.796,67
Consumo Fora Ponta TE (kWh)	35.494	0,25688182	9.117,76
Adicional Bandeira Vermelha Ponta (kWh)	1.684	0,04493034	75,66

Adicional Bandeira Vermelha Fora Ponta (kWh)	19.007	0,04493034	853,99
Contribuição de Iluminação Pública	1	120,91	120,91
		Total	19.337,70

**Fonte:** Fernandes (2006)

No mês de abril de 2015 o gerador entrou em funcionamento. Operando a maior parte do mês, outro fato importante ocorreu neste mês: as tarifas de energia aumentaram, encarecendo o serviço significativamente, conforme tabela 2.

**Tabela 2 - Conta de luz – abril de 2015.**

Descrição	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Demand TUSD (kW)	85,4	18,36175394	1.568,09
Demanda ultrapassagem TUSD (kW)	5,4	36,72350790	198,31
Consumo Ponta TUSD (kWh)	77	0,99354445	76,50
Consumo Ponta TE (kWh)	77	0,49059073	37,78
Consumo Fora Ponta TUSD (kWh)	32.842	0,16082520	5.281,82
Consumo Fora Ponta TE (kWh)	32.842	0,29926917	9.828,60
Adicional Bandeira Vermelha Ponta (kWh)	77	0,08373932	6,45
Adicional Bandeira Vermelha Fora Ponta (kWh)	32.842	0,08373932	2.750,17
Contribuição de Iluminação Pública	1	120,91	120,91
		Total	19.868,62

**Fonte:** Fernandes (2006)

Observa-se que o consumo de eletricidade do mês de janeiro é o que melhor descreve o consumo médio da lavanderia, já que em abril houve uma pequena redução no movimento e, em consequência, no faturamento. O consumo total em horário de ponta, não foi identificado, pois, esta informação também não está disponível para o gerador.

Entretanto procurou-se fazer o cálculo do custo hipotético da conta do mês de janeiro com a tarifa do mês de abril, cujo objetivo real foi a identificação do real preço da conta num mês futuro (FERNANDES, 2006), conforme tabela 3.

**Tabela 3 - Conta de luz – consumo janeiro 2015, tarifa abril 2015**

Descrição	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Demandas TUSD (kW)	95,3	18,36175394	1.749,88
Demandas ultrapassagem TUSD (kW)	15,3	36,72350790	561,87
Consumo Ponta TUSD (kWh)	3.086	0,99354445	3.066,08
Consumo Ponta TE (kWh)	3.086	0,49059073	1.513,96
Consumo Fora Ponta TUSD (kWh)	35.494	0,16082520	5.708,33
Consumo Fora Ponta TE (kWh)	35.494	0,29926917	10.622,26
Adicional Bandeira Vermelha Ponta (kWh)	1.684	0,08373932	141,02
Adicional Bandeira Vermelha Fora Ponta (kWh)	19.007	0,08373932	1.591,63
Contribuição de Iluminação Pública	1	120,91	120,91
		Total	25.075,94

**Fonte:** Fernandes (2006)

Nota-se o aumento significativo do valor da conta, computado em 22,88%. Além do mais, a potência média nos períodos de ponta e fora ponta são 52,1 e 49,0 kW, respectivamente. As tarifas médias de ponta e fora ponta são 1,53 e 0,57 R\$/kWh, respectivamente (FERNANDES, 2006).

Nota-se que a tarifa ponta é praticamente o triplo da tarifa fora ponta. Esta é uma evidência forte de que a operação do grupo gerador pode trazer economias.

Para determinação do consumo de gás e o consequente custo da geração de eletricidade do mesmo, foram tomados dois cenários: o cenário atual, no qual o equipamento só é ativado em horário de ponta; e o cenário hipotético no qual o equipamento opera em ciclo constante (FERNANDES, 2006).

Para calcular o consumo mensal de gás natural, foi necessário estabelecer o consumo específico do motor. Esta informação só está disponível para dois pontos na curva de operação do motor e como consumo específico aumenta conforme a rotação do mesmo diminui, a seguinte premissa foi adotada: já que a potência média é aproximadamente 3 vezes menor que a potência prime, o consumo específico do motor no regime necessário ao

atendimento às necessidades da lavanderia é 20% maior ao consumo que seria obtido via regressão linear com os valores dos dois pontos disponíveis.

Consumo específico de gás natural, foi calculado, de acordo com o regime, potência (kW), consumo específico ajustado ( $m^3/s$ ), consumo específico ajustado + 20% ( $m^3/s$ ), nos modos standby, prime, lavanderia ponta e lavanderia contínuo.

Destaca-se que, PCI utilizado pelo fabricante do motor para cálculo dos parâmetros de operação é inferior ao disponibilizado pela companhia de abastecimento de gás. Dessa forma, para a obtenção das mesmas potências, o consumo necessário de gás é inferior, conforme tabela 4.

**Tabela 4 - Consumo específico corrigido de gás natural.**

Regime	Potência (kW)	Consumo específico PCI fabricante ( $m^3/s$ )	Consumo específico PCI CEG ( $m^3/s$ )
Lavanderia Ponta	49,0	0,0060	0,0053
Lavanderia Contínuo	51,9	0,0062	0,0055

**Fonte:** Fernandes (2006)

Assim sendo, para cada regime de operação, foi calculado o consumo de gás natural mensal, conforme tabela 5.

**Tabela 5 - Consumo mensal de gás natural.**

Regime	Consumo mensal de gás natural ( $m^3$ )
Lavanderia Ponta	1210
Lavanderia Contínuo	13515

**Fonte:** Fernandes (2006)

Com as informações do consumo de gás natural do moto gerador e da caldeira, é possível agora determinar o consumo total de gás natural da planta, e consequentemente o valor gasto com sua compra. As tarifas de gás natural são reguladas pela Agência Nacional do Petróleo- ANP e, assim como as de eletricidade, cada tipo de consumidor possui uma tarifação especial. No caso, a lavanderia enquadra-se na categoria Industrial, conforme tabela 6.

**Tabela 6 - Tarifa industrial de gás natural.**

<b>Faixa de consumo mensal (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tarifa (R\$/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Total Faixa (R\$)</b>
0 - 200	2,0802	416,04
201 - 2.000	2,0066	3.611,88
2.001 -10.000	1,9623	15.698,40
10.001 - 50.000	1,7209	68.836,00
50.001 – 100.000	1,5763	78.815,00
100.001-300.000	1,4220	284.400,00
300.001-600.000	1,2393	371.790,00
600.001 - 1.500.000	1,2345	864.150,00
1.500.001 - 3.000.000	1,2212	1.831.800,00
Acima de 3.000.000	1,1760	

**Fonte:** Fernandes (2006)

De posse da tarifa de gás natural e dos consumos mensais da caldeira e do moto gerador, é possível calcular o custo mensal de gás natural. Além do mais, é possível calcular a proporção entre o consumo dos dois equipamentos, conforme tabela 7.

**Tabela 7 - Custo do gás natural.**

<b>Regime</b>	<b>Consumo mensal gerador (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Consumo mensal caldeira (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Consumo total lavanderia (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Custo total (R\$)</b>	<b>Tarifa média (R\$/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Relação motor caldeira (%)</b>
Ponta	1.210	76.582	77.792	132.371,08	1,70	1,58
Contínuo	13.515		90.097	151.767,51	1,68	19,23

**Fonte:** Fernandes (2006)

Verifica-se que, o consumo mensal da caldeira é muito superior ao do motor, em qualquer regime de operação. Como a demanda da caldeira é fixa, a título de comparação da tarifa de energia elétrica com o custo da energia produzida pelo gerador, o custo do gás natural adotado é o valor de 1,5763 R\$/m<sup>3</sup>, correspondente ao intervalo de consumo no qual os dois regimes de operação se encontram (FERNANDES, 2006).

Destaca-se que, a conscientização de um ambiente sustentável somente será possível a partir de meios alternativos para a execução de atividades na construção civil e em todas as áreas de produção. E para que a conscientização surja em meio a sociedade em que vivemos e essas opções se tornem evidentes, é imprescindível que as pessoas sejam instruídas, e que

essa instrução seja ministrada no sentido de demonstrar o quanto importante é a atuação correta com o meio ambiente.

Segundo Almeida (2012 p.23) “todos os setores sociais devem defender e preservar o meio ambiente”.

Em colaboração Gupta (2004, p.63) esclarece que “a partir do processo de industrialização, no século XVIII, a população mundial vem crescendo a números alarmantes, consumindo desenfreadamente os recursos naturais”.

Nas palavras de Boff (2008, p.57) “a consciência coletiva é bastante escassa sobre a preservação do planeta”.

Ressalta-se ainda que, para ser ter uma ideia, somente a Organização Mundial da Saúde - ONU é detentora de inúmeros projetos voltados aos grandes problemas globais como os climas, desflorestamento, contaminação do ar, dos solos e das águas, as epidemias, dentre outros.

Pode-se dizer que, o desafio da era atual, é o de se criar e gerir sociedades sustentáveis, a partir dos esforços da educação, sistemas de transportes, padrões de consumo e produção e principalmente da inovação tecnológica, pertinentes a proteção com o ambiente.

## 4 HISTÓRICO DA EMPRESA

A empresa em estudo será denominada, **VV**, por questões éticas o nome da mesma será mantido em sigilo. A **VW** já produziu, no território brasileiro, mais de 15 milhões de veículos. Há 40 anos lidera o mercado brasileiro de automóveis, a marca **VV** faz do Brasil um dos principais mercados de vendas representam 9,5% do total do grupo em todo o mundo, conforme figura 14.



**Figura 14 - VV**

**Fonte:** VV (2018)

O carro-chefe da marca **VV**, esteve na liderança do mercado como o carro mais vendido no país, superando a casa dos 3 milhões de unidades. Em cada quatro automóveis vendidos no País, um é da marca **VV** e somente em 2000, foram vendidas 241.281 unidades.

A história da **VV** no Brasil começa em 1949, quando pesquisas no mercado latino-americano indicaram o Brasil como o melhor lugar para receber a primeira fábrica da marca fora da Alemanha. Em 23 de março de 1953, em um pequeno armazém alugado no bairro do Ipiranga, em São Paulo, nascia a marca **VV** no Brasil. De lá saíram os primeiros carros, com peças importadas da Alemanha e montados por apenas 12 empregados. De 1953 a 1957, foram montados 2.820 veículos.

Os planos da **VV** ganharam novo impulso quando, em junho de 1956, o governo brasileiro criou condições para instalar no Brasil a indústria automobilística, fixando as bases para o rápido desenvolvimento do setor. No

mesmo ano, a **VW**, decidiu construir sua fábrica em São Bernardo do Campo, em São Paulo e já em 2 de setembro de 1957.

Em 18 de novembro de 1959, a **VW** inaugurou oficialmente sua fábrica em São Bernardo do Campo, com a presença do então presidente da República do Brasil, Juscelino Kubitscheck, responsável pela instalação da indústria automobilística do País.

O Karmann-Ghia, um carro esportivo lançado em 1962, também foi sucesso até 1975, quando saiu do mercado com a venda de 41.634 unidades. Em 1969, foi à vez da station-wagon Variant, remodelada em 1977; depois veio o modelo TL, que ficou no mercado de 1970 a 1975.

Em julho de 1970, com os primeiros recordes de produção e vendas a marca **VW** chegou ao primeiro milhão de veículos. Em 1973, foi lançado outro modelo, que fez sucesso pela praticidade e amplo espaço interno, vendendo 1.064.416 unidades até 1981.

O aprimoramento na produção de veículos adequados às condições e exigências brasileiras levou, em junho de 1974, ao lançamento de um automóvel, de tamanho médio, com motor de quatro cilindros, refrigerado a água, e com tração dianteira, completamente diferente dos modelos anteriores – com motor e tração traseiros e refrigeração a ar. O carro foi sucesso no Brasil e no Exterior, principalmente no Iraque, para onde foram exportadas 200 mil unidades.

Lançou o SP-1 e o SP-2 em 1972, mas apenas o SP2 teve grande aceitação pelo público, principalmente os jovens, por ter motor 1.7, de maior potência. O SP1 nem chegou a ser comercializado.

Em 1975, a **VW** completava três milhões de carros produzidos no Brasil.

Em 1980, com o parque automobilístico brasileiro consolidado, a **VW** decidiu entrar no mercado de caminhões. Atualmente vice-líder nesse mercado e também no de ônibus, que começou a fabricar em abril de 1993, produziu e vendeu 161.929 caminhões e ônibus nestes 20 anos e construiu uma nova fábrica em Resende, inaugurada em 1996, com investimentos em torno de US\$ 250 milhões. Lá, é aplicado o inédito Consórcio Modular, isto é, os fornecedores ficam lado a lado na linha de montagem da fábrica.

No início dos anos 80, depois de construir uma nova fábrica de automóveis em Taubaté, no interior do Estado de São Paulo, a **VW** iniciou a

produção da chamada Família BX. De 1986 a julho de 1993, foram exportados 170.514 Fox para os Estados Unidos.

Em 1984, a **VW** entrou no segmento C, de carros de luxo e, em 1985. Em 1987, em um momento de queda do mercado, para reduzir os custos e ter melhor aproveitamento dos recursos disponíveis, a **VW** e a **FD** juntaram-se e criaram a Autolatina Brasil. Em sete anos, a Autolatina colocou no mercado vários carros híbridos.

Em 1988, foi lançado o primeiro carro nacional com injeção eletrônica de combustível e ignição digital com mapeamento eletrônico. Em 1993, a marca **VW** comemorava 10 milhões de veículos fabricados no País e relançava o Fusca, aproveitando vantagens fiscais oferecidas pelo governo federal para quem produzisse um carro popular.

Com o fim da Autolatina veio com a abertura da economia, em 1994, aliada a um aquecimento do mercado interno, quando as duas marcas precisariam competir em todos os segmentos do mercado, com produtos individualizados.

Dois anos depois da separação, com investimentos em torno de US\$ 780 milhões, a **VW** inaugurou duas fábricas no Brasil e uma na Argentina.

Em novembro de 1995, foi inaugurado o Centro Industrial General Pacheco, na Argentina e um ano depois, em novembro de 1996, a Fábrica de Caminhões, em Resende, e a Fábrica de Motores, de São Carlos, ampliada meses depois para produzir motores. Em janeiro de 1999, com investimentos de R\$ 1,2 bilhão, a empresa inaugurou a fábrica de São José dos Pinhais, no Paraná.

Ainda em 1996, comemorou 12 milhões de veículos fabricados e vendidos no Brasil e no Exterior. Em março de 2000, a **VW** comemorou a produção e venda de 13 milhões de automóveis em São José dos Pinhais.

Ao longo de quase 50 anos no Brasil, a **VW** sempre procurou a evolução tecnológica e o aprimoramento de seus produtos. Seu Departamento de Engenharia e Desenvolvimento do Produto reúnem aproximadamente 1.500 engenheiros, designers e especialistas capazes de projetar e produzir automóveis de aceitação mundial. Na Engenharia, fica instalada o Centro de Impactos Veiculares, onde foram submetidos a crash-test todos os veículos da

marca fabricados no Brasil. Segue abaixo alguns veículos produzidos na planta, conforme figura 15.



**Figura 15 - Veículos produzidos**  
**Fonte:** VW (2018)

Atualmente, com um pouco mais de 18 mil empregados, a **VW** está entre as maiores empresas privadas brasileiras e entre as maiores empregadoras do País, sua capacidade para produção é em média de 3.200 veículos e 2.850 motores, diariamente, em suas cinco fábricas no Brasil, incluindo a de São José dos Pinhais, onde a capacidade de produção é de 550 unidades/dia.

Como princípio de gestão e sustentabilidade, as estratégias que visam à sustentabilidade são mais que necessárias para encabeçar quaisquer projetos em prol da qualidade da sociedade contemporânea. Além de que, economicamente esses projetos têm potencial de mitigar excessos ou gastos indevidos.

Durante a Rio+20, a **VW** apresentou sua iniciativa global "Think Blue.", que incorpora o objetivo de criar soluções e produtos ecologicamente corretos. Com isso, a marca estabelece o compromisso com o desenvolvimento sustentável e apresenta suas práticas ligadas aos três pilares de sustentabilidade: o ambiental, o social e o econômico.

O conceito "Think Blue." tem como proposta tornar a mobilidade mais eficiente e sustentável, acessível a todos, e se aplica em tecnologias ambientais, como por exemplo o desenvolvimento de carros mais eficientes, e na redução de emissões na produção de veículos, por meio do conceito "Think Blue. Factory." Por meio dessas ações, a **VW** busca motivar todos os públicos, sejam funcionários, consumidores, comunidade ou a sociedade, a terem um comportamento cada vez mais consciente em relação ao meio ambiente, contribuindo para um futuro sustentável.

No Brasil, o conceito se aplica a diversas iniciativas já realizadas pela Volkswagen há alguns anos, como o investimento em energias renováveis. A

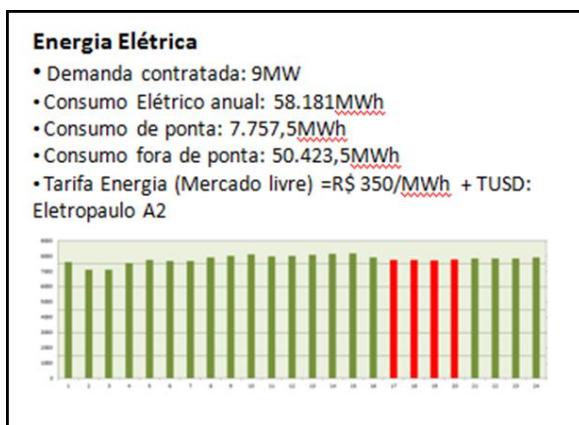
Volkswagen foi a primeira empresa automobilística do Brasil a investir em infraestrutura para gerar energia limpa e renovável no País. A empresa inaugurou, em 2010, sua Pequena Central Hidrelétrica - PCH, localizada no rio Sapucaí-Mirim, entre as cidades de São Joaquim da Barra e Guará, no Estado de São Paulo.

A Organização das Nações Unidas - ONU concedeu a essa usina o Certificado de Emissões Reduzidas - CER, também conhecido como crédito de carbono. A **VW** do Brasil minimizou impactos da construção por meio de diversos projetos ambientais e sociais.

## 5 SITUAÇÃO ATUAL

A proposta deste estudo é viabilizar formas de energias sustentáveis e confiáveis que tragam aos processos fabris estabilidades operacionais, visto que atualmente o prédio em estudo sofre com constantes afundamentos de tensões e oscilações aos processos. Também pode-se verificar a seguir, que as demandas das cargas térmicas estão bem próximas, o que dificultam quaisquer alterações operacionais sugeridas. Para desenvolvimento do estudo, analisa-se a demanda elétrica e térmica do prédio da pintura, denominada Ala 13, com as seguintes características, conforme quadro 4:

**Quadro 4 - Demandas térmicas.**



**Fonte:** VV (2018)

As demandas térmicas do local englobam algumas áreas, onde além de seus processos produtivos, também aloca vários departamentos administrativos que dão suporte a toda parte produtiva. Resumo das cargas citadas para estudo, conforme quadro 5.

**Quadro 5 - Chiller Hitachi, Sabroe**

ESTUDO CARGA TERMICA LOCAL					
Local	TRh	Horas Operação (h)	Potência Maq. (kW)	MWh/mês	Valor Anual (\$)
Escritorio L.D.	97	12	343	123,48	518.616,00
Escritorio L.E.	57	12		123,48	518.616,00
Bombeiros	9	24		246,96	1.037.232,00
Processos Tintas	600	24	165,36	119,06	500.048,64
<b>Somatoria</b>	<b>763,00</b>		<b>508,36</b>	<b>612,98</b>	<b>2.574.512,64</b>

**Fonte:** VV (2018)

Antes de iniciarmos os cálculos pode-se citar algumas premissas que fornecerá melhor foco para as definições, conforme quadro 6.

**Quadro 6 - Premissas Cálculos.**

<b>Horário de funcionamento:</b> Operação Ponta: 60 h/mês, Fora de Ponta: 402 h/mês, 12 meses por ano.
<b>Energia Elétrica:</b> AES Eletropaulo A2 Azul, Bandeira Vermelha, Demanda a contratar: 9.000 kW FC na Ponta: 0,997 e FC Fora de Ponta: 0,992
<b>Sistema de Ar Condicionado:</b> Central de água gelada de 800 TR, composta por 4 unidades de 200 TR. Resfriadores de líquido com compressores Alternativos e condensação a água. Rendimento igual a 0,68 kW/TR (IPLV) @ 0,75 kW/TR (COP) @ FC global: 0,7
<b>Custo com água e esgoto:</b> R\$ 15,00 / m <sup>3</sup> e taxa de evaporação da torre igual a 0,8% da vazão de condensação.
<b>Solução Proposta:</b> Cogeração MCI; Rendimento médio 0,43; Tarifa Gás Natural Comgás (Cogeração) Chiller ABS AQ (COP 0,8) e consumo elétrico: 0,18/0,23 kW/TR

**Fonte:** Fernandes (2006)

As demandas térmicas do local englobam algumas áreas, onde além de seus processos produtivos, também aloca vários departamentos administrativos que dão suporte a toda parte produtiva.

Neste local, o sistema de climatização instalado atende as áreas comuns e salas diversas e está dividido em áreas distintas sendo lado esquerdo, lado direito e departamento dos bombeiros.

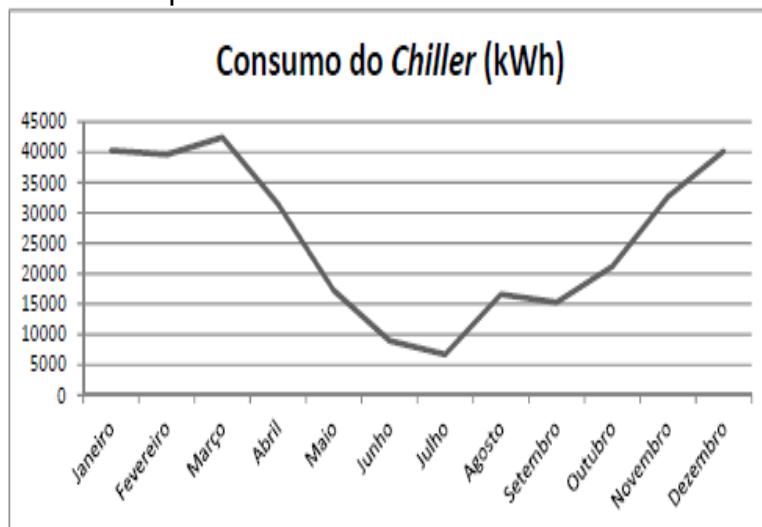
No lado direito temos uma composição de 47 (quarenta e sete) equipamentos trocadores de calor – Tipo Fancoil distribuídos de acordo com a necessidade ambiente, e com isto podemos deduzir uma capacidade térmica de aproximadamente 1.212.500Btu/h (97 TR).

O lado esquerdo é composto por 23 (vinte e três) equipamentos e como citado anteriormente, distribuídos conforme necessidade local e gerando uma carga térmica de aproximadamente 712.500Btu/h (57 TR), e no departamento dos bombeiros, estão distribuídos outros 7 equipamentos que geram uma carga térmica local de 112.500Btu/h (9TR).

Outra parte envolvida neste estudo comprehende o processo produtivo da refrigeração das tintas, onde tanques de aproximadamente 400mil litros de tintas são exigidos temperaturas controladas (28 °C +/- 2), para que possa manter a boa qualidade na pintura das carrocerias dos veículos, e para este

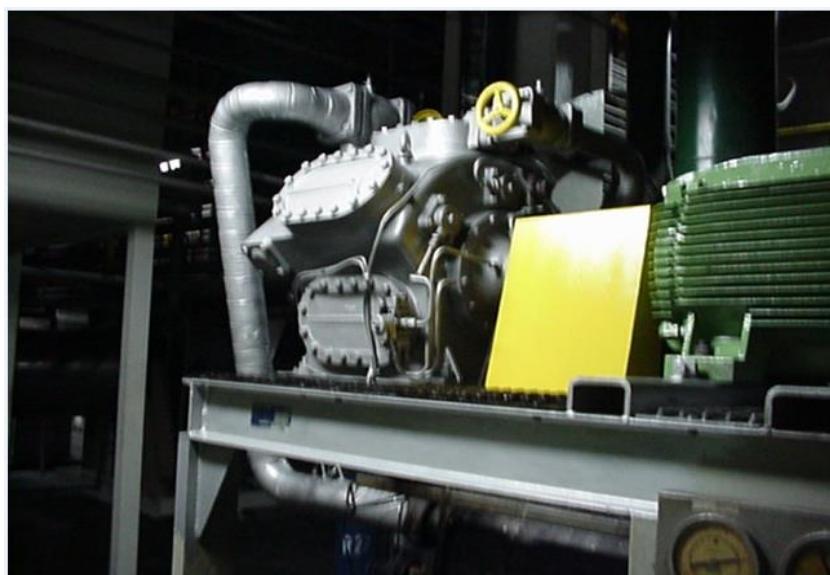
sistema é utilizado 3 Chillers modelo SABROE, alternativos de 200TR cada, operando com fluidos refrigerante R22 no seus ciclos, conforme quadro 7.

**Quadro 7 - Exemplo Consumo.**



**Fonte:** Fernandes (2006)

Todos estes equipamentos são abastecidos pelo sistema de água gelada mantida por 2 Chillers (equipamentos que refrigeram a água), modelos RCU220WS, marca HITACHI parafuso com capacidade de 200TR cada, 3 bombas KSB com vazão de 80m<sup>3</sup>, onde os mesmos operam em regime de revezamento utilizando em seu ciclo frigorigeno o fluido refrigerante 407c, conforme figura 16.



**Figura 16 - Chiller SABROE**  
**Fonte: VV (2018)**

Fatos importantes que se pode observar nos equipamentos citados, é primeiro quanto ao fluido refrigerante utilizado (R22) em seus ciclos, que seguindo as determinações impostas pelo “Protocolo de Quioto”, devem ser substituídos por outros ecologicamente corretos, conforme figura 17.

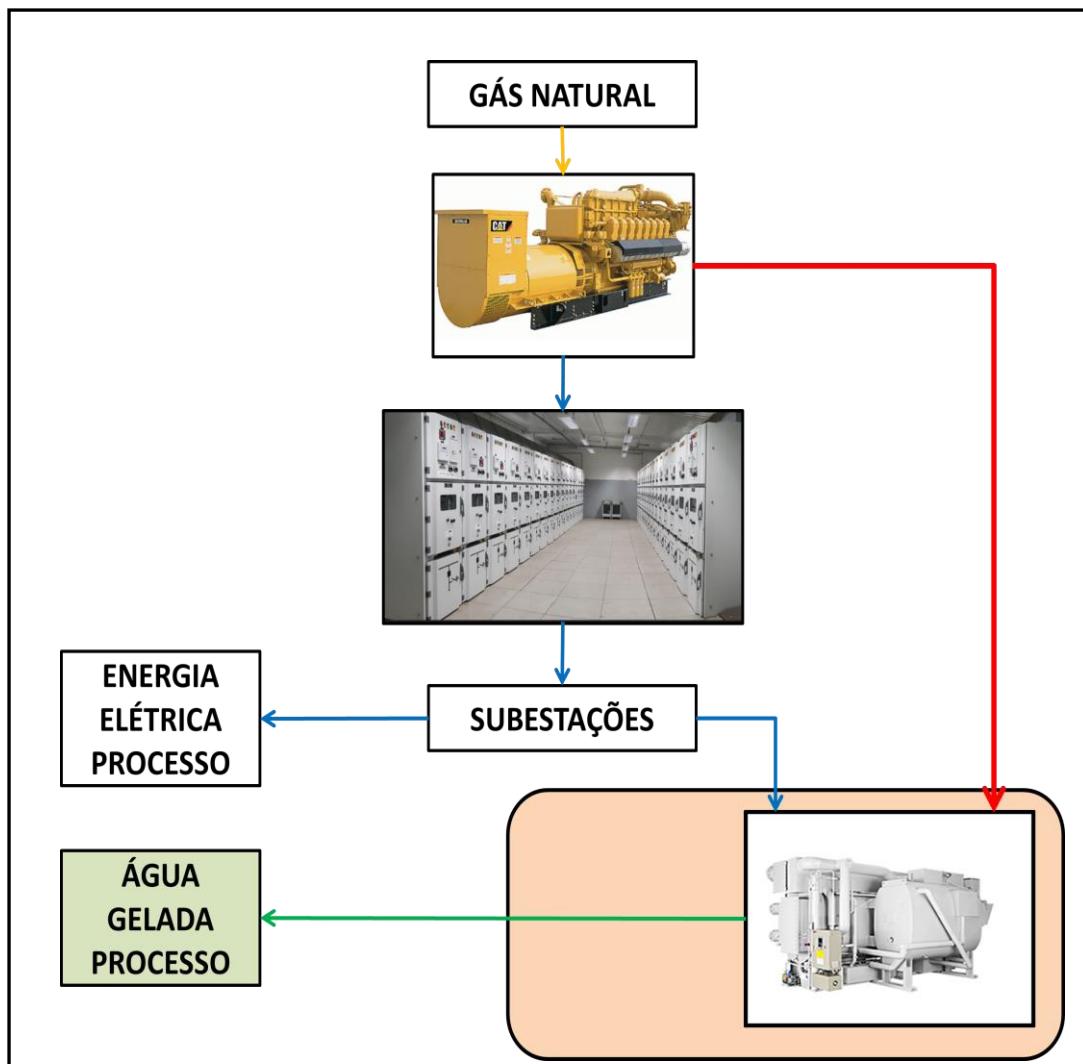


**Figura 17 - Chiller HITACHI**  
**Fonte: VV (2018)**

E segundo quanto a manutenibilidade dos mesmos, que atualmente demandam 2 intervenções, com 2 manutencistas, para realizações de revisões mecânicas e verificações no circuito frigorigeno.

## 6 SITUAÇÃO PROPOSTA

Primeiramente é importante realizar um dimensionamento inicial, ou seja, uma análise da atual situação do prédio, da Ala 13, para que depois possa ser feita uma comparação e definição se o projeto de cogeração é ou não viável e favorável para o local. Assim, primeiramente foi realizada uma análise dos gastos com energia elétrica / térmica, conforme figura 18.



**Figura 18 - Diagrama Cogeração**  
**Fonte:** VV (2018)

Sendo assim, a proposta deste estudo é buscar formas sustentáveis e economicamente viáveis de operação. Logo, após análise e verificarmos as cargas existentes na instalação chegamos ao consenso que 3 geradores modelo CG 260-12C, a gás gerando 380 VAC (Trifásicos), atende as

demandas existentes permitindo desta forma que a instalação chegue até mesmo a ser autossustentável.

Com algumas Tarifas do Gás natural estabelecida pela COMGÁS, vigente desde o dia 31/05/2014, para o segmento de Refrigeração de acordo com ARSESP número 496 de 27/05/2014, conforme quadro 8.

**Quadro 8 - Tarifas GN.**

<b>Volume mensal: 999.962 m<sup>3</sup></b>			
<b>COGERAÇÃO</b>	Valor fatura s/ ICMS	RS 1.298.065,35	
	<b>Valor fatura c/ ICMS</b>	<b>RS 1.527.135,70</b>	
	Tarifa média s/ ICMS	1,298114 R\$/m <sup>3</sup>	
	<b>Tarifa média c/ ICMS</b>	<b>1,527193 R\$/m<sup>3</sup></b>	
<b>REFRIGERAÇÃO</b>	Valor fatura s/ ICMS	RS 1.298.065,35	
	<b>Valor fatura c/ ICMS</b>	<b>RS 1.527.135,70</b>	
	Tarifa média s/ ICMS	1,298114 R\$/m <sup>3</sup>	
	<b>Tarifa média c/ ICMS</b>	<b>1,527193 R\$/m<sup>3</sup></b>	

**Fonte:** Andreos (2018)

Com a energia térmica dissipada pelos conjuntos geradores, podemos atender a carga térmica utilizada no prédio, uma vez que o mesmo é um grande consumidor de energias elétricas e térmicas, sendo assim 2 Chillers de absorção modelo LG WCMW.088, nos fornecendo uma potência térmica de 880RT cada, suprem as demandas e tornam os processos confiáveis, conforme figura 19.



**Figura 19 - Chiller Absorção - LG**

**Fonte:** LG Eletronics (2015)

Com o equipamento definido, pode-se estudar outros custos para a continuidade das análises para a instalação da cogeração, conforme quadro 9.

**Quadro 9 - Motogeradores a gás.**

<b>Motogeradores a gás</b>	
Consumo	0,24 a 0,3 m <sup>3</sup> /h por kWh gerado
Com 1 kWh elétrico gerado	0,27 TR (chiller absorção simples efeito)
Com 1 kWh elétrico gerado	0,8 kg de vapor (utilizando somente os gases de escape)
Custo de Manutenção	de R\$ 50 a R\$ 75 / MWh elétrico gerado
Custo do Motogerador	R\$ 1.200 a 1.800 / kW
Custo da Instalação	R\$ 700 a 1.300 / kW
<b>Chillers por Absorção</b>	
Consumo Médio de Gás (Fogo Direto)	0,22 a 0,26 m <sup>3</sup> /h por TR
Consumo Elétrico	0,03 kW/TR
COP (água quente)	0,8 a 1,0 (para cada kWt que entra, sai 0,8 a 1,0 kWt)
Consumo Vapor	cada 5 kg de vapor para 1 TR
Custo da Instalação (CAG)	R\$ 1.000 / TR
<b>Cogeração com Motogerador + Chiller Absorção</b>	
Custo Médio de Implantação	R\$ 4.000 a R\$ 6.000 / kW

**Fonte:** Andreos (2018)

Conhecendo um pouco dos sistemas, as cargas locais assim com alguns detalhes operacionais, que nos ajudam e favorecem a determinação das melhores condições para os equipamentos propostos, conforme quadro 10.

**Quadro 10 - Balanço energético.**

<b>Balanço Energético</b>	
Consumo Gerador:	0,2331 m <sup>3</sup> /kWh
Capacidade:	8.382 kW
Vazão horária GN:	1.954 m <sup>3</sup> /h
PCI GN	8.560 kcal/m <sup>3</sup>
Energia Entra Gerador	16.725.104 kcal/h
Energia Térmica Bloco	22%
Eficiência do Trocador	0,95
Energia Térmica Bloco Útil	3.495.547 kcal/h
Energia Térmica Exaustão	23%
Eficiência do Trocador	0,85
Energia Térmica Exaustão Útil	3.269.758 kcal
Energia Térmica Útil total	6.765.305 kcal
COP Chiller ABS AQ	0,8
Cap. Geração Térmica AG	5.412.244 kcal/h
Cap. Geração Térmica AG	1.790 TR
Demandas Térmicas Total	1.790 TR
Cap. Gerador acoplado QD	0 TR
<b>Consumo</b>	
Consumo Gás Natural (m <sup>3</sup> /kWh)	8560 kcal/m <sup>3</sup>
PCI	0,43
Rend.	0,2331 m <sup>3</sup> /kWh

**Fonte:** Andreos (2018)

Após a realização do balanço energético e dos estudos feitos em campo, chegamos à conclusão que o processo atende a proposta imposta neste trabalho com margem segura de operação e está certificada como uma cogeração qualificada como segue, conforme quadro 11.

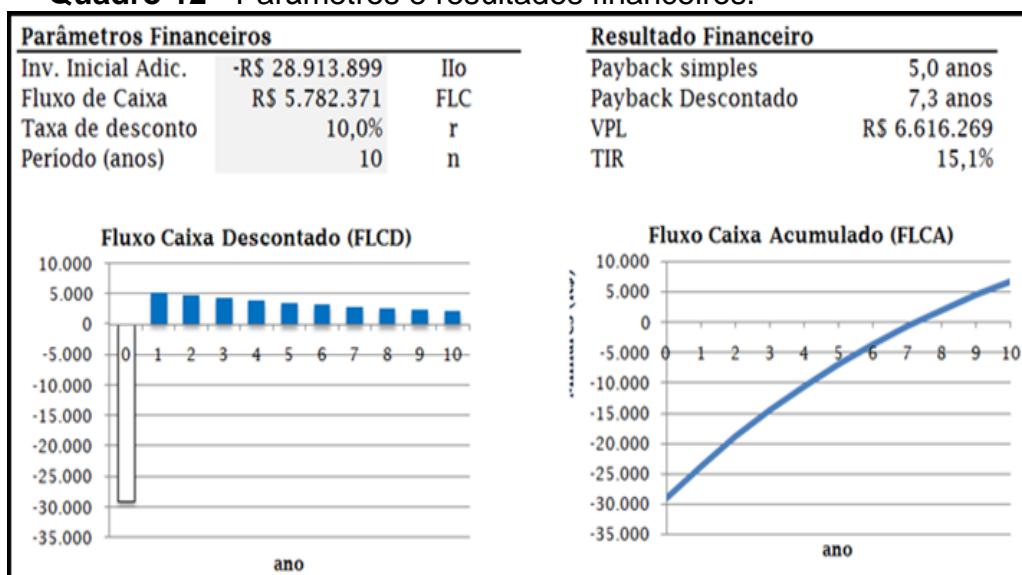
**Quadro 11 - Qualificação Cogeração.**

Cálculo requisito de qualificação da Cogeração - ANEEL Resol. n° 235 14/11/06			
$E_f$	14.551 kWh/h		
$E_e$	6.272 kWh/h	$32\% = \frac{E_t}{E_f} \geq 15\%$	Cumpre requisito (a)
$E_t$	4.710 kWh/h		
$X$	2,13		
$F_c$	44%	$58\% = \left( \frac{E_t}{E_f} \right) \div X + \frac{E_e}{E_f} \geq F_c\%$	Cumpre requisito (b)
<b>Cogeração Qualificada ANEEL</b>			
Fator de Utilização de Energia - FUE			
$W$	8.382 kW		
$Q_u$	6.293 kW		
$Q_{comb}$	19.448 kW	$FUE = \frac{W + Q_u}{Q_{comb}} = 75\%$	

**Fonte:** Andreos (2018)

Além do atendimento aos requisitos da cogeração como vimos anteriormente, podemos enfatizar que os processos estarão atendendo as normas quanto aos níveis de emissões ODP/GWP geradas pelos fluidos refrigerantes que deixarão de ser utilizados, conforme quadro 12.

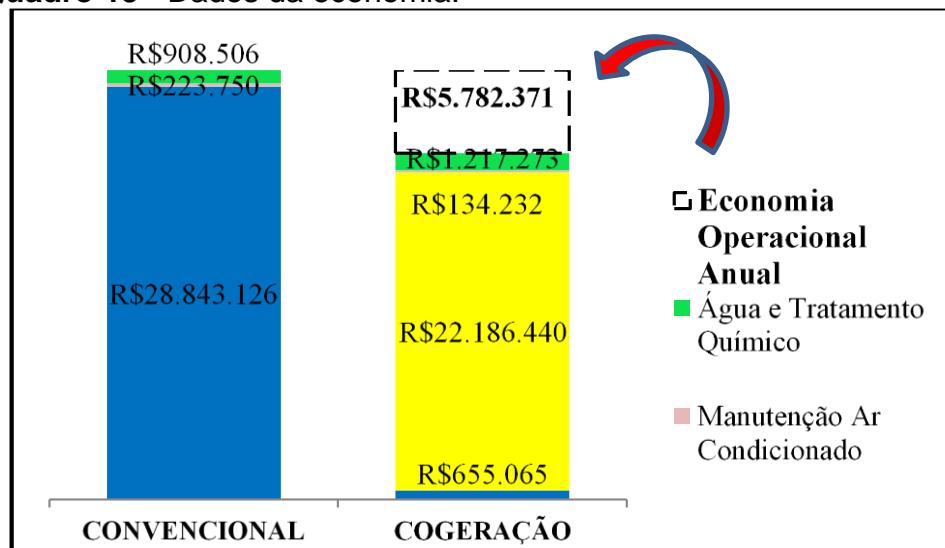
**Quadro 12 - Parâmetros e resultados financeiros.**



**Fonte:** Andreos (2018)

Ainda nas diminuições de intervenções de manutenções devido aos equipamentos propostos garantirem maior confiabilidade aos processos e demonstrarem retornos financeiros sustentáveis, conforme quadro 13.

**Quadro 13 - Dados da economia.**



**Fonte:** Andreos (2018)

## 7 CONCLUSÃO

Ao início do estudo e desenvolvimento observou-se que era importante obter um sistema alternativo de geração de energia elétrica / térmica tanto quanto para a economia quanto para diminuir a agressão ao meio ambiente.

Através dos dados apresentados e de acordo com os estudos feitos, a proposta da cogeração apresentada é eficiente, pois atende as demandas energéticas do prédio (Ala 13) e está dentro dos parâmetros de uma cogeração qualificada pelos requisitos da ANEEL.

Também deixa os processos mais confiáveis contra paradas por falta de energia elétrica, evita problemas de desarmes dos equipamentos de refrigeração, gerando altos índices de manutenção, ocasionando sérios riscos aos processos de resfriamento das tintas, salas de medidas, evitam transtornos aos colaboradores devido aos desconfortos térmicos nos ambientes em casos de desligamentos.

Outro ponto que podemos levar em consideração, além de atender termicamente os processos existentes, os Chillers da cogeração nos permitem abranger uma gama maior de áreas como galpões do prédio, depósitos e outros, pois a demanda gerada é suficiente para tornar todos os processos abrangentes e sustentáveis.

Porém, visto que os custos das tarifas praticadas pela empresa no mercado são bem atrativos, o processo da cogeração torna-se inviável do ponto de vista econômico, mesmo que o mesmo gere um playback para a planta, mas, contudo essa condição pode ser assumida pela empresa se a direção decidir manter os processos sustentáveis, confiáveis e livres de problemas externos que prejudicam os processos.

Todos os processos fabris serão supridos pela cogeração, independente da concessionária de energia para a produção diária de seus produtos, a energia fornecida pela mesma (Firme) e os Chillers Elétricos serão utilizados em uma eventual necessidade de contingência e manutenção.

## 8 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Requisitos mínimos de racionalidade energética.** (2016). Disponível em: [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br). Acesso em: 12 de nov. de 2018.

ALMEIDA, F. **O Bom negócio da sustentabilidade.** Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira. 2012.

ASHRAE 2001 - Handbook Fundamentals - Chapter 1 - **Thermodynamics and Refrigeration Cycles**

AVELINO, J. A. **Modelagem e avaliação de extensão da vida útil de plantas industriais:** Estudo de caso: Geração elétrica em Plataformas Marítimas de Produção de Petróleo. 160p. Tese (Doutor em Modelagem computacional), Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Nova Friburgo, 2008.

BANDEIRA, F. de P. M. **Análise das alterações propostas para o modelo do setor elétrico brasileiro.** Brasília: Consultoria Legislativa, Estudo, 2003.

BARJA, G. J. A. **A cogeração e sua inserção ao sistema elétrico.** Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal. 2006.

BARBELI, M. C. **A cogeração de energia e sua importância do ponto de vista técnico, econômico e ambiental.** Empreendedorismo, Gestão e Negócios, v. 4, p. 238-246, 2015.

BOFF, L. **Saber cuidar: Ética do humano – compaixão pela terra.** Petrópolis: Vozes, 2008.

BRASIL. GOVERNO FEDERAL. **PAC 8º Balanço: maio a agosto de 2009:** parte 3A. 2009. Disponível em: <http://www.pac.gov.br>. Acesso em: 11 de junho 2018.

CAMARGO, R. L. **Reformas no setor elétrico: a burocracia nos processos de mudança.** In: CONGRESO INTERNACIONAL DEL CLAD SOBRE LA REFORMA DEL ESTADO Y DE LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA, 10., Santiago, Chile, Anais Eletrônicos, 2005.

ÇENGEL, Y. A. BOLES, M.A. **Termodinâmica.** Quinta Edição. Mc Graw Hill, 2006.

CORRÊA NETO, V. **Análise da viabilidade da cogeração de energia elétrica em ciclo combinado com gaseificação de biomassa de cana-de-açúcar e gás natural.** 2001. 194p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE), 2001.

CLEMENTINO, L. D. **A conservação de energia por meio da cogeração de energia elétrica.** São Paulo: Ática, 2001.

D'ARAÚJO, R. P. **Setor elétrico brasileiro: uma aventura mercantil.** Brasília: Confea, 2009.

ESPOSITO, A. S. **Contexto e panorama dos investimentos no setor elétrico brasileiro.** In: TORRES, Ernani; PUGA, Fernando; MEIRELLES, Beatriz (Org.). **Perspectivas do investimento: 2010-2013.** Rio de Janeiro: BNDES, 2010.

FERNANDES, R. V. **Análise Computacional de um Sistema de ar Condicionado Automotivo.** Projeto de Graduação do Curso de Engenharia Mecânica, UnB, Brasília, Distrito Federal, 2006

GIAMPAOLO, A. **Gas Turbine Handbook: Principles and Practices.** 3rd ed. USA. 2006. 427p

GIRALDI, R. **Brasil produz energias renováveis, mas as aproveita de forma insuficiente, diz agência:** Instituto Carbono Brasil (2009). Disponível em: <http://www.institutocarbonobrasil.org.br>. Consulta site em 30 de set. De 2018.

GUPTA, M. C. **Gestão ambiental e seu impacto sobre as operações.** IJPM, 2004, p. 34-51. Disponível em: <[www.scholar.google.com.br/scholar](http://www.scholar.google.com.br/scholar)>. Acesso em: 26 de jun. de 2018.

HUNT, S. **Making competition work in electricity.** New York: John Wiley & Sons, Inc., 2002

JUMP UP. **A ciência atrás da refrigeração.** Berg Chilling Systems Inc. Berg Chilling Systems Inc. Retrieved 2016-02

JUMP UP, III, HERBERT W. S. **Refrigeradores de Água e Torres de Resfriamento: Fundamentos, Aplicação e Operação.** Segunda Edição. 2016. CRC Press. p. xvii. ISBN 9781439862117.

JOHNSON, C. **Manual Chiller Duplo Estágio YORK** (pdf).2012. Disponível em: <<http://www.johnsoncontrols.com.br/>>. Acesso em 14 nov.2018.

JOHNSON C. **Manual Chiller Parafuso Semihermético.YORK**(pdf).2014. Disponível em: <<http://www.johnsoncontrols.com.br/>>. Acesso em 24 out. 2018.

KOSOW, I.L. **Máquinas elétricas e transformadores.** Porto Alegre: Editora Globo. Cap. 10: Motores monofásicos. 2007.

KREITH, F. **Princípios da Transmissão de Calor.** Clássica Brasil, 2005.

LOSEKANN, L. **Reestruturação do setor elétrico brasileiro: coordenação e concorrência.** 2003, 241 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

MARTINELLI JUNIOR, L. C. **Máquinas Térmicas II.** Panambi. 2002. 135p.

PACHECO, A.L.S. **Desenvolvimento de sistema para medir a resistência de enrolamento em motores de compressores energizados.** Dissertação submetida à UFSC para obtenção do grau de Mestre em Metrologia.2001

PELIZARI, A. **Um estudo da influência das configurações dos enrolamentos no desempenho de motores de indução monofásicos com capacitor de partida.** Dissertação de mestrado, Escola Politécnica,USP. 2009

PINHEIRO, K.F. **Gerenciamento de produtos químicos em unidades de geração de energia offshore: Uma aplicação da metodologia seis sigmas.** Dissertação: 2012.

PIRES, J. C. L. **Políticas Regulatórias no Setor de Energia Elétrica: A experiência dos Estados Unidos e da União Europeia.** Textos para Discussão: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, Rio de Janeiro, n. 73, p. 1-59, 2009.

RODRIGUES, L. A. **Análise institucional e regulatória da integração de energia elétrica entre o brasil e os demais membros do Mercosul.** Dissertação (Mestrado). Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo: IEE-USP, 2012.

SEROA DA MOTTA, R. **Economia Ambiental,** Rio de Janeiro: FGV Editora, 2006.

SILVA, J.P. **Gestão e Análise de Risco de crédito.** 5<sup>a</sup> ed. São Paulo: Atlas, 2010.

SIRBONE, F.R.C. **Modelagem Semi-empírica de compressores herméticos alternativos.** Dissertação de mestrado, EESC. São Carlos,USP. 2007

STOECKER, W.F. **Refrigeração e Ar Condicionado.** São Paulo: Ática, 2005

VAN WYLEN, G J. e SONNTAG, R E. **Fundamentos da Termodinâmica.** Clássica Brasil, 2010.