

GUSTAVO RIBEIRO BAPTISTA

Vantagens, benefícios e barreiras da utilização do GHP (Gas Heating Pump) em substituição aos sistemas convencionais de climatização.

SÃO PAULO
2016

GUSTAVO RIBEIRO BAPTISTA

Vantagens, benefícios e barreiras da utilização do GHP (Gas Heating Pump) em substituição aos sistemas convencionais de climatização.

Monografia apresentada ao Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção de título de especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética

Orientador: MSc. Engº Ronaldo Andreos

SÃO PAULO
2016

Catálogo-na-publicação

Baptista, Gustavo Ribeiro
Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética / G.
R. Baptista -- São Paulo, 2016.
89 p.

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

1.Ar Condicionado 2.Energia 3.Gás Natural 4.Eficiência Energética
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de
Educação Continuada em Engenharia II.t.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, por me dar apoio e me incentivar a sempre buscar novos conhecimentos e desenvolvimento como pessoa.

Agradeço aos meus amigos e colegas, por dividirem as frustrações e dificuldades encontradas durante o curso e na elaboração da monografia.

Agradeço a todos os meus professores e mestres, por serem aqueles que me fazem enxergar o mundo com outros olhos.

RESUMO

Esta monografia visa analisar com mais detalhes o Gas Heating Pump como uma alternativa de equipamento de climatização e ar condicionado diferente das soluções usuais praticadas pelo mercado. O conteúdo é desenvolvido a partir da apresentação do funcionamento do sistema de ar condicionado com o detalhamento do ciclo termodinâmico e os principais componentes, seguida de uma exposição simples sobre os tipos e modelos de equipamentos de tratamento de ar disponíveis no mercado, para que, após essa elucidação primária, seja feita a análise do GHP, seu funcionamento, seus diferenciais em relação aos sistemas comuns instalados nos empreendimentos e seus principais pontos de destaque que fazem com que este sistema seja uma proposta interessante para os investidores. O estudo de caso utiliza condições de contorno baseadas na situação atual do país, condizente com a realidade atual e a possibilidade de uma análise conclusiva sobre o investimento em um sistema de climatização a gás. Conclui-se assim, a viabilidade do uso do GHP, destacando as vantagens, os entraves e a recomendação de sua aplicação.

Palavras-chave: Ar condicionado. Climatização. Gás natural. Análise econômica. Alternativa. Consumo elétrico. Gas Heating Pump.

ABSTRACT

This monograph aims to analyze the Gas Heating Pump system as an alternative of air conditioning and its equipment, so it can be used as an alternative from the usual solutions practiced by the investors. It is presented the basics of the air conditioning system operation and the thermodynamic cycle and its main components. Also it is shown a simple presentation on some types and models of air handling equipment available and information about the GHP, its operation, its differentials in Relation to the common systems installed in the buildings and it is highlighted the main reasons that make this system an interesting proposal for investors. The case study uses contour conditions based on the current situation of the country, consistent with the current reality and it led to a conclusive analysis on the investment in a gas air conditioning system. It concludes the feasibility of using the GHP, highlighting its strengths, the obstacles and the recommendation of where its application is more interesting.

Keywords: Air conditioning. Natural Gás. Economic Viability. Alternative. Electrical Consumption. Gas Heating Pump.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfico de umidade relativa ideal para seres humanos.....	13
Figura 2 - Ciclo reverso de Carnot.....	16
Figura 3 – Ciclo de Carnot reverso ideal	18
Figura 4 – Ciclo frigorífico real.....	19
Figura 5 – Exemplo de torre de resfriamento	23
Figura 6 – Condicionador de ar do tipo “janela”	25
Figura 7 – Equipamento do tipo Unitário	26
Figura 8 – Condicionador do tipo “Multi-Split”	27
Figura 9 – Equipamento do tipo “VRF”	28
Figura 10 – Chiller com condensação a ar	29
Figura 11 – Chiller de condensação a água	30
Figura 12 – Chiller de absorção.....	31
Figura 13 – Exemplos de marcas de fabricantes de equipamentos para ar condicionado	32
Figura 14 – Comparação de consumo elétrico de equipamentos comuns em residências.	34
Figura 15 – Exemplo de uso cada vez maior de sistemas de climatização de ar.	36
Figura 16 - Matriz Energética Brasileira.....	37
Figura 17 – Exemplo de espaço necessário para um parque eólico	38
Figura 18 – Rede de distribuição elétrica em conflito com elementos naturais.	39
Figura 19 – Gerador a gás com reaproveitamento do calor rejeitado para chiller de absorção.....	41
Figura 20 – Malha de distribuição de gás no estado de São Paulo	42
Figura 21 - Esquematização do GHP	44
Figura 22 – Modelos possíveis de evaporadoras para sistemas de ar condicionado.....	45
Figura 23 – Esquema de balanceamento de água em uma torre de resfriamento.	47
Figura 24 – Certificação LEED e a pontuação mínima para cada nível.....	48
Figura 25 – Sistema GHP com geração de eletricidade.	50
Figura 26 – Concessionárias de energia elétrica do estado de São Paulo.....	54
Figura 27 – Exemplo de sistema de ar condicionado Split com compressor inverter.....	60
Figura 28 – Botijão de gás R-22	67
Figura 29 – Exemplo de tanque de gelo para termo acumulação.	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAVA	Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers
BTU	<i>British thermal unit</i>
CAG	Central de Água Gelada
CFC	Clorofluorcarbono
CNPJ	Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica
CO ₂	Dióxido de Carbono
COMGÁS	Companhia de Gás de São Paulo
COP	<i>Coefficient of Performance</i>
EER	Energy Efficiency Rate
ICMS	Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IPLV	Integrated Part Load Value
GHP	<i>Gas Heating Pump</i>
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
NBR	Norma Brasileira
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PCI	Poder Calorífico Inferior
TE	Tarifa de Energia
TIR	Taxa Interna de Retorno
TR	Tonelada de Refrigeração
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
VPL	Valor Presente Líquido
VRF	Variable Refrigerant Flow

LISTA DE SÍMBOLOS

t	Tempo
W	Watt
T	Temperatura
s	Entropia
Q	Calor
\dot{Q}	Fluxo de calor
\dot{m}	Fluxo de massa
h	Entalpia
k	Quilo
TR	Tonelada de Refrigeração
BTU	<i>British thermal unit</i>
W	Trabalho
TRh	Tonelada de Refrigeração Hora
R\$	Reais
kV	Quilo Volts
a.a	Ao Ano
kcal	quilo caloria
m ³	metros cúbicos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	Objetivo.....	10
1.2	Motivação.....	10
1.3	Justificativa	10
2	ESTADO DA ARTE	12
2.1	Conceito de Ar Condicionado	12
2.2	Ciclo Frigorífico à Compressão.....	14
2.3	Tipos de Expansão	20
2.4	Tipos de Condensação	21
2.5	Tipos de Sistemas.....	23
2.6	Equipamentos	24
2.7	Fabricantes	31
3	SISTEMA GAS HEATING PUMP (GHP).....	33
3.1	Conceito do GHP	33
3.2	Características do GHP	44
3.3	Vantagens e Benefícios da aplicação do GHP	46
3.4	GHP Power	49
3.5	Barreiras, desafios e oportunidades.....	51
4	ESTUDO DE CASO	53
4.1	Premissas da Aplicação.....	53
4.2	Análise Técnica Comparativa	59
4.3	Benefícios, Barreiras e Vantagens.....	68
4.4	Análise Econômica.....	71
4.4.1	Payback.....	71
4.4.2	TIR.....	76
4.4.3	VPL.....	77
4.4.4	Discussão de resultados.....	80
5	CONCLUSÃO	83
	BIBLIOGRAFIA.....	88

1 INTRODUÇÃO

1.1 Objetivo

O objetivo desta monografia é estudar o uso de sistemas de ar condicionado com motores a gás no lugar dos sistemas convencionais movidos a compressor elétrico, identificar seu potencial e aplicabilidade no país e verificar as condições em que se torna viável.

1.2 Motivação

As constantes buscas por alternativas para diminuição do consumo elétrico de forma viável acabaram por trazer soluções que reduziram o gasto elétrico dos equipamentos. Mesmo assim, quando se olha globalmente para todos os empreendimentos que possuem sistemas de climatização nas grandes metrópoles, por mais que os sistemas possuam grande eficiência e baixo consumo elétrico, ainda é uma carga demasiadamente grande que deve ser destinada a tal uso. Além disso, trata-se de uma carga que varia diariamente e sazonalmente, de forma a ser necessário manter disponível uma grande quantidade de energia que muitas vezes não será usada.

Sendo assim, a possibilidade de utilizar sistemas diferentes, que se aproveitem do uso de fontes de energia alternativos, torna-se de muito interesse para a redução do consumo elétrico, ainda mais em um país como o Brasil, aonde nossa matriz energética ainda não é tão diversificada e estamos muito suscetíveis a falhas na distribuição, escassez de energia por questões climáticas (como falta de chuvas) e contas mais caras de energia por conta do uso de termelétricas.

1.3 Justificativa

Um país não pode crescer se não houver energia disponível para os processos produtivos na indústria e para abastecer o comércio e residências. E o conforto das pessoas é cada vez mais importante. Há algumas décadas, os sistemas de ar condicionado eram tidos como um luxo, e nem todos os lugares eram dotados de um.

Atualmente, a climatização é praticamente um item obrigatório nos escritórios, nos shoppings, restaurantes, residências e qualquer lugar com concentração de

peessoas. E o uso de sistemas de climatização é sinônimo de alto consumo elétrico, uma vez que o processo de transferência de calor ocorre pelo custo do trabalho gerado pelo compressor para realizar o ciclo termodinâmico.

Com o crescimento do país de alguns anos atrás, a melhora do poder aquisitivo da população e o uso cada vez maior do ar condicionado, períodos de escassez de chuva ocasiona sobrecarga no sistema elétrico nacional. A dependência da geração elétrica nas hidrelétricas e termelétricas faz com que as empresas e os cidadãos venham a sofrer com apagões e altos preços pelo kWh fornecido pelas concessionárias de energia elétrica.

A monografia irá estudar o uso do sistema de ar condicionado à gás como uma alternativa aos sistemas convencionais de climatização, de forma a identificar as vantagens e desvantagens de empregar tal solução, as barreiras que podem ser encontradas, o potencial mercado para este tipo de equipamento, e sua viabilidade econômica.

Para isso, serão abordados os conceitos do ciclo frigorífico e seus principais elementos, o funcionamento do sistema de ar condicionado e detalhes pertinentes de sua instalação e os tipos de sistemas e equipamentos utilizados, o conceito de GHP e as características do sistema, o GHP Power, e um estudo de caso.

2 ESTADO DA ARTE

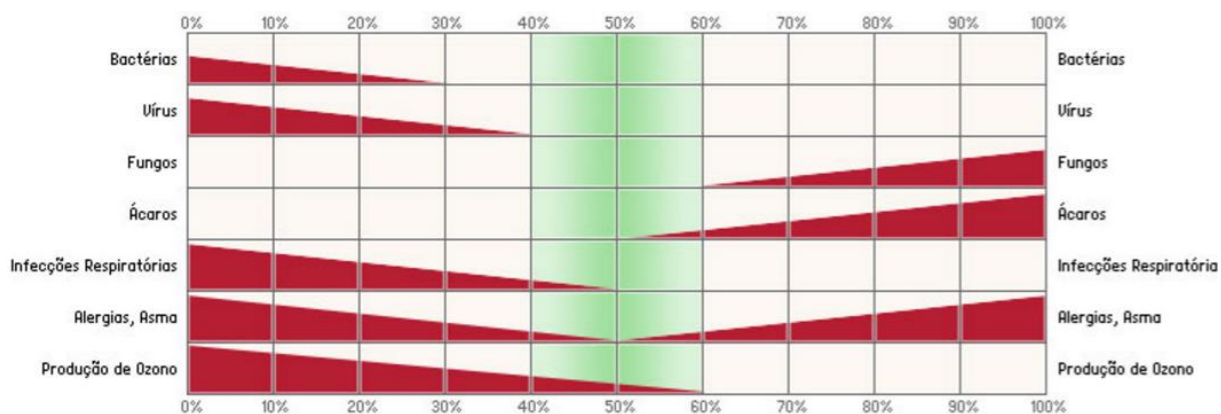
2.1 Conceito de Ar Condicionado

Ar condicionado pode ser definido como o tratamento do ar para promover condições de temperatura, pureza, umidade e distribuição do ar, de forma a garantir, dentre muitas possibilidades, o conforto dos ocupantes de certo recinto, o controle das condições internas de uma área, ou a renovação e purificação de ar de um ambiente.

As áreas de aplicação mais conhecidas para os sistemas de ar condicionado são para os sistemas de conforto, seja doméstico ou empresarial, de forma a garantir para o usuário uma qualidade termo higrométrica do ar. É comum que em regiões aonde haja altas temperaturas ambientais, sejam usados sistemas de climatização de modo a refrigerar o ambiente, assim como em regiões mais frias haja o uso de sistemas de climatização para o aquecimento das áreas de ocupações das pessoas.

Além disso, o sistema também é utilizado para garantir que a umidade relativa do ar esteja dentro dos limites tidos como ideais para a saúde humana e também para permitir a melhor produtividade das pessoas, seja por meio de desumidificação do ar, que ocorre automaticamente no sistema de ar condicionado quando o ar úmido do ambiente a ser climatizado passa pelas serpentinas de resfriamento do ar, a uma temperatura bem menor. A umidade do ar condensa na serpentina, fazendo com que o ar se torne mais seco. Já para a umidificação, é preciso utilizar resistências que evaporam um dispositivo contendo água. Assim, o ar torna-se mais úmido. Ambientes muito úmidos ou muito secos acabam se tornando propícios para a proliferação de bactérias, vírus, fungos e doenças respiratórias, conforme indicado na figura abaixo.

Figura 1 – Gráfico de umidade relativa ideal para seres humanos



Fonte: Grundlagen der Luftbefeuchtung, C.F Muller

O uso de ar condicionado também se faz necessário, uma vez que em ambientes fechados com concentração de pessoas, máquinas e aparelhos, há uma geração interna de calor e umidade proveniente desses meios. Uma pessoa em repouso, por exemplo, gera em média 95W de calor, entre calor sensível e calor latente. Em um ambiente de escritórios, os computadores, impressoras, monitores, iluminação, etc, acabam elevando a temperatura e umidade do local, exigindo um resfriamento e desumidificação do ar interior. Também é comum o uso de sistemas de climatização para a renovação do ar de um local fechado, já que muitas pessoas concentradas em um ambiente acabam deixando-o com uma maior concentração de gás carbônico, deixando o local impróprio para a estadia. Também é possível que o local aonde o climatizador será instalado é um ambiente aonde existe a manufatura de produtos que emitem gases ou vapores que, se não controlados, podem ser tóxicos para as pessoas, como em laboratórios farmacêuticos, por exemplo.

Além do uso doméstico e comercial, outras áreas são extremamente dependentes dos sistemas de ar condicionado. Entre elas, podemos destacar:

- Setor hospitalar: É necessário, além do tratamento da temperatura e umidade do ar, um sistema de purificação do ar muito eficaz, principalmente em salas cirúrgicas e ambientes para pacientes imunossuprimidos ou infectocontagiosos. Dessa forma, fazem-se necessários um sistema de distribuição de ar que não pode promover a propagação de vírus e bactérias.
- Setor industrial: É necessário, para ambientes de trabalho insalubre, garantir uma condição mínima de qualidade do ar para os trabalhadores, ou até mesmo para garantir as condições climáticas para algum processo, como por

exemplo, as condições ideais de umidade para o uso de papéis e tecidos como matéria prima, ou a produção de componentes eletrônicos, aonde a baixa umidade acaba acarretando no acúmulo de eletricidade estática que pode danificar as peças.

- Setor alimentício: O processo de produção e armazenagem dos alimentos deve seguir um rigoroso critério de temperatura, de modo a garantir que o produto perecível mantenha sua qualidade por mais tempo. Dessa forma, é possível o transporte de frutas, carnes e vegetais para grandes distâncias, ou a armazenagem para consumo futuro. Ou então o processo de produção do alimento exige temperaturas controladas, como a produção de laticínios ou bebidas como cerveja e vinho.
- Indústria farmacêutica: Similar ao que ocorre em hospitais, a indústria farmacêutica exige um rigoroso controle das condições termo higrométricas e de pureza do ar. Dependendo do tipo de medicamento é produzido, ou o tipo de estudo é realizado nos laboratórios, as condições de temperatura podem ser de temperaturas baixíssimas. Além disso, o controle do ar é de extrema importância, fazendo com que o movimento do ar torne-se uma espécie de sistema de limpeza das salas limpas, arrastando partículas e contaminantes indesejados para serem expurgados do local.

Sendo assim, é possível notar que a os sistemas de climatização e ar condicionado possuem diversas aplicações, sendo que cada caso deve ser estudado para definir o tipo de sistema que é mais adequado.

2.2 Ciclo Frigorífico à Compressão

O sistema de ar condicionado nada mais é do que a transferência de calor de um ambiente para outro, que é praticamente a definição básica da lei da conservação da energia e da primeira lei da termodinâmica.

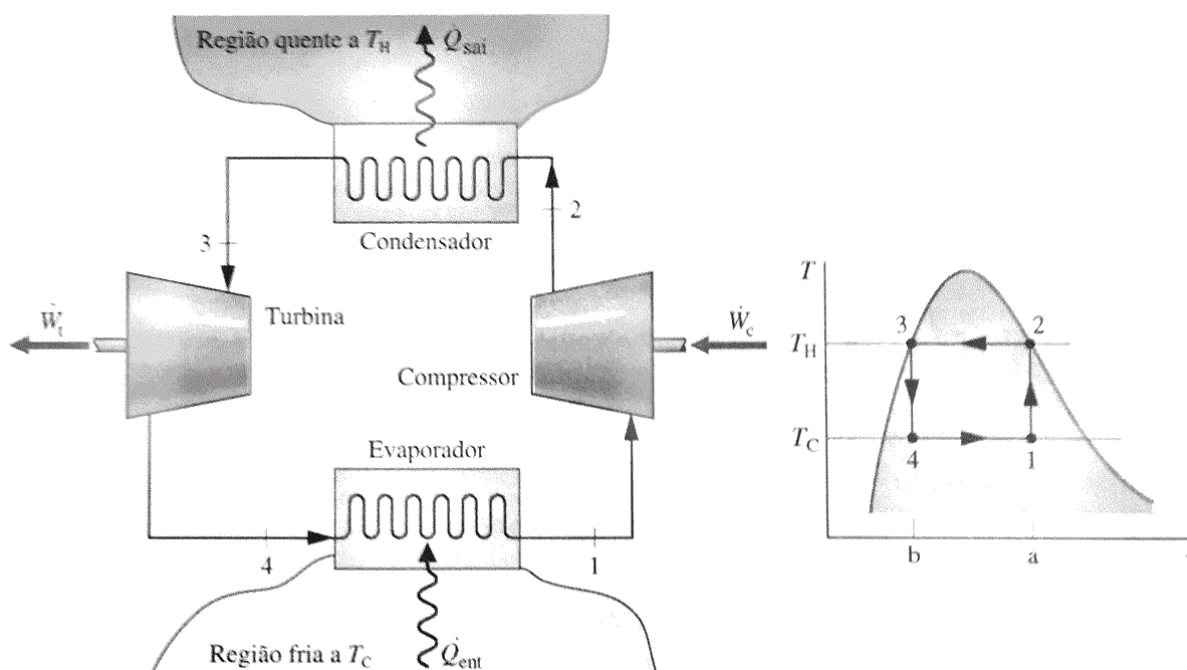
A termodinâmica é a ciência que estuda a energia, de modo a analisar as propriedades de uma matéria e a influência que o trabalho e o calor exercem sobre estas matérias. As propriedades inerentes à matéria que são mais importantes para o ciclo frigorífico são: temperatura, pressão, entalpia, entropia, calor específico e densidade (SHAPIRO et al., 2002)..

O ciclo de refrigeração ideal é praticamente um ciclo de Carnot invertido, aonde existem duas regiões em temperaturas distintas, indicado na figura 2. Um fluido refrigerante em um estado de duas fases (líquido-vapor) circula através de um evaporador, aonde parte da massa desse refrigerante sofre mudança de estado, indo da fase líquida para vapor. Isso ocorre, pois o local aonde se encontra o evaporador possui uma temperatura maior do que a temperatura do refrigerante. Sendo assim, o refrigerante absorve calor do ambiente, causando a mudança de fase.

Em seguida, o fluido termodinâmico é comprimido adiabaticamente por um compressor. O aumento da pressão provoca a mudança de fase do refrigerante, de forma a tornar-se vapor saturado. Esse aumento de pressão também provoca o aumento de temperatura deste fluido. Após este processo, o refrigerante é direcionado ao compressor, aonde existe mais uma troca de calor entre o fluido, agora com uma temperatura elevada, e um segundo ambiente com uma temperatura menor. Essa troca de calor ocasiona mais uma mudança de fase no refrigerante, tornando-se líquido saturado, porém à temperatura e pressão constante.

Finalmente, o fluido refrigerante sai do condensador e passa por uma região de expansão adiabática, causando uma queda na pressão e temperatura. Este novo estado é o mesmo da entrada do evaporador no começo do ciclo.

Figura 2 - Ciclo reverso de Carnot



Fonte: Princípios da Termodinâmica para Engenharia, M.J. MORAN H.N SHAPIRO

Evidentemente, como ocorre com o ciclo de Carnot, o ciclo reverso também não é real, uma vez que a entrada do fluido refrigerante no compressor deve ser realizada em uma condição aonde exista apenas vapor, já que a fase líquido-vapor não é ideal, e a expansão também não apresenta condições perfeitas de ocorrer na forma apresentada, uma vez que exigiria uma turbina e o trabalho gerado nesse processo resultaria em um equipamento de baixa eficiência, além de resultar em um fluido em fase líquido-vapor, o que também não é real. Dessa forma, opta-se por trocar a turbina por uma válvula de expansão ou um tubo capilar. Devido a esses fatores, os processos 4-1 e 2-3 do gráfico $T \times s$ da figura 2 não são possíveis de ocorrer à temperatura constante, como o ciclo ideal apresenta, conforme mostra a figura 3.

Assim sendo, o ciclo ideal frigorífico ocorre, iniciando pela absorção de calor a pressão constante no evaporador. Com a passagem o fluido pelo evaporador, o calor trocado entre ambiente a ser condicionado e refrigerante ocasiona a sua mudança de fase. Pela análise matemática, temos que o calor absorvido pelo refrigerante é o resultado da multiplicação de sua massa pela diferença de entalpia da saída e da entrada do evaporador.

$$\dot{Q}_e = \dot{m} \times (h_1 - h_4) \quad (1)$$

Por se tratar de um fluxo de massa que passa pelo processo, temos um fluxo de calor que é representado usualmente por quilowatt (kW), unidade térmica britânica por hora (Btu/h) ou toneladas de refrigeração (TR).

$$1 \text{ TR} = 12.000 \frac{\text{Btu}}{\text{h}} = 3,517 \text{ kW} \quad (2)$$

Ao deixar o evaporador, o fluido sofre uma compressão isentrópica pelo compressor, a uma pressão e temperatura maiores. A taxa da potência do compressor neste processo pode ser calculada por:

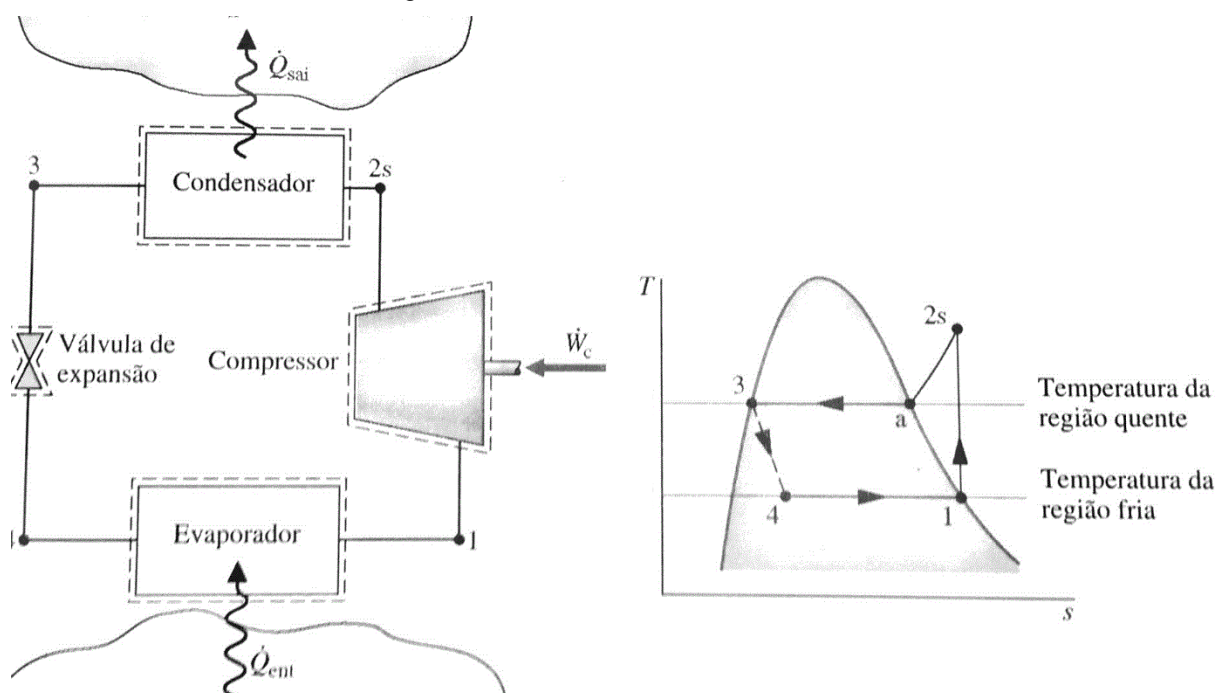
$$\dot{W}_c = \dot{m} \times (h_2 - h_1) \quad (3)$$

Após a compressão, o fluido passa por uma rejeição de calor a pressão constante no condensador para um ambiente mais frio e ocorrendo a mudança de fase.

$$\dot{Q}_c = \dot{m} \times (h_2 - h_3) \quad (4)$$

Após a condensação, o refrigerante passa por um estrangulamento na válvula de expansão – também conhecida como válvula isoentalpica – e evidentemente mantém a entalpia da saída do condensador na entrada do evaporador, variando apenas sua temperatura e pressão graças à expansão do fluido, voltando aos valores da entrada do evaporador no início do ciclo.

Figura 3 – Ciclo de Carnot reverso ideal



Fonte: Princípios da Termodinâmica para Engenharia, M.J. MORAN H.N SHAPIRO

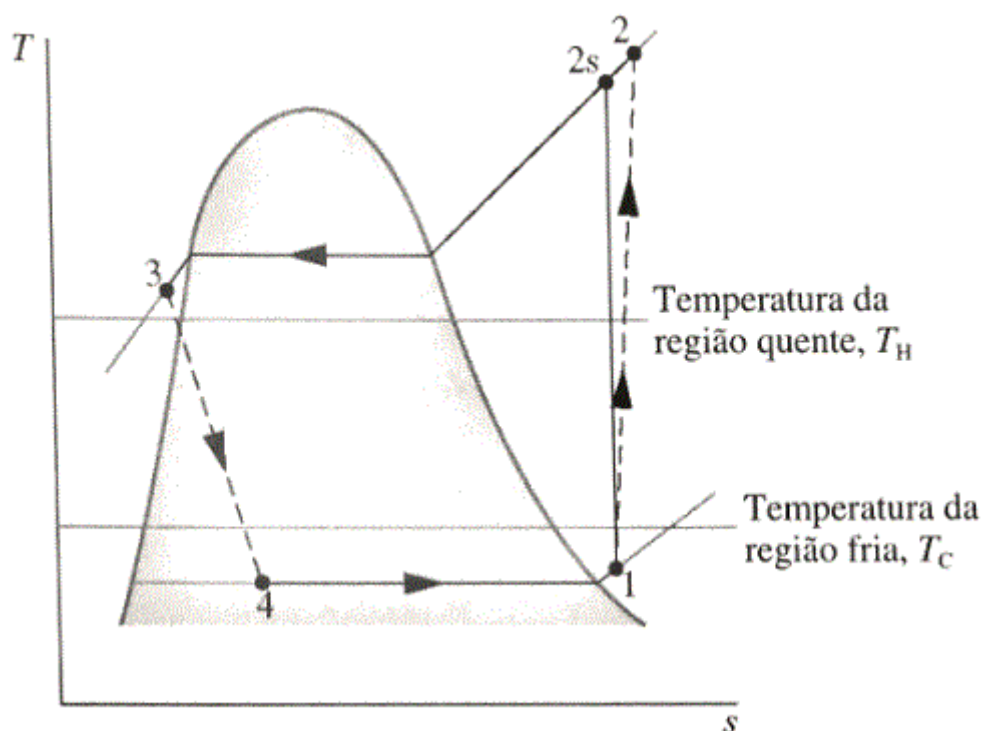
Entretanto, o ciclo ideal não considera as irreversibilidades que ocorrem no ciclo real, tais como a perda de carga do fluido devido ao atrito, ocasionando perda de pressão, e a transferência de calor que ocorre para o meio externo. Segundo Sonntag et al (2002), o ciclo real se afasta do ciclo ideal devido às perdas associadas ao escoamento de fluido de trabalho e à transferência de calor para o meio ou do meio em que este está envolvido.

Como é possível ver no diagrama $T \times s$ acima, o fluido está no ponto de saturação na entrada do compressor (ponto 1). Entretanto, quando o sistema é executado, acaba se tornando arriscado supor que o refrigerante estará 100% no estado de vapor neste ponto. Sendo assim, é mais cômodo criar um leve superaquecimento no fluido e garantir que a entrada do compressor possua apenas vapor.

Ainda há perdas no processo de compressão graças ao trabalho de compressão e seu atrito, aumentando a entropia do fluido (ao contrário do ciclo ideal, que é considerado isoentrópico), e também há a possibilidade de troca de calor entre o fluido e o meio externo (diminuindo sua entropia). Também assume-se que na saída do condensador, o refrigerante está no estado líquido saturado, algo que também não é seguro de afirmar com total certeza. Sendo assim, por

comodidade, é melhor garantir o subresfriamento do refrigerante na saída do condensador, para que passe na válvula de expansão como um líquido saturado, conforme a figura 4 mostra..

Figura 4 – Ciclo frigorífico real



Fonte: Princípios da Termodinâmica para Engenharia, M.J. MORAN H.N SHAPIRO

Nos sistemas que utilizam o ciclo frigorífico, seja para ar condicionado, refrigeração ou algum outro tipo de resfriamento necessário, o ciclo de compressão sempre será similar ao apresentado no item anterior. Em geral, varia-se o tipo de fluido refrigerante a ser utilizado, dependendo da temperatura desejada, as condições do equipamento a ser utilizado, e características específicas inerentes ao fluido. A amônia, por exemplo, é um excelente refrigerante para ser utilizado nos ciclos a compressão. Porém é tóxico e, se inalado por algum tempo, pode levar à morte. Há também os antigos refrigerantes clorofluorcarbonos (CFCs), que não mais podem ser utilizados devido ao dano que causam à camada de ozônio quando ocorre seu vazamento para atmosfera. O fluido R-22 foi muito utilizado por bastante tempo, mas descobriu-se que o R-22 colabora para o efeito estufa, sendo proibido

em muitos países. Atualmente, dois dos mais utilizados, conhecidos como refrigerantes ecologicamente corretos, são o R-134a e R-410a.

2.3 Tipos de Expansão

Com o ciclo de compressão, podem-se criar meios de transferir o calor da maneira que for mais cômoda para a aplicação necessária. Damos a esses meios os nomes de expansão direta e expansão indireta.

O condicionamento que utilizam a expansão direta são as instalações em que o evaporador realiza a troca de calor entre o fluido refrigerante do ciclo de compressão e o ar que será insuflado no ambiente a ser condicionado. Neste caso, o evaporador recebe pela tubulação frigorífera o fluido em uma temperatura menor que a do ambiente. O refrigerante passa por uma serpentina, e um ventilador realiza a passagem do ar pela área externa da serpentina, realizando a troca de calor. Podemos dizer que os equipamentos que condicionam o ar são os mesmos que geram a energia térmica.

Já nos sistemas do tipo expansão indireta, o ciclo de compressão é utilizado para resfriar o refrigerante. Entretanto, é utilizado um fluido intermediário entre o refrigerante do ciclo e o ar do ambiente a ser climatizado. Esse fluido intermediário é o responsável por realizar a transferência de calor do ambiente para o refrigerante. Usualmente o fluido intermediário é água, ou então se utiliza etileno glicol quando as temperaturas do ciclo são abaixo de zero, evitando o congelamento do fluido intermediário.

Essa diferença existe, pois nos sistemas de expansão direta existe a limitação física do equipamento. Caso se trate de um grande empreendimento, por exemplo, se faz necessário utilizar diversos equipamentos para atender todos os ambientes a serem condicionados, já que se for utilizado apenas um grande aparelho, será preciso de um grande ventilador e uma grande rede de dutos para distribuir o ar, o que inviabiliza a ideia. Caso pretenda-se utilizar o evaporador no ambiente a ser condicionado, o tamanho da linha de refrigerante é limitado, já que a perda de carga de grandes distâncias reduz a eficiência do sistema e um compressor muito grande não seria economicamente viável.

Quando tratamos de um sistema de expansão indireta, podemos utiliza-lo para gerar água gelada, que pode ser distribuída através de tubulações para distâncias muito maiores, já que podemos instalar bombas de grandes dimensões para a distribuição de água, contando com um isolamento adequado do sistema. Assim, podemos utilizar evaporadoras menores nos ambientes a serem condicionados, e alimenta-la com água gelada para realizar a troca de calor.

O uso da expansão direta é muito prático, pois exige pouco espaço para ser instalado, é relativamente fácil modifica-lo em uma reforma ou retrofit sendo extremamente flexível, e possui um investimento condizente com a necessidade de cada usuário. Entretanto, se for instalado em locais aonde as áreas para posicionamento de equipamentos é restrita a apenas uma local, acabamos ficando limitados a soluções mais caras, mas que possuem limitação de potência térmica máxima que pode ser gerado. A manutenção acaba sendo um problema também, pois a vida útil do equipamento não é tão elevada, e cada máquina necessita de manutenção própria.

A expansão indireta permite o uso de áreas técnicas isoladas, a metros de distância da(s) área(s) que se pretende condicionar. Sendo assim, acaba se tornando uma excelente solução quando o empreendimento conta com exigências em relação à arquitetura e que grandes equipamentos devem estar longe das regiões consideradas nobres. Também permite o uso de equipamentos com capacidades enormes, sendo muito utilizado em shopping centers, hospitais e outros empreendimentos que possuem muita carga térmica e que têm grandes períodos de funcionamento. Também possui uma grande vida útil, e uma manutenção relativamente fácil, pois tudo está concentrado em poucos equipamentos. Entretanto, exige grandes áreas para serem instalados, o que nem sempre é viável. Também possuem um grande investimento inicial e a instalação é mais demorada e custosa.

2.4 Tipos de Condensação

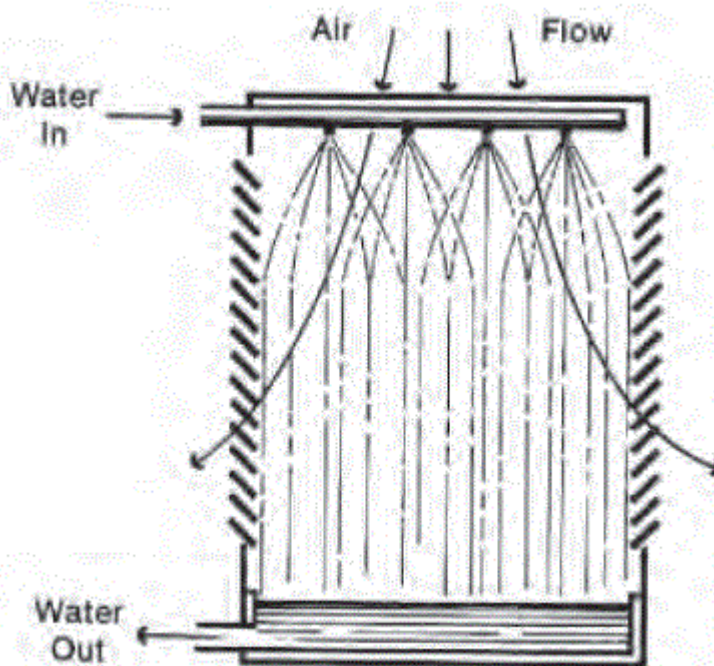
Como demonstrado no ciclo de refrigeração, após a compressão do refrigerante, o fluido passa por um condensador para realizar a troca de calor com um meio externo. Essa troca de calor é realizada de maneira forçada, uma vez que a

transferência de calor de maneira natural não é tão eficaz. Uma forma de troca de calor é utilizando o ar para resfriar o refrigerante, e a outra utiliza água.

Na condensação resfriada a ar, o refrigerante entra no condensador a uma temperatura maior que a temperatura do meio externo. Ventiladores forçam a passagem de ar pela tubulação de refrigerante, garantindo seu arrefecimento. Esse tipo de sistema exige que o condensador do equipamento esteja em um ambiente ao ar livre, ou que seja uma área com uma excelente ventilação para que a troca de calor seja realizada de maneira eficaz.

Nas condensações resfriadas a água, o refrigerante no condensador do equipamento é refrigerado por água. Essa água é, então, levada até torres de resfriamento, aonde é borrifada em uma estrutura com ventiladores instalados, de forma a forçar o resfriamento da água tanto pelo contato com o ar mais frio quanto pelo resfriamento evaporativo, assim como demonstra a figura 5. Esse tipo de método de resfriamento exige que água seja reposta no sistema, uma vez que a evaporação da água de condensação reduz a quantidade especificada para resfriar o equipamento. Isso pode ser um grande problema, pois é um custo a mais a ser considerado na utilização desse tipo de sistema. Além disso, em regiões secas e com pouca disponibilidade de água, um sistema de condensação a ar pode ser mais vantajoso.

Figura 5 – Exemplo de torre de resfriamento



Fonte: Chilled Water Plant Design Guide, Energy Design Resources (2009)

2.5 Tipos de Sistemas

Podemos classificar os sistemas de ar condicionado em três tipos: sistema central e ar condicionado, sistema unitário e sistema central parcial.

O sistema central é aquele em que os equipamentos concentram-se em uma área (como uma área técnica) e o ar é distribuído para os ambientes a serem condicionados, sendo que esse sistema pode servir uma única zona (aonde é considerada a condição média entre todos os ambientes dessa zona, caso haja mais de um) ou para mais de uma zona, sendo necessários termostatos e/ou umidostatos para cada zona. Podem-se usar equipamentos de expansão direta ou indireta.

O sistema unitário é aquele em que o tratamento de ar serve um único ambiente, com ou sem rede de dutos. Nos casos em que a rede de dutos não está presente, o climatizador fica no próprio ambiente. Diferente do sistema central, esse sistema permite um melhor controle das condições do local a ser condicionado.

O sistema central parcial é aquele em que o ambiente tem suas condições de temperatura e umidade tratadas, mas os componentes que permitem o tratamento do ar ficam centralizados. É o caso de sistemas de expansão indireta que usam

água gelada em equipamentos unitários (Fan Coil) que servem um ou mais ambientes, ou no caso de sistemas Split, em que o equipamento que responsável por realizar o processamento do fluido refrigerante está localizado em uma área específica, e diversas evaporadoras podem ser distribuídas para atender ambientes diferentes.

2.6 Equipamentos

Existem diversos tipos de equipamentos de ar condicionado, todo com características únicas que fazem com que a escolha seja condicionada ao tipo de aplicação ou a questões como espaço para instalação, consumo elétrico, investimento inicial planejado, etc. Para a expansão direta, são eles:

- Condicionador do tipo “janela”

Os equipamentos conhecidos como “ar condicionado de janela” são modelos clássicos que eram utilizados em larga escala quando houve a popularização dos sistemas de ar condicionado, demonstrados pela figura abaixo. Por terem dimensões compactas e ter uma instalação extremamente simples (exigindo um espaço na parede entre o ambiente a ser climatizado e o exterior), são práticos para uso em pequenos escritórios, quartos de hotéis e similares. São limitados na questão da capacidade máxima que podem refrigerar, já que são pequenos. Entraram em desuso, pois sua construção fazia com que todos os equipamentos do sistema ficassem muito próximos do ambiente, entre eles o compressor, causando um grande ruído.

Figura 6 – Condicionador de ar do tipo “janela”



Fonte: <http://static.webarcondicionado.com.br/blog/uploads/2011/05/janela.jpg>

Também não possuem muita tecnologia embarcada, não permitindo, assim, um controle rigoroso das condições de temperatura e umidade ou bom desempenho em ambientes com oscilações de carga de calor.

- Condicionadores Unitários

Figura 7 – Equipamento do tipo Unitário



Fonte: http://cdn.carrierdobrasil.com.br/caracteristicas_modelos/44670-1.jpg

São equipamentos de maiores proporções, que permitem um melhor controle de temperatura e umidade, podendo ser instalado em áreas específicas para equipamentos e utilizar uma rede de dutos para a distribuição de ar. Possuem uma capacidade maior, podendo atender ambientes com cargas térmicas elevadas. Podem ser tanto de expansão direta como de expansão indireta.

- Condicionador do tipo Split

Os condicionadores do tipo Split são os mais comuns a venda no mercado atualmente. São construídos de forma que a evaporadora e a condensadora fiquem separadas. Dessa forma, o compressor fica na área externa, longe do ambiente que está sendo atendido pelo equipamento. Além disso, permite uma boa flexibilidade de instalação, já que há certa distância de tubulação que pode ser deixada entre a evaporadora e a condensadora. Possuem uma boa gama de capacidades, podendo, inclusive, ser do tipo “multi-split” (figura 8), em que até cinco evaporadoras são

distribuídas em diferentes ambientes, todas utilizando o mesmo compressor da condensadora. É ideal para residências com mais de 1 ambiente a ser climatizado, pequenos escritórios e lojas.

Figura 8 – Condicionador do tipo “Multi-Split”



Fonte: http://www.portaldeapoioelgin.com.br/portaldeapoio/fotos_baixa/1_thumb_1404397010.png

- Condicionador do tipo *Variable Refrigerant Flow* (VRF)

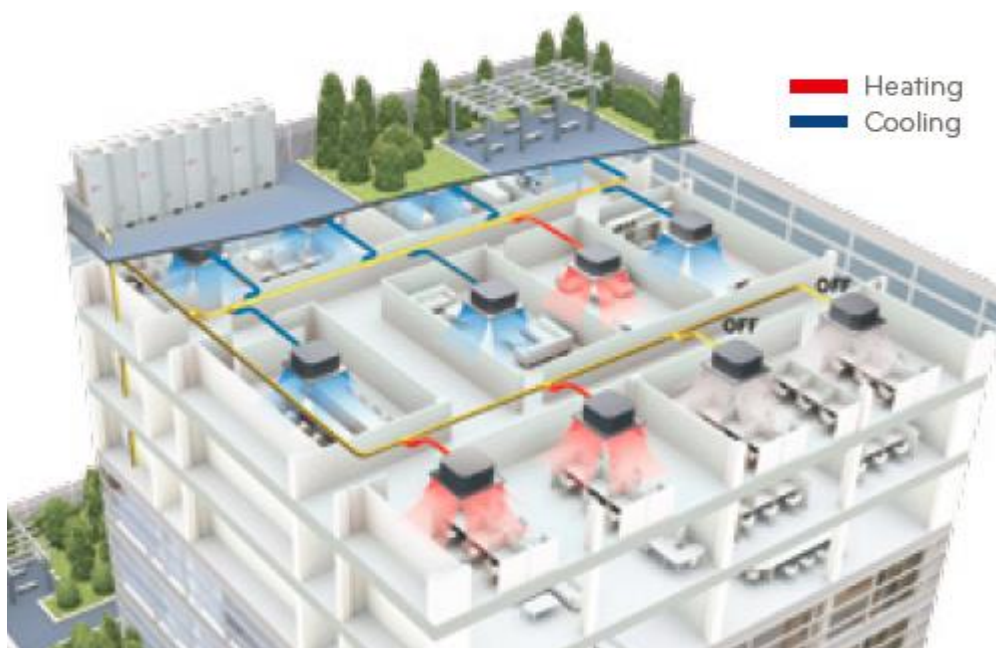
O condicionador do tipo VRF lembra muito o sistema multi-split. A grande diferença está no tipo de compressor utilizado. Como utiliza compressores de alta eficiência e inversor de frequência, é possível atender até 64 equipamentos simultaneamente em ambientes diferentes, inclusive com operações distintas (como alguns ambientes refrigerando, alguns sem funcionar e outros na função “aquecimento”). É possível notar um exemplo do sistema na próxima figura.

O VRF funciona variando a quantidade de refrigerante que deve ser usado por cada evaporadora, de acordo com a carga térmica do ambiente que ela está atendendo. Dessa forma, mantém um ponto ótimo de funcionamento.

Permite atender grandes empreendimentos, uma vez que com alguns conjuntos de condensadoras é possível obter grandes capacidades. Também vem com sistema de automação integrado, permitindo um melhor gerenciamento do sistema. Devido aos seus compressores de alta eficiência com inversores de

frequência, possui um consumo elétrico bem reduzido. Entretanto, trata-se de um equipamento importado para o mercado brasileiro, e seu preço varia de acordo com a variação do dólar, então pode ser um sistema relativamente caro dependendo da época. Também possui restrição em relação a distância máxima das tubulações frigoríficas.

Figura 9 – Equipamento do tipo “VRF”



Fonte: <http://aecky.com/images/vrf.png>

Para os equipamentos de expansão indireta, temos:

- Chiller com condensação a ar

Os chillers de condensação a ar são equipamentos que realizam o ciclo frigorífico, mas que necessitam de um fluido intermediário para realizar a transferência de calor entre ambiente atendido e o fluido refrigerante. Na figura 10, temos um exemplo de um chiller convencional de condensação a ar.

Figura 10 – Chiller com condensação a ar



Fonte: http://cdn.carrierdobrasil.com.br/caracteristicas_modelos/6dd8b-1.jpg

São capazes de atender empreendimentos de médio a grande porte, e precisam ser instalados em um ambiente aberto para realizar a condensação do fluido refrigerante. Necessitam de um sistema de bombeamento para a água gelada e os equipamentos hidrônicos, similares às evaporadoras dos sistemas do tipo Split, porém alimentadas por água ao invés de refrigerante. Possuem um custo inicial elevado se comparado com os sistemas de expansão direta, porém possui um consumo de energia menor, maior confiabilidade e durabilidade.

- Chiller com condensação a água

Os chillers de condensação a água utilizam torres de resfriamento para resfriar água que resfria o condensador do sistema. Por se tratar de um meio de resfriamento mais eficaz, esses equipamentos são capazes de atender empreendimentos com cargas térmicas muito elevadas. Possuem compressores mais eficazes e consumo elétrico ainda menor que os chillers de condensação a ar, entretanto são equipamentos muito maiores e robustos, assim como é possível notar na figura 11. Além do sistema de bombeamento de água que será utilizado nos equipamentos hidrônicos para o resfriamento do ar do ambiente, também precisa de um sistema de bombas e tubulações para circular a água de condensação, solicitando, assim, ainda mais área para instalação de todos os itens necessários.

Figura 11 – Chiller de condensação a água



Fonte: http://www.johnsoncontrols.com/pt_br/-/media/jci/be/united-states/hvac-equipment chillers/images/be_prod_yvwa_screwchiller.jpg

- Chiller de absorção

Conforme Moran e Shapiro (2002), o sistema de resfriamento através de chiller de absorção não utiliza o ciclo de compressão para geração de um fluido refrigerante capaz de realizar o resfriamento. Ao invés disso, utiliza-se brometo de lítio e água como fluido refrigerante a pressões muito baixas. A água a pressão quase zero, dentro do absorvedor do equipamento, é borrifada sobre tubos onde passa a água que irá alimentar os equipamentos hidrônicos dos ambientes. Como a água dentro do chiller está com uma pressão próxima ao vácuo, ela evapora a temperaturas muito baixas. Sendo assim, ao entrar em contato com o tubo, automaticamente evapora. O processo de evaporação é um processo endotérmico, e dessa forma há a retirada de calor do tubo e consequentemente da água, resfriando-a.

A água evaporada é absorvida pela solução de brometo de lítio, que está sendo aspergida em outra tubulação para resfriamento (água que passa pela torre de resfriamento). A solução de brometo de lítio e água resfria e é depositada no fundo do casco do absorvedor em forma de líquido. Essa solução é, então, bombeada até o gerador, aonde uma fonte de calor (sejam os gases de combustão de algum processo, algum sistema de queima direta, etc) evapora a solução, separando a água do brometo de lítio, reiniciando o ciclo. Por ter que trabalhar com pressões internas extremamente baixas, o chiller de absorção é extremamente

robusto, pois sua carcaça deve ser resistente o bastante para suportar os esforços da pressão atmosférica. Na figura 12, é possível notar a grande carcaça de um chiller de absorção.

A grande vantagem do sistema por absorção é que é um sistema de cogeração em que o consumo elétrico é extremamente baixo, uma vez que a fonte de energia é uma fonte de calor que pode ser aproveitada de algum processo, como geradores a diesel ou gás. Sendo assim, acaba se tornando uma excelente forma de economia de energia.

Entretanto, trata-se de um equipamento com custo de implantação alto, que exige uma grande área para sua instalação, uma fonte de calor e uma qualidade de manutenção muito boa, pois se houver algum vazamento no sistema, o equipamento deixa de funcionar.

Figura 12 – Chiller de absorção



Fonte: http://www.comgas.com.br/pt/comgasParaVoce/Industrial/Documents/img_graf_produto.png

2.7 Fabricantes

Muitos são os fabricantes de equipamentos de ar condicionado. Para os sistemas mais simples, como os splits, muitos fabricantes de eletrodomésticos

possuem sua própria linha, por exemplo, marcas como Consul, Electrolux e Philco, de forma que o mercado possui diversas opções. Nesse caso, a grande diferença se dá na garantia, confiabilidade do sistema e no sistema de controle dos equipamentos.

Os equipamentos mais sofisticados, como equipamentos hidrônicos, VRF e Chillers, são fabricados tanto por empresas que trabalham apenas na área de ar condicionado e similares, como Midea Carrier, Trane, Daikin e York, como por empresas que possuem uma grande gama de produtos, como LG e Mitsubishi, além de outras demonstradas na figura 13. Sendo assim, a disputa de avanço tecnológico das marcas é muito grande, uma vez que há muitos concorrentes no mercado, e todas as marcas sempre estão em busca de novidades para disponibilizar para o mercado.

Figura 13 – Exemplos de marcas de fabricantes de equipamentos para ar condicionado



Fonte: <http://www.bairrovilaolimpia.com.br/ar-condicionado-residencial-predial/imagens/Marcas250h.jpg>

Já para o sistema a ser estudado, os fabricantes atualmente são resumidos a apenas algumas marcas. Entre elas, está a LG, que também está entre os fabricantes comuns de sistema de ar condicionado. Além disso, há a japonesa Yanmar, que também produz sistemas de co-geração, e a Panasonic. As outras grandes empresas do setor de ar condicionado ainda não se arriscaram no sistema que utiliza a fonte de energia do gás natural.

3 SISTEMA GAS HEATING PUMP (GHP)

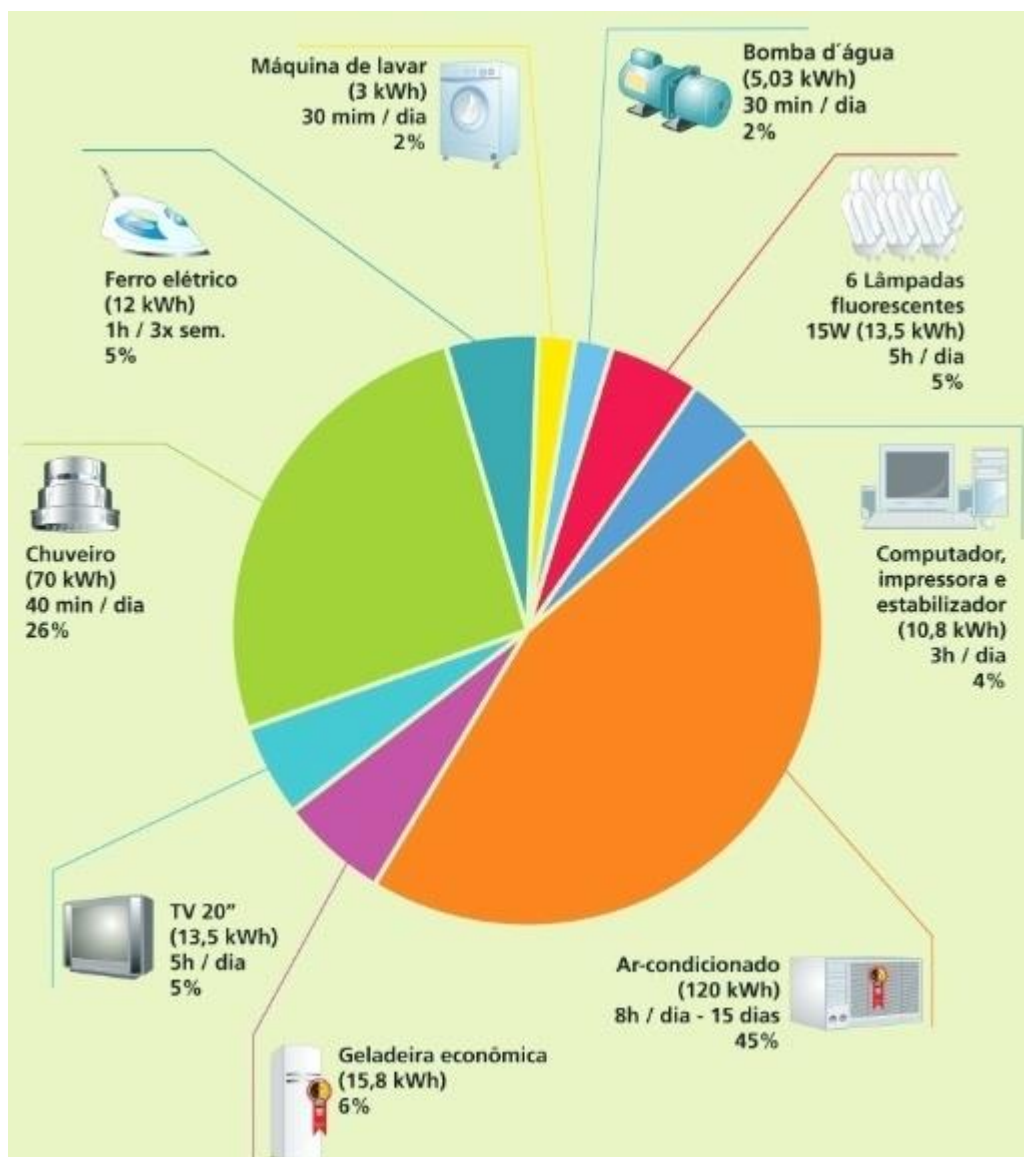
3.1 Conceito do GHP

Os sistemas de ar condicionado são conhecidos por serem grandes consumidores de energia elétrica.

Estima-se que quase metade da energia elétrica consumida por um empreendimento com uso constante de ar condicionado, como prédios de escritórios, shoppings centers, hospitais e outros, é destinada ao acionamento dos compressores, ventiladores e demais componentes elétricos e eletrônicos. Até mesmo em residências o uso do ar condicionado é um dos principais responsáveis pelo aumento do consumo elétrico.

Historicamente, entende-se que o horário de pico de consumo elétrico do país era entre as 18 e 21 horas, uma vez que este era o horário em que a grande maioria da população retornava para casa da escola, trabalho e outros, acionando diversos aparelhos elétricos simultaneamente, como abertura de portas de geladeira, o uso de chuveiros elétricos, ferro de passar roupa, televisores, lâmpadas, entre outros, dispostos de maneira exemplificada na figura abaixo. Com isso, o sistema elétrico nacional era extremamente exigido, sendo então criada uma tarifa diferenciada para o cálculo do preço do consumo elétrico, a tarifa do horário de ponta.

Figura 14 – Comparação de consumo elétrico de equipamentos comuns em residências.



Fonte: http://imguol.com/2012/12/27/27122012---segundo-projecao-da-light-concessionaria-que-administra-o-fornecimento-de-energia-eletrica-no-rio-de-janeiro-o-uso-de-ar-condicionado-durante-o-verao-carioca-representa-em-apenas-15-dias-1356641633714_514x577.jpg

Hoje em dia, nota-se uma mudança desta sobrecarga no sistema elétrico. Embora os hábitos, no geral, mantenham-se similares, nas últimas décadas a modernização dos estabelecimentos do país e o aumento de locais com grande concentração de pessoas exigiu que cada vez mais os equipamentos de ar condicionado fossem vistos como uma necessidade ao invés de um luxo.

Com a instalação e utilização cada vez maior dos climatizadores de ar para os ambientes e a sua relevância (figura 15) quando comparado com o consumo elétrico

total de um empreendimento, o país acaba solicitando uma grande necessidade de consumo de energia elétrica nos momentos de maior uso do ar condicionado.

Os equipamentos que realizam o ciclo frigorífico são mais solicitados quanto maior for a carga térmica do ambiente que atendem. Sendo assim, o seguinte fenômeno tem ocorrido:

- Período em que o ambiente externo está mais quente (por volta de meio dia)
- Devido à inércia térmica, os locais fechados por paredes, portas e janelas tendem a esquentar gradativamente enquanto a transmissão de calor do meio externo ao interno acontece.
- Locais com cada vez mais concentração de pessoas e uso constante de equipamentos, como monitores, lâmpadas, impressoras e outros itens que consomem energia e produzem calor, estão constantemente gerando calor térmico para o ambiente fechado.
- A soma do calor gerado internamente em um ambiente, mais o calor transmitido do ambiente externo através de paredes, portas e janelas, faz com que o calor máximo internamente em um local aconteça por volta das 15 horas.

Neste período, os sistemas de ar condicionado e refrigeração (geladeiras, congeladores, etc) terão que ser acionados em capacidade máxima para garantir as condições de trabalho a que foram projetados. Sendo assim, temos um grande aumento de consumo elétrico em várias regiões do país.

Figura 15 – Exemplo de uso cada vez maior de sistemas de climatização de ar.

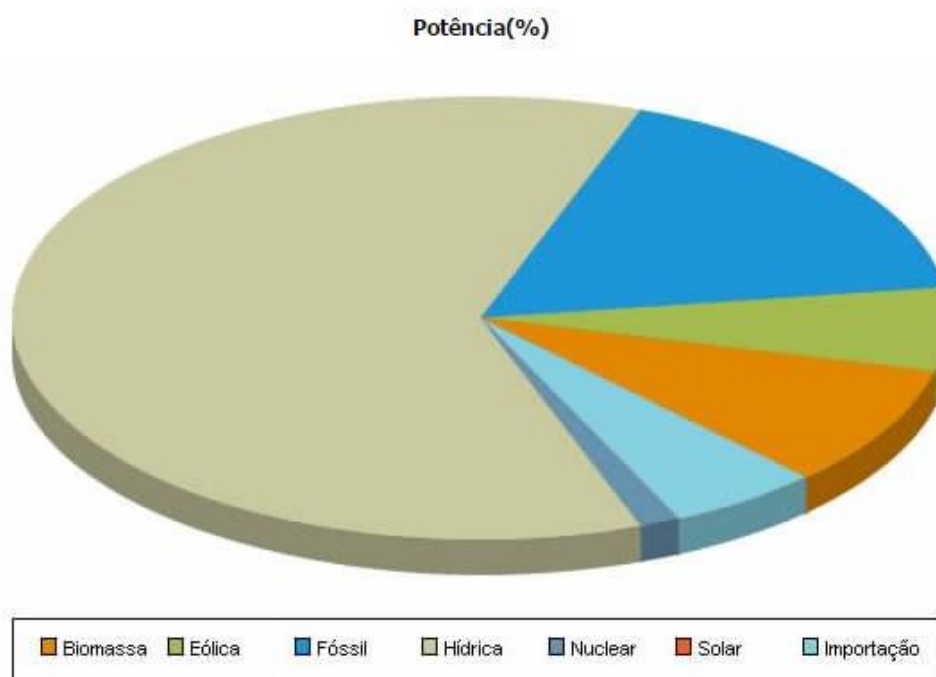


Fonte: http://www.condominiosc.com.br/media/k2/items/cache/8be8c1081fc3a7b60dd799531ed1890f_XL.jpg

No verão de 2015, o consumo elevado de energia elétrica no país, aliado à baixa capacidade de geração por parte das hidrelétricas graças a um período de estiagem em diversas regiões do país, fez com que o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) tivesse que realizar o corte no abastecimento elétrico em diversas regiões para evitar que toda a malha elétrica do país entrasse em colapso.

O corte no abastecimento de energia não seria tão iminente em tempos de instabilidades meteorológicas e em períodos de consumo elétrico extremamente exagerado se houvesse no país uma maior quantidade de alternativas de fornecimento de energia elétrica. É possível reparar na figura 16 a dependência do país em apenas uma fonte de energia.

Figura 16 - Matriz Energética Brasileira



Fonte: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>

Atualmente, mais de 60% da energia elétrica produzida no país vem das hidrelétricas (ANEEL, 2016). Considerando um país com as proporções do Brasil, com muitas indústrias e comércio, a alta concentração da produção energética em poucas fontes de geração é um risco. O ideal é distribuir a produção de energia em outros métodos. Sendo refém apenas da geração hidrelétrica, o país depende muito também das fontes termoelétricas por fornecerem um abastecimento rápido para quando a demanda é muito grande ou quando há algum tipo de problema na geração hidrelétrica. Entretanto, esta alternativa é extremamente poluidora, cara e ineficiente.

Embora haja o crescimento de fontes de energia renováveis, como a energia eólica ou solar, elas acabam sendo limitadas por problemas naturais. Os melhores locais para a instalação de geradores eólicos para produção de energia se encontram na região nordeste. Na região sudeste, poucas regiões possuem condições ótimas para garantir uma boa atratividade de investimento nessa geração. E mesmo quando o local apresenta as condições ideais para a aplicação dessa alternativa, a área exigida para instalação dos geradores eólicos é muito grande, como demonstra a figura 17.

Figura 17 – Exemplo de espaço necessário para um parque eólico



Fonte: <https://1.bp.blogspot.com/-SPSMcE5Li48/VtAariHJt7I/AAAAAAAAAw68/ZPlcLqaFF6g/s1600/parque-eolico.jpg>

O mesmo ocorre com a energia solar, que também é impactada pelo alto custo de implantação e, assim como a energia eólica, depende de grande área útil para gerar quantidades relevantes de energia. E, além disso, ambas dependem dos ventos e da luz solar para gerarem eletricidade, tornando-se limitadas e com maiores riscos de falta de energia gerada, assim como ocorre com a hidrelétrica quando há escassez de água.

O mais viável é poder aproveitar uma maneira de gerar energia elétrica que possua um preço de investimento relativamente baixo, que seja flexível a ponto de não necessitar de grandes intervenções para sua instalação e, de preferência, que seja possível utilizar diretamente nas fontes consumidoras de energia, descartando o uso de fiações de distribuição elétrica e, com eles, as quedas constantes de eletricidade por problemas físicos (figura 18).

Figura 18 – Rede de distribuição elétrica em conflito com elementos naturais.



Fonte: http://jcrs.uol.com.br/_midias/jpg/2016/02/12/pol_22317-435233.jpg

Tabela 1 – Dados numéricos atualizados da Matriz Energética Brasileira.

Origem	Fonte		Capacidade Instalada				Total	
	Fonte Nível 1	Fonte Nível 2	Nº de Usinas	(KW)	%	Nº de Usinas	(KW)	%
Biomassa	Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	397	10.842.160	6,9283	415	10.955.015	7,0004
		Biogás-AGR	3	1.822	0,0011			
		Capim Elefante	3	65.700	0,0419			
	Biocombustíveis líquidos Floresta	Casca de Arroz	12	45.333	0,0289			
		Óleos vegetais	2	4.350	0,0027	2	4.350	0,0027
		Carvão Vegetal	8	54.097	0,0345	88	2.948.673	1,8842
		Gás de Alto Forno - Biomassa	11	232.265	0,1484			
		Lenha	2	14.650	0,0093			
		Licor Negro	17	2.261.136	1,4449			
		Resíduos Florestais	50	386.525	0,2469			
		Biogás - RA	11	2.099	0,0013	11	2.099	0,0013
		Biogás - RU	15	113.246	0,0723	15	113.246	0,0723
Eólica Fóssil	Resíduos sólidos urbanos	Cinética do vento	395	9.659.660	6,1727	395	9.659.660	6,1727
		Calor de Processo - CM	1	24.400	0,0155	23	3.612.995	2,3087
	Carvão mineral	Carvão Mineral	13	3.389.465	2,1659			
		Gás de Alto Forno - CM	9	199.130	0,1272			
		Calor de Processo - GN	1	40.000	0,0255	152	12.997.990	8,3059
	Gás natural	Gás Natural	151	12.957.990	8,2804			
		Calor de Processo - OF	1	147.300	0,0941	1	147.300	0,0941
	Petróleo	Gás de Refinaria	7	339.960	0,2172	2222	10.097.463	6,4524
		Óleo Combustível	40	4.055.973	2,5918			
		Óleo Diesel	2158	4.745.602	3,0325			
Hídrica Nuclear Solar Importação	Potencial hidráulico	Outros Energéticos de Petróleo	17	955.928	0,6108			
		Potencial hidráulico	1225	95.768.067	61,197	1225	95.768.067	61,197
	Urânio	Urânio	2	1.990.000	1,2716	2	1.990.000	1,2716
		Radiação solar	42	23.008	0,0147	42	23.008	0,0147
	Paraguai			5.650.000	3,6104			
		Argentina		2.250.000	1,4377			
		Venezuela		200.000	0,1278			
	Uruguai			70.000	0,0447			
		Total	4593	156.489.866	100	4593	156.489.866	100

Fonte: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm> 1

Analisando a tabela com os dados de produção de energia na matriz nacional, podemos notar que o gás natural, responsável por pouco mais de 8% da produção energética do país, é uma excelente alternativa à dependência do país em relação as fontes hidrelétricas e as térmicas.

Embora o gás natural seja usado em usinas termelétricas, que distribuem a eletricidade gerada através de fios, é possível utilizar o gás para outros processos localizados. Isso acontece com os chillers de absorção, aonde se pode usar um gerador elétrico a gás (figura 19) e utilizar o calor da combustão do gás para alimentar o chiller e gerar água gelada para o sistema de climatização.

Figura 19 – Gerador a gás com reaproveitamento do calor rejeitado para chiller de absorção.



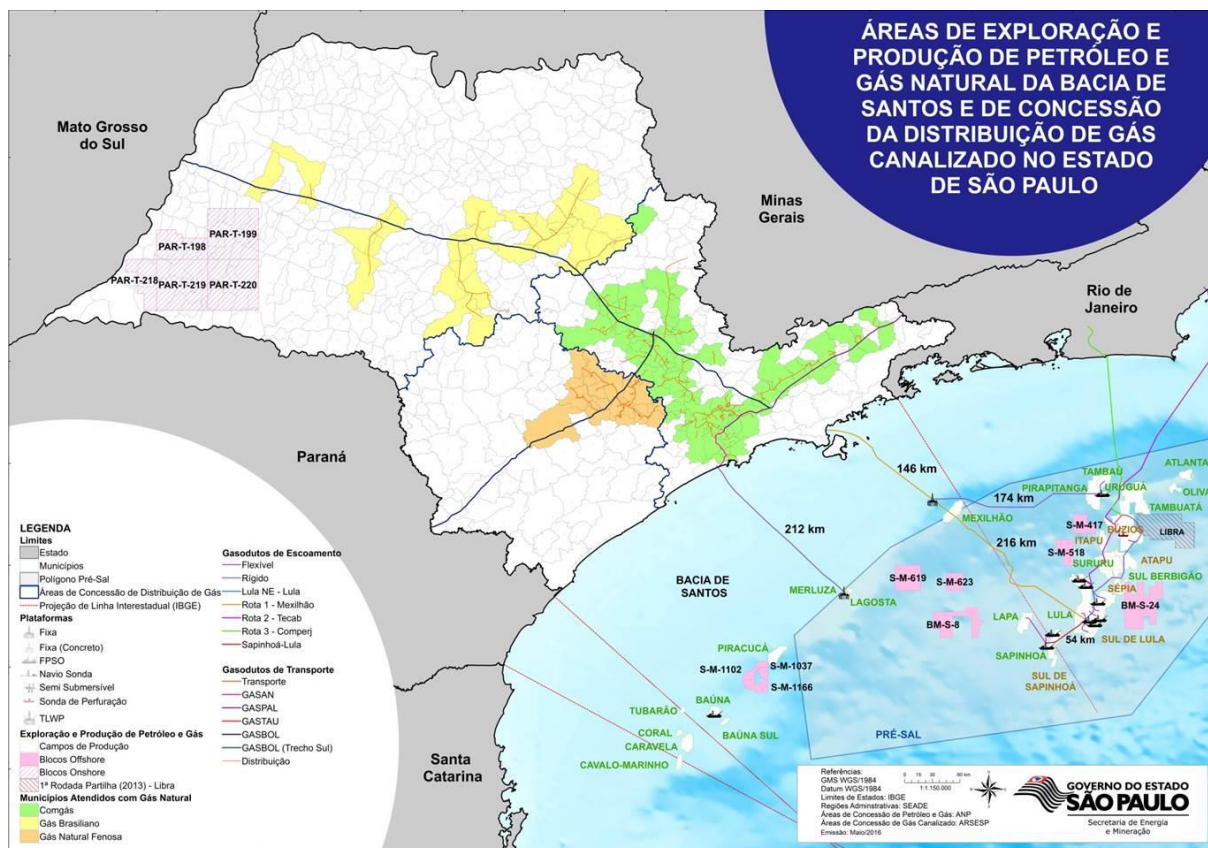
Fonte: <http://www.abegas.org.br/Site/wp-content/uploads/2014/12/DSC02917.jpg>

Sendo assim, é possível utilizar o gás para gerar energia, ou deixar de gastar eletricidade, sem depender do sistema de distribuição convencional, que no Brasil apresenta muitos problemas, já que os fios, exceto em raríssimas localidades, é distribuído por postes ao ar livre. Isso ocasiona rompimento por má conservação, acidente de veículos que colidem nos postes ou quedas de árvores, além das

inúmeras falhas na distribuição seja por parte da geradora de energia ou por alguma parte da distribuição.

Com o gás natural, a distribuição por tubulações é feita no subterrâneo, e muitas cidades contam com a rede das fornecedoras de gás natural, como na cidade de São Paulo (figura 20). Além disso, trata-se de um sistema extremamente confiável, e raríssimas vezes existem falhas no fornecimento.

Figura 20 – Malha de distribuição de gás no estado de São Paulo



Fonte: http://www.energia.sp.gov.br/wp-content/uploads/2016/06/mapa_petroleo_gas_sao_paulo.jpg

Também é possível destacar que o gás natural, embora sendo um combustível fóssil, é muito mais vantajoso do que o uso dos óleos originados do petróleo, já que possui emissão de poluente muito menor após sua queima. Comparado com o óleo diesel, por exemplo, o gás natural emite cerca de 30% menos CO₂ para cada kWh gerado, além de baixa emissão de particulados e outros tipos de poluentes (COMGÁS, 2016).

Com essas informações em mente, é de extrema importância que haja alternativas para a redução do consumo elétrico e da dependência da energia elétrica fornecida pelas concessionárias, e os sistemas de refrigeração e

climatização, responsáveis por grande parte da utilização da energia são uma das melhores maneiras para alcançar isso.

Mesmo com a utilização de equipamentos mais sofisticados, com peças com maior tecnologia embarcada (como compressores do tipo inverter), o uso de grandes centrais de produção de frio que possuem um consumo global menor (como Chillers e VRF), a transferência de calor do ambiente a ser condicionado para o meio externo ainda depende de uma grande produção de trabalho na compressão do processo.

Os sistemas que utilizam outras fontes de energia para a realização deste trabalho no lugar da alimentação das máquinas diretamente com energia elétrica da rede, tornam-se uma excelente alternativa para a redução no consumo elétrico, resultando em uma instalação elétrica menos robusta e a menor necessidade de contratação de energia da concessionária.

O sistema GHP é uma dessas alternativas, visando mudar a fonte de geração de energia para realizar a climatização e refrigeração dos ambientes. Por utilizar gás natural, o sistema GHP garante utilizar um combustível econômico, seguro e ecologicamente correto. Além disso, trata-se de uma fonte de energia bem difundida nas grandes capitais, com tubulações de distribuição disponíveis para atender aos grandes centros de consumo energético. Também possui vantagem econômica em relação ao sistema convencional, sendo que do ponto de vista financeiro é uma excelente proposta.

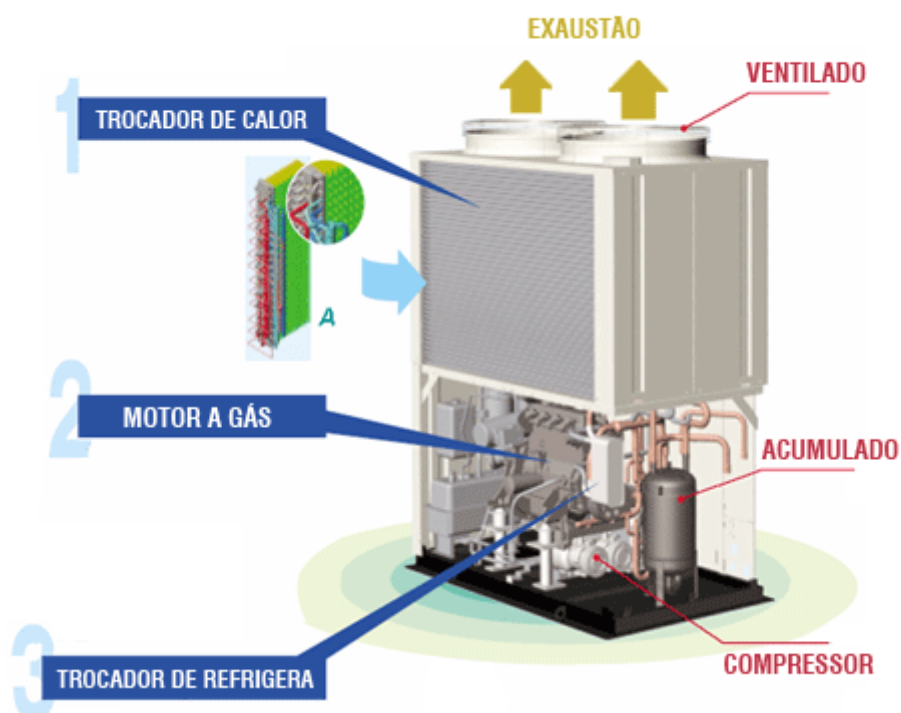
3.2 Características do GHP

O Gas Heating Pump é uma bomba de calor que realiza uma função igual aos sistemas do tipo VRF, mas que utilizam gás natural como fonte de energia. Chama-se bomba de calor todo o sistema responsável por transferir calor de uma região à outra, contrária ao fluxo natural do calor.

Nos equipamentos a gás, ao invés de um compressor elétrico realizar o trabalho de compressão do fluido refrigerante, sendo esta a etapa do processo de grande consumo energético do sistema, é um motor a combustão da queima de gás natural que realiza a movimentação do compressor, com um modelo esquemático demonstrado na figura abaixo.

Figura 21 - Esquemática do GHP

■ SISTEMAS DE AR CONDICIONADO A GÁS NATURAL



Fonte: http://www.comgas.com.br/pt/comgasParaVoce/Industrial/Documents/img_graf_bomba.png

O uso do motor a combustão também cria um sistema flexível, já que além de ser possível realizar o ciclo frigorífico e reduzir a temperatura dos ambientes a serem atendidos, também existe a possibilidade de esquentar os mesmos ambientes, já que é possível reaproveitar o calor proveniente da queima do gás e utilizá-lo para

aquecimento. E isso é possível de ser realizado simultaneamente, ou seja, permite-se resfriar um ambiente enquanto outro é esquentado.

O equipamento GHP é parecido com as condensadoras dos sistemas VRF, e sendo assim, não há um motivo estético ou de espaço que inviabilize sua utilização ou crie problemas no seu uso. Diferente dos chillers de absorção, que também podem se beneficiar do uso do gás natural mas que precisam de uma grande área para instalação, o GHP necessita de uma área muito menor. Assim, é possível posicionar as unidades em áreas em diversas regiões de acordo com a necessidade, diminuindo a distância das tubulações, além de garantir flexibilidade ao sistema.

Nos ambientes internos, há uma grande variedade de evaporadoras a serem utilizadas (figura 22). Isso graças à possibilidade do uso do GHP tanto como um sistema de expansão direta quanto como um sistema de expansão indireta. Sendo assim é possível o uso dos modelos tipo Cassete e Hi-Wall, até equipamentos do tipo dutado, ideais para uma melhor distribuição do ar e que atendem a critérios arquitetônicos mais rigorosos, tanto com o uso de tubulações de gás refrigerante como com água gelada.

Figura 22 – Modelos possíveis de evaporadoras para sistemas de ar condicionado.



Fonte: http://pellicia.com.br/uploads/widget/image/458/479/45847926/VRF_mods_evaporadoras_1026x420.jpg

O sistema de comando é igual ao do sistema VRF, permitindo um rigoroso controle de operação dos equipamentos. No GHP, é possível conectar mais de 40 unidades internas à unidade externa, e a possibilidade de criar um sistema de supervisão do sistema à distância e o controle das unidades internas permite total gerenciamento do consumo energético e melhora na eficiência do sistema.

Utiliza gás ecologicamente correto, o R410A, em contraste de muitos equipamentos de climatização que ainda utilizam o gás R22, que está com os dias contados, pois contribui para o efeito estufa.

3.3 Vantagens e Benefícios da aplicação do GHP

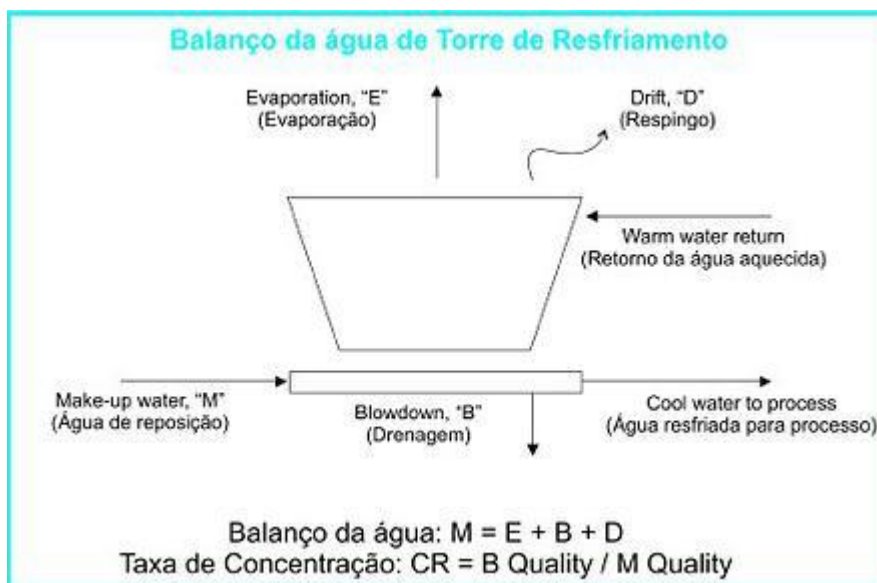
As vantagens e benefícios de utilizar o GHP são muito claros. Por não necessitar de uma quantidade grande de energia elétrica, a necessidade de cabos de força, transformadores e quadros elétricos robustos no empreendimento não existe. Em sistemas de climatização de grande porte, é comum encontrar equipamentos com potência acima de 300 kW, podendo chegar a potência total do sistema de climatização acima de 500 kW facilmente. Isso resulta em muita infraestrutura elétrica para abastecer esses equipamentos, diminuindo o espaço útil do empreendimento para criação de shafts, eletrocalhas de grandes dimensões, grandes transformadores e todo o resto que é necessário na instalação elétrica. Em muitos casos, a maior parte da energia elétrica consumida no edifício é unicamente para atender as máquinas de ar condicionado. Sendo assim, temos cabos de grandes bitolas, que necessitam de um grande investimento (pois são feitos de cobre, que é um metal caro), além de todo o cuidado para dimensionar corretamente cada componente do sistema, como disjuntores, contadoras e outros, para não ocasionar superaquecimentos e sobrecargas do sistema.

Além disso, o contrato com a concessionária de distribuição de energia elétrica é muito menor, já que se torna necessário menor energia contratada. Supondo que 50% do consumo elétrico do empreendimento é destinado à climatização, em um local em que a demanda contratada é de 2 MW, temos 1 MW que pode ser reduzido cerca de 90%. Isso permite uma demanda contratada muito menor, permitindo que os custos fixos mensais de energia elétrica sejam bem menores. Logo, é possível dedicar a eletricidade e os investimentos que seriam necessários ao sistema de ar condicionado para outras funções, como mais maquinários, além de poder disponibilizar a área que era necessária para as instalações elétricas para torná-la área útil do empreendimento.

Outra grande vantagem do *Gas Heating Pump* é que a condensação do ciclo frigorífico é realizada por ar, e não por água. Isso garante que não há necessidade de uma grande área para instalar torres de resfriamento e de bombas para

circulação de água do sistema de condensação, demonstrados na imagem 23, deixando de onerar o custo do investimento inicial, e além de economizar espaço do empreendimento, também evita o uso de energia para alimentar os equipamentos e evita o gasto de reposição de água da torre de resfriamento.

Figura 23 – Esquema de balanceamento de água em uma torre de resfriamento.



Fonte: <http://www.grupo-stella.com/images/figura3.jpg>

Este é um ponto muito favorável ao GHP, pois em períodos de estiagem, a reposição de água das torres pode parecer um desperdício, já que esta água poderia estar sendo utilizada para outros motivos mais críticos. Além disso, por utilizar pouquíssima energia elétrica, acaba economizando também a água que seria necessária nas hidrelétricas (que é a maior fonte de energia do país) para gerar a energia para o sistema de ar condicionado.

Como se trata de um motor a combustão, que gera calor, também existe a possibilidade de criar um sistema de recuperação de energia. Utilizando o calor gerado no bloco do motor e/ou o uso do calor dos gases de escape, cria-se um melhor aproveitamento da energia gerada pelo gás. O rendimento do sistema como um todo, nesse caso, é muito superior.

Inclusive, o GHP pode fornecer água quente para o edifício em que está instalado, graças a um trocador de calor que já vem integrado ao equipamento. Desta forma, se economiza no custo necessário para aquecer água, como por exemplo, em hotéis, em que a água quente é usada em chuveiros e torneiras. Ou então cozinhas, em que a água aquecida é usada para lavagem. E até mesmo em hospitais, onde a água é aquecida para ser utilizada em processos, limpeza, cocção

e outros. Logo, nestes locais com a necessidade de água quente, a instalação de caldeiras ou resistências para aquecimento da água pode ser reduzido para alternativas menores, ou até mesmo evitar o uso desses sistemas, caso seja necessário pouca vazão de água a ser esquentada.

O fato do equipamento já vir com um trocador de calor também garante muita praticidade e flexibilidade, já que basta realizar a conexão da água a ser aquecida ao equipamento. Portanto, não é preciso dimensionar, adquirir e instalar o trocador, apenas criar o ponto de conexão de água.

O sistema GHP também possui melhor rendimento em cargas parciais quando comparado aos sistemas convencionais de ar condicionado, pois permite a modulação do motor à combustão para variar o funcionamento do compressor, sendo que o controle se faz pelo desacoplamento dos compressores ou apenas uma modulação dos equipamentos instalados. Isso garante melhor eficiência em ambientes com grande variação térmica, como shoppings e escritórios.

Também é um equipamento que permite que os prédios consigam certificações ambientais, tais como “LEED” (*Leadership in Energy and Environmental Design*) (figura 24). Isso é possível justamente pelo baixíssimo consumo elétrico e o uso de gás ecologicamente correto, sendo que conta pontos nas questões de certificação.

Figura 24 – Certificação LEED e a pontuação mínima para cada nível.

Selo:				
Pontos:	40-49	50-59	60-79	80+

Fonte: <http://www.asboasnovas.com.br/arquivos/ckeditor/517ebc47acc2f4.99401020.jpg>

Por ser um tipo de multi-split, economiza-se muito espaço de instalações, já que não há a necessidade de utilizar equipamentos com grandes dutos de distribuição de ar ou grandes tubulações de água gelada, embora o sistema ainda

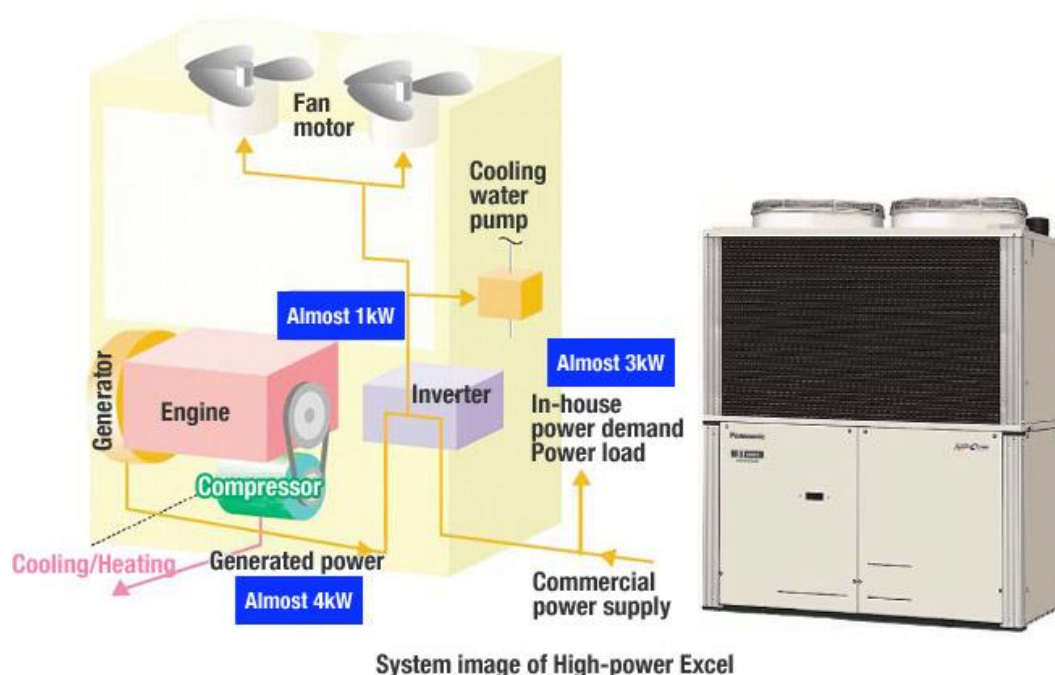
permita o uso desse tipo de possibilidade. Como pode ser utilizado como sistema de expansão direta, utiliza tubulações de cobre de pequeno diâmetro para atender aos ambientes a serem climatizados. Atualmente, espaço nos empreendimentos é algo extremamente importante, e quanto mais área útil for garantida à edificação, melhor. Além disso, para reformas e retrofit de sistemas, o espaço muitas vezes é muito limitado, e inviabiliza muitas soluções, principalmente para os sistemas de ventilação e ar condicionado que são conhecidos por ocuparem muito espaço em entre forros e shafts.

3.4 GHP Power

Um dos grandes diferenciais do VRF a gás é a possibilidade de gerar energia elétrica pelo sistema. Como se trata de um motor a combustão, é possível conectar um gerador elétrico ao eixo do motor e gerar eletricidade, exemplificado pela figura 25 abaixo.

Para isso, também é necessário um inversor de frequência na máquina para realizar a modulação entre o consumo elétrico pela rede elétrica ou abastecimento elétrico à rede elétrica. Embora encareça o equipamento, isso permite que haja ainda mais economia em longo prazo, já que reduz o uso da concessionária.

Figura 25 – Sistema GHP com geração de eletricidade.



Fonte: https://www.osakagas.co.jp/en/rd/technical/_icsFiles/afieldfile/2012/10/15/img01_3.jpg

Segundo a empresa Yanmar (2016), de acordo com o gerador, é possível até mesmo zerar o consumo elétrico do sistema de ar condicionado, o que é algo extremamente impressionante, considerando que em geral o sistema de ventilação e ar condicionado consome cerca de 50% da eletricidade total de um prédio. Assim, o único consumo é o de gás, que possui tarifas muito mais interessantes do que as praticadas pelas concessionárias de energia elétrica.

Além disso, pelas atuais regulamentações vigentes no país, é possível que a eletricidade gerada pelo sistema injetada na rede possa abater as tarifas de empreendimentos de mesmo CNPJ em outras regiões. Isso se torna uma estratégia a ser adotada pelas empresas que possuem diversos prédios em várias regiões, como laboratórios farmacêuticos ou grandes multinacionais. Isso permite que seja gerada energia em estados que possuem taxações de impostos mais amigáveis, como no estado de Minas Gerais, por exemplo, e diminuir o custo elétrico em regiões aonde o preço é maior.

Mesmo que não seja gerada energia o bastante para disponibilizar eletricidade para a rede elétrica, como demonstrado anteriormente, a possibilidade de usar uma geração de energia própria dentro do próprio empreendimento, nem que seja para alimentar lâmpadas de iluminação em algumas áreas ou outros

equipamentos pequenos, já garante uma redução no consumo elétrico, o que significa menos gasto mensal. Além disso, a demanda de energia contratada pela concessionária também pode ser ainda mais reduzida, sendo, portanto, um custo fixo ainda menor. E, com o gasto elétrico menor, também pode ser reduzido as dimensões e potências dos grupos moto-gerador, cabos, quadros elétricos, transformadores.

Desta forma, utilizar o GHP como um sistema de micro geração elétrica é uma excelente vantagem. Ainda mais quando é possível fornecer ao edifício um sistema de ar condicionado, água quente e eletricidade, todos de um único equipamento, sem a necessidade de intervenções de novos projetos, gambiarras ou adaptações fora do que é fornecido pela própria máquina.

3.5 Barreiras, desafios e oportunidades.

O sistema GHP possui muitas vantagens e benefícios em sua aplicação. Entretanto, ainda possui um custo de implantação alto, já que é um equipamento importado. Assim como ocorre com o VRF convencional, o valor do equipamento fica muito suscetível a variações de acordo com o valor do dólar em relação ao real. Dessa forma, muitas vezes o sistema acaba sendo inviável pelo alto custo de implantação. É comum no Brasil que o custo de implantação acabe sendo um fator determinante na escolha dos sistemas a serem empregados ao invés do retorno que um sistema mais caro pode trazer no longo prazo. É importante que o pensamento por um futuro sustentável seja difundido e faça parte do espírito das empresas e pessoas, para que ocorra uma mudança significativa por sistemas que trazem benefícios para todos.

Seria interessante incentivo por parte do governo, como redução de imposto para importação destes tipos de equipamento, ou algum tipo de incentivo para aqueles que implementassem estes tipos de sistemas para incentivar seu uso. Além de permitir a ampliação do gás natural como fonte de energia no país, diminuindo a dependência das hidrelétricas e termelétricas convencionais, também haveria a redução do consumo elétrico, podendo disponibiliza-lo para o uso em indústrias e máquinas que são grandes consumidoras e dependentes de energia para movimentar a economia.

A distribuição da rede de gás também é um fator que pode ser impeditivo para a utilização do sistema a gás. Nas grandes metrópoles a rede já está bem distribuída e o uso desses equipamentos é muito mais fácil. Entretanto, em regiões mais afastadas, o gás encanado talvez não esteja disponível. Seria necessária uma grande mudança por parte das empresas a desejarem utilizar mais o gás natural em regiões onde este não está disponível, incentivando que as empresas fornecedoras do combustível possam aumentar a malha de distribuição.

Segundo Andreos (2013), no período entre 2010 e 2020, a taxa de gás disponível sem contratação aumenta gradativamente, sendo que se previu que esta taxa crescesse acentuadamente entre 2013 e 2018. Sendo assim, a falta de gás natural não será um fator limitante para a aplicação de novos equipamentos que usam o combustível como fonte de energia.

O GHP também sofre um problema para atender locais com grande carga térmica, pois os módulos produzidos em linhas de montagem possuem limite de capacidade relativamente baixo. Em alguns casos, o uso de chillers ainda são os mais eficientes, por produzirem muito mais água gelada ocupando menor área relativa e com um custo de implantação menor. O uso da área para instalação e investimento deve ser estudado caso a caso para que o uso do sistema à gás seja realmente vantajoso para a pessoa ou empresa que irá instala-lo.

Entretanto, fica muito evidente que o uso do GHP pode ser utilizado para pequenos prédios comerciais, condomínios e centros comerciais, pois estes já contam com a estrutura necessária para o uso de gás natural, possuem em geral um sistema de climatização ineficiente, com consumos elevados. A mudança para o equipamento do tipo VRF a gás traria economia e permitiria uma melhor gestão do consumo elétrico do empreendimento.

4 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso para a aplicação do sistema GHP será baseado em um hotel de grande porte, com carga térmica variável por causa do uso do empreendimento, em que há horários de grande ocupação (como a noite, em que os hóspedes estão utilizando os quartos e no período da manhã, horário usual de check-in e check-out), e períodos mais vazios, como o período da tarde. O hotel conta com cerca de 500 quartos para hóspedes, área de restaurante, local para reuniões e eventos e áreas de lazer.

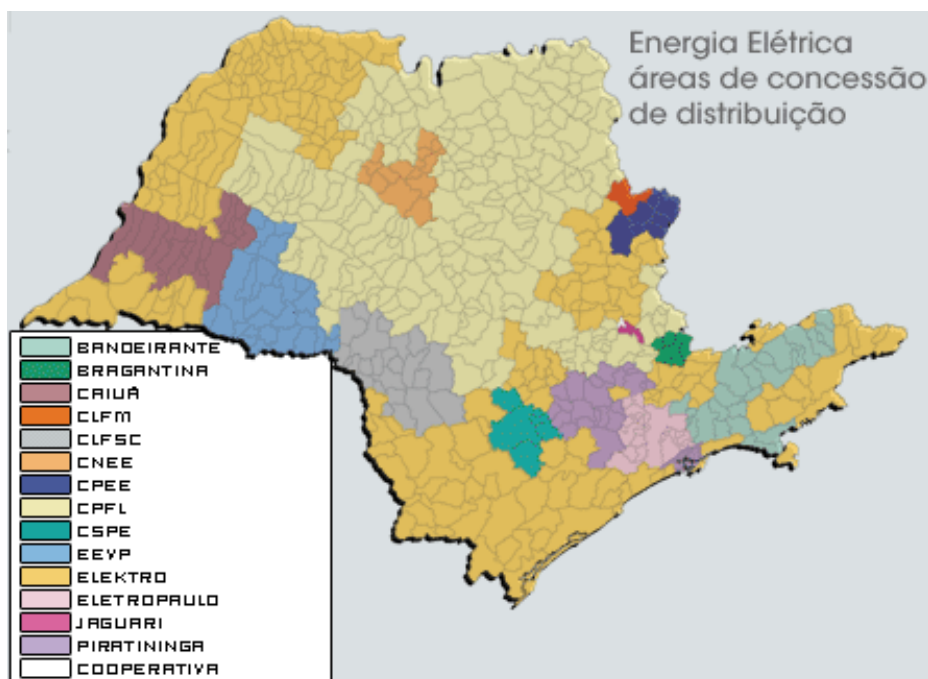
O sistema GHP será comparado a um sistema Split convencional, a um sistema de água gelada com condensação a ar e ao sistema VRF convencional. Será considerada a área para instalação dos equipamentos, a disponibilidade do gás natural na região, a infraestrutura necessária para a instalação, bem como passagem de tubos, dutos e parte elétrica.

4.1 Premissas da Aplicação

O caso a ser estudado é de um hotel localizado na cidade de São Paulo. Sendo assim, sabe-se que a disponibilidade do gás natural é facilitada, por se tratar de uma cidade em que o gás encanado já é utilizado por muitas residências, comércios e indústrias. Assim, facilita-se a aplicação de sistemas que usem o gás como fonte de energia.

Também é conhecida a facilidade na alimentação elétrica ao local de implantação, uma vez que a cidade de São Paulo conta com distribuição elétrica bem distribuída, atendendo todas as regiões, já que se trata de uma área extremamente urbanizada. Sendo assim, não há empecilhos no uso da energia elétrica fornecida pela concessionária, que no caso de São Paulo é fornecida pela AES Eletropaulo.

Figura 26 – Concessionárias de energia elétrica do estado de São Paulo



Fonte: <http://az545403.vo.msecnd.net/uploads/2012/05/Mapa-de-concess%C3%A3o.gif>

Com a recente crise hídrica por qual passou o país, as tarifas de energia elétrica sofreram grandes mudanças nos últimos anos, ocorrendo diversos reajustes. O empreendimento em questão está enquadrado na tarifa A4 Azul da AES Eletropaulo.

Para a análise deste caso, será considerada para demanda contratada apenas a demanda necessária para o sistema de ar condicionado, de cada sistema. Não estão sendo consideradas as cargas necessárias para iluminação, elevadores, aparelhos elétricos e eletrônicos entre outros. Os custos das tarifas elétricas dos sistemas também está se baseando na bandeira amarela inicialmente.

Tabela 1 – Tabela de tarifas da AES Eletropaulo para São Paulo

TARIFAS PARA O FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA RESOLUÇÃO Nº 1.920 DE 30/06/2015 DA ANEEL - VÁLIDAS A PARTIR DE 04/07/2015.

Tarifas aplicadas às unidades consumidoras atendidas em Alta e Média Tensão de fornecimento - Grupo A de acordo com o Sistema de Bandeiras Tarifárias, observadas as disposições com as premissas da REN ANEEL nº 626 de 30 de setembro de 2014

Tarifas aplicadas a clientes em Alta e Média Tensão de fornecimento - Grupo A

MODALIDADE TARIFÁRIA	SUBGRUPOS		
	A4 (2,3 a 25kV)		
	Tarifa de uso do Sistema de Distribuição (TUSD)		Tarifa Energia (TE)
	Demanda (R\$/kW)	Energia (R\$/kWh)	Energia (R\$/kWh)
TARIFA HORÁRIA AZUL			
PONTA	12,82	0,05815	0,32356
FORA PONTA	8,01	0,05815	0,21497
ULTRAPASSAGEM DE DEMANDA PONTA	25,64	-	-
ULTRAPASSAGEM DE DEMANDA FORA PONTA	16,02	-	-
ENERGIA REATIVA EXCEDENTE	-	-	0,22402
TARIFA HORÁRIA VERDE			
PONTA	8,01	0,36894	0,32356
FORA PONTA		0,05815	0,21497
ULTRAPASSAGEM DE DEMANDA	16,02	-	-
ENERGIA REATIVA EXCEDENTE	-	-	0,22402
TARIFA CONVENCIONAL BINÔMIA			
INTEGRAL	-	-	-
ULTRAPASSAGEM DE DEMANDA	-	-	-
ENERGIA REATIVA EXCEDENTE	-	-	0,22402
BANDEIRA VERDE	BANDEIRA AMARELA		BANDEIRA VERMELHA
Sem acréscimo na tarifa	Acréscimo de R\$0,015 a cada 1 kw/h consumido		Acréscimo de R\$0,045 a cada 1 kw/h consumido

Fonte: <https://www.aeseletropaulo.com.br/poder-publico/prazos-e-tarifas/conteudo/tarifa-de-energia-eletrica>

O consumo elétrico varia de acordo com o tipo de sistema utilizado no empreendimento. No caso atual, o hotel usa sistema Split e multi-split para condicionar as áreas comuns e os quartos dos hóspedes.

O horário de ponta a ser considerado é 3 horas diárias – entre as 18:00 e 21:00 – dos dias úteis. Sendo assim, temos:

$$\text{Horário Ponta} = 21 \times 3 \times 12 = 756 \text{ horas}$$

E a quantidade de horas fora de ponta é de:

$$\text{Horário fora de ponta} = 365 \times 24 - \text{Horário Ponta} = 8004 \text{ horas}$$

O hotel possui uma carga térmica total de 590 TR, sendo que varia de acordo com o horário do dia e a estação do ano em que se analisa. Quanto maior a temperatura externa, mais será exigido o sistema de ar condicionado, uma vez que mais calor deverá ser transferido do ambiente interno sendo climatizado ao ambiente externo. Além disso, a troca de calor entre as condensadoras e o ar exterior é mais difícil quanto maior for a temperatura do ar atmosférico. Sendo assim, exige mais energia do sistema.

Por depender do clima, o período em que a carga térmica será maior será no mês de janeiro, em pleno verão. Evidentemente que isso depende de acordo com o ano, uma vez que pode haver anos em que o inverno é muito quente, enquanto o verão apresenta temperaturas amenas e é mais seco.

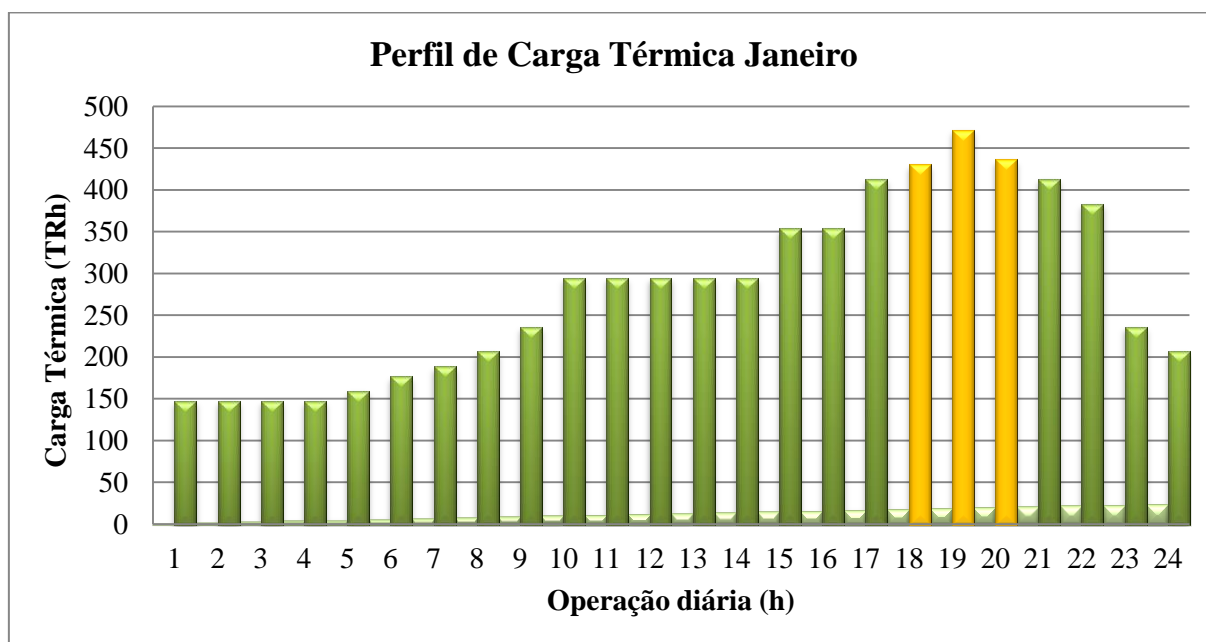
A umidade, neste caso, impacta no conforto térmico das pessoas. Ambientes quentes e úmidos são pouco confortáveis, já que a pele humana depende da troca de calor com o ar a sua volta para refrigerar o organismo. Isso ocorre através de transpiração, aonde o processo de evaporação do suor na pele retira calor da pele. Em um ambiente muito úmido, a evaporação do suor é dificultada pela saturação do ar com água. Sendo assim, a transpiração não ajuda a reduzir a temperatura do organismo, pois o suor não é evaporado.

Locais com umidade muito alta, como no litoral, exigem equipamentos de climatização maiores, já que o ar deve ser desumidificado para garantir o conforto. A desumidificação é limitada pelas capacidades da máquina, justificando máquinas maiores para realizar esse trabalho.

Como essas variáveis são muito difíceis de serem previstas, as condições a serem utilizadas para a estimativa de carga térmica é baseada em modelos estatísticos, de acordo com levantamentos de temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido ao longo de um período. A norma ABNT NBR 16401 (2008) define os valores a serem seguidos para as temperaturas de acordo com um modelo estatístico, de modo a garantir ao menos 99,6% do tempo as temperaturas realizadas no cálculo.

Para o hotel, podemos também utilizar um fator de simultaneidade para realizar a simulação térmica do local. Entende-se como fator de simultaneidade o raciocínio de que é extremamente pouco provável que todos os quartos e todas as áreas comuns sejam ocupados simultaneamente na capacidade máxima. Isso porque ou os hóspedes estão nos quartos, ou nas áreas comuns, ou então não estão no hotel, uma vez que é apenas uma dependência para passar a noite ou períodos limitados de tempo.

Gráfico 1 – Perfil de Carga Térmica estimado para o mês de janeiro.

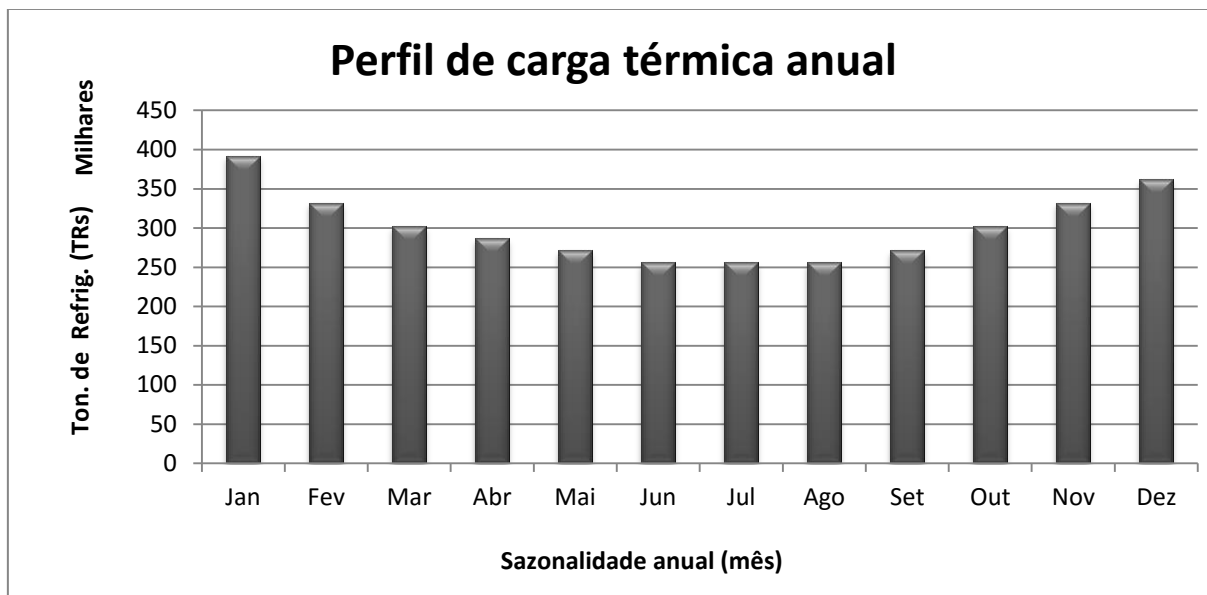


Fonte: Própria

A variação de carga também ocorre através dos meses. Quanto mais frio a estação, menos exigido será o sistema de climatização. Em contra partida, água quente será mais utilizada pelos hóspedes para aquecimento de chuveiros e torneiras.

Para o ar condicionado, estima-se que a carga variará conforme o gráfico abaixo:

Gráfico 2 – Perfil de Carga Térmica de acordo com a estação do ano.



Fonte: Própria

É possível resumir os dados de carga térmica com os seguintes dados:

Dados	Valor	Unidade
Capacidade Máxima	590	TR
Carga Térmica Ponta	312.228	TRh
Carga Térmica Fora Ponta	3.305.652	TRh
Carga Térmica anual	3.617.880	TRh

4.2 Análise Técnica Comparativa

Para a análise técnica, é preciso considerar os custos de investimento inicial para implantação do sistema, o custo de manutenção, o custo para a instalação elétrica (como transformadores, cabos, subestações, etc), o consumo elétrico, o Coefficient of Performance (COP), e o “*Integrated Part Load Value (IPLV)*”.

O COP é a relação entre a potência térmica gerada e a potência elétrica do equipamento, sendo assim uma unidade adimensional. Quanto maior o COP, melhor será a transformação entre a energia elétrica para a refrigeração.

Já o IPLV é uma avaliação do consumo elétrico do equipamento de refrigeração em cargas parciais. Diferente do “*Energy Efficiency Ratio (EER)*”, onde o valor de desempenho do sistema em relação ao consumo elétrico se dá em operação máxima (ou seja, carga de 100%), o IPLV considera também as cargas parciais para o sistema. Neste estudo, vamos considerar as cargas parciais apenas para os sistemas VRF, chiller com compressor parafuso resfriado a ar e sistema GHP.

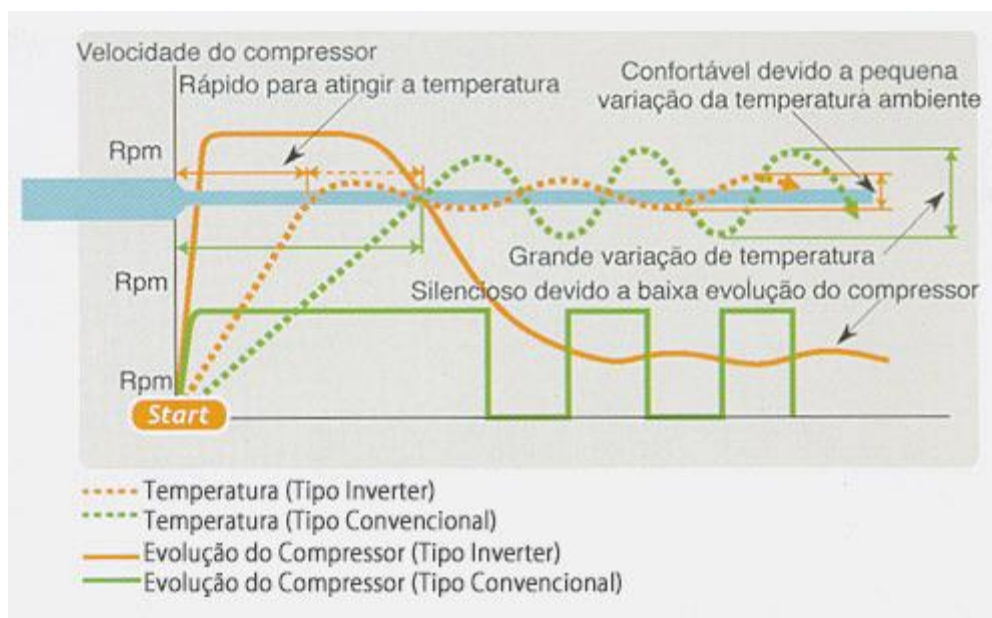
- Sistema Split

O sistema Split, embora com sua praticidade de instalação e versatilidade, não apresenta um excelente consumo elétrico quando comparado com outros sistemas de refrigeração disponíveis no mercado. Mesmo utilizando compressores inverter, que são dotados de um inversor de frequência para aumentar a eficiência do sistema, principalmente em cargas parciais, sua construção e modelo de controle não permite o mesmo consumo que as alternativas. Na figura abaixo, é possível notar como se comporta um sistema que utiliza um compressor do tipo “*inverter*”. Ao invés do funcionamento padrão do ar convencional “liga-desliga”, em que ou o sistema opera em plena capacidade ou não funciona, o sistema inverter mantém o compressor em operação o tempo todo. A diferença é que, para os momentos em que a temperatura está no “*set-point*” desejado, o compressor opera com rotações mais baixas, deslocando menor volume de refrigerante e, obviamente, consumindo menos energia elétrica. Quando a temperatura do ambiente volta a subir, o termostato do local aciona o sistema novamente,

fazendo com que o compressor volte a operar em uma velocidade maior conforme a necessidade.

Dessa forma, além de menor consumo elétrico, o controle de temperatura torna-se mais preciso, já que o compressor está realizando o ciclo termodinâmico constantemente, tentando manter a temperatura ambiente conforme o solicitado. Na imagem 27, é possível notar a comparação entre um sistema Split que utiliza o compressor do tipo inverter e um compressor convencional.

Figura 27 – Exemplo de sistema de ar condicionado Split com compressor inverter.



Fonte: <http://www.fujitsu-general.com/br/resources/images/products/inverter/img-tecnologia-inverter-details-1.png>

Para a análise com os outros sistemas, iremos considerar os seguintes aspectos:

Manutenção do sistema Split: 280 R\$/TR por ano

Custo de investimento do equipamento: 1500 R\$/TR

Custo para instalação elétrica: 550 R\$/kW de demanda

COP do sistema: 2,61

Potência elétrica demandada: 1,35 kW/TR

Pelos dados acima, temos os seguintes valores:

Custo de aplicação: R\$ 885.000,00

Custo de manutenção: R\$ 165.200,00

Custo para sistema elétrico: R\$ 438.075,00

Potência elétrica do sistema: 796,5 kW

E o custo elétrico do ano se torna:

Split / Multi-split		
1/COP	1,35	Tarifa (demanda + consumo)
Custo - Horário Ponta	421.508 kWh (a.a)	R\$ 378.758
Custo - Fora de Ponta	4.462.630 kWh (a.a)	R\$ 1.780.827
Total	4.884.138 kWh (a.a)	R\$ 2.159.585

- Sistema VRF

O sistema VRF apresenta um melhor desempenho do que os sistemas Split. Além da praticidade da instalação, apresenta um bom desempenho em cargas parciais, e ainda possibilita o uso de comando de centrais prediais para controlar os equipamentos, permitindo uma melhor gestão do sistema. Além disso, também permite resfriar um ambiente enquanto outro funciona no modo de aquecimento.

Os dados para o VRF são:

Manutenção do sistema VRF: 100 R\$/TR por ano

Custo de investimento do equipamento: 3185 R\$/TR

Custo para instalação elétrica: 550 R\$/kW de demanda

COP do sistema: 3,01

Potência elétrica demandada: 1,17 kW/TR

1 / IPLV: 0,84 kW/TR

Pelos dados acima, temos os seguintes valores:

Custo de aplicação: R\$ 1.879.150,00

Custo de manutenção: R\$ 59.000,00

Custo para sistema elétrico: R\$ 379.665,00

Potência elétrica do sistema: 690,3 kW

Sendo o custo elétrico anual igual a:

VRF			
1 / IPLV	0,84	Tarifa (demanda + consumo)	
Custo - Horário Ponta	262.272 kWh	R\$	274.765
Custo - Fora de Ponta	2.776.748 kWh	R\$	1.132.496
Total	3.039.019 kWh	R\$	1.407.261

- Chiller parafuso com condensação a ar

Para a aplicação do chiller parafuso com condensação a ar, devido aos modelos comercialmente disponíveis no mercado para a capacidade necessária ao empreendimento, será necessários dois equipamentos, além do sistema de bombeamento da água gelada e trocador de calor de placas para resfriamento da água que alimentará os evaporadores hidrônicos (sistema secundário). Por ser um equipamento com condensação a ar, não há necessidade de torre de resfriamento, economizando no gasto com água de reposição, tratamento de água e sistema de bombeamento para a água de condensação.

Um dos motivos de não utilizar um sistema com condensação a água, neste caso, é a limitação de espaço do empreendimento. A área destinada às torres de resfriamento e bombas é muito maior do que o sistema adotado. Entretanto, o consumo elétrico do sistema com condensação a ar é maior.

Os dados para o sistema de CAG são:

Manutenção do sistema com Chiller a parafuso: 125 R\$/TR por ano

Custo de investimento do equipamento: 1200 R\$/TR

Custo de investimento com bombas e Fancoils: 1200 R\$/TR

Custo para instalação elétrica: 550 R\$/kW de demanda

COP do sistema: 3,70

Potência elétrica demandada: 0,95 kW/TR

1 / IPLV: 0,88 kW/TR

Pelos dados acima, temos os seguintes valores:

Custo de aplicação: R\$ 1.416.000,00

Custo de manutenção: R\$ 73.750,00

Custo para sistema elétrico: R\$ 308.275,00

Potência elétrica do sistema: 560,5 kW

E o custo elétrico anual:

Chiller Parafuso com condensação a ar			
1 / IPLV	0,88		Tarifa (demanda + consumo)
Custo - Horário Ponta	274.761	kWh	R\$ 255.200
Custo - Fora de Ponta	2.908.974	kWh	R\$ 1.166.025
Total	3.183.734	kWh	R\$ 1.421.224

- Sistema GHP

O uso do sistema GHP é similar ao sistema VRF, com a grande diferença que o sistema VRF é alimentado por energia elétrica (neste estudo de caso, são 690,3 kW necessários apenas para a climatização), enquanto que o sistema GHP a alimentação é de gás natural. Dessa forma, o consumo elétrico é extremamente menor, sendo necessário apenas para energizar os comandos elétricos e eletrônicos, ventiladores das condensadoras e das evaporadoras para insuflamento de ar e coisas do gênero.

Em questão de área para instalação dos equipamentos, também serão similares ao sistema VRF, já que as unidades que possuem os compressores e o condensador do sistema são do tipo modulares, é possível instalar os equipamentos de maneira espalhada, em áreas técnicas estrategicamente posicionadas para o melhor aproveitamento do espaço da construção por parte do dono.

Os dados de análise do sistema GHP são:

Manutenção do sistema GHP: 110 R\$/TR por ano

Custo de investimento do equipamento: 4778 R\$/TR

Custo para instalação elétrica: 550 R\$/kW de demanda

COP do sistema: 1,47

Potência elétrica demandada: 0,10 kW/TR

1 / IPL: 0,80 kW/TR

Consumo de gás natural: 0,23 m³/TRh

Embora o COP seja muito baixo (até mesmo menor que o sistema Split), é preciso lembrar que o consumo elétrico do GHP é muito baixo. Sendo assim, mesmo que o “coeficiente de desempenho” pareça ser muito ruim, na verdade trata-se de um sistema econômico por parte do consumo elétrico.

Os custos gerais do sistema são de:

Custo de aplicação: R\$2.819.020,00

Custo de manutenção: R\$64.900,00

Custo para sistema elétrico: R\$ 32.450,00

Potência elétrica do sistema: 59 kW

E o custo elétrico anual:

GHP		
1 / IPLV	0,08	Tarifa (demanda + consumo)
Custo - Horário Ponta	24.978 kWh	R\$ 23.101
Custo - Fora de Ponta	264.452 kWh	R\$ 107.013
Total	289.430 kWh	R\$ 130.114

É visível como o custo elétrico do sistema GHP é muito menor que os outros sistemas similares. Além disso, a potência necessária para o sistema inteiro é de apenas 59 kW, sendo quase 10% do menor valor dos outros equipamentos avaliados neste estudo. Isso vai diminuir cabos elétricos, transformadores e quadros.

Juntando os custos de todos os sistemas, temos:

Sistema	Split/Multisplit	VRF	Chiller Parafuso	GHP
Custo de Implantação	R\$ 885.000,00	R\$ 1.879.150,00	R\$ 1.416.000,00	R\$ 2.819.020,00
Custo de Manutenção (por ano)	R\$ 165.200,00	R\$ 59.000,00	R\$ 73.750,00	R\$ 64.900,00
Custo de instalação elétrica	R\$ 438.075,00	R\$ 379.665,00	R\$ 308.275,00	R\$ 32.450,00
Custo Elétrico Total (por ano)	R\$ 2.159.585,00	R\$ 1.407.261,00	R\$ 1.421.224,00	R\$ 130.114,00
Custo Fixo Total:	R\$ 1.323.075,00	R\$ 2.258.815,00	R\$ 1.724.275,00	R\$ 2.851.470,00
Custo Variável Anual Total:	R\$ 2.324.785,00	R\$ 1.466.261,00	R\$ 1.494.974,00	R\$ 195.014,00

Para o sistema GHP, ainda resta adicionar o custo de gás para alimentar o sistema. Para o cálculo da vazão de gás necessário, utiliza-se o valor do poder calorífico inferior (PCI) do gás natural. O PCI é o que define a energia que um combustível libera em forma de calor em relação ao seu volume. Para o gás natural, temos um PCI para o gás fornecido pela COMGÁS em São Paulo de 8560 kcal/m³, conforme disponibilizado pela própria empresa.

Como se trata de um motor de combustão interna com queima a gás, o rendimento do motor é baixo (sem considerar um sistema de aproveitamento de calor rejeitado pelo motor).

Assim, para a vazão de gás necessária, considerando o valor de toneladas de refrigeração durante o ano para o empreendimento:

$$0,23 \times 3.617.880 = 832.112,4 \text{ m}^3 \text{ por ano} = 69.342,7 \text{ m}^3 \text{ por mês}$$

Logo, o custo pela tarifa da COMGÁS anual para o GHP será de:

Tabela 2 – Tarifas de gás de acordo com a demanda contratada

Termo de ajuste K =	-0,010128 R\$/m ³	Termo Fixo =	0,639076 R\$/m ³	R\$ 44.315,26
REFRIGERAÇÃO			Valor fatura s/ ICMS	R\$ 67.997,89
			Valor fatura c/ ICMS	R\$ 77.270,33
			Tarifa média s/ ICMS	0,980606 R\$/m ³
			Tarifa média c/ ICMS	1,114325 R\$/m³

Fonte: COMGÁS/2016

$$832.112,4 \times 1,114325 = R\$ 927.243,65$$

Sendo assim, o custo do sistema GHP torna-se:

Sistema	Split/Multisplit	VRF	Chiller Parafuso	GHP
Custo de Implantação	R\$ 885.000,00	R\$ 1.879.150,00	R\$ 1.416.000,00	R\$ 2.819.020,00
Custo de Manutenção (por ano)	R\$ 165.200,00	R\$ 59.000,00	R\$ 73.750,00	R\$ 64.900,00
Custo de instalação elétrica	R\$ 438.075,00	R\$ 379.665,00	R\$ 308.275,00	R\$ 32.450,00
Custo Elétrico Total (por ano)	R\$ 2.159.585,00	R\$ 1.407.261,00	R\$ 1.421.224,00	R\$ 130.114,00
Custo do Gás Natural	-	-	-	R\$ 927.243,65
Custo Fixo Total:	R\$ 1.323.075,00	R\$ 2.258.815,00	R\$ 1.724.275,00	R\$ 2.851.470,00
Custo Variável Anual Total:	R\$ 2.324.785,00	R\$ 1.466.261,00	R\$ 1.494.974,00	R\$1.122.257,65

Portanto, é possível notar desde já alguns pontos pertinentes, como o custo de cada sistema. Embora o sistema Split seja barato em relação ao investimento inicial e de fácil instalação, apresenta o maior gasto elétrico. Isso ocorre porque o sistema é pouco eficiente. No mercado nacional, a grande maioria dos equipamentos a venda são do tipo “on-off”, ou seja, o controle de temperatura ocorre ligando o compressor em carga máxima e desligando-o quando o set-point é atingido. Dessa forma, há um gasto muito maior de energia. Além disso, esses sistemas em geral

utilizam o refrigerante R-22, mostrado na figura 28, que é conhecido por agravar o efeito estufa caso vaze para a atmosfera.

Figura 28 – Botijão de gás R-22



Fonte: <http://refrijet.com.br/peças/wp-content/uploads/sites/2/2016/06/010035008-fundo-branco-3-1.png>

O fluido R-22 já está sendo substituído por outros tipos de refrigerantes. Sua produção já é proibida na maioria dos países, e sua utilização também já é restrita. O Regulamento CE nº 2037/2000 (EUR-Lex, 2000), da União Europeia, proíbe o uso do R-22 desde 2015 nos aparelhos de refrigeração convencionais. Sendo assim, o uso de sistemas Split com o uso de refrigerante R-22 acaba sendo perigoso para o meio ambiente, além de, futuramente, ser mais complicado para realizar manutenções de reabastecimento de gás. O uso de sistemas com fluidos ecologicamente corretos, como o R-134a e R-410a existe, porém em geral acompanham compressor do tipo inverter, e o custo deste equipamento é maior.

Já o sistema que utiliza o Chiller com compressor parafuso apresenta um bom custo de implantação e um custo elétrico e de manutenção relativamente baixo. Pesa contra ele o fato de necessitar de uma grande área técnica para instalação dos

Chillers – no caso deste estudo, seria necessário o uso de dois equipamentos para garantir o atendimento à carga térmica máxima possível no empreendimento. Além disso, por se tratar de um sistema de expansão indireta, seriam necessárias tubulações de água para transportar a água gelada para os equipamentos hidráulicos. Além do uso de bombas, trocadores de placa e válvulas, que não são necessárias nos sistemas de expansão direta e diminuindo a complexidade do sistema, as tubulações de água ocupam um espaço bem maior do que uma tubulação de cobre para transporte do fluido refrigerante. Sendo assim, há a necessidade de maior área para passagens em shafts e entre forros, além de um reforço estrutural na região de instalação dos chillers (caso estejam apoiados em lajes de cobertura ou em pavimento técnico, por exemplo).

O sistema VRF, embora com um COP menor que o Chiller, possui um melhor desempenho em cargas parciais, justificando o custo elétrico menor. Entretanto, trata-se de um equipamento importado, uma vez que o mercado nacional ainda usa muito pouco, inviabilizando sua produção em terras brasileiras. Sendo assim, possui um custo de investimento inicial muito alto. Além disso, em muitas regiões do país, falta mão de obra qualificada para realizar a manutenção do sistema, que embora seja simples, é mais complexa do que um sistema de expansão direta do tipo Split devido as dimensões de suas tubulações e por causa do sistema de comando e controle.

4.3 Benefícios, Barreiras e Vantagens

O sistema GHP, conforme os dados indicam, é um sistema muito caro. Assim como o VRF, sua produção é realizada apenas em países do exterior. Com o preço do dólar alto por causa da atual crise, sua importação acaba sendo extremamente cara, além do custo de transporte e impostos incidentes pela receita federal.

Além disso, são poucas empresas que estão fabricando tal sistema. Atualmente, as mais conhecidas são as japonesas Panasonic e Yanmar e a coreana LG. Sendo assim, os investimentos em pesquisa e desenvolvimento ainda não são tão grandes para uma disputa de mercado que acarrete na redução dos preços de produção.

Ademais, por depender de gás natural, é necessário que concessionárias disponibilizem o combustível encanado nas regiões em que se deseja aplicar este

tipo de sistema. Muitas regiões do país ainda não possuem esse tipo de distribuição, e, portanto, atualmente o uso do GHP é limitado a regiões economicamente mais desenvolvidas, que já fazem o uso deste tipo de fonte de energia.

Além do mais, existe a crença popular de que sistemas que utilizam gás natural não são seguros, uma vez que pode haver falta de fornecimento e explosões. Entretanto, o fornecimento de gás é extremamente confiável, ainda mais comparado com os sistemas convencionais de distribuição de eletricidade por meio de cabos, além dos equipamentos alimentados a gás natural serem dotados de diversos sistemas de proteção para evitar qualquer tipo de vazamento.

O uso do gás como fonte de energia é mais eficiente que o elétrico quando analisado o método de transporte. Enquanto a energia elétrica distribuída pelas redes existentes sofre do efeito joule, o gás encanado tem pouca ou nenhuma perda. Embora a eficiência de motores a combustão seja bem baixa, a possibilidade de reaproveitar o calor gerado pelo atrito e pela emissão de gases do motor aumenta muito sua eficiência. Além disso, sistemas de cogeração possuem incentivos fiscais, uma vez que visam um menor impacto ambiental. O Gas Heating Pump é extremamente flexível neste aspecto. Pode ser um sistema de cogeração, ou operar apenas como um equipamento para ar condicionado.

Por falar em flexibilidade, ele também permite ser usado como sistema de expansão indireta, produzindo água gelada caso o usuário assim deseje. Essa alternativa torna-se vantajosa caso se queira usar tanques de termo acumulação. Na termo acumulação, a máquina responsável por produzir a água gelada do sistema de climatização opera mesmo quando a carga térmica dos ambientes é baixa ou nula. Dessa forma, utiliza-se um tanque que armazena a água gelada ou até mesmo gelo que é produzido nesse período, representado na figura 29, podendo ser utilizado em horários em que a demanda do sistema de climatização é muito grande, como por exemplo o horário de almoço em shopping centers próximos a áreas com grande concentração de escritórios.

Ao invés de se utilizar um sistema muito robusto, com grandes equipamentos produtores de água gelada para vencer a carga térmica de períodos relativamente curtos, de duas a três horas, utiliza-se a água acumulada no período de pouco uso do sistema como complemento à potência térmica dos equipamentos disponíveis ou

em horários que a tarifa elétrica é maior, reduzindo tanto o tamanho da instalação quanto o gasto com energia elétrica ou de gás, no caso do GHP.

Figura 29 – Exemplo de tanque de gelo para termo acumulação.



Fonte: <http://www.alpinacalmac.com.br/images/tanque-calmac.jpg>

O sistema GHP também tem o grande diferencial de poder gerar energia elétrica através de geradores elétricos acoplados no motor a combustão. É possível, inclusive, reduzir o consumo elétrico do sistema, que já é baixo, a zero, ou então conectar-se à rede elétrica e produzir energia elétrica, tornando o empreendimento um local de micro geração de energia elétrica.

4.4 Análise Econômica

Para a análise econômica, serão estipulados os seguintes parâmetros:

- As taxas mínimas de atratividade se manterão constantes ao longo do tempo, já que é muito complexo prever sua variação ao longo dos anos.
- As taxas de atratividade adotadas serão de 12% no cenário realista, 15% para o cenário pessimista e 8% para o cenário otimista, por um período de até 10 anos, pois se trata da vida útil aproximada da instalação do sistema Split com uma manutenção bem feita e sem imprevistos.
- Serão realizadas três análises econômicas: Payback, TIR e VPL.
- As tarifas de energia elétrica e de gás natural serão conforme apresentado anteriormente. Será levado em consideração que as tarifas de energia elétrica utilizadas consideram a taxação de bandeira amarela.
- Os cálculos não irão considerar a possibilidade de produção de cogeração e produção de energia elétrica pelo sistema GHP, bem como não irá levar em consideração qualquer tipo de reaproveitamento de energia nos outros sistemas. Entretanto, a análise final vai levar em conta essa possibilidade.
- O sistema do tipo Split será utilizado como referência para todos os cálculos.

4.4.1 Payback

O payback simples permite ter uma ideia do tempo de retorno de um investimento, levando em consideração seu custo e seu retorno ou economia.

Para a análise deste caso, o sistema de ar condicionado do tipo Split será usado como referência. Sendo assim, o custo do investimento dos outros sistemas será mantido, e a diferença de custo mensal/anual do gasto com manutenção e consumo elétrico entre o sistema Split e os sistemas VRF, Chiller e GHP será usado para definir o período em que a troca de equipamento se torna vantajosa.

O payback simples, embora não tão preciso quanto o payback descontado em que as taxas de juros são levadas em consideração para o cálculo, é muito usado para algumas tomadas de decisões no mercado, uma vez que é um cálculo rápido de ser realizado e serve para se ter uma ideia de que rumo seguir ao planejar um investimento.

	Split	VRF	Chiller a parafuso	GHP
Gasto Anual (manutenção e energia elétrica)	R\$ 2.324.785,00	R\$ 1.466.261,00	R\$ 1.494.974,00	R\$ 1.122.257,65
Diferença em relação ao sistema Split		-R\$ 858.524,00	-R\$ 829.811,00	-R\$ 1.202.527,35

A solução que utiliza o sistema VRF e a que utiliza o Chiller a parafuso possuem uma economia anual bem próximas uma à outra. O sistema GHP apresenta uma economia até 45% maior em relação a esses dois sistemas, graças ao baixo consumo elétrico e a utilização do gás natural como fonte de combustível, que possui tarifas mais vantajosas.

Levando em consideração o custo de investimento inicial e analisando o Payback de cada solução:

Payback Simples	Ano	VRF	Chiller a parafuso	GHP
Investimento Inicial	-	R\$ 2.258.815,00	R\$ 1.724.275,00	R\$ 2.851.470,00
	0	R\$ 2.258.815,00	R\$ 1.724.275,00	R\$ 2.851.470,00
	1	R\$ 1.400.291,00	R\$ 894.464,00	R\$ 1.648.942,65
	2	R\$ 541.767,00	R\$ 64.653,00	R\$ 446.415,30
	3	-R\$ 316.757,00	-R\$ 765.158,00	-R\$ 756.112,05
	4	-R\$ 1.175.281,00	-R\$ 1.594.969,00	-R\$ 1.958.639,40

Nesta análise simples, todos os sistemas se pagam em um tempo relativamente pequeno, quando realizada a troca do sistema do tipo Split por qualquer um deles.

O sistema VRF torna-se viável a partir de 2 anos e 7 meses. Ou seja, a partir do segundo ano e oitavo mês, a economia de energia por utilizar um sistema mais eficiente já traz um retorno ao investidor.

Para o sistema de expansão indireta, o sistema já se torna economicamente viável em 2 anos e 3 meses após sua instalação.

Finalmente, para o GHP, mesmo em se tratando de um investimento inicial muito maior, seu retorno ocorre em 2 anos e 8 meses similar ao VRF.

Por isso, é preciso sofisticar o cálculo. A análise do Payback descontado leva em consideração a taxa mínima de atratividade, ou uma taxa de juros, para realizar a análise do retorno sobre o investimento. Neste caso, o fluxo de economia é ajustado para que o valor dos anos posteriores ao ano inicial seja corrigido para o valor atual. Dessa forma, a análise torna-se muito mais realista e confiável.

Sendo assim, para a taxa de 12% ao ano (cenário realista), para cada tipo de equipamento, os valores são:

Payback Descontado	Ano	VRF	Fluxo de economia	Valor Ajustado
Investimento Inicial	-	R\$ 2.258.815,00		
Taxa: 12% ao ano	0		R\$ 858.524,00	R\$ 2.258.815,00
	1		R\$ 766.539,29	R\$ 1.492.275,71
	2		R\$ 684.410,08	R\$ 807.865,64
	3		R\$ 611.080,43	R\$ 196.785,21
	4		R\$ 545.607,52	-R\$ 348.822,31

Payback Descontado	Ano	Chiller	Fluxo de economia	Valor Ajustado
Investimento Inicial	-	R\$ 1.724.275,00		
Taxa: 12% ao ano	0		R\$ 829.811,00	R\$ 1.724.275,00
	1		R\$ 740.902,68	R\$ 983.372,32
	2		R\$ 661.520,25	R\$ 321.852,07
	3		R\$ 590.643,08	-R\$ 268.791,01
	4		R\$ 527.359,89	-R\$ 796.150,90

Payback Descontado	Ano	GHP	Fluxo de economia	Valor Ajustado
Investimento Inicial	-	R\$ 2.851.470,00		
Taxa: 12% ao ano	0		R\$ 1.202.527,35	R\$ 2.851.470,00
	1		R\$ 1.073.685,13	R\$ 1.777.784,87
	2		R\$ 958.647,44	R\$ 819.137,43
	3		R\$ 855.935,22	-R\$ 36.797,79
	4		R\$ 764.227,87	-R\$ 801.025,66

É possível notar como o valor inicial investido começa a fazer diferença neste caso. O VRF agora possui um retorno de 3 anos e 4 meses, ao contrário dos 2 anos e 7 meses anterior. O Chiller a parafuso continua sendo muito vantajoso, com um retorno de 2 ano e 6 meses. Já o sistema GHP agora apresentou retorno em 3 anos praticamente, quatro meses menos que o sistema VRF.

Variando as taxas para o caso otimista (8% ao ano) temos:

Payback Descontado	Ano	VRF	Fluxo de economia	Valor Ajustado
Investimento Inicial	-	R\$ 2.258.815,00		
Taxa: 8% ao ano	0		R\$ 858.524,00	R\$ 2.258.815,00
	1		R\$ 794.929,63	R\$ 1.463.885,37
	2		R\$ 736.045,95	R\$ 727.839,42
	3		R\$ 681.524,03	R\$ 46.315,39
	4		R\$ 631.040,77	-R\$ 584.725,38

Payback Descontado	Ano	Chiller	Fluxo de economia	Valor Ajustado
Investimento Inicial	-	R\$ 1.724.275,00		
Taxa: 8% ao ano	0		R\$ 829.811,00	R\$ 1.724.275,00
	1		R\$ 768.343,52	R\$ 955.931,48
	2		R\$ 711.429,18	R\$ 244.502,30
	3		R\$ 658.730,73	-R\$ 414.228,43
	4		R\$ 609.935,86	-R\$ 1.024.164,29

Payback Descontado	Ano	GHP	Fluxo de economia	Valor Ajustado
Investimento Inicial	-	R\$ 2.851.470,00		
Taxa: 8% ao ano	0		R\$ 1.202.527,35	R\$ 2.851.470,00
	1		R\$ 1.113.451,25	R\$ 1.738.018,75
	2		R\$ 1.030.973,38	R\$ 707.045,37
	3		R\$ 954.604,98	-R\$ 247.559,61
	4		R\$ 883.893,50	-R\$ 1.131.453,11

Não há uma mudança muito significativa no tempo de retorno para cada tipo de equipamento. O VRF torna-se viável quase que exatamente após 3 anos de investimento, o empreendimento com o Chiller após 2 anos e 5 meses e para o GHP temos um retorno em 2 anos e 9 mês. Neste caso, apenas o sistema VRF sofreu uma grande variação (4 meses).

Na hipótese do caso pessimista, em que as taxas de juros são maiores:

Payback Descontado	Ano	VRF	Fluxo de economia	Valor Ajustado
Investimento Inicial	-	R\$ 2.258.815,00		
Taxa: 15% ao ano	0		R\$ 858.524,00	R\$ 2.258.815,00
	1		R\$ 746.542,61	R\$ 1.512.272,39
	2		R\$ 649.167,49	R\$ 863.104,91
	3		R\$ 564.493,47	R\$ 298.611,44
	4		R\$ 490.863,88	-R\$ 192.252,44

Payback Descontado	Ano	Chiller	Fluxo de economia	Valor Ajustado
Investimento Inicial	-	R\$ 1.724.275,00		
Taxa: 15% ao ano	0		R\$ 829.811,00	R\$ 1.724.275,00
	1		R\$ 721.574,78	R\$ 1.002.700,22
	2		R\$ 627.456,33	R\$ 375.243,88
	3		R\$ 545.614,20	-R\$ 170.370,32
	4		R\$ 474.447,13	-R\$ 644.817,45

Payback Descontado	Ano	GHP	Fluxo de economia	Valor Ajustado
Investimento Inicial	-	R\$ 2.851.470,00		
Taxa: 15% ao ano	0		R\$ 1.202.527,35	R\$ 2.851.470,00
	1		R\$ 1.045.675,96	R\$ 1.805.794,04
	2		R\$ 909.283,44	R\$ 896.510,60
	3		R\$ 790.681,25	R\$ 105.829,35
	4		R\$ 687.548,92	-R\$ 581.719,56

Nesta hipótese, os retornos são de 3 anos e 7 meses para o VRF, 2 anos e 8 meses para o Chiller e 3 anos e 2 meses para o GHP.

4.4.2 TIR

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa que iguala o valor presente de todos os fluxos futuros com o investimento inicial, de forma que o Valor Presente Líquido (VPL) seja nulo. Através do cálculo da TIR, é possível decidir quando vale a pena realizar um investimento.

Caso a TIR seja maior do que a taxa mínima de atratividade, o investimento está com uma taxa de retorno maior do que a taxa de retorno mínima exigida. Dessa forma, o investimento vale a pena no aspecto financeiro.

Caso a TIR seja menor, o investimento resulta em uma taxa de retorno menor do que as taxas vigentes. Dessa forma, vale mais a pena investir o dinheiro ao invés de gastá-lo com a reforma.

Se a TIR for igual à taxa mínima de atratividade, é indiferente ao dono do empreendimento realizar a modificação do sistema ou manter o sistema Split e investir o dinheiro em algo diferente.

Para os três sistemas, durante 10 anos, a TIR resultante é:

	VRF	CHILLER	GHP
	Investimento Inicial		
	R\$2.258.815,00	R\$1.724.275,00	R\$2.851.470,00
Anos	Economia em relação ao sistema Split por ano		
0	R\$ 858.524,00	R\$829.811,00	R\$1.202.527,35
1	R\$ 858.524,00	R\$829.811,00	R\$1.202.527,35
2	R\$ 858.524,00	R\$829.811,00	R\$1.202.527,35
3	R\$ 858.524,00	R\$829.811,00	R\$1.202.527,35
4	R\$ 858.524,00	R\$829.811,00	R\$1.202.527,35
5	R\$ 858.524,00	R\$829.811,00	R\$1.202.527,35
6	R\$ 858.524,00	R\$829.811,00	R\$1.202.527,35
7	R\$ 858.524,00	R\$829.811,00	R\$1.202.527,35
8	R\$ 858.524,00	R\$829.811,00	R\$1.202.527,35
9	R\$ 858.524,00	R\$829.811,00	R\$1.202.527,35
10	R\$ 858.524,00	R\$829.811,00	R\$1.202.527,35
TIR	36,80%	47,50%	41,20%

Com esse resultado, nota-se que em todos os cenários propostos para a análise, qualquer sistema utilizado alternativamente é vantajoso. Não seria vantajoso para o VRF com taxas acima de 37% e para o GHP apenas com taxas acima de 42%, enquanto o chiller necessita de uma taxa de mais de 48% para não ser vantajoso. Entretanto, a última vez em que algum desses valores foram ultrapassado no Brasil foi em janeiro de 1999. Nesses últimos 17 anos, as taxas de juros sempre foram abaixo desses valores. Sendo assim, é muito pouco provável um cenário econômico em que o investimento da troca da proposta de climatização deste estudo não seja viável.

4.4.3 VPL

O valor presente líquido é o cálculo que corrige os valores futuros de fluxos de caixa, ou neste caso da economia de dinheiro, para o valor presente e subtrai da somatória desses valores o investimento inicial realizado.

Caso o valor do VPL seja maior que zero, isso significa que a economia de dinheiro que haverá ao longo do tempo é maior do que o dinheiro investido hoje, sendo assim a aplicação de recursos na mudança de sistema vale a pena.

Já se o valor do VPL for menor que zero, o valor do retorno ao longo do período analisado não é o bastante para pagar o investimento inicial, e assim sendo não é vantajoso.

Finalmente, se o valor presente líquido for igual a zero, é indiferente realizar a troca dos equipamentos ou manter o original.

Portanto, o valor presente líquido para cada situação é de:

- Cenário realista:

	VRF	CHILLER	GHP
Taxa: 12%	Investimento Inicial		
	R\$ 2.203.650,00	R\$ 1.724.275,00	R\$ 2.851.470,00
Anos	Economia em relação ao sistema Split		
0	R\$ 858.524,00	R\$ 829.811,00	R\$ 1.202.527,35
1	R\$ 766.539,29	R\$ 740.902,68	R\$ 1.073.685,13
2	R\$ 684.410,08	R\$ 661.520,25	R\$ 958.647,44
3	R\$ 611.080,43	R\$ 590.643,08	R\$ 855.935,22
4	R\$ 545.607,52	R\$ 527.359,89	R\$ 764.227,87
5	R\$ 487.149,57	R\$ 470.857,05	R\$ 682.346,31
6	R\$ 434.954,98	R\$ 420.408,08	R\$ 609.237,78
7	R\$ 388.352,66	R\$ 375.364,35	R\$ 543.962,30
8	R\$ 346.743,44	R\$ 335.146,75	R\$ 485.680,63
9	R\$ 309.592,36	R\$ 299.238,17	R\$ 433.643,42
10	R\$ 276.421,75	R\$ 267.176,93	R\$ 387.181,62
VPL	R\$ 3.505.726,08	R\$ 3.794.153,22	R\$ 5.145.605,08

- Cenário otimista:

	VRF	CHILLER	GHP
Taxa: 8%	Investimento Inicial		
	R\$ 2.203.650,00	R\$ 1.724.275,00	R\$ 2.851.470,00
Anos	Economia em relação ao sistema Split		
0	R\$ 858.524,00	R\$ 829.811,00	R\$ 1.202.527,35
1	R\$ 794.929,63	R\$ 768.343,52	R\$ 1.113.451,25
2	R\$ 736.045,95	R\$ 711.429,18	R\$ 1.030.973,38
3	R\$ 681.524,03	R\$ 658.730,73	R\$ 954.604,98
4	R\$ 631.040,77	R\$ 609.935,86	R\$ 883.893,50
5	R\$ 584.297,01	R\$ 564.755,42	R\$ 818.419,91
6	R\$ 541.015,75	R\$ 522.921,69	R\$ 757.796,21
7	R\$ 500.940,51	R\$ 484.186,75	R\$ 701.663,16
8	R\$ 463.833,80	R\$ 448.321,06	R\$ 649.688,11
9	R\$ 429.475,74	R\$ 415.112,10	R\$ 601.563,06
10	R\$ 397.662,73	R\$ 384.363,05	R\$ 557.002,84
VPL	R\$ 4.415.639,92	R\$ 4.673.635,36	R\$ 6.420.113,75

- Cenário pessimista:

Taxa: 15%	VRF	CHILLER	GHP
	Investimento Inicial		
	R\$ 2.203.650,00	R\$ 1.724.275,00	R\$ 2.851.470,00
Anos	Economia em relação ao sistema Split		
0	R\$ 858.524,00	R\$ 829.811,00	R\$ 1.202.527,35
1	R\$ 746.542,61	R\$ 721.574,78	R\$ 1.045.675,96
2	R\$ 649.167,49	R\$ 627.456,33	R\$ 909.283,44
3	R\$ 564.493,47	R\$ 545.614,20	R\$ 790.681,25
4	R\$ 490.863,88	R\$ 474.447,13	R\$ 687.548,92
5	R\$ 426.838,16	R\$ 412.562,72	R\$ 597.868,62
6	R\$ 371.163,62	R\$ 358.750,19	R\$ 519.885,76
7	R\$ 322.750,97	R\$ 311.956,69	R\$ 452.074,57
8	R\$ 280.653,02	R\$ 271.266,69	R\$ 393.108,32
9	R\$ 244.046,10	R\$ 235.884,08	R\$ 341.833,33
10	R\$ 212.214,00	R\$ 205.116,59	R\$ 297.246,37
VPL	R\$ 2.963.607,32	R\$ 3.270.165,41	R\$ 4.386.263,89

4.4.4 Discussão de resultados

Os cálculos dos tópicos anteriores definem uma série de informações relevantes. Primeiramente, o alto consumo elétrico do sistema Split não compensa financeiramente, dentro dos parâmetros utilizados, pois o gasto com manutenção e tarifas de energia é excessivamente elevado, além de se tratar de um sistema pouco eficiente.

Os cálculos da taxa interna de retorno demonstram que, a não ser que uma grave crise econômica no país ocorra, muito maior das que atingiram a nação nos últimos tempos, não há razão para utilizar o sistema original em decorrência dos outros propostos. Caso essa situação ocorresse, provavelmente o preço do real em relação ao dólar seria muito maior, aumentando muito o custo do investimento inicial

para os equipamentos importados, como o VRF e o GHP. Dessa forma, é muito provável que a alternativa utilizando estas máquinas fosse inviabilizada.

O estudo do Payback demonstrou que, para as situações abordadas, a diferença de tempo do retorno de investimento entre cada alternativa é muito pequena. No pior dos casos, o sistema de água gelada seria pago em dois anos e três meses, enquanto os sistemas concorrentes se pagariam com uma diferença de poucos meses. Considerando os prós e contras de cada proposta, é um período de tempo muito pequeno para inviabilizar totalmente o investimento em qualquer solução apresentada.

Já na análise utilizando o valor presente líquido, temos um cenário muito positivo ao GHP em comparação com os outros sistemas comparados. Em todos os casos a utilização do equipamento com motor a gás é mais vantajosa, pois a economia de gastos em relação ao investimento despendido para sua instalação é maior, inclusive no cenário pessimista. A diferença dos resultados é significativa.

Tabela 3 – Comparação de resultados

Variação em relação a taxa de:	GHP em relação a VRF	GHP em relação ao CHILLER
15%	48,00%	34,12%
12%	46,77%	35,62%
8%	45,39%	37,37%

Fonte: Própria

O GHP, sendo sempre economicamente melhor, permite inclusive analisar os fatores não considerados para a análise financeira.

Um dos fatores é a utilização da bandeira amarela para cálculo da tarifa de energia elétrica da concessionária AES Eletropaulo. Caso fosse utilizada a tarifa verde, aonde não há aumento da tarifa, os gastos com eletricidade dos sistemas elétricos seria menor, provavelmente sendo tão ou mais competitivos que o GHP. O uso da tarifa amarela deve-se ao fato do Brasil acabar de passar por uma crise hídrica, afetando a produção de energia por hidrelétricas. O próprio conceito de se usar o GHP já é relevante neste aspecto, pois se trata de uma fonte de energia alternativa ao que é utilizado no país, contornando o risco da dependência excessiva do sistema hidrelétrico.

Assim como a tarifa amarela beneficia o equipamento com motor a gás, se os cálculos fossem baseados na tarifação da bandeira vermelha, como até pouco tempo ocorria no país, a proposta seria ainda mais vantajosa, já que a tarifa elétrica seria muito maior.

Do mesmo modo, poderia ser realizada a análise de reaproveitamento de energia da queima de combustível dos motores a gás do GHP, e/ou a geração elétrica e fornecimento para a rede da concessionária ou para uso no próprio empreendimento. Nestes dois casos, o investimento inicial seria maior, pois se faria necessário a implantação de outros componentes, como geradores, bombas de água, tubulações, entre outros. Mas, sem sombras de dúvidas, o retorno desse investimento seria ainda maior, já que haveria um consumo global de energia menor por parte do empreendimento. Além disso, não se pode garantir que as tarifas elétricas vão se manter nos valores utilizados para os cálculos para sempre, sendo muito provável que elas aumentem acima da inflação no período de 10 anos analisado.

5 CONCLUSÃO

Com as comparações dos equipamentos usualmente aplicados nos sistemas de climatização no Brasil, é possível chegar a algumas conclusões.

Inicialmente, em relação à tecnologia empregada, conclui-se que os sistemas Split são extremamente simples, sendo o foco deste tipo de máquina apenas a refrigeração do ar do ambiente. Pela falta de sofisticação, não é uma alternativa econômica do ponto de vista elétrico, e sim financeiro. Por serem aparelhos bem conhecidos pelo mercado, muitas empresas possuem sua própria linha de equipamentos. Não é incomum encontrar em feiras destinadas à produtos de climatização e ar condicionado empresas chinesas em busca de oportunidades de venda no país.

Há cinco anos, a empresa chinesa Midea, maior exportadora de ar condicionado do mundo na época, adquiriu 51% das ações da empresa americana Carrier e Springer na América Latina, além de possuir a marca chamada Comfee, cuja linha de produtos apresenta preços menores que a concorrência.

Essa grande quantidade de fabricantes auxilia na queda do preço do produto graças à disputa de mercado. Entretanto, cada vez mais as empresas buscam alternativas mais baratas para poder competir comercialmente, importando e/ou fabricando produtos cada vez mais simplificados, não garantindo a confiabilidade do sistema. Muitos equipamentos param de funcionar com pouco tempo de uso, resultando em mais gastos com manutenção e podendo inclusive ocorrer constantes vazamentos de gás, aumentando o preço de manutenção.

Além disso, como o foco destas empresas é o consumidor doméstico, em que a realidade é que não há preocupação com controle de umidade, um sistema de automação predial ou qualidade do ar interno, muitos componentes exigidos pela NBR ABNT 16401, como grau de filtragem mínimo do ar realizado por filtros na máquina, são omitidos no equipamento final. Logo, quando grandes empreendimentos buscam a instalação do sistema de ar condicionado, acabam selecionando os modelos do tipo Split, pois há uma grande gama de opções comercializados nos mais variados preços, e em geral o projeto, quando realizado,

acaba sendo extremamente simples, mesmo que ignore diversas recomendações das normas nacionais e internacionais.

Quando migramos para clientes que visam um sistema de ar condicionado mais elaborado, em busca de controle de temperatura mais rigoroso, umidade e filtragem do ar, e que se preocupam com o nível de controle sobre os equipamentos e o gasto com manutenção e consumo elétrico, o nível de sofisticação tanto no projeto quanto no equipamento a ser utilizado tende a ser muito maior, encarecendo o preço da instalação.

Assim sendo, as soluções usuais no mercado, como os sistemas de produção de água gelada através de Chillers ou um sistema de expansão direta com baixo consumo elétrico e flexibilidade de instalação, como o sistema VRF, são mais comuns.

Os Chillers dependem muito de um bom espaço técnico para ser instalado, além de um sistema hidráulico, com grandes bitolas de tubulação atravessando a estrutura do local, bombas, a possibilidade do uso de torres de resfriamento e outras particularidades. Em grandes metrópoles esse espaço a ser disponibilizado para máquinas custa muito caro, já que em geral novos empreendimentos são instalados em áreas cada vez menores. Quando se trata de um retrofit, o uso de grandes tubulações de água pode ser inviável por questões estruturais e arquitetônicas, como pé direito baixo e entre forro pequeno, inexistência de shafts técnicos ou problemas similares. Sem contar toda a infraestrutura para suportar máquinas que passam dos 500 kg facilmente.

Outro ponto interessante nas regiões aonde o ar condicionado é alimentado por água gelada é que existe oportunidade de reaproveitamento de energia ou de maneiras de se economizar, como o uso de tanques de termo acumulação para atender horários de ponta ou horários de picos de carga térmica, a produção de água quente pelo sistema de condensação do chiller, ou até mesmo o uso de chillers de absorção para a cogeração, e em todos os casos o contra ponto é o maior uso de área técnica, maior complexidade do sistema e maior valor investido.

Além disso, é necessário mão de obra qualificada para realizar a instalação, uma vez que o sistema a água gelada é mais complexo do que a instalação de Splits, já que é necessário o balanceamento e ajuste do sistema hidráulico, a instalação de controle em válvulas motorizadas para manter correta a vazão de água

gelada nos fan coils ou fancoletes, além de algumas limitações. Usualmente, quando um edifício ou estabelecimento conta com um sistema de climatização por água gelada e há regiões a serem climatizadas com muitos componentes eletrônicos, como salas de CPD e pequenos Data Centers, os projetistas que elaboram os projetos preferem usar um sistema Split separadamente para atender tais salas, já que um vazamento da tubulação de água pode comprometer todos os equipamentos do ambiente.

Já os sistemas VRF são flexíveis, podendo ser adequados em espaços menores disponíveis para sua instalação. Já são integrados com um sistema de automação de fábrica, permitindo que a supervisão e controle do sistema sejam feitas com facilidade. Entretanto, pela baixa utilização no país, os fabricantes desta alternativa ainda importam todas as unidades ao invés de fabricar no Brasil. Isso encarece muito o equipamento, além de sofrer da instabilidade econômica, variando seu custo de acordo com o preço do dólar no mercado.

Tanto o uso de chillers como de VRF ou GHP exigem um cuidado na elaboração de um projeto detalhado, aonde são estudados os locais de instalação, o selecionamento de equipamentos é realizado após cálculos precisos de carga térmica, e toda a infraestrutura do sistema é bem dimensionada. Assim, a instalação final será muito melhor aproveitada, contará com melhores condições para manutenção e operação. Quando se trata de sistema do tipo Split, é comum que nem ao menos haja um projeto, já que é um custo que as pessoas que querem contar com a climatização preferem cortar.

Analisando cada solução usualmente utilizada, é possível notar que o GHP possui qualidades que aparecem em cada um dos outros sistemas. O sistema a gás garante flexibilidade à instalação de ar condicionado, já que pode ser instalado em menores áreas e por ser modular também pode ser separado, com equipamentos posicionados nas regiões aonde será utilizada a climatização, ou então concentrando em grandes quantidades próximo às regiões aonde há maior concentração de carga térmica.

Além da vantagem econômica conforme elaborado nos cálculos do capítulo anterior, é preciso destacar que as condições de contorno adotadas para a análise econômica se baseia em situações hipotéticas e com difícil reprodução na vida real, mas o cenário criado é pouco vantajoso ao gas heating pump, pois não é levado em

consideração a variação dos custos de energia elétrica ou energia a gás. Em situações críticas do parque elétrico nacional, é extremamente provável que a tarifação de energia elétrica seja afetada, mas a de gás possua uma alteração muito inferior.

Também é uma excelente solução para aproveitar outros recursos energéticos. Uma vez que o uso de termelétricas no país use bastante os geradores alimentados por combustíveis fósseis, o uso do gás para a geração de frio no ar condicionado é uma proposta ecologicamente agradável, graças à menor produção de produtos nocivos por parte da queima do gás natural.

Outro grande ponto positivo é a possibilidade de utilizar o GHP como um equipamento de cogeração, e até mesmo como gerador de energia elétrica. Considerando esses dois fatores, a análise econômica seria ainda mais vantajosa para o sistema.

Como contra ponto, pode-se destacar a pouca receptividade dos equipamentos no mercado nacional. Isso se deve à falta de costume no pensamento em longo prazo, em que o dinheiro do investimento inicial é muito mais importante para o investidor do que o dinheiro que ele pode deixar de gastar em alguns anos. Também por se tratar de máquinas importadas, com pouco *know how* nas instalações no país, o medo da demora em resolução de problemas na manutenção acaba afastando a ideia da utilização desses equipamentos.

Como recomendação de aplicação, graças ao seu excelente desempenho em cargas parciais, o uso em locais com grande variabilidade de carga térmica torna-se uma excelente ideia, tais como escolas, hotéis, shoppings centers e centros comerciais ou similares.

Para empreendimentos com necessidades de sistemas de ar condicionado muito robustos, como hospitais ou edifícios corporativos com diversas torres em que a capacidade dos equipamentos ultrapassa as mil toneladas de refrigeração, o uso de chillers ainda se torna mais conveniente, já que existem máquinas de produção de água gelada de grandes capacidades, enquanto o GHP ainda é limitado a pequenas potências em comparação.

Além do mais, se usado como sistema de expansão direta, a limitação do equipamento, assim como ocorre com o VRF ou outras máquinas do gênero, é dada

ela distância máxima que a tubulação de cobre com o fluido refrigerante pode percorrer sem que haja perda de capacidade pelo atrito entre fluido e cobre.

Seria muito interessante que propostas como a do GHP fossem mais utilizadas no território nacional, já que é positivo para os empreendimentos que adotarem esta solução e também é bom para a população em geral, pois a disponibilidade da energia elétrica será destinada para o uso doméstico ou industrial, alavancando a economia do país.

Com o desenvolvimento do mercado para este tipo de sistema, talvez o governo incentivasse o seu uso para depender menos do atual sistema elétrico, reduzindo impostos dos empreendimentos que a instalassem, incentivando sua importação com a redução de tarifas alfandegárias ou até mesmo investindo em tecnologia para a fabricação no país.

BIBLIOGRAFIA

AES ELETROPAULO. São Paulo. Dados de tarifas de energia elétrica. Disponível em: <<https://www.aeseletropaulo.com.br>>. Acessado em: 05 de novembro de 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Matriz de energia elétrica do Brasil. Brasília: 2016. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br>>. Acessado em: 02 de novembro de 2016.

ANDREOS, Ronaldo. **Estudo de viabilidade técnico-econômica de pequenas centrais de cogeração a gás natural no setor terciário do estado de São Paulo**. Dissertação de Mestrado. São Paulo: Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401**. Instalações de ar condicionado – Sistemas centrais e unitários. Rio de Janeiro. 2008. 60p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONANDO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO. Curso SMACNA de educação continuada em tratamento de ar, 2015. Módulo I a VI.

ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A., **Termodinâmica**, 5a Ed. McGraw-Hill, Inc., 2006.

COMPANHIA DE GÁS DE SÃO PAULO. Apresentação: GHP como solução eficiente e segura para climatização em prédios comerciais. São Paulo: 2016.

CREDER, H. **Instalações de Ar Condicionado**. 6ª Edição. Rio de Janeiro: LTC. 2004

DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICA E ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS. Nota técnica número 147. Comportamento das tarifas de energia elétrica no Brasil, 2015.

HITACHI AR CONDICIONADO DO BRASIL LTDA, Catálogo de equipamentos. Disponível em: <<http://www.hitachiapb.com.br>>. Acessado em: 13 de outubro de 2016.

HORLOCK, J.A. **Cogeneration: combined heat and power**. Exeter, Pergamon Press, 1987.

IENO, G. ; NEGRO, L. **Termodinâmica**. São Paulo: P. P. Hall. 2004

JORNAL OFICIAL DA UNIÃO EUROPÉIA, Regulamento relativo às substâncias que empobrecem a camada de ozônio. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/homepage.html>>. Acessado em: 23 de outubro de 2016.

LG ELETRONICS DO BRASIL LTDA, Catálogo de equipamentos e consulta geral. Disponível em: <<http://http://www.lg.com/br>>. Acessado em: 11 de outubro de 2016.

MILLER, REX, **Refrigeração e ar condicionado**. Rio de Janeiro: LTC. 2008.

MORAN, M. J., SHAPIRO, H. N. – **Princípios de Termodinâmica para a Engenharia**. Rio de Janeiro: LTC. 2002.

SONNTAG, R. E. ; BORGNAKKE, C.; VAN WYLEN, G. J.; **Fundamentos da termodinâmica**. São Paulo. Edgard Blücher. 2002.

STOECKER, WILBERT F, **Refrigeração e ar condicionado**. São Paulo. McGraw-Hill do Brasil. 1985

YANMAR CO. LTD. Catálogo e descrição de equipamentos. Disponível em <<https://www.yanmar.com>>. Acesso em: 28 de outubro de 2016.