ANTONIO LUIZ ZAMBELLI LOYOLA GONZAGA MENDONÇA

**AVALIAÇÃO ENERGÉTICA E ECONÔMICA DE UM CICLO DE
REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO APLICADO A HOTÉIS**

São Paulo

2017

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
MECÂNICA**

**AVALIAÇÃO ENERGÉTICA E ECONÔMICA DE
UM CICLO DE REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO
APLICADO A HOTÉIS**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para a
obtenção do título de Mestre em Ciências.**

**Área de Concentração:
Engenharia Mecânica**

**Antonio Luiz Zambelli Loyola Gonzaga Mendonça
Orientador: Prof. Dr. Alberto Hernandez Neto**

**São Paulo
2017**

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Mendonça, Antonio Luiz Zambelli Loyola Gonzaga

Avaliação energética e econômica de um ciclo de refrigeração por absorção aplicado a hotéis / A. L. Z. L. G. Mendonça -- versão corr. -- São Paulo, 2017.
91 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1.Cogeração 2.Otimização 3.Absorção 4.Refrigeração 5.Hotel I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II.t.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos professores que
tive ao longo da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, à minha esposa Carolina e meu filho Matias, por terem acompanhado de perto a minha formação no mestrado, sempre me apoiando e acreditando no meu potencial, e por poder contar com eles nos momentos felizes e tristes.

Aos meus pais e irmãos, por todo o apoio e estímulo desde o meu primeiro dia de vida.

Ao professor Alberto Hernandez Neto, pela orientação de todo o meu trabalho no mestrado, pelo enorme interesse em transmitir o conhecimento que possui, e que com muita paciência e competência contribuiu diretamente na elaboração deste trabalho.

Sumário

Lista de Figuras	vi
Lista de Tabelas	vii
Resumo	ix
Abstract	x
1. Introdução.....	1
1.1. Setor Hoteleiro e o Cenário no Brasil.....	2
1.2. Cogeração e o Setor Elétrico Brasileiro	2
1.3. Objetivo	3
1.4. Motivação	4
1.5. Revisão Bibliográfica	6
2. Metodologia	11
3. Caracterização dos Sistemas de Cogeração	12
4. Sistemas de Climatização.....	16
4.1. Conforto Térmico e o Uso de Climatização em Hotéis.....	17
4.2. Critérios para a Escolha do Sistema de Climatização.....	18
4.3. Controle da Qualidade do Ar Interno	18
4.4. Custos Iniciais de Implantação	18
4.5. Desempenho Energético do Sistema.....	18
4.6. Posicionamento dos Equipamentos na Parte Interna e/ou Externa da Edificação.....	19
4.7. Interferência Estética na Fachada do Edifício	19
5. Ciclo de Refrigeração por Absorção	20
5.1. Unidade por Absorção Básica	21
5.2. Princípio de Operação	22
5.3. Definição de Eficácia de um Ciclo por Absorção.....	23
5.4. Refrigerante e Absorvente	25
6. Sistema de Moto-gerador com Cogeração.....	27
7. Modelo do Sistema de Aquecimento de Água	29
7.1. Sistema Individual	31
7.2. Sistema Central Privado	31
7.3. Sistema Central Coletivo	31
7.4. Tipos de Aquecimento de Água.....	32
7.5. Aquecedores a Gás Instantâneo ou de Passagem	32
7.6. Aquecedores a Gás por Acumulação	34
8. Caracterização do Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	36

8.1.	Gás Liquefeito do Petróleo (GLP)	38
8.1.1.	Origem do Uso do GLP no Mundo	38
8.1.2.	Mercado Brasileiro de GLP	40
8.1.3.	Análise Histórica de Preços	44
8.1.4.	Sistema de Precificação Atual	45
9.	Consumo de Energia no Setor Comercial	46
9.1.	Distribuição dos Equipamentos de Climatização no Setor Comercial	47
9.2.	Segmento de Hotelaria no Brasil	48
9.3.	Evolução da Taxa de Ocupação por Regiões	49
10.	Modelagem	51
10.1.	Pesquisa de Consumo Energético em Hotéis de São Paulo	51
10.2.	Arquivo Climático e Temperatura da Água da Rede	51
10.3.	Modelo de Referência da Edificação	56
10.3.1.	Características Gerais dos Empreendimentos Ibis Budget®	56
10.3.2.	Características do Projeto Arquitetônico	57
10.3.3.	Características Construtivas da Edificação	59
10.3.4.	Parâmetros para Cálculo da Carga Térmica no Hotel	61
10.3.5.	Parâmetros para Simulação do Resfriador Convencional (Ciclo de Refrigeração por Compressão de Vapor)	62
10.4.	Modelo do Sistema de Refrigeração por Absorção	63
10.4.1.	Principais Aplicações dos Ciclos de Refrigeração por Absorção no Setor Hoteleiro	65
10.5.	Configuração do Sistema Convencional (SC)	65
10.6.	Configuração do Sistema Proposto (SP)	66
10.7.	Configuração do Sistema <i>Retrofit</i> (CR)	70
11.	Análise de Viabilidade dos Modelos Propostos	71
11.1.	Investimento Inicial	71
11.2.	Consumo Total de Energia	72
11.3.	Custos do Consumo de Insumos Energéticos	72
11.4.	Consumo e Gasto Anual Total de Energia	73
11.5.	Impacto do Gasto com Insumos Energéticos em Diferentes Cenários de Preços de Energia	74
11.5.1.	Análise do Gasto com Energia Considerando o Preço do GLP Variável	74
11.5.2.	Análise do Gasto com Energia Considerando o Preço da Energia Elétrica Variável	75
11.6.	Comparativo da Configuração <i>Retrofit</i>	76
12.	Conclusões	77
13.	Referências Bibliográficas	79

Anexos	84
Anexo E	90
Anexo F	91

Lista de Figuras

Figura 3.1 – Ciclos de cogeração [adaptado de ASHRAE, 2012].....	13
Figura 3.2 – Cogeração junto ao ciclo de Rankine [adaptado de Brasil, 2005].....	14
Figura 3.3 – Grupo gerador [Waukesha, 2010]	14
Figura 3.4 – Turbina a gás [Barja, 2006].....	15
Figura 5.1 – Comparação entre os dois tipos de transformação de vapor de baixa pressão em vapor de alta pressão para sistemas de refrigeração por compressão a vapor e absorção [Stoecker e Jones, 1985]	21
Figura 5.2 – Modelo da Unidade por Absorção [Stoecker e Jones, 1985]	22
Figura 5.3 – Modelo do equipamento e indicação dos fluxos [Robur, 2009].....	23
Figura 5.4 – Combinação de ciclo de potência e de refrigeração [Stoecker e Jones, 1985]	25
Figura 7.1 – Caracterização dos tipos de aquecedores a gás [Chaguri, 2009].....	30
Figura 7.2 – Classificação de sistemas de aquecimento [Chaguri, 2009].....	30
Figura 7.3 – Esquema de funcionamento de aquecedores a gás [Chaguri, 2009].....	33
Figura 7.4 – Aquecedor de acumulação em uma unidade habitacional [Chaguri, 2009]	35
Figura 7.5 – Sistema central a gás coletivo [Chaguri, 2009].....	36
Figura 8.1 – Perdas na geração termelétrica [Mello Jr. 2006]	37
Figura 8.2 – Perdas no uso do GLP para aquecimento da água [Mello Jr. 2006].....	37
Figura 8.3 – Demanda de GLP em milhões de toneladas – América Latina [Statistical Review of Global LPG, 2011].....	40
Figura 8.4 – Evolução da participação do GLP na Matriz Energética Brasileira [EPE – BEN, 2015]	42
Figura 8.5 – Projeção da produção e consumo de GLP em bilhões de litros [EPE – PNE, 2010]	43
Figura 8.6 – Vendas de GLP por ano em milhões de toneladas [Sindigás, 2011]	44
Figura 9.1 – Distribuição do consumo por uso final – Setor Comercial [Adaptado de EPE – BEN, 2015]	47
Figura 9.2 – Porcentagem da posse média de climatização no setor comercial por região no Brasil [EPE – BEN, 2015].....	47
Figura 9.3 – Evolução da taxa de ocupação [Análise Setorial, 2010]	49

Figura 9.4 – Demanda de Energia Elétrica nos Hotéis [Ibis Budget®, 2016].....	50
Figura 10.1 – Temperaturas de bulbo seco do arquivo climático de São Paulo	52
Figura 10.2 – Temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido em médias mensais	53
Figura 10.3 – Umidade relativa em médias mensais.....	53
Figura 10.4 – Temperatura da água de rede definida pela correlação de Hendron et al. (2004)	55
Figura 10.5 – Temperatura da água de rede ajustada para o hemisfério sul.....	56
Figura 10.6 – Planta baixa dos pavimentos típicos contendo as UHs (sem escala)	57
Figura 10.7 – Ocupação diária das unidades habitacionais do hotel em estudo	58
Figura 10.8 – Características construtivas adotadas para paredes externas [Cerâmica City, 2017]	60
Figura 10.9 – Paredes Internas ou Divisórias [Placo, 2017]	60
Figura 10.10 – Parâmetros de carga térmica adotados para a simulação [LabEEE, 2010]	61
Figura 10.11 – Parâmetros de equipamento adotado para a simulação [LabEEE, 2010]	62
Figura 10.12 – Vista interna do equipamento Robur – Modelo GAHP-W [Robur, 2009]	64
Figura 10.13 – Estado físico do fluido refrigerante [Robur, 2009].....	65
Figura 10.14 – Configuração do Sistema Convencional.....	66
Figura 10.15 – Configuração do Sistema Proposto	68
Figura 10.16 – Configuração do Sistema <i>Retrofit</i>	70
Figura 11.1 – Custo Anual dos Sistemas Convencional (A) e Proposto (B) em Função da Variação da Tarifa do GLP.....	75
Figura 11.2 – Custo Anual dos Sistemas Convencional (A) e Proposto (B) em Função da Variação da Tarifa da Energia Elétrica.....	76

Lista de Tabelas

Tabela 1.1 – Resultados de redução de consumo e emissão [adaptado de Smith et al., 2013]	7
Tabela 1.2 – Consumo energético anual médio de hotéis em diferentes cidades do mundo [adaptado de Bohdanowicz, 2001]	10
Tabela 5.1 – Pares de Refrigerante-Absorvente [Abreu, 1999]	26
Tabela 5.2 – Diferenças entre os sistemas de absorção [Abreu, 1999].....	27
Tabela 8.1 – Comparação entre as características do GLP e do GN	38
Tabela 8.2 – Ranking da Matriz Energética Brasileira – 2015 [EPE – BEN, 2015]	41

Tabela 9.1 – Estatística do Consumo de Energia Elétrica (GWh) em 2011 [EPE, 2015]	46
Tabela 9.2 – Tipo e quantidade de instalações hoteleiras, incluindo hotéis e flats inaugurados até julho/2010 [Análise Setorial, 2010]	49
Tabela 10.1 – Dados climáticos médios do arquivo climático.....	54
Tabela 10.2 – Temperaturas ambientes médias mensais do arquivo climático de São Paulo	55
Tabela 10.3 – Dados dos hotéis pesquisados da marca Ibis Budget®.....	57
Tabela 10.4 – Características dos materiais empregados na edificação	59
Tabela 10.5 – Parâmetros definidos para as aberturas.....	59
Tabela 10.6 – Característica Técnica do Equipamento Robur – Modelo GAHP-W [Robur, 2009].....	63
Tabela 10.7 – Característica Técnica do Circuito Robur – Modelo GAHP-W [Robur, 2009].....	64
Tabela 10.8 – Simulação para Escolha da Melhor Configuração Proposta	67
Tabela 10.9 – Análise da Configuração Proposta por Fonte	67
Tabela 10.10 – Análise da Melhor Configuração Proposta	67
Tabela 11.1 – Cálculo do Investimento do Sistema Convencional (SC)	71
Tabela 11.2 – Cálculo do Investimento do Sistema Proposto (SP)	71
Tabela 11.3 – Cálculo Comparativo do Consumo Anual Total de Energia (em kWh) ..	72
Tabela 11.4 – Diferença de Consumo Anual Total de Energia entre Configurações do Sistema Convencional (SC) e do Sistema Proposto (SP)	72
Tabela 11.5 – Cálculo do Gasto Anual de Energia em Reais (R\$).....	73
Tabela 11.6 – Análise Comparativa do Gasto com Energia entre as Configurações...	73
Tabela 11.7 – Cálculos de Consumo e Gasto Total com Energia	73
Tabela 11.8 – Cálculo do Gasto com Energia em Função do Preço do GLP	74
Tabela 11.9 – Cálculo do Gasto com Energia Variando o Preço da Energia Elétrica ..	75
Tabela 11.10 – Valores das Configurações de Sistema Convencional (SC), Sistema Proposto (SP) e Configuração <i>Retrofit</i> (CR)	76
Tabela A.1 – Cálculo das Configurações do Sistema Convencional (SC)	84
Tabela A.2 – Cálculo das Configurações do Sistema Proposto (SP)	85
Tabela E.1 – Preço de Custo dos Equipamentos.....	90
Tabela F.1 – Cálculo do Fator de Utilização do <i>Chiller</i> – Curva de Carga do Sistema de Climatização do Hotel.....	91

Resumo

A demanda por encontrar soluções que possam proporcionar um melhor aproveitamento de energia em edificações hoteleiras é crescente, tornando-se essencial na realidade vivida neste setor nos últimos tempos ao redor do mundo. O aumento da eficiência energética em hotéis por meio da aplicação de sistemas de cogeração representa um notório ganho de competitividade, tornando-se um fator decisivo para hóspedes e empresários, além de contribuir para a sustentabilidade do empreendimento.

A fim de aumentar a eficiência energética em edificações hoteleiras, este trabalho apresenta a otimização de sistemas de cogeração com ciclo de absorção aplicado a hotéis. Levou-se em consideração a realidade do setor em metrópoles brasileiras, baseando-se no fato de que estas cidades recebem um número crescente de turistas por ano, tanto para eventos culturais quanto para negócios, e precisam buscar soluções para reduzir o consumo de energia elétrica.

Além disso, nos últimos anos, o Brasil vem enfrentando um aumento expressivo do custo da energia elétrica. A matriz energética brasileira continua contando com uma parcela principal de eletricidade gerada por usinas hidrelétricas, porém é cada vez maior o uso de usinas termelétricas nesta matriz, para compensar de modo geral a redução no volume de chuvas e o aumento da demanda do país por eletricidade. Sendo assim, é necessário buscar fontes alternativas para a produção de energia, assim como incentivar o uso da cogeração por meio de sistemas com maior eficiência na geração e conversão energética. Hotéis possuem forte potencial para aplicação de sistemas de cogeração justamente por conter equipamentos com diversas necessidades energéticas (tanto térmica quanto elétrica).

A partir da modelagem de todos os componentes que fazem parte do sistema de cogeração, tais como a câmara de combustão, turbina, caldeira a vapor e resfriador por absorção, fez-se um estudo das variáveis que podem proporcionar uma maior influência na condição de máxima eficiência do sistema como um todo. Vale ressaltar que fatores climáticos, sazonais, flutuações na disponibilidade e no custo das fontes energéticas (sejam estas renováveis ou não) fazem parte da realidade local, e precisam ser levadas em consideração neste estudo.

Para o escopo deste trabalho, será abordado um ciclo de refrigeração por absorção que utiliza solução de amônia e água ($\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$). Para suprir a demanda do ciclo por absorção por energia térmica no gerador, levou-se em consideração a queima do gás liquefeito do petróleo como insumo deste sistema. Serão apresentados fatores que podem contribuir para a redução do consumo elétrico da edificação, reduzindo-se assim a dependência da eletricidade e possibilitando o uso de combustíveis alternativos. Além disso, as interações entre os diversos componentes que compõem o sistema de cogeração, aliada aos variados consumos de energia em um empreendimento hoteleiro (tais como a climatização de ar nos ambientes, uso de água quente em chuveiros, eletricidade), serão avaliados de modo a otimizar a eficiência energética da edificação como um todo.

Palavras-chave: Cogeração; Otimização; Absorção; Refrigeração; Hotel.

Abstract

A demand for finding solutions that can provide better energy use in hotel buildings is increasing, becoming essential in the reality experienced in this sector in recent times around the world. An increase in energy efficiency of hotels through the application of cogeneration systems is a marked gain in competitiveness, becoming a decisive factor for guests and hotels' stakeholders, as well as a contribute to the sustainability of the enterprise.

In order to increase energy efficiency in hotel buildings, this paper aims to present the optimization of cogeneration systems using absorption refrigeration cycle applied to hotels. It took into account the sector's reality in Brazilian cities, based on the fact that these cities receive an increasing number of tourists every year, both for cultural events and for business, and need to find solutions to reduce their electrical consumption.

Moreover, in recent years, Brazil has been experiencing a significant increase in the cost of electricity. The Brazilian energy matrix is still counting on a major portion of electricity generated by hydroelectric power plants, but the use of thermal power plants is increasing in this matrix, in order to offset the reduction in rainfall and the increasing demand of the country for electricity. It is therefore necessary to seek alternative sources for energy production as well as encouraging the use of cogeneration systems through more efficient generation and energy conversion. Hotels have strong potential for application of cogeneration systems precisely because it has several energy appliances' needs (both thermal and electrical).

From the modeling of all components forming part of a cogeneration system such as the combustion chamber, turbine, steam boiler and absorption chiller, a study has been made using the variables that can provide a greater influence on the maximum condition efficiency of the system as a whole. It is noteworthy that climatic, seasonal factors, fluctuations in availability and cost of energy sources (whether renewable or not) are part of the local reality, and must be taken into consideration in this study.

For the scope of this paper, an absorption refrigeration cycle that uses ammonia and water ($\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$) has been studied. The burning of liquefied petroleum gas inside the combustion chamber as an energy of the system was considered to meet the absorption refrigeration cycle demand for thermal energy inside the generator. Factors that may help to reduce the electrical consumption of the building will be presented, thus reducing the dependence of electricity and allowing the use of alternative fuels. In addition, the interactions between the various components that make up the cogeneration system, coupled with the varying energy consumption in a hotel building (such as HVAC, use of hot water in showers, electricity) will be assessed in order to optimize the energy efficiency of the whole building.

Keywords: cogeneration; optimization; absorption; refrigeration; hotel.

1. Introdução

No presente cenário em que a economia mundial possui constante crescimento, demandando recursos naturais para geração de energia e aumento de capacidade produtiva, é impossível não entrar na discussão sobre os impactos que este crescimento gera para o planeta. As discussões tratam sobre a disponibilidade dos recursos, sobre suas divisões em recursos renováveis e não renováveis, sobre o impacto que a utilização destes recursos gera e principalmente sobre quais são as medidas que devem ser tomadas para evitar futuros catastróficos.

Uma medida que tem sido utilizada, levando em consideração o impacto da utilização dos recursos naturais, é o uso racional da energia. Diversos países têm adotado diferentes estratégias para motivar os setores econômicos a utilizarem a energia disponível de forma mais racional. No Brasil, foi instituído em 30 de dezembro de 1985 pelo Ministério de Minas e Energia (MME) o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), hoje administrado pela Eletrobrás. Este programa tem o intuito de promover o uso racional e eficiente de energia em diferentes segmentos da sociedade por meio da disseminação de informações qualificadas sobre o tema [PROCEL, 2015].

Aliado ao tema da preservação de recursos naturais, um conceito cada vez mais enfocado é o da sustentabilidade. Este conceito está sendo aplicado em diferentes setores da economia, com o objetivo de reduzir o impacto que estes setores geram ao nosso planeta e permitir que gerações futuras possam continuar usufruindo de todos os recursos que se tem à disposição. Além disso, é fundamental falar do uso racional e eficiente de energia.

Dentro do mercado da construção civil, a sustentabilidade vem ganhando muito espaço nos últimos anos. Este setor, desde projeto, construção e operação, consome mais de 30% da matriz energética e mais de 60% da energia elétrica utilizada nos Estados Unidos [USGBC, 2009], país este que tem um dos maiores consumos de energia elétrica per capita do mundo [ANEEL, 2008].

Com a ideia de reduzir estes impactos causados pela construção civil, foram surgindo selos, certificados e normas que qualificam os empreendimentos como sustentáveis ou simplesmente eficientes energeticamente. É o caso da certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), desenvolvida pelo U. S. Green Building Council (USGBC). Dentro desta certificação, que funciona como um sistema de pontuação, a parte referente à energia equivale a 35 pontos dos 100 possíveis [USGBC, 2009]. No Brasil, foi desenvolvido pela Eletrobrás, em parceria com o INMETRO, o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações (PROCEL EDIFICA), que funciona como um selo identificando o nível de eficiência energética do edifício e possibilitando que o consumidor tenha melhores condições de avaliar este quesito.

1.1. Setor Hoteleiro e o Cenário no Brasil

O setor de hotelaria é um mercado dependente da construção civil no que diz respeito a novos empreendimentos e *retrofits* (processo de modernização de algum equipamento já considerado ultrapassado ou fora de norma), que tem alto potencial de crescimento no Brasil, sobretudo em períodos nos quais grandes eventos são realizados, tais como a Copa do Mundo de Futebol e as Olimpíadas na cidade do Rio de Janeiro.

Um hotel é um empreendimento construído e operado normalmente com fins lucrativos, e assim deve apresentar um bom gerenciamento e administração econômica para trazer o retorno esperado aos seus investidores. Dentre outras despesas, a conta de energia representa um importante gasto que será gerido pela administração do edifício. Os principais consumos energéticos que um hotel apresenta se dão pela energia elétrica e, dependendo do tipo de sistema de aquecimento de água, pela energia térmica utilizada para aquecê-la.

O consumo de um hotel pode chegar a níveis de 365 kWh/m² por ano em hotéis de grande porte [Bohdanowicz et al., 2001]. Considerando um hotel de 20.000 m² e o preço do kWh em torno de R\$ 0,42, o custo anual em energia supera os 3 milhões de reais. Com estes dados pode-se ter uma ideia de quão importante é a escolha certa de sistemas que utilizem eficientemente a energia, sem levar em consideração a questão sustentável para a racionalização dos recursos naturais. Os principais sistemas que geram o consumo energético em um hotel são: sistema de climatização, elevadores, sistema de iluminação e sistema de aquecimento de água.

1.2. Cogeração e o Setor Elétrico Brasileiro

Um tipo de solução para sistemas energéticos que buscam um alto nível de eficiência energética é a cogeração. Trata-se da produção simultânea de energia elétrica ou mecânica e térmica a partir de uma mesma fonte energética [ASHRAE, 2012]. Este tipo de solução deve apresentar um estudo elaborado para sua aplicação, levando em consideração necessidades técnicas e a viabilidade econômica. A cogeração pode funcionar com diferentes fontes de energia e pode diversificar a matriz energética do empreendimento que decidir por esta aplicação.

Sendo assim, fatores como demanda de energia elétrica e térmica, horários de picos de demanda e tarifas de energia devem ser considerados na hora de realizar as análises para aplicação de um sistema de cogeração em um empreendimento. A identificação desta vasta necessidade de estudos criou a oportunidade para a realização deste presente trabalho, para a qual foi analisada a aplicação da cogeração em empreendimentos do setor hoteleiro no Brasil.

No atual panorama energético brasileiro, o aquecimento de água quente por meio de energia elétrica implica em um fator de sobrecarga no sistema de geração, transporte e distribuição, potencializando os conhecidos “picos de energia”, para o qual o sistema brasileiro de geração de energia elétrica tem que estar dimensionado para atender apenas seis horas por dia, exigindo pesados investimentos das empresas privadas que exploram as concessões estatais para continuar garantindo esta energia.

Uma maior importância tem sido dada ao estudo dos sistemas de refrigeração por absorção, devido às peculiaridades destes sistemas em relação aos ciclos por compressão, além da possibilidade do aproveitamento de seus rejeitos térmicos e das vantagens operacionais. Em contrapartida, os equipamentos de refrigeração por absorção ainda representam um investimento inicial superior aos de compressão de vapor, quando comparados com uma total substituição de tecnologia.

O consumo das famílias, as oportunidades ligadas aos setores de infraestrutura (em especial o de exploração e produção de petróleo) e a injeção de recursos envolvendo a realização passada de eventos mundiais no Brasil (tais como a Copa do Mundo e as Olimpíadas) explicam, em boa medida, a expectativa favorável quanto a um cenário positivo de crescimento do investimento no setor de geração de energia elétrica.

O estudo de um sistema de condicionamento de ar movido a GLP busca proporcionar um significativo aumento na eficiência energética da edificação, com o equilíbrio nas demandas de fonte quente e fria do empreendimento hoteleiro. É possível enumerar as seguintes vantagens para este tipo de sistema:

- Maior flexibilidade operacional;
- Operação simultânea de produção de água gelada e água quente;
- Redução de até 95% de energia elétrica pelo equipamento de climatização, possibilitando a utilização de menor subestação de energia elétrica, infraestrutura reduzida e geradores de emergência com menor capacidade;
- Manutenção simples e menor custo em função da quantidade de equipamentos necessários e redução drástica de peças móveis (exceto um pequeno motor elétrico para acionar a bomba de fluxo do sistema);
- Casa de máquinas com menor índice de ruídos e de vibração;
- Alta eficiência mesmo em cargas parciais.

1.3. Objetivo

O objetivo principal deste trabalho é estudar a viabilidade energética e econômica para a implantação e realização de um sistema de cogeração aplicado a hotéis de médio porte (em torno de 400 quartos) localizados na cidade de São Paulo, SP, Brasil. O sistema de cogeração avaliado utilizará o GLP como insumo primário. Nesta análise, é possível avaliar a melhor combinação entre sistemas de geração de

água quente e fria, combinando a utilização das cargas térmicas com o melhor aproveitamento da fonte elétrica.

1.4. Motivação

Quando se trata das questões de racionalização e uso eficiente de energia, citadas neste texto anteriormente, a engenharia exerce um papel fundamental em trazer soluções práticas e com maior nível de tecnologia. Os engenheiros envolvidos nos setores que demandam soluções mais eficientes e tecnológicas devem trabalhar para atender estas solicitações do mercado. Estas soluções devem ser estudadas e desenvolvidas no meio acadêmico para que possam ser aplicadas com conhecimento na indústria em que serão utilizadas.

Ao analisar os diversos consumos existentes no segmento de edificações, os edifícios são responsáveis por 40% do consumo de energia mundial, 16% da água potável e 25% da madeira das florestas [Lamberts, 2010].

Além da importância de se estudar diferentes soluções de engenharia, é necessária uma análise de viabilidade econômica de sua implantação. O acoplamento da análise energética de um sistema com a análise econômica também estimulou este trabalho com um caráter investigativo, para entender a real possibilidade de se utilizar a cogeração como alternativa.

Outra motivação para a realização deste estudo foi a análise de aplicação de um modelo de simulação termo-energética da edificação. O modelo utilizado para cogeração apresenta alta qualidade e complexidade de entrada de dados para se ter bons resultados. Considerando que a ferramenta de simulação computacional é uma tecnologia de ponta para este tipo de análise, foi muito importante estudar e dominar o modelo utilizado para simular a cogeração acoplada à demanda elétrica e térmica do hotel.

Por meio de um maior entendimento do setor do GLP e energia elétrica, descrevendo um histórico, uma previsão futura de demanda, apontando detalhes do panorama nacional e internacional, é possível mapear os sistemas de refrigeração por absorção com foco em climatização e os sistemas de aquecimento de água quente e fria voltado para o consumo em hotéis, comparando-os aos sistemas que possuem uma configuração com ciclo de refrigeração por compressão de vapor.

Com o crescimento da taxa de ocupação do segmento hoteleiro e o consumo de energia elétrica em nosso país, realiza-se o estudo voltado para a redução do consumo de energia, impacto no horário de pico e a busca de uma maior eficiência energética. A opção pelo uso do GLP justifica-se pela sua presença na totalidade dos municípios brasileiros, e esta impressionante abrangência foi alcançada em menos de 70 anos desde a chegada deste gás no Brasil.

Avaliações econômicas e ambientais trouxeram um novo interesse nos ciclos de refrigeração por absorção. Um esforço considerável de pesquisa tem sido investido no estudo de sistemas de refrigeração desse tipo nos últimos anos. Na cidade de São

Paulo, já se verifica novas instalações que utilizam esta tecnologia, como por exemplo, hotéis, academia de ginástica, indústrias automotivas e farmacêuticas.

Por último e não menos importante, o estudo da cogeração foi um grande estímulo, pois se trata de uma solução pouco utilizada no mercado hoteleiro da cidade de São Paulo, mas que pode ser uma aplicação muito interessante na questão de maior aproveitamento da energia gasta, redução de custo operacional e diversificação da matriz energética [Bohdanowicz et al., 2001]. A análise comparativa realizada busca uma solução interessante para hotéis que buscam reduzir custos por meio do *retrofit*.

Retrofit é uma modificação de um equipamento ou instalação existente, visando à melhoria de seu desempenho, de sua operação ou de ambos. Surgiu em meados dos anos 1970 nos Estados Unidos, já que até o ano de 1973, não havia preocupação com o consumo de energia nos projetos de edifícios. A partir deste ano, as fontes de energia foram rapidamente se esgotando, e com o crescente aumento no custo de energia, os proprietários dos edifícios tornaram-se conscientes da necessidade de sua conservação nas instalações.

Com preços flutuantes de energia elétrica e combustíveis, esta tecnologia pode ser tornar muito atrativa na questão econômica. Foi visto que alguns empreendimentos já utilizam unidades geradoras para alterar a fonte energética em horários que suas tarifas ficam mais caras: nestes casos a aplicação da cogeração teria maior facilidade de implantação técnica e boa viabilidade econômica.

1.5. Revisão Bibliográfica

A revisão da literatura realizada para a pesquisa deste trabalho foi direcionada à aplicação de cogeração em edificações hoteleiras, para entender como este tipo de tecnologia tem sido estudada academicamente e aplicada no mercado. Como neste trabalho foi realizada uma pesquisa para entender o consumo energético de hotéis construídos em São Paulo, buscou-se na literatura trabalhos com pesquisas similares a esta. Por último, foram revisados trabalhos que falam de simulação de desempenho termo-energético de edificações para se conhecer os *softwares* e metodologias que o meio acadêmico tem utilizado nesta área.

Estabelecimentos do setor hoteleiro podem ter altas demandas de energia elétrica e energia térmica. A energia elétrica atende o sistema de iluminação, sistema de climatização, elevadores e equipamentos elétricos em geral. A energia térmica é utilizada para aquecimento da água utilizada em chuveiros e torneiras, mas também pode ser utilizada para vapor em cozinhas e lavanderias. Dependendo da classe do hotel, também pode haver grande demanda térmica para aquecimento de piscina e sauna. Em países de clima frio, o sistema de calefação também pode demandar água quente.

Nos Estados Unidos, onde a tecnologia da cogeração é bastante difundida, existiria um potencial de instalação em centrais cogeradoras de 17 GW em 2010 com previsão de crescimento para 35 GW até 2020 [Midwest CHP Application Center, 2005]. Este potencial está baseado na instalação de sistemas que devem ter um tempo de retorno do investimento inferior a dez anos, quando comparados à instalação de um sistema convencional de aquecimento, ventilação e climatização, e à compra de energia elétrica da rede distribuidora.

Estes dados foram determinados em uma pesquisa realizada pela Resource Dynamics Corporation e apresentado ao Department of Energy (DOE) dos EUA, onde se constatou que os estabelecimentos com maior potencial para a cogeração foram: edifícios de escritório, hospitais, colégios e hotéis. Em hotéis o potencial fica em torno dos 2 GW de potência instalada. No Brasil, a tendência é que este potencial se restrinja a hotéis, centros comerciais e hospitais, por conta das demandas necessárias com os sistemas que se costuma utilizar e pelas condições climáticas.

O regime de operação em que o sistema deve operar é muito importante ser definido conforme as necessidades energéticas do estabelecimento, estruturas tarifárias e funcionamento dos equipamentos que compõem o sistema de cogeração. É um parâmetro que pode ter muita influência na viabilidade econômica da implantação. No caso da operação para atender à demanda básica (*base load*), quando o sistema funciona sempre em capacidade constante, foi mostrado que a utilização de um sistema de termo acumulação (TA) acoplado à cogeração pode reduzir o custo operacional e de emissões de gases para a atmosfera. No caso em que a TA tem capacidade para acumular a capacidade máxima da produção de energia térmica, obteve-se uma redução de 14% do consumo de energia e 18% da emissão CO₂ [Smith et al., 2013]. Os resultados de redução com outras capacidades da TA podem ser vistos na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 – Resultados de redução de consumo e emissão [adaptado de Smith et al., 2013]

	Sem TA	25% $Q_{\max}$	50% $Q_{\max}$	75% $Q_{\max}$	$Q_{\max}$
Consumo Energético	12,0%	12,5%	13,0%	13,5%	14,0%
Emissões de CO ₂	16,5%	17,0%	17,5%	18,0%	18,0%

Para uma comparação entre a utilização de uma central de micro cogeração e a utilização de um sistema tradicional de aquecimento de água com um aquecedor a gás e eletricidade proveniente da rede de distribuição, Dorer, Weber (2009) utilizaram a simulação com o *software* TRNSYS para analisar a redução de consumo proveniente de fontes não renováveis e a emissão de CO₂ equivalente. A redução de consumo energético chegou a 14% com o sistema de cogeração, tratando-se de fontes de energia não renováveis. Já para a emissão de carbono equivalente, atingiu-se uma redução de até 22% [Dorer, Weber, 2009].

Carlo (2008) utilizou a simulação com o *software* EnergyPlus para caracterizar o consumo de edificação não residenciais em relação a volumetria e propriedades de envoltório delas. Foram ajustadas equações por meio de regressões lineares que relacionam o consumo de energia com área, volume, condutividade térmica, área envidraçada e ângulo de sombreamento do envoltório de uma série de diferentes edificações.

Como é necessário ter um adequado conhecimento das demandas de energia elétrica e térmica do estabelecimento em que se está propondo um sistema de cogeração, uma boa maneira de prever estas demandas se dá caracterizando as demandas de edifícios similares na mesma localidade. Para isso, pode-se realizar uma pesquisa de desempenho energético de edificações, devendo ser levantadas uma série de características, tais como: equipamentos e sistemas que demandam energia, área construída, número de pessoas que circulam no edifício, perfil de ocupação diária e mensal, consumo anual de energia térmica e consumo anual de energia elétrica.

Pryadarsini et al. (2009) apresentaram uma pesquisa realizada no setor hoteleiro de Singapura, onde foram levantados dados referentes ao consumo de energia elétrica e consumo de combustível. Foram pesquisados 29 hotéis em uma pesquisa nacional. A intensidade de uso de energia média atingiu um valor de 427 kWh/m² por ano, contabilizando energia elétrica e térmica.

Com o objetivo de melhor entender o desempenho energético dos estabelecimentos hoteleiros, algumas características que influenciam na intensidade de uso de energia foram selecionadas. Esta intensidade de uso de energia é um dado utilizado para comparação entre edificações, a fim de se estabelecer o nível de consumo de energia das mesmas. Este dado deve ser normalizado em relação a alguma característica que tenha grande peso no consumo da edificação. Algumas opções são:

- Área construída;
- Número de apartamentos;
- Possui piscina aquecida;
- Possui lavanderia;
- Sistema de climatização;
- Sistema de aquecimento de água;
- Tarifação de energia elétrica;
- Combustíveis utilizados;
- Consumo de energia elétrica e/ou combustível no período de um ano;
- Número de diárias alugadas por ano;
- Número de funcionários.

Pryadarsini et al. (2009) verificaram que a área construída foi a característica mais representativa em relação ao consumo energético dos hotéis e, como se trata de uma prática consolidada em análises de desempenho energético de edificações que utilizam este dado (kWh/m^2) para comparações, resolveu-se seguir esta convenção no presente trabalho.

O estudo realizado por Pinto et al. (2016) engloba a medição do consumo de energia associado ao uso da água (incluindo pressurização, recirculação, armazenamento e aquecimento) e a avaliação laboratorial da eficiência hídrica de diferentes chuveiros dos hotéis em estudo e uma metodologia simplificada para avaliar o nexo entre água e energia. Este inclui também o estudo da relação entre o consumo e as características da instalação que representam os respectivos modelos. Foi concluído que:

- 1) É essencial para aumentar a eficiência hídrica dos chuveiros para diminuir o consumo de energia por cada usuário do hotel;
- 2) Não há relação linear entre o consumo de água e energia;
- 3) No bombeamento e nos tubos de isolamento térmico, existe um potencial de melhoria da eficiência energética para diminuir efetivamente a emissão de gases causadores do efeito estufa e as vulnerabilidades de construção sob mudanças climáticas.

Ainda de acordo com Pinto et al. (2016), para garantir o alto conforto e a qualidade de seus serviços, hotéis de quatro e cinco estrelas possuem um alto consumo de energia e água por usuário. Uma grande parte disso é para os banhos dos hóspedes, que incluem um grande gasto de energia para a produção, bombeamento e distribuição de água quente. A instalação eficiente de chuveiros implica no nível do edifício a diminuição do uso da água e da energia para seu aquecimento e distribuição. No nível urbano, a diminuição do consumo de água implica também a redução de energia necessária para a sua extração, tratamento, bombeamento e distribuição e também para o bombeamento e tratamento de esgoto.

Palmero-Marrero e Oliveira (2011) estudaram um sistema de micro tri-geração integrado com um sistema solar. Uma tecnologia básica de microcogeração (sistema combinado de calor e energia, ou micro-CHP) que integra coletores solares, tanque de armazenamento, micro-turbina e um ciclo termodinâmico baseado no ciclo orgânico de Rankine (ORC) é combinado com um resfriador por absorção. O calor rejeitado no

condensador do sistema micro-CHP é usado para aquecimento de água, e o resfriador de absorção é usado para climatização dos ambientes. A água quente do tanque de armazenamento solar é a fonte de calor para o sistema de resfriamento (resfriador de absorção) e o sistema micro-CHP.

Um trocador de calor é usado para transferir calor do circuito de água quente para o ciclo de energia (que usa um refrigerante orgânico). O sistema micro-CHP em análise utiliza uma micro-turbina e um gerador elétrico com potência de 5 kW. A temperatura da entrada da turbina é de 80°C e o fluido de trabalho é o ciclo-hexano. O resfriador por absorção opera com uma mistura de brometo de lítio e água, e a temperatura da entrada de água está entre 80°C e 100°C.

O desempenho para diferentes áreas de coletor solar e capacidade de tanques foi avaliado através de um modelo numérico. O edifício do hotel foi utilizado como estudo de caso e a análise foi ampliada durante a estação de arrefecimento, para as condições climáticas de diferentes cidades europeias: Atenas (Grécia), Lisboa (Portugal), Madrid (Espanha), Paris (França) e Londres (Reino Unido).

A fração solar média mensal foi avaliada para diferentes casos: o sistema micro-CHP, o sistema de resfriamento e o sistema de micro tri-geração com a energia de condensador útil utilizada para a água quente. A fração solar do sistema micro-CHP foi baixa, em comparação com a do sistema de refrigeração, porque a eficiência do sistema micro-CHP é inferior a 7%. No entanto, quando o sistema de tri-geração é considerado, a fração solar média mensal é muito maior, devido à utilização do calor do condensador. O sistema solar, o sistema de resfriamento e seus componentes foram modelados com o programa de simulação TRNSYS. O sistema micro-CHP foi modelado com o software EES.

Bohdanowicz (2001) mostrou alguns dados de consumo anual médio de hotéis em diferentes cidades do mundo. Os dados foram coletados nas seguintes cidades: Londres, Ottawa, Oslo, Hong Kong, e dados médios nos Estados Unidos e Suécia. Os consumos médios (kWh/m² por ano) foram de 322, 689, 282, 401, 564 e 100 a 200, respectivamente. Foi estabelecido um nível de eficiência energética dependendo do tamanho do hotel conforme mostrado por meio da Tabela 1.2.

Tabela 1.2 – Consumo energético anual médio de hotéis em diferentes cidades do mundo [adaptado de Bohdanowicz, 2001]

	Bom	Médio	Ruim	Muito Ruim
Hotéis Grandes (Mais de 150 quartos)				
Energia Elétrica [kWh/(m ² .ano)]	<165	165-200	200-250	>250
Combustível [kWh/(m ² .ano)]	<200	200-240	240-300	>300
Total [kWh/(m ² .ano)]	<365	365-440	440-550	>550
Hotéis de Tamanho Médio (50-150 quartos)				
Energia Elétrica [kWh/(m ² .ano)]	<70	70-90	90-120	>120
Combustível [kWh/(m ² .ano)]	<190	190-230	230-260	>260
Total [kWh/(m ² .ano)]	<260	260-320	320-380	>380
Hotéis Pequenos (4-50 quartos)				
Energia Elétrica [kWh/(m ² .ano)]	<60	60-80	80-100	>100
Combustível [kWh/(m ² .ano)]	<180	180-210	210-240	>240
Total [kWh/(m ² .ano)]	<240	240-290	290-340	>340

2. Metodologia

O início de um estudo de avaliação por meio de simulação do consumo energético em um determinado edifício envolve a realização de um modelo detalhado do mesmo. Os dados climáticos do local também são imprescindíveis, podendo ser atualmente obtidos por exemplo por meio de bancos de dados disponibilizados na página web do Departamento de Energia dos EUA, ou mesmo pela ASHRAE. Para a modelagem completa do cenário e análise do consumo energético de um edifício, pacotes de *softwares* destinados a este estudo, tais como DOE-2, HAP Carrier® e EnergyPlus, estão disponíveis atualmente e contam com extensa quantidade de dados para materiais empregados na construção civil.

Para se avaliar o potencial de instalação de um sistema de cogeração, como já foi citado no texto anteriormente, é muito importante conhecer as demandas energéticas do estabelecimento. Também é necessário o estudo do custo de combustível e das tarifas de energia elétrica, tanto no que se refere a seu custo como a estrutura tarifária contratada à concessionária. A partir destes dados, pode-se definir a configuração e o dimensionamento necessário da central cogeradora.

Para a obtenção dos parâmetros de simulação da edificação, utilizaram-se dados e informações disponíveis no sítio do “Simulador de Eficiência Energética em Edificações – S3E” [LabEEE, 2010]. O Simulador S3E é uma ferramenta que permite avaliar o nível de eficiência energética de edificações comerciais segundo o Programa Brasileiro de Etiquetagem (RTQ-C).

Vale mencionar que é bastante extensa a biblioteca existente nos *softwares* atuais para os inúmeros parâmetros de materiais que podem ser analisados em uma obra civil: coeficiente de condutividade térmica, densidade, coeficiente de sombreamento, transmissividade (direta, visível) são apenas alguns relacionados à chamada envoltória. Além disto, parâmetros como a densidade de calor dissipada pela iluminação, equipamentos e pessoas são essenciais, sendo associados justamente à tipologia de edificação para a qual se deseja obter uma redução do consumo energético. O conjunto completo de parâmetros disponíveis demonstra o grau de detalhamento que se pode atingir para um determinado modelo [EnergyPlus, 2014].

Por exemplo, os dados de consumo de energia por hora são necessários para a avaliação e aplicação de diferentes tecnologias de eficiência energética em edifícios, comparando aquecimento convencional e equipamentos de refrigeração com tecnologias como a cogeração, trigeração, trocadores de calor geotérmicos, e tecnologias fotovoltaica e solar térmica, entre outras.

Neste capítulo é apresentada a metodologia utilizada para se chegar aos resultados do trabalho. O trabalho foi composto pelas etapas elencadas a seguir:

- A. Pesquisa de sistemas de cogeração que utilizam ciclos de refrigeração por absorção;
- B. Pesquisa de dados históricos relacionados às fontes energéticas aplicáveis aos sistemas de cogeração;

- C. Pesquisa de desempenho energético de hotéis localizados em São Paulo (descrita no Capítulo 3);
- D. Realização de análise termo-energética comparando o caso base com a proposta de um sistema de cogeração aplicado ao caso base;
- E. Realização de análise de viabilidade econômica do sistema com a cogeração;
- F. Proposição de correlação para avaliar os resultados de viabilidade econômica dos diferentes cenários simulados, variando as tarifas de energia elétrica e combustível.

Para cumprir com o objetivo deste trabalho, foi necessário estabelecer um estudo do consumo energético de hotéis, hoje construídos e operando em São Paulo, para definir um padrão de consumo de energia elétrica e térmica destes empreendimentos. Para ilustrar a viabilidade deste tipo de sistema, foram feitas otimizações (tendo como base os critérios energético e econômico), além de uma análise de sensibilidade do modelo que permita indicar parâmetros que garantam a operação deste tipo de sistema.

Por meio de modelos semi-empíricos, foi realizada a modelagem e a simulação de um ciclo por absorção de amônia e água ($\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$), o qual utiliza como fonte de calor o vapor gerado por meio de um aquecedor a gás. Foram identificados parâmetros do sistema em análise que poderiam ser modificados, de modo a avaliar o comportamento do sistema. A princípio, fez-se um detalhamento teórico relativo ao ciclo de refrigeração por absorção em questão, fundamental para a compreensão do mesmo.

3. Caracterização dos Sistemas de Cogeração

A cogeração é definida como a produção simultânea de energia elétrica ou mecânica e energia térmica, convertidas a partir de uma única fonte de energia. Utilizando a energia que normalmente seria rejeitada, a cogeração pode proporcionar uma eficiência maior que os níveis atingidos quando calor ou potência elétrica são produzidos separadamente. Com a cogeração pode-se chegar a eficiências de 50% a 70% ou até mais [ASHRAE, 2012].

A cogeração pode funcionar em dois tipos de ciclos, denominados como ciclo *topping* e ciclo *bottoming*. Estes se diferenciam pela ordem de produção das energias elétrica e térmica, conforme descrito abaixo:

- **Ciclo *topping*:** Neste ciclo, a energia disponibilizada na queima do combustível produz primeiramente energia mecânica. O calor rejeitado pela queima é então aproveitado na forma de energia térmica para seu devido uso final.
- **Ciclo *bottoming*:** Neste ciclo, a queima do combustível é realizada primeiramente para a produção de energia térmica de alto nível, e as sobras de energia são aproveitadas como energia mecânica ou energia elétrica.

Figura 3.1 – Ciclos de cogeração [adaptado de ASHRAE, 2012]

Há uma série de maneiras de se configurar uma central cogeneradora: dependendo das demandas energéticas, pode-se definir a configuração do sistema de cogeração para melhor atender estas necessidades. Para isso, é muito importante conhecer o nível da demanda de energia e qual será a utilização em seu uso final.

Uma possível configuração para se atender um edifício que tenha demanda de energia elétrica e energia térmica, ambas provenientes dos equipamentos elétricos, iluminação, sistema de climatização e aquecimento de água, poderia ser: um moto-gerador com motor de combustão interna para produção de energia elétrica e o aproveitamento dos gases da combustão e calor de arrefecimento do motor para aquecimento de água em um aquecedor. Este caso é denominado um ciclo *topping*.

Uma pequena variação para este caso seria aproveitar os gases de escapamento do motor para fazer funcionar um sistema de absorção e usar apenas o calor de arrefecimento para aquecer água. Uma outra possível configuração de cogeração muito utilizada em usinas de produção de energia elétrica é a cogeração inserida em um ciclo Rankine, o qual possui uma caldeira geradora de vapor. O vapor gerado passa por uma turbina acoplada a um gerador elétrico. O vapor resultante que sai da turbina é utilizado para atender a demanda de energia térmica da planta [Brasil, 2005], vide Figura 3.2.

Figura 3.2 – Cogeração junto ao ciclo de Rankine [adaptado de Brasil, 2005]

É importante mencionar alguns dos principais equipamentos que compõem uma central cogeneradora. Estes equipamentos serão utilizados dependendo da configuração adotada e do tipo de ciclo de cogeração. Primeiramente, o equipamento mais importante é o chamado de motor principal (*Prime Mover*), que tem o objetivo de converter a energia disponibilizada pela queima do combustível em trabalho de eixo e que normalmente estará ligado ao gerador elétrico. Os motores principais mais utilizados são [CHP Resource Guide, 2005]:

- **Motores alternativos de combustão interna:** Uma das tecnologias mais utilizadas, disponíveis em uma faixa de capacidade de 5 kW até 10 MW. Funcionam bem acompanhando a demanda (oscilando sua capacidade) e em cargas parciais. Possuem um bom aproveitamento da energia para produção de energia elétrica podendo chegar a 40% da energia do combustível [Brasil, 2005], portanto são uma boa opção quando se tem uma alta demanda de energia elétrica. A energia térmica produzida se apresenta nos gases de escape, água de arrefecimento e no óleo de lubrificação.

Figura 3.3 – Grupo gerador [Waukesha, 2010]

- **Turbinas a gás:** é uma das tecnologias mais utilizadas para motor principal em plantas cogeradoras, e servem para aplicações de maiores capacidades, acima de 4 MW. Sua faixa de capacidade varia de 500 kW até 100 MW. Têm bom funcionamento em regime chamado de *base load*, trabalhando a uma potência constante, mas também podem funcionar oscilando a potência para acompanhar a demanda energética. Têm como uma principal vantagem em relação aos motores de combustão interna o baixo nível de emissão de NO_x .

Figura 3.4 – Turbina a gás [Barja, 2006]

- **Microturbinas:** São turbinas a gás de pequeno porte, com capacidade variando de 25 kW a 400 kW. Requerem baixa necessidade de manutenção por conta da pequena quantidade de peças móveis. Têm alto potencial de utilização em edifícios comerciais, principalmente onde há demanda de água quente de serviço. Sua eficiência de conversão em energia elétrica varia de 25% a 30%.
- **Turbinas a vapor:** São equipamentos que transformam a variação de entalpia contida no vapor em trabalho de eixo. São utilizadas para plantas de grande capacidade variando de 1 MW até 500 MW. Esta tecnologia de motor principal é normalmente utilizada em ciclos *bottoming* de cogeração.
- **Células combustíveis:** Esta tecnologia é diferente dos equipamentos mencionados anteriormente. Ao invés de primeiramente produzir trabalho de eixo elas produzem diretamente eletricidade e calor por meio de reações eletroquímicas. São silenciosas e consideradas as mais limpas para o meio ambiente quando se trata de cogeração. Possuem capacidade variando de poucos kW até 250 kW.

Um equipamento que não é considerado um motor principal, mas é de fundamental importância quando se trata de ciclos *bottoming* é o gerador de vapor. Este realiza a queima do combustível para produção de energia térmica que, após seu uso primário, será recuperada para produção de energia elétrica ou mecânica. Existem

outros equipamentos secundários que devem compor as centrais de cogeração, dependendo de sua configuração, tais como:

- Gerador de energia elétrica;
- Inversores de frequência, que convertem corrente elétrica de direta para alternada;
- Recuperadores de calor, que são trocadores de calor que aproveitam a energia térmica rejeitada pelos motores principais para seus devidos usos finais;
- Por último, qualquer tipo de instalação elétrica e hidráulica para acoplar a produção de energia realizada na central cogeradora até seus usuários finais.

A cogeração tem aplicação em vários diferentes setores da sociedade. Dependendo das demandas necessárias de energia térmica e eletricidade, a cogeração pode ter um bom retorno financeiro ao seu usuário e ser uma boa opção. A análise da quantidade destas demandas e o nível de temperatura necessária devem ser muito bem estudados para definir qual a melhor configuração e dimensionar corretamente as centrais cogeradoras.

No setor industrial, que existe uma grande demanda de energia térmica em forma de vapor para acionamento de turbinas ou aquecimento de água e também uma grande demanda de energia elétrica, a cogeração pode ser uma boa solução. A indústria do petróleo petroquímica e química possui uma alta aplicabilidade para a cogeração [Brasil, 2005]. No setor da construção civil, a aplicação da cogeração se dá na operação de edifícios. Hospitais, hotéis, edifícios residenciais e comerciais demandam energia elétrica e podem demandar energia térmica.

No Brasil, edifícios comerciais normalmente não demandam energia térmica pois não utilizam água quente para banho, e a calefação é realizada por meio de ciclos reversos do sistema de climatização. Entretanto, hotéis, hospitais e edifícios residenciais demandam energia para aquecimento de água: nestes casos, a cogeração passa a se tornar interessante. Uma questão importante e que pode tornar uma central de cogeração atrativa é a questão da tarifação horo sazonal de energia elétrica. Nos horários chamados de pico, a energia elétrica fica bem mais cara comparada à tarifa do combustível que alimentaria o sistema de cogeração. Na tarifa de pico, a viabilidade econômica da utilização deste sistema passa a ser mais interessante. Neste presente trabalho, este regime de operação foi explorado especificamente na sua aplicação em hotéis.

4. Sistemas de Climatização

A maioria dos equipamentos de refrigeração utilizados atualmente se baseia nos ciclos de refrigeração, os quais podem ser divididos em dois grupos principais: por compressão de vapor e por absorção. Refrigeração é o processo de retirada de calor de um espaço ou corpo com a finalidade de reduzir sua temperatura, transferindo calor para outro espaço ou corpo. Como o calor é a forma comum de energia, é útil compreender algumas das leis físicas básicas da energia para fundamentar o estudo da refrigeração.

Os sistemas de refrigeração empregam um fluido cujos pontos de ebulição podem estar a temperaturas abaixo de 0°C, e dos quais são conhecidos os pontos de ebulição para diversas pressões, isto é, fluidos refrigerantes que apresentam composições bem definidas, estabilidade química e características de pressão e temperatura conhecidas.

Pelo uso de diversos dispositivos mecânicos, a pressão no interior do sistema pode ser mantida em qualquer valor desejado, e conseqüentemente, é possível variar a temperatura do fluido, fazendo com que ele absorva calor de um meio externo para evaporar. A partir desta retirada de calor do meio, sua temperatura é reduzida, podendo ser aplicada em um espaço a ser refrigerado [ASHRAE, 2012].

4.1. Conforto Térmico e o Uso de Climatização em Hotéis

Dentre os itens de conforto a serem atendidos, o conforto térmico tem especial relevância e implicações para o estudo em questão. O conforto térmico para uma pessoa pode ser definido como a “satisfação com o ambiente térmico onde ela se encontra”, o que significa que a pessoa em questão não prefere necessariamente um ambiente mais frio ou mais quente [ASHRAE 55, 2004].

O conceito de conforto procura atender às exigências humanas e funcionais, trabalhando na convergência de estímulos físicos propiciados pelo meio ambiente, da construção e do usuário. A regulação comportamental ressalta que as pessoas tendem, naturalmente, a procurar por condições de conforto, Sol e sombra, vento ou proteção, assim como procuram ajustar sua postura, atividade e roupas, a fim de obterem conforto.

O conforto térmico é facilitado quando o meio ambiente térmico é previsível, sem exigir dos usuários uma adaptação de roupas e nem a preocupação com o posicionamento e acionamento das aberturas que podem ocasionar ventos imprevisíveis e indesejados, exigindo alguma atitude do usuário para controlá-la.

Para que esses sistemas sejam otimizados, é fundamental o conhecimento do local onde está inserida a edificação. Destaca-se aqui a importância de realizar diagnósticos seguros para a realidade brasileira, tais como tipo de edifício, posição geográfica, problemática tecnológica e de utilização, levando-se em conta as disponibilidades e os custos. Na classificação nacional dos hotéis, segundo a Deliberação Normativa Nº 433 da EMBRATUR, os hotéis econômicos não são obrigados a possuir sistemas de climatização nos apartamentos [BUORO, 2008].

No entanto, as redes internacionais seguem os padrões internacionais, de que faz parte a oferta de climatização nos apartamentos. A implementação de medidas que levem a um projeto de climatização energeticamente otimizado ou à otimização das instalações existentes é um importante fator de redução de custos operacionais, atendimento de demandas ecológicas e prevenção de prejuízos econômicos sociais advindos de um possível colapso no fornecimento de energia [BUORO, 2008].

De todas os sistemas existentes em um hotel econômico, pode-se dizer que o sistema de climatização será uma das instalações de maior impacto, tanto para o usuário-hóspede, quanto para o proprietário do empreendimento.

4.2. Critérios para a Escolha do Sistema de Climatização

Este trabalho também analisa a escolha de um sistema de climatização a ser utilizado em um hotel, devido principalmente às peculiaridades do seu uso, à interferência no conforto ambiental, além da complexidade de sua operação e manutenção. A seguir, serão detalhados alguns dos principais elementos a serem considerados na seleção do sistema de climatização.

4.3. Controle da Qualidade do Ar Interno

A qualidade do ar é um elemento fundamental para a adequação do sistema em um ambiente. Segundo a Portaria nº 3.523 da ANVISA (1998), para minimizar o risco potencial à saúde dos usuários com permanência prolongada em ambientes climatizados artificialmente, deve-se considerar os três principais itens:

- Plano de manutenção, operação e controle dos sistemas;
- Parâmetros físicos considerados no projeto devem atender às condições previstas para o ambiente ou edifício;
- Composição física e biológica do sistema deve atender às necessidades previstas.

Considerando ainda a preocupação com a saúde dos usuários de ambientes climatizados artificialmente, a ANVISA, por meio do RE 9, regulamentou formalmente em 2003 a quantidade máxima de particulados suspensos no ar (fungos, protozoários, vírus, algas, polens, poeira, óxido de carbono, dióxido de nitrogênio e formaldeído) a ser evitada ou controlada em um ambiente climatizado. Assim, é possível identificar valores mínimos de renovação de ar, de acordo com o uso do ambiente.

4.4. Custos Iniciais de Implantação

A complexidade das instalações de cada sistema varia, podendo necessitar de dutos de ar, de tubulação para circulação de gás refrigerante, de tubulação para circulação de água gelada. A consequência dessa grande variação de complexidade é refletida diretamente nos custos de implantação de cada SAC, bem como na necessidade de previsão de espaços e adequação da arquitetura do edifício desde sua concepção inicial de projeto.

O elevado custo inicial dos componentes pode ser compensado por significativas reduções nos custos operacionais, devido à diversidade dos sistemas e à eficiência: cada sistema é configurado para a sua melhor aplicação, impactando em um menor consumo de energia. Desta forma, serão também considerados os períodos de utilização e o desempenho de cada sistema, este último apresentado a seguir.

4.5. Desempenho Energético do Sistema

O consumo de energia dos edifícios é muito maior no período de operação e, por esse motivo, tendo como foco os sistemas de climatização, quanto maior a eficiência destes sistemas na fase de operação, menor é o consumo de energia elétrica. No

Brasil, desde 1993, o selo PROCEL vem sendo aplicado aos sistemas de climatização para identificar a eficiência energética dentro da sua categoria [BUORO, 2008].

Este mecanismo foi criado pela Eletrobrás, para dar suporte à Lei de Eficiência Energética Nº 10.296/2001, tendo sido regulamentado pelo INMETRO. Dentre os equipamentos categorizados pelo PROCEL, entre outros, os sistemas de climatização de expansão direta, ou seja, os chamados climatizações de janela e os sistemas do tipo *split* são os únicos sistemas de climatização avaliados dessa forma no Brasil e classificados em níveis de A (mais eficiente) a E (menos eficiente) [PROCEL, 2015].

O sistema de climatização do tipo *split* é similar ao equipamento do tipo janela, sendo divididos em dois módulos, denominados unidade interna (evaporadora) e unidade externa (condensadora). A característica principal do sistema *split* é o fato da unidade interna ser mais silenciosa do que a climatização de “janela”. O custo do equipamento do tipo *split* é cerca de 20 a 30% mais caro do que a unidade do tipo janela, porém existe o custo dos materiais envolvidos na instalação e custos maiores de mão de obra.

Já os sistemas de expansão indireta, como os resfriados a ar ou a água, exigem laboratórios específicos para a avaliação do seu desempenho, que ainda não se encontram disponíveis no Brasil. Para estes equipamentos, a escolha pode ser baseada em critérios relacionados a COP desses equipamentos, que pode ser realizada por meio das tabelas de eficiência da norma ASHRAE 90.1 (2010), onde consta também o valor integrado de carga parcial (IPVL). Esses critérios são os mesmos que vem sendo adotados na regulamentação para etiquetagem voluntária de nível de eficiência energética de edifícios comerciais, serviços e públicos, desenvolvido pelo PROCEL em 2003 [PROCEL, 2015].

4.6. Posicionamento dos Equipamentos na Parte Interna e/ou Externa da Edificação

No caso dos sistemas com expansão direta, o posicionamento dos motores ao lado dos ventiladores é determinante na qualidade deste sistema. Entretanto, estes não são adequados para o uso em hotéis e em residências, apesar da facilidade na instalação.

Quando falamos dos sistemas indiretos, devemos nos preocupar com os espaços mais adequados a eles, buscando preferencialmente isolá-los das áreas ocupadas, seja em andar técnico ou em garagens. No entanto, a necessidade de tomada de ar externo muitas vezes determina que os ventiladores e bombas principais sejam posicionados nas coberturas dos edifícios, já que os terrenos tendem a ser cada vez menores e a ocupação desses equipamentos acaba sendo destinada para locais menos “nobres” do edifício.

4.7. Interferência Estética na Fachada do Edifício

A equipe de desenvolvimento de projetos arquitetônicos e do sistema de climatização devem interagir entre elas, preferencialmente desde a concepção inicial do projeto. A localização destes sistemas no edifício é definida tanto por suas necessidades espaciais e estruturais quanto pela estética do edifício.

Os sistemas de climatização de expansão direta (janela e *split*) não exigem alterações na estrutura do edifício devido ao baixo peso do equipamento. Os equipamentos de janela interferem diretamente na estética, pois os condensadores devem ficar externos à fachada, enquanto que os sistemas *split* possuem um pouco mais de flexibilidade do que os primeiros, por possibilitar a separação física entre o condensador e evaporador.

Atualmente, devido a esta flexibilidade dos sistemas *split*, muitos fabricantes vêm desenvolvendo modelos com evaporadores mais compactos, com diversos acabamentos, além de cores diferentes, buscando uma interferência menor também no interior dos ambientes.

Já os sistemas de expansão indireta (condensação a água ou a ar) interferem de forma mais agressiva na arquitetura do edifício devido ao peso dos equipamentos, a vibração de alguns dos seus componentes e a necessidade de tomada de ar externo. Alguns componentes, como o resfriador, podem ser posicionados no subsolo, reduzindo a necessidade de uma estrutura mais robusta, porém exigindo outros equipamentos, como bombas para pressurizar a água resfriada para os andares superiores.

Considerando o edifício como um conjunto único, exige-se muito mais do que apenas o planejamento de espaços para os componentes do sistema de climatização, pois estes influenciam na arquitetura do edifício e no desempenho do mesmo.

5. Ciclo de Refrigeração por Absorção

Sistemas de refrigeração por absorção são apresentados como uma alternativa para sistemas de compressão a vapor, possuindo como vantagem a utilização de energia térmica em substituição a uma parte da energia elétrica. A energia térmica pode ser obtida de qualquer fonte de calor, como por exemplo, calor residual de processos fabris, energia solar e queima de combustíveis.

O início de desenvolvimento do ciclo de refrigeração por absorção data dos anos 1700. Descobriu-se que gelo poderia ser produzido pela evaporação da água pura de um vaso contida em um recipiente evacuado na presença de ácido sulfúrico. Como o ácido absorvia vapor de água, causando uma redução de temperatura, camadas de gelo eram formadas na superfície da água [Web Ar Condicionado, 2016].

Em 1859, Ferdinand Carré apresentou uma nova máquina, usando o par amônia-água como fluido de trabalho. Esta máquina foi patenteada nos Estados Unidos em 1860, e utilizada para fabricar gelo e estocar alimentos. Ela foi usada como modelo básico no desenvolvimento da refrigeração [Web Ar Condicionado, 2016].

Em 1950, um sistema utilizando brometo de lítio e água como fluido de trabalho foi introduzido para aplicações industriais. Poucos anos depois, um sistema de absorção foi produzido e utilizado como padrão industrial para ciclos de refrigeração por absorção de alto desempenho, operados termicamente [Web Ar Condicionado, 2016].

O ciclo de refrigeração por absorção é similar em certos aspectos ao ciclo de compressão de vapor: os dois ciclos operam com um condensador, uma válvula de

expansão e um evaporador. A diferença entre os dois está na maneira que o vapor de baixa pressão do evaporador é transformado em vapor de alta pressão. Os ciclos de compressão a vapor utilizam um compressor para realizar esta tarefa. Já nos ciclos de absorção, é possível dividir a transformação de vapor de baixa em de alta pressão em três etapas [ASHRAE, 2012]:

- 1ª Etapa: um sistema de absorção absorve vapor de baixa pressão em um líquido absorvente apropriado, isso condicionado à conversão de vapor em líquido, ou seja, condensação, que implica na rejeição de calor;
- 2ª Etapa: eleva-se a pressão do líquido resultante com o auxílio de uma bomba hidráulica.
- 3ª Etapa: Libera-se vapor do líquido à alta pressão por adição de calor.

A Figura 5.1 resume as três fases na transformação de vapor de baixa em de alta pressão.

Figura 5.1 – Comparação entre os dois tipos de transformação de vapor de baixa pressão em vapor de alta pressão para sistemas de refrigeração por compressão a vapor e absorção [Stoecker e Jones, 1985]

Os ciclos de absorção são referidos como ciclos operados a calor, pois o maior custo da operação está ligado ao fornecimento de calor para liberar vapor de alta pressão.

5.1. Unidade por Absorção Básica

A Figura 5.2 mostra um desenho esquemático de um ciclo de absorção básico, no qual a operação de compressão é proporcionada pela montagem apresentada na metade esquerda do diagrama.

Figura 5.2 – Modelo da Unidade por Absorção [Stoecker e Jones, 1985]

5.2. Princípio de Operação

Conforme é possível observar no esquema mostrado na Figura 5.2, o vapor de baixa pressão do evaporador é absorvido por uma solução líquida no absorvedor. Se esse processo de absorção fosse realizado adiabaticamente, a temperatura da solução iria subir e eventualmente a absorção de vapor poderia cessar. Para perpetuar o processo de absorção, o absorvedor é resfriado por água ou ar, que finalmente rejeita este calor para a atmosfera.

Em seguida, a bomba recebe o líquido a baixa pressão do absorvedor, eleva a sua pressão, e o entrega ao gerador. No gerador, o calor de uma fonte de alta temperatura expulsa o vapor que havia sido absorvido pela solução. A solução líquida retorna para o absorvedor por uma válvula redutora de pressão, cujo propósito é promover a queda de pressão para manter as diferenças de pressão entre o gerador e o absorvedor.

Os fluxos de calor do ciclo de absorção são indicados na Figura 5.3 e ocorrem da seguinte forma: o calor de uma fonte de alta temperatura é fornecido ao gerador, enquanto o calor a baixa temperatura da substância a ser refrigerada é fornecido ao evaporador. A rejeição de calor do ciclo ocorre no absorvedor e condensador a uma certa temperatura que permita que o calor possa ser rejeitado para a atmosfera.

Figura 5.3 – Modelo do equipamento e indicação dos fluxos [Robur, 2009]

Na Figura 5.3, é possível identificar os seguintes itens:

- $\dot{m}_F$ = vazão de água fria;
- T_{Fs} = temperatura de água fria na saída;
- T_{Fe} = temperatura de água fria na entrada;
- $\dot{m}_{GLP}$ = vazão do GLP, consumo;
- VCA = válvulas de circuito de água;
- $\dot{m}_Q$ = vazão de água quente;
- T_{Qe} = temperatura de água quente na entrada;
- T_{Qs} = temperatura de água quente na saída;

5.3. Definição de Eficácia de um Ciclo por Absorção

O coeficiente de eficácia para um ciclo de absorção COP é definido como:

$$COP_{ABS} = \frac{\text{Taxa de Refrigeração}}{\text{Taxa de Adição de Calor}} \quad (5.1)$$

Uma das desvantagens do ciclo de absorção com relação ao de compressão reside no seu reduzido coeficiente de performance. Sistemas por absorção podem apresentar COP's da ordem de 1,6. Em equipamentos comerciais de ciclo de duplo efeito nos sistemas por compressão, o COP pode chegar a 6,0 [Stoecker e Jones, 1985].

No entanto, o valor baixo do COP_{ABS} com relação ao COP do ciclo de compressão a vapor não deve ser considerado como um ponto negativo para os ciclos de absorção, pois os COP's dos ciclos são definidos de maneira diferente. O COP do ciclo de compressão a vapor é a relação da taxa de refrigeração pela potência na forma de trabalho fornecida para operar o ciclo. Como a energia na forma de trabalho possui melhor aproveitamento do que a energia na forma de calor, o resultado do ciclo de compressão é normalmente superior. Sobre a questão do confronto entre as eficácias dos ciclos, é possível realizar uma análise adicional comparativa.

A Figura 5.4 sugere como realizar essa análise. Os processos no bloco da esquerda da figura consistem em um ciclo de potência, o qual desenvolve o trabalho necessário para realizar a compressão de vapor do evaporador para o condensador no ciclo de refrigeração. O ciclo de potência recebe energia na forma de calor " Q_g " a uma temperatura absoluta " T_g " entrega energia na forma de trabalho para o ciclo de refrigeração, e rejeita uma quantidade de energia " Q_{ABS} " na forma de calor a uma temperatura " T_{ABS} ".

O ciclo de refrigeração recebe o trabalho " W ", e com ele transfere calor " Q_{ev} " à temperatura de refrigeração de " T_{ev} " para a temperatura " T_{cd} ", com o rejeito da quantidade de calor " Q_{cd} ". Nota-se que o ciclo ideal operando com processos termodinamicamente reversíveis entre duas temperaturas é um ciclo de Carnot. Para o ciclo de potência operando à esquerda da Figura 5.4, tem-se:

$$\frac{\dot{Q}_g}{\dot{W}} = \frac{T_g}{(T_g - T_{abs})} \quad (5.2)$$

Onde:

- T_{ev} = Temperatura de evaporação
- T_g = Temperatura no gerador
- T_{ABS} = Temperatura de rejeição de calor no absorvedor

Figura 5.4 – Combinação de ciclo de potência e de refrigeração [Stoecker e Jones, 1985]

A taxa de refrigeração é $\dot{Q}_{ev}$ e a taxa de calor adicionado ao gerador é $\dot{Q}_g$. Usando as expressões para $\dot{Q}_{ev}$ e $\dot{Q}_g$, obtém-se o COP para o ciclo ideal:

$$COP = \frac{\dot{Q}_{ev}}{\dot{Q}_g} = \frac{\dot{W} \cdot T_{ev} \cdot (T_g - T_{abs})}{\dot{W} \cdot T_g \cdot (T_{abs} - T_{ev})} = \frac{T_{ev} \cdot (T_g - T_{abs})}{T_g \cdot (T_{abs} - T_{ev})} \quad (5.3)$$

5.4. Refrigerante e Absorvente

O desempenho dos sistemas de absorção depende da escolha apropriada do par refrigerante-absorvente. Segundo Dossat e Horan (2001), os materiais constituintes do par refrigerante-absorvente devem satisfazer alguns critérios:

- Absorvente deve ter uma grande afinidade com o vapor do refrigerante;
- Tanto o absorvente quanto o refrigerante devem ser mutuamente solúveis na gama exigida pelas condições de funcionamento;
- Ambos os fluidos devem ser estáveis, seguros e não corrosivos;
- Absorvente deve ter uma volatilidade baixa, para que o vapor de refrigerante que sai do gerador contenha pouco ou nenhum absorvente;
- As pressões de trabalho devem ser baixas, de preferência próximas às pressões atmosféricas.

Tabela 5.1 – Pares de Refrigerante-Absorvente [Abreu, 1999]

Absorvente	Refrigerante
Água	Amônia, metil amina ou outras aminas alifáticas
Solução de água e brometo de lítio	Água
Solução de cloreto de lítio e metanol	Metanol
Ácido sulfúrico	Água
Hidróxido de sódio ou potássio ou misturas	Água
Nitrato de lítio	Amônia
Sulfocianeto de amônia	Amônia
Tetracloroetano	Cloreto de etila
Dimetil éter tetraetileno glicol	Cloreto de metileno
Óleo de parafina	Tolueno ou pentano
Glicol etílico	Metil amina
Éter dimetílico ou glicol tetraetílico	Monofluor dicloro ou diclorometano

Atualmente, três tecnologias de sistemas de absorção são bastante difundidas no mercado:

- Solução amônia-água ($\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$), na qual a amônia é o refrigerante e a água é o absorvente;
- Solução brometo de lítio-água ($\text{LiBr} + \text{H}_2\text{O}$), a água atua como refrigerante e o brometo de lítio é o absorvente;
- Sistema amônia, água e nitrogênio ($\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{N}_2$), no qual o nitrogênio é um gás inerte.

A Tabela 5.2 apresenta as principais diferenças entre os sistemas de absorção água-amônia e brometo de lítio-água, ressaltando as vantagens e desvantagens de cada um.

Tabela 5.2 – Diferenças entre os sistemas de absorção [Abreu, 1999]

Absorção Água-Amônia	Absorção Brometo de Lítio-Água
Pressão positiva no ciclo – não apresenta infiltração	Pressão negativa no ciclo
Capacidade de atingir temperaturas negativas	Alta temperatura de evaporação (evaporação somente em temperaturas acima de 5°C e 7°C)
Condensação em altas temperaturas: permite condensação a ar	Baixa temperatura de condensação
Não necessita de torre de resfriamento a água (não há consumo de água)	Necessita de torre de resfriamento de água
Permite reaproveitamento de calor	Não permite reaproveitamento de calor
Não precisa de bomba de vácuo	Necessita de bomba de vácuo
Baixa manutenção (não requer manutenção frequente)	Manutenção frequente, principalmente na torre de resfriamento
Não necessita de química para tratamento de fungos e bactérias (sem tratamento de água)	Alto consumo de água, química fungicida e bactericida
Menor consumo elétrico	Maior consumo elétrico
Não apresenta cristalização	Pode apresentar cristalização
Menor rendimento térmico do ciclo	Maior rendimento térmico do ciclo
Não compatível com o cobre e suas ligas	Não-tóxico, e largamente aplicado em sistemas de climatização

O coeficiente de desempenho (COP) do sistema a absorção costuma ser menor do que o do sistema de compressão a vapor, sendo a relação de 1 para 5 ou mais, considerando as mesmas condições de funcionamento. Em sistemas comerciais por absorção, alguns componentes são integrados ao conjunto para melhoria de desempenho e eficiência termodinâmica.

6. Sistema de Moto-gerador com Cogeração

A configuração de cogeração definida para este estudo inclui um ciclo *topping* com um moto-gerador funcionando para produzir energia elétrica e o aproveitamento da energia rejeitada pelos gases de escapamento, água de refrigeração e óleo de lubrificação, para aquecer água que será armazenada em um reservatório com um aquecedor auxiliar. A água quente será destinada em seu uso final para água de serviço (banho e torneiras).

Tanto o moto-gerador quanto o aquecedor auxiliar funcionariam queimando GLP. As equações 6.1 a 6.7 utilizam ajustes quadráticos em função da carga parcial do motor. Todos os coeficientes (a, b, c, d, e) foram avaliados com base em dados de fabricantes dos motores.

$$\frac{EEO}{FEI} = \frac{EEO}{(\dot{m}_{fuel}LHV)} = a_1 + a_2PLR + a_3PLR^2 \quad (6.1)$$

$$PLR = \frac{EEO}{NGC} \quad (6.2)$$

Onde:

- *EEO* (*Electric Energy Output*) é a potência elétrica [W]
- *FEI* (*Fuel Energy Input*) representa a taxa de energia liberada pela queima do combustível [W]
- *NGC* (*Nominal Generator Capacity*) é a capacidade nominal do gerador [W]
- $\dot{m}_{fuel}$ é a vazão mássica de combustível queimado pelo motor [kg/s]
- *PLR* (*Part Load Ratio*) é a carga parcial que o motor está funcionando
- *LHV* (*Lower Heating Value*) é o poder calorífico inferior [J/kg]

Para definir a quantidade de calor rejeitada pelo motor e aproveitada na cogeração, são utilizadas as Equações 6.3, 6.4 e 6.5 mostradas a seguir.

$$\frac{TEH}{FEI} = \frac{TEH}{(\dot{m}_{fuel}LHV)} = d_1 + d_2PLR + d_3PLR^2 \quad (6.3)$$

$$\frac{EGT}{FEI} = \frac{EGT}{(\dot{m}_{fuel}LHV)} = e_1 + e_2PLR + e_3PLR^2 \quad (6.4)$$

$$\dot{m}_{exhaust} = \frac{TEH}{C_{pexhaust}(T_{exhaust} - T_{ref})} \quad (6.5)$$

Onde:

- *TEH* (*Total Exhaust Heat*) é a taxa de energia aproveitável dos gases de escapamento do motor [W]
- *EGT* (*Exhaust Gas Temperature*) é a temperatura dos gases de escapamento do motor [K]
- $\dot{m}_{exhaust}$ é a vazão mássica de gases do escapamento [kg/s]
- $C_{pexhaust}$ é o calor específico dos gases de escapamento [J/(kg.K)]
- $T_{exhaust}$ é a temperatura em que os gases de escapamento saem do motor [K]
- T_{ref} é a temperatura de referência para o poder calorífico inferior [K].

A temperatura de referência é normalmente especificada pelos fabricantes em 25°C.

$$\frac{RJH}{FEI} = \frac{RJH}{(\dot{m}_{fuel}LHV)} = b_1 + b_2PLR + b_3PLR^2 \quad (6.6)$$

$$\frac{RLOH}{FEI} = \frac{RLOH}{(\dot{m}_{fuel}LHV)} = c_1 + c_2PLR + c_3PLR^2 \quad (6.7)$$

Onde:

- *RJH* (*Recoverable Jacket Heat*) é a taxa de energia aproveitável do fluido que refrigera as camisas dos pistões [W]

- *RLOH (Recoverable Lube Oil Heat)* é a taxa de energia aproveitável do óleo de lubrificação do motor [W]

Os fabricantes dos motores informam as taxas de energia aproveitável nos gases de combustão, fluido de arrefecimento e óleo de lubrificação para uma série de diferentes condições de funcionamento do motor. A partir destes dados, é possível encontrar todos os coeficientes especificados nas equações 6.1 a 6.7.

7. Modelo do Sistema de Aquecimento de Água

No mundo, o aquecimento de água é usado na grande maioria das vezes para o chuveiro. Também existem outros tipos de aplicação para a água quente, tais como tanques, pias de cozinha e banheiro, lavadoras de roupas, lavadoras de pratos, em sistemas de aquecimento e conforto de ambientes, aquecimento de pisos e piscinas.

Os sistemas de aquecimento de água são equipamentos, dispositivos, infraestrutura e acessórios que possuem como objetivo a conversão de fonte de energia em calor, transferindo-o para a água a ser consumida na quantidade e temperatura desejadas. Também pode ocorrer uma simples transferência de calor para água, e esta trocar calor com ambiente para atingir o conforto térmico, sendo o aquecedor o elemento principal deste sistema.

Os aquecedores de água são equipamentos que têm como objetivo fornecer água quente suficiente para todos os pontos de consumo, na temperatura e vazão desejada, conforme projeto específico, de forma a atender a expectativa do usuário.

Os aquecedores podem ser divididos em aquecedores instantâneos (ou de passagem) e aquecedores de acumulação, conforme mostrado na Figura 7.1. Podem atender exclusivamente a uma unidade autônoma, por meio de sistemas individuais ou centrais privados, independentemente dos pontos de consumo e número de usuários, ou mesmo ao abastecimento de um conjunto de unidades autônomas, os chamados sistemas centrais coletivos.

Os aquecedores de acumulação podem ser do tipo conjugado, quando há a junção entre um reservatório e um aquecedor de passagem, ou ainda com queimador acoplado, sendo que a transferência de calor entre a fonte de energia (aquecedor de passagem ou queimador) e o reservatório pode ser feita por meio de trocadores de calor de contato direto ou indireto.

Os aquecedores de passagem ficam restritos ao equipamento, enquanto que os sistemas de acumulação incorporam diversas configurações e alternativas de sistemas, conforme as características da demanda. Contudo, independentemente do sistema adotado, estes equipamentos podem ser incorporados em diversas aplicações.

Figura 7.1 – Caracterização dos tipos de aquecedores a gás [Chaguri, 2009]

Os sistemas de aquecimento são divididos conforme as características da infraestrutura hidráulica, e podem ser classificados em sistemas individual, central privado e central coletivo. Esta classificação considera a dimensão do sistema de distribuição de água quente, conforme mostrado na Figura 7.2.

Figura 7.2 – Classificação de sistemas de aquecimento [Chaguri, 2009]

Como visto na Figura 7.2, pode-se verificar a hierarquia dos três sistemas de aquecimento. O sistema individual é constituído de um aquecedor (equipamento), e quando incorporado a uma rede de distribuição interna à unidade habitacional, há um sistema central privado. Quando o equipamento é incorporado a uma rede de distribuição externa à unidade habitacional, há um sistema central coletivo.

Nos três tipos de sistemas (individual, central privado e central coletivo), é possível utilizar aquecedores idênticos, desde que consideradas as particularidades dos sistemas com relação ao comportamento de uso, instalação e operação. A escolha do sistema mais adequado deve considerar diversos aspectos, inclusive as características da edificação, os custos de instalação, manutenção e operação.

7.1. Sistema Individual

O sistema individual é caracterizado pela ausência de uma rede de distribuição de água quente, já que a alimentação se apresenta em um único ponto de utilização. Neste sistema, o equipamento é instalado no ponto de consumo ou próximo deste, com o fornecimento de água quente exclusivo para o ponto. O chuveiro elétrico ou a gás é um exemplo de equipamento de sistema individual.

Porém, mesmo com pequenos trechos de água quente para alimentação do ponto de consumo, o sistema individual necessita de uma infraestrutura de alimentação da água fria para o aquecedor, o qual pode ser uma simples derivação de um ponto de consumo de água fria. Este tipo de sistema é normalmente aplicado em residências que possuem apenas um ponto de consumo de água quente, como por exemplo em apartamentos com um banheiro, quitinetes e flats.

7.2. Sistema Central Privado

O sistema central privado é composto de uma rede de distribuição e um equipamento de aquecimento, o qual fornece água quente para diversos pontos de utilização de uma mesma unidade, por exemplo, um apartamento com vários chuveiros e torneiras com água quente [ILHA, 1994].

Neste sistema, é possível utilizar apenas um equipamento para fornecer água quente para diversos pontos de consumo, simultâneos ou não, mantendo a fonte de calor em uma área específica para o equipamento. Esse sistema é aplicável quando há a necessidade de fornecimento de água quente para mais de um ponto de consumo dentro de uma mesma residência, mantendo o equipamento centralizado sob supervisão e operação do morador, inclusive no que diz respeito aos custos operacionais.

Nesta configuração, pode-se ter apenas um aparelho a gás para fornecer água quente para dois ou mais pontos de consumo, e para diversas aplicações distintas.

7.3. Sistema Central Coletivo

O sistema central coletivo, da mesma forma que o central privado, é caracterizado pela existência de uma rede de distribuição e um equipamento de aquecimento (ou vários equipamentos). Entretanto, neste sistema, o atendimento é realizado para diversas peças de utilização existentes em mais de uma unidade, como por exemplo em um edifício com unidades habitacionais de um hotel.

O sistema central coletivo possui os aquecedores localizados em uma área comum do condomínio, com as redes de distribuição de água quente alimentando todos os pontos de consumo de todas as unidades da edificação. Porém, em algumas

aplicações, pode haver divergência quanto ao conceito de sistemas individuais e coletivos, como em algumas aplicações comerciais, como por exemplo academias, clubes e outras que atendem certa diversidade de usuários, porém sendo apenas uma unidade autônoma.

7.4. Tipos de Aquecimento de Água

Os tipos de aquecimento de água podem ser divididos pela fonte de energia, e dentre os mais comuns, é possível citar o gás, a energia elétrica e a radiação solar. As características desses aparelhos serão descritas a seguir.

7.5. Aquecedores a Gás Instantâneo ou de Passagem

A utilização de aquecedores individuais de passagem foi difundida principalmente pela facilidade de implantação e pelo pouco espaço ocupado, quando comparados aos sistemas de acumulação.

Os aquecedores de passagem são aparelhos que funcionam para atender um consumo imediato, atendendo apenas à demanda no instante da solicitação. O acionamento destes aparelhos é feito por meio do fluxo de água que percorre a tubulação, sendo acionados no momento da solicitação de água no ponto de consumo, e acaba quando o ponto de consumo é fechado, desligando automaticamente o aparelho.

Na presença de sistemas de recirculação interna à unidade, quando a distância do aquecedor até os pontos de consumo causa desconforto aos usuários, bombas de circulação fazem a operação de acionamento e desligamento do aparelho automaticamente por meio da vazão de água.

O acionamento e o desligamento do queimador nos aquecedores de passagem são feitos por meio de um queimador piloto, que fica constantemente aceso para acionar o queimador principal quando necessário. Contudo, novas tecnologias permitem que este acionamento seja feito através da ignição provocada por uma pilha ou por uma fonte de energia elétrica, permitindo que o sistema não mantenha um consumo de gás permanente, inutilizando a função do queimador piloto constantemente aceso.

É possível simplificar o conceito dos aquecedores de passagem visualizando-o como uma serpentina, onde a água que passa por dentro é aquecida por meio do calor gerado pelo queimador, localizado na parte de baixo do equipamento, conforme visto na Figura 7.3.

Figura 7.3 – Esquema de funcionamento de aquecedores a gás [Chaguri, 2009]

Além da serpentina e do queimador, o aquecedor de passagem é constituído de um sistema de controle de fluxo e segurança, que promove o acionamento de água, gás e sistema de exaustão por meio de elementos fixos, permitindo a saída dos gases queimados para a chaminé da forma mais eficiente.

Devido à sensibilidade dos dispositivos de controle e segurança, reduzindo os riscos de operação, e às perdas de carga do aparelho, estes funcionam com uma pressão mínima na entrada de água fria, podendo variar de 5 a 20 mca (0,5 a 2,0 bar), o que dificulta a sua aplicação em redes com pouca pressão de água, como é o caso de casas e apartamentos em andares altos (próximo às caixas d'água). Em alguns casos, é realizada a pressurização dos últimos andares apenas para possibilitar a instalação dos aquecedores de passagem.

Este equipamento, apesar da possível economia gerada com o acionamento instantâneo, quando comparado com os sistemas de acumulação, possui limitações físicas em função da relação da vazão instantânea da água que passa pelo aparelho, da potência do aparelho e da temperatura de trabalho.

Esta limitação de vazão pode ser restritiva quando se deseja dimensionar o sistema para o consumo simultâneo de diversos pontos de aquecimento, ou até mesmo a utilização para aquecimento de banheiras, quando são necessárias grandes vazões em pequeno espaço de tempo.

Alguns modelos de aparelhos possuem um dispositivo que varia a potência conforme a vazão solicitada, denominado chama modulável. Com isso, evita-se que pequenas vazões gerem consumos desnecessários de combustível, ou que um superdimensionamento do aparelho resulte em aumento de consumo.

Para o dimensionamento dos aquecedores de passagem, é importante analisar o rendimento desses aparelhos, sendo este dado pela razão entre o poder calorífico superior do gás combustível usado e a quantidade de calor transferida para a água, assim como a vazão máxima de funcionamento e as temperaturas de trabalho.

Devido a esta característica, os aquecedores são dimensionados para o pico de consumo, no instante em que ocorre a maior vazão. Estes aparelhos, apesar de considerados por muitos autores como aquecedores individuais, podem ser aplicáveis em sistemas centrais coletivos, aquecimento de piscina, vestiários e outras aplicações específicas, desde que consideradas as características especificidades dos aparelhos.

O aquecimento de passagem coletivo é utilizado quando a somatória das potências dos aquecedores de passagem é maior que a demanda de energia calculada para o horário de pico do sistema, o que às vezes pode ser de difícil obtenção.

Para esta aplicação, os aquecedores de passagem utilizam trocadores de calor, principalmente por conta da limitação de vazão dos aparelhos, com o objetivo de transferir a energia gerada pelos aquecedores para a água de consumo. Com isso, não há contato da água do sistema de distribuição, que atende os pontos de consumo, com a água do sistema de aquecimento, que interliga os aquecedores com os trocadores de calor.

7.6. Aquecedores a Gás por Acumulação

Os aquecedores de acumulação são aparelhos que mantêm um volume de água quente armazenado, disponível para atender a demanda nos horários de maior consumo, sendo constituído, basicamente, de um reservatório de água, unidade de aquecimento e acessórios, que mantêm um volume de água quente armazenada disponível para consumo.

O aquecedor de acumulação funciona com um termostato ligado ao reservatório, que aciona o queimador (unidade de aquecimento), ou dispositivo de acionamento do sistema, que liga e desliga conforme a temperatura da água definida pelo usuário. Quando a temperatura do reservatório cai abaixo da temperatura pré-definida, é acionado o dispositivo de aquecimento, que aquece a água armazenada até atingir a temperatura selecionada. Em um aquecedor de acumulação, o tamanho do reservatório e a vazão de água quente fornecida são fatores importantes no dimensionamento.

No sistema de acumulação, há uma entrada de água fria, que ocorre na parte de baixo do reservatório (parte mais fria) e uma saída na parte superior de água quente, que distribui para os pontos de consumo a água com a temperatura mais elevada do reservatório. Esta diferença de temperatura ocorre devido à diferença de densidade entre a água fria (mais pesada) e a água quente (mais leve), provocando sempre a estratificação térmica do reservatório em diferentes níveis.

Alguns dispositivos e acessórios são instalados com o objetivo de garantir o bom funcionamento do sistema, como, por exemplo, as válvulas de segurança, sifão e válvulas eliminadoras de ar. As válvulas de segurança são instaladas com o objetivo de proteger o reservatório no caso de uma pressão acima da permitida pelo sistema.

Essa sobre pressão pode ocorrer por uma má regulação na pressão da rede de água fria, ou devido à expansão da água durante o processo de aquecimento do reservatório. Para evitar danos ao equipamento causado pela expansão, além da necessidade da válvula de segurança, é proibida a instalação de válvulas de retenção na entrada de água fria do equipamento, conforme ABNT NBR 7198 (1993), permitindo assim a expansão da água quente para a rede de água fria. Como o reservatório mantém a água quente constantemente armazenada, estes equipamentos são isolados termicamente, para reduzir as perdas térmicas com o ambiente.

A vantagem deste tipo de aquecedor é manter um volume de água quente armazenado (em função da capacidade do aquecedor), disponibilizando este volume para consumo imediato, não havendo limitações de vazão por parte do aparelho, sendo a limitação ligada ao tempo de recuperação do volume consumido.

O aquecedor de acumulação é dimensionado conforme o padrão de uso a que se destina, podendo atender à variadas demandas de água quente, desde uma residência com apenas um morador (Figura 7.4) até centros hoteleiros (Figura 7.5). O que diferencia os dois extremos é a quantidade de água quente armazenada (volume armazenado) e a potência dos aquecedores, ou a capacidade de recuperação do volume armazenado conforme a demanda.

Figura 7.4 – Aquecedor de acumulação em uma unidade habitacional [Chaguri, 2009]

Figura 7.5 – Sistema central a gás coletivo [Chaguri, 2009]

Conforme as características de uso do sistema de aquecimento, é possível a utilização de um fator de simultaneidade que prevê o uso concomitante – definido probabilisticamente pela demanda dos pontos de consumo, podendo ser previsto o atendimento de apenas uma parte da demanda instalada ao mesmo tempo.

As aplicações destes fatores devem ser avaliadas em função do perfil de consumo de água quente. Existe ainda a possibilidade de união dos dois sistemas de aquecimento (passagem e acumulação), o qual é denominado sistema conjugado. Este consiste basicamente na utilização de reservatórios térmicos para o armazenamento da água quente (sem queimadores acoplados), e aquecedores de passagem ligados a uma bomba, mantendo a temperatura da água no reservatório sempre constante.

8. Caracterização do Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)

A consideração da transformação completa da energia primária em energia final, e desta em energia útil, conduz a uma abordagem ampliada da eficiência energética. Pode-se privilegiar (ou penalizar) determinados equipamentos, processos, sistemas e até mesmo fontes de energia, adequando o conceito de eficiência a outros elementos do planejamento energético.

Entende-se que a não consideração do consumo de energia primária associada ao consumo de energia útil pode fazer com que a avaliação da eficiência gere distorções sobre quais tecnologias são realmente mais eficientes, principalmente quando diferentes rotas tecnológicas operando com diferentes fontes energéticas são comparadas.

Na análise da fonte de geração de energia elétrica a partir de termelétricas que utilizam o gás natural, pode-se observar que as perdas na cadeia envolvida são maiores que na aplicação direta em sistema de aquecimento de água, conforme demonstrado na Figura 8.1.

Figura 8.1 – Perdas na geração termelétrica [Mello Jr. 2006]

Para o cálculo mostrado na Figura 8.1, foi utilizada a média da eficiência do parque termelétrico brasileiro entre 2005 e 2009 [MME, 2010]. O item “T & D” (transporte e distribuição) foi obtido pelo relatório do MME em 2009. Entretanto, quando analisadas as perdas no processo de aquecimento de água utilizando o gás diretamente aplicado ao processo, encontra-se uma eficiência superior ao da geração de energia elétrica por térmicas, conforme mostrado na Figura 8.2.

Figura 8.2 – Perdas no uso do GLP para aquecimento da água [Mello Jr. 2006]

8.1. Gás Liquefeito do Petróleo (GLP)

O GLP é um dos subprodutos resultantes do refino do petróleo, sendo predominantemente composto da mistura de dois hidrocarbonetos:

- Propano (C_3H_8);
- Butano (C_4H_{10}).

Quando mantido sob pressão, encontra-se no estado líquido, e é relativamente estável. Isto facilita a sua armazenagem e utilização em diferentes setores e usos finais. Algumas características importantes podem ser mencionadas, tais como o alto poder energético, podendo colocar em funcionamento desde o menor aparelho doméstico até grandes instalações industriais. Além disso, por ser um combustível mais limpo que outros derivados de petróleo, o GLP pode ser usado em contato direto com alimentos e artigos tais como cerâmica fina, sem nenhum prejuízo à pureza e à qualidade destes produtos.

A escolha pelo GLP em detrimento do Gás Natural (GN) foi baseada em função da maior facilidade na distribuição do GLP, principalmente levando em consideração os locais onde a infraestrutura para o fornecimento de Gás Natural se torna inviável. A Tabela 8.1 mostra uma comparação entre as características técnicas do GLP e do Gás Natural (GN), para a utilização comercial destes.

Tabela 8.1 – Comparação entre as características do GLP e do GN

GLP (Gás Liquefeito do Petróleo)	GN (Gás Natural)
Fornecimento do gás não depende de tubulação externa	Fornecimento do gás depende de uma rede de tubulação externa proveniente de uma distribuidora/concessionária
Fornecimento de gás depende de abastecimento dos tanques de gás	Fornecimento feito pelas redes de distribuição é direto e ininterrupto
Mistura dos gases butano e propano	Mistura de hidrocarbonetos gasosos (principalmente metano e etano)
Necessidade de tanque ou cilindros para armazenamento do gás	Melhor aproveitamento dos espaços (não depende de tanques-pulmão)
Maior capilaridade na distribuição, podendo ser comercializado em locais que não possuem infraestrutura adequada (tubulações de gás)	Depende de adequada infraestrutura (tubulações de gás) para a correta distribuição

8.1.1. Origem do Uso do GLP no Mundo

O uso do GLP teve seu início histórico no mundo em 1910, nos EUA, quando Andrew Kerr começou a coletar os gases que eram descartados na obtenção da gasolina, comprimindo-os e armazenando em pequenos tanques. Dois anos mais tarde, outro pioneiro da indústria, Walter Snelling, desenvolveu um sistema pressurizado que transformava o gás em líquidos, e fez a primeira instalação

doméstica em Waterford, na Pensilvânia (EUA). Este GLP foi usado para cocção e iluminação [POTEN, 2004].

A comercialização deste novo produto foi lenta, em parte por uma briga judicial sobre a patente da tecnologia do GLP, durante a década de 1920, por duas empresas americanas: The Carbide Company e Phillips Petroleum [POTEN, 2004].

O início do uso do GLP internacionalmente, porém, ocorreu no final dos anos 1920, com sua utilização nos dirigíveis que faziam serviços regulares de voos entre países a longas distâncias. Com os serviços regulares dos dirigíveis, os diversos países que faziam parte desta rota internacional armazenavam o gás em cilindros para abastecer as aeronaves. Entretanto, um acidente com o dirigível Hindenburg nos EUA precipitou a suspensão das viagens dos dirigíveis no mundo.

Os estoques do gás, após o fim destas viagens foram descartados nos países, exceto no Brasil. A utilização como combustível em solo brasileiro está ligada à história do dirigível alemão Graff Zeppelin, que transportava passageiros entre a Europa e a América do Sul, durante alguns anos no início do Século XX. Por sua alta octanagem, o GLP era usado como combustível do motor desses dirigíveis.

Na década de 1930, quando essas viagens foram suspensas, um grande estoque de combustível do Zeppelin, totalizando seis mil cilindros de gás propano, ficou armazenado nas cidades do Rio de Janeiro e de Recife. Foi então que Ernesto Igel, um austríaco naturalizado brasileiro, comprou todos os cilindros e começou a comercializá-los como gás para cozinha, por meio da Empresa Brasileira de Gás a Domicílio, fundada por ele.

Naquele tempo, a maior parte da população utilizava fogões à lenha. Em menor escala, havia fogões a álcool e a querosene. O GLP começou a ser importado dos Estados Unidos, mas o número de consumidores do produto ainda era insignificante. Alguns anos depois, durante a Segunda Guerra Mundial, as importações foram suspensas. Terminado o conflito, surgiu uma segunda distribuidora de GLP no país e o consumo se expandiu. Botijões começaram a ser fabricados no Brasil e a importação a granel tornou-se possível com investimentos em navios-tanque e em terminais de armazenagem e engarrafamento.

O consumo doméstico do cresceu bastante ao longo da década de 1950, propiciando o surgimento de outras distribuidoras e fabricantes de botijões, para atender a demanda. Um destes fabricantes, a Mangels, desenvolveu o projeto do botijão de 13 kg, que acabaria se tornando o padrão brasileiro. Em 1955, dois anos depois de sua fundação, a Petrobras havia começado a produzir gás liquefeito de petróleo. Cinco décadas depois, o Brasil está atingindo a autossuficiência na produção, que assim passa a ser um produto 100% nacional.

A ANP classifica o GLP como o conjunto de hidrocarbonetos com três ou quatro átomos de carbono (propano, propeno, butano e buteno), podendo apresentar-se isoladamente ou em mistura entre si e com pequenas frações de outros hidrocarbonetos. A densidade média do GLP é de 2,50 kg/m³, seu poder calorífico inferior é de 11.100 kcal/kg e ao se comparar ao petróleo tem-se 4,487 barris equivalentes por metro cúbico [ANP, 2011].

8.1.2. Mercado Brasileiro de GLP

O Brasil é o quinto maior mercado consumidor de GLP do mundo, atrás somente de EUA, Japão, China e México, com um consumo anual em 2010 de 7 milhões de toneladas, de acordo com dados do MME – Ministério das Minas e Energia. Na América Latina, o Brasil se destaca como o segundo maior consumidor, tendo apenas o México com um consumo superior, que ficou em 9 milhões de toneladas, segundo WLPGA, conforme ilustrado na Figura 8.3.

No Brasil, em residências ou recintos comerciais, o GLP é geralmente usado para calefação de ambientes e aquecimento de água, além do uso mais conhecido, que é a cocção de alimentos. Já a aplicação industrial inclui: funcionamento de empilhadeiras industriais, fornos para tratamentos térmicos, combustão direta de fornos para cerâmica, indústria de vidro, processos têxteis e de papel, secagem de pinturas e gaseificação de algodão.

No mercado agrícola brasileiro, o GLP é usado para a produção vegetal como no caso de estufas de planta e desinfecções, no animal em incubadoras de granjas e em outros diversos usos. Em alguns países é utilizado também como combustível automotivo, em veículos de transporte coletivo, táxis e automóveis particulares, mas no Brasil este uso é proibido, exceto para empilhadeiras.

Figura 8.3 – Demanda de GLP em milhões de toneladas – América Latina [Statistical Review of Global LPG, 2011]

Nos últimos anos, houve um incentivo muito grande por parte do governo brasileiro ao crescimento do gás natural na matriz energética brasileira, tanto no segmento industrial como residencial, além do GLP, que também teve um crescimento expressivo. A Tabela 8.2 mostra a Matriz Energética Brasileira de 2011 em forma de ranking de consumo e participação.

Tabela 8.2 – Ranking da Matriz Energética Brasileira – 2015 [EPE – BEN, 2015]

Fonte	Consumo [10³ TEP]	[%]
Óleo Diesel	41.134	17,1%
Eletricidade	39.187	16,3%
Bagaço de Cana	30.991	12,9%
Gasolina	17.578	7,3%
Gás Natural	17.268	7,2%
Lenha	17.052	7,1%
Álcool Etílico	13.311	5,5%
Outras Fontes Secundárias do Petróleo	11.908	4,9%
Gás Liquefeito do Petróleo (GLP)	7.701	3,2%
Nafta	7.331	3,0%
Produtos Não-Energéticos do Petróleo	7.105	2,9%
Coque do Carvão Mineral	6.261	2,6%
Outras Fontes Primárias Renováveis	6.043	2,5%
Óleo Combustível	4.939	2,0%
Carvão Vegetal	4.648	1,9%
Carvão Mineral	3.639	1,5%
Querosene	3.200	1,3%
Gás de Coqueria	1.415	0,6%
Alcatrão	238	0,1%
Total Geral	240.949	100,0%

Com base nas mesmas informações disponibilizadas no Balanço Energético Nacional em 2015, pode-se verificar que ao longo do período de 2001 a 2010, houve uma regressão na participação de mercado do GLP dentro da Matriz Energética Brasileira, com uma redução de 4,5% em 2001 para 3,2% em 2010, que em parte pode explicada pela falta de incentivo ao uso e pelas importações realizadas no consumo energético, conforme ilustrado na Figura 8.4.

Figura 8.4 – Evolução da participação do GLP na Matriz Energética Brasileira [EPE – BEN, 2015]

O GLP tem um papel importante a desempenhar na matriz energética brasileira e na economia do país. Mas ao longo do tempo, por razões inúmeras, tornou-se conhecido apenas como “gás de cozinha” e, assim, por vezes é subestimado em sua capacidade de participar da matriz energética com usos mais nobres. É visto por muitos, equivocadamente, como se fosse uma energia “antiga”.

Em suma, aquele que sempre foi considerado um combustível que onerava as contas externas do país, não só passará a atender totalmente ao consumo local, como poderá ser utilizado em novas aplicações. O GLP poderá ser até mesmo exportado, caso não sejam feitos esforços em favor da mudança de percepção da sociedade com relação ao consumo energético, passo fundamental para incentivar o mercado interno nas suas diversas formas de uso.

Independentemente da metodologia para cálculo das projeções futuras de oferta e demanda de GLP, o fato é que, em decorrência do aumento da capacidade de refino de petróleo e das providências tomadas pelo governo para diminuir a dependência externa de gás natural, aumentando a produção nacional deste insumo energético, o país, além de atingir a autossuficiência, poderá até se tornar superavitário no curto prazo.

Essa situação colocará o Brasil diante de algo inusitado, que é o fim da dependência externa do GLP, obrigando o setor e o próprio governo a alocarem esforços na busca de oportunidades de novos negócios. Neste cenário, o mercado interno será ampliado, gerando emprego e renda e resultando no bem-estar da população.

Com a entrada em operação do primeiro módulo do COMPERJ previsto para ocorrer em 2014, o déficit nacional foi praticamente zerado, considerando que o consumo do produto deverá ser na faixa de 2,33% ao ano, sem novos consumos e mantendo-se as barreiras legais atuais. Com o início da operação da Refinaria Premium I – Bacabeira - MA previsto para 2017, e da Refinaria Premium II – Pecém – CE também em 2017, o Brasil passa a ser exportador e vários outros derivados, mantendo-se nessa condição até o final do período analisado (ano 2020), conforme PDE 2020 da EPE.

Com base no PDE 2020, estima-se que o Brasil terá um excedente de 3.265 m³ por dia, o que equivale a 1.191.725 m³ no ano, ou 655.449 toneladas de GLP, utilizando-se uma densidade média do produto de 0,550 g/m³.

Analisando outro documento também emitido pela EPE, o PNE 2030 – Plano Nacional de Energia 2030, cujo horizonte de estudo é de mais longo prazo, o Brasil terá uma produção interna de 30,324 bilhões de litros de GLP em 2030, contra um consumo de 24,888 bilhões de litros, o que dará um excedente de produção de 6,338 bilhões de litros e se convertido para quilograma, que é a unidade de medida adotada para o produto no mercado, representando uma produção excedente de 3,485 milhões de toneladas em 2030.

Figura 8.5 – Projeção da produção e consumo de GLP em bilhões de litros [EPE – PNE, 2010]

Conforme demonstrado por SINDIGAS (2011), o mercado brasileiro de GLP cresceu 21% entre 1995 e 2010, o que significa um aumento pouco representativo do consumo do insumo energético, se comparado a outras fontes. O consumo brasileiro saiu da ordem de 5,7 milhões de toneladas por ano em 1995, para 6,9 milhões de toneladas em 2010. Ao mesmo tempo, em 1995 a participação do mercado granel era de apenas 15,7% do total geral consumido, ao passo que 2010 essa participação cresceu para 27,5%, conforme ilustrado na Figura 8.6.

Figura 8.6 – Vendas de GLP por ano em milhões de toneladas [Sindigás, 2011]

O consumo do mercado envasado flutuou na faixa de 5 milhões de toneladas por ano. A predominância do consumo do GLP em recipientes transportáveis, os chamados “botijões”, é para cocção de alimentos. É chamado de “Mercado Envasado” e basicamente a comercialização e atendimento do segmento residencial, cujas vendas são através dos botijões, cujos recipientes podem conter 2 kg, 5 kg, 8 kg, 13 kg, 16 kg, 20 kg, 45 kg ou 90 kg do produto. O consumidor final na aquisição tem que dispor de um botijão vazio, para trocar pelo botijão cheio, que é reutilizável [Ultragaz, 2011].

No “Mercado a Granel”, a venda saiu de 0,9 milhões de toneladas em 1995 para 1,9 milhões de toneladas em 2010, o que representa mais de 100% de crescimento de sua utilização. Esse segmento do mercado atende basicamente os setores comercial e industrial, cujas vendas se dão na forma líquida (a granel), e o transporte ao cliente é feito por meio de caminhões equipados com vaso de pressão, abastecendo seus reservatórios estacionários, que podem armazenar em quantidades de 190 kg, 500 kg, 1.000 kg, 2.000 kg, 4.000 kg, 20.000 kg, 60.000 kg. É por meio desse segmento e mercado que as distribuidoras atendem o mercado de condomínios residenciais, com a utilização para cocção de alimentos e aquecimento de água.

8.1.3. Análise Histórica de Preços

O GLP está presente na quase totalidade dos municípios brasileiros, e esta impressionante abrangência foi alcançada em menos de 70 anos, desde a chegada deste tipo de gás no Brasil com o fundador da Ultragaz, Sr. Ernesto Igel.

A análise das fases dos preços dos derivados de petróleo no Brasil mostra uma forte interdependência (principalmente a partir dos anos 1970) do movimento destes

preços e os problemas de natureza macroeconômica enfrentados pelo Brasil ao longo do mesmo período.

Os derivados do petróleo foram frequentemente utilizados pelo governo brasileiro como instrumento de política econômica e energética (de curto e longo prazos), com o objetivo principal de diminuir os efeitos negativos potenciais dos dois choques de preços do petróleo no mercado internacional sobre o balanço de pagamentos e o nível de preços internos.

Até os anos 1990, a política de preços dos derivados no Brasil privilegiou sistematicamente os consumidores de GLP, sobre cujos preços, em nome de preocupações sociais, incidiram taxas inferiores à dos demais derivados, o que pode explicar o consistente crescimento até este período.

É possível entender que, frente aos outros insumos energéticos, a estrutura de preços e subsídios concedidos, apresenta novas tendências diante das atuais mudanças estruturais observadas no caso brasileiro. A partir dos anos 1990, a política de preços começou a ser adaptada para a introdução de uma economia de mercado, dando início a um processo gradual de liberalização de preços e de retirada dos subsídios.

A partir de 2002, este preço foi efetivamente liberado em todo o território nacional, e o auxílio-gás foi criado para garantir o acesso da população de baixa renda ao produto. Após a liberalização, parte do consumo presente na quase totalidade dos municípios brasileiros foi parcialmente substituída pela lenha, mais nociva ao consumidor em termos de poluentes, invertendo a tendência observada desde a origem do uso no Brasil. Os principais fatores históricos que explicam o atual perfil de consumo do GLP e a importância da eficiência operacional dos equipamentos a gás contemplam uma metodologia de análise de mercado para novos produtos.

8.1.4. Sistema de Precificação Atual

A Emenda Constitucional nº 33, de 11 de dezembro de 2001, regulamentada pela Lei Complementar nº 10.336, de 19 de dezembro de 2001, extinguiu a PPE, parcela de preço específica, e instituiu a Contribuição de Intervenção de Domínio Econômico (CIDE). A CIDE é cobrada sobre a produção, importação e comercialização de gasolinas, diesel, querosene de aviação, outros querosenes, óleos combustíveis, GLP e álcool etílico anidro.

Até dezembro de 2001 o governo determinava o preço que a Petrobrás recebia pela venda do GLP. A partir de janeiro de 2002, os preços na refinaria foram liberados, isto é, passaram a ser estabelecidos pela empresa distribuidora e calculados com base nos preços praticados no mercado internacional, na taxa de câmbio e demais fatores comerciais.

Com essa medida a ANP sedimentou a liberação dos preços de venda e a eliminação dos subsídios de preços e fretes dos combustíveis. No dia 4 de maio de 2002, os preços ao consumidor final foram liberados em todo o país. A gasolina, o óleo diesel e o GLP ficaram então, submetidos ao regime de preços liberados, cabendo ao

Governo apenas reajustar, dentro da periodicidade definida na Portaria MF/MME nº 2, seu preço de faturamento.

9. Consumo de Energia no Setor Comercial

A atividade do setor comercial vem se expandindo nos últimos anos, por conta do comportamento do consumo de bens e serviços. Foram consumidos no ano de 2014 cerca de 430 mil GWh de eletricidade na rede, 3,6% a mais que em 2013 [EPE, 2015]. Todas as classes apresentaram crescimento positivo, com destaque para os setores comercial (+6,3%) e residencial (+4,6%). A classe industrial apresentou crescimento mais modesto (+2,3%), caracterizado por uma dinâmica diferenciada entre as regiões do país [EPE, 2012].

O consumo da classe comercial totalizou 73,5 mil GWh em 2011, registrando crescimento de 6,3% sobre 2010 — o melhor desempenho entre as classes de consumo. As taxas se mantiveram elevadas praticamente ao longo de todo o ano [EPE, 2012].

Tabela 9.1 – Estatística do Consumo de Energia Elétrica (GWh) em 2011 [EPE, 2015]

Região / Classe	Em Dezembro			No Ano		
	2011	2010	%	2011	2010	%
Residencial	9.513	9.302	2,3	112.098	107.215	4,6
Industrial	15.236	15.169	0,4	183.610	179.478	2,3
Comercial	6.495	6.305	3,0	73.535	69.170	6,3
Outros	5.164	5.120	0,9	60.863	59.414	2,4
Brasil	36.408	35.896	1,4	430.106	415.277	3,6

No relatório do Balanço Energético Nacional sobre a eficiência energética no Brasil, foram avaliados os setores comercial, residencial e industrial. Neste, foram colhidas amostras de 2.700 empresas, sendo 100 unidades por cada concessionária de energia, com um erro estimado de 3,1% [EPE – BEN, 2015].

Dentro do setor comercial dos hotéis avaliados, verificou-se que o consumo médio para cada unidade habitacional (UH) foi de 464 kWh/mês. No mesmo estudo, verificou-se que, no setor comercial em geral, o sistema de climatização representa 47% do consumo, conforme mostrado na Figura 9.1.

Figura 9.1 – Distribuição do consumo por uso final – Setor Comercial [Adaptado de EPE – BEN, 2015]

9.1. Distribuição dos Equipamentos de Climatização no Setor Comercial

Na mesma pesquisa (EPE – BEN, 2015), foi feito um levantamento das empresas que possuem sistema de climatização, separadas por estabelecimentos comerciais e por regiões brasileiras. Verificou-se que nos Hotéis e Motéis, 52,57% dos estabelecimentos na região sudeste possuía sistema de climatização, enquanto que, em outros setores comerciais, estas porcentagens eram bem menores, tais como Faculdade e Escolas (9,76%), Serviços de Saúde (10,01%), Bancos e Financeiras (8,19%), Padarias (2,6%) e Clubes e Associações (7,35%).

Em se tratando de um dado em escala maior com vários tipos de edifícios, nota-se que a representatividade do sistema de climatização no setor hoteleiro é significativa. Vale ressaltar que os hotéis foram avaliados juntamente com os motéis, apesar de possuírem usos e forma de ocupação bastante distinta. O consumo por uso final do setor comercial foi de 47%, devido à carga do sistema de climatização. Apenas na Região Sudeste, 52,57% dos Hotéis possuem climatização, enquanto que, no restante do Brasil, o percentual cai para 32,35% [EPE – BEN, 2015].

Figura 9.2 – Porcentagem da posse média de climatização no setor comercial por região no Brasil [EPE – BEN, 2015]

9.2. Segmento de Hotelaria no Brasil

A edificação hoteleira tem como peculiaridade o fato de funcionar ininterruptamente, além de ser um ambiente de grande complexidade, dada a diversidade e quantidade de funções exercidas junto ao conjunto de atividades complementares que acontecem em suas dependências.

A hospedagem pressupõe unidades habitacionais adequadas, dotados de conforto térmico, acústico, luminoso e ergonômico, espaços bem dimensionados, devidamente equipados e com ambientes agradáveis. Deve igualmente contar com atividades administrativas, centrais de sistemas prediais, de manutenção, além daquelas relacionadas com a realização de eventos, recreação e lazer.

A complexidade funcional de um hotel demanda um nível de investimentos significativo para tornar o empreendimento economicamente viável e que é muito afetado pelos custos finais de construção, operação e manutenção.

No Brasil, foi o aumento da demanda por viagens e hospedagem, deflagrada a partir dos anos 1980, que acirrou a competição no setor, determinando assim a necessidade de ampliar as escalas de operação, baratear custos e diversificar locais de atuação e recepção de um número cada vez mais amplo de viajantes, os quais passaram a se deslocar em ritmo mais intenso e com mais frequência.

Além dessa ampliação do mercado de viagens e da incorporação de novos segmentos de menor poder aquisitivo, houve também um grande crescimento no setor de eventos, o qual repercutiu no aumento da participação das novas redes hoteleiras no mercado, ameaçando assim a hotelaria instalada. Esse avanço ocorreu principalmente nos grandes centros econômicos, tais como São Paulo e Rio de Janeiro.

As estratégias competitivas das redes internacionais, com marcas fortes, programas de treinamentos com padrões internacionais, centrais de reservas e capital disponível a juros baixos garantiram a entrada, no mercado brasileiro, de várias redes econômicas internacionais. Uma das características das marcas econômicas é o valor das diárias baixas, resultado da otimização das instalações e da redução de serviços ao mínimo essencial para o hóspede a que se destinam, sem prejudicar a qualidade exigida por ele.

Segundo cálculos da Associação Brasileira da Indústria Hoteleira (ABIH), o setor de hotelaria possui patrimônio imobilizado em torno de US\$ 10 bilhões e receita bruta anual de cerca de US\$ 2 bilhões. Calcula-se a existência de 25 mil meios de hospedagem no Brasil [ABIH, 2016].

A liderança do mercado cabe à rede Accor, que em 2010 contava com 23 mil quartos no País; a segunda posição coube à rede Atlântica com 12 mil quartos, seguida pela rede BHG com 5,5 mil quartos. Foi identificado que 66% dos hotéis, em número de quartos, são independentes, não participando de rede associada. A Tabela 9.2 apresenta a quantidade de unidades habitacionais classificadas por redes hoteleiras nacionais, internacionais e independentes.

Tabela 9.2 – Tipo e quantidade de instalações hoteleiras, incluindo hotéis e flats inaugurados até julho/2010 [Análise Setorial, 2010]

Tipo	Hotéis	Part. [%]	Quartos	Part. [%]
Hotéis e flats de cadeias nacionais	354	3,7%	47.766	10,8%
Hotéis e flats de cadeias internacionais	361	3,8%	65.979	15,0%
Hotéis independentes com até 20 quartos	3.486	36,6%	38.518	8,7%
Hotéis independentes com mais de 20 quartos	5.323	55,9%	288.594	65,5%
Total	9.524	100%	440.857	100%

9.3. Evolução da Taxa de Ocupação por Regiões

É possível evidenciar uma sensível recuperação na taxa de ocupação das unidades hoteleiras, conforme mostrado na Figura 9.3. Tal recuperação na taxa de ocupação dos hotéis brasileiros se deve fundamentalmente aos hotéis localizados em centros urbanos.

Figura 9.3 – Evolução da taxa de ocupação [Análise Setorial, 2010]

Por meio da análise da matriz energética em um hotel, é possível encontrar variações devido à característica de sua utilização: hotéis de negócios, de fim de semana, de eventos, entre outros. A demanda de eletricidade nos hotéis da rede Ibis Budget® na cidade de São Paulo é vista na Figura 9.4.

Figura 9.4 – Demanda de Energia Elétrica nos Hotéis [Ibis Budget®, 2016]

Para o setor hoteleiro, o aquecimento de água e condicionamento de ar representam em torno de 42% de demanda de energia elétrica, convergindo principalmente no horário de pico, horário em que os sistemas são utilizados em maior intensidade.

10. Modelagem

Neste capítulo, mostra-se o processo de elaboração do modelo de hotel em que foi estudada a aplicação de um sistema de cogeração. Como o trabalho tem o objetivo de mostrar resultados generalizados do setor hoteleiro em São Paulo, o hotel foi escolhido para representar o padrão de mercado. Para se chegar a este padrão, no que diz respeito às demandas energéticas, foi realizado um levantamento de informações, conforme descrito no item 10.1.

A definição dos parâmetros que influenciam o consumo de energia deste hotel, também chamado de modelo de referência, foi estabelecida com base nos dados do levantamento. A partir do modelo de referência, mantendo-se os mesmos parâmetros, foi criado um outro modelo que utiliza o sistema com cogeração. A partir destes dois modelos, pode-se fazer uma comparação energética e uma análise de viabilidade econômica da implantação do sistema com cogeração.

10.1. Pesquisa de Consumo Energético em Hotéis de São Paulo

A fim de entender o desempenho energético que os hotéis construídos em São Paulo apresentam, foi realizada uma pesquisa coletando dados de consumo energético em diversos empreendimentos do setor hoteleiro. O objetivo desta pesquisa foi investigar as características dos equipamentos presentes nos hotéis que apresentam consumo de energia, além de analisar as contas de energia elétrica e de combustível. A pesquisa de todos os dados teve como objetivo ajudar a formatar o modelo que foi simulado para realizar as análises energéticas e econômicas da aplicação de um sistema de cogeração em hotéis.

A seleção dos hotéis que foram incluídos na pesquisa foi baseada nos critérios de número de apartamentos e tradição na indústria hoteleira. Foram escolhidos hotéis já consolidados no mercado e que são referência em São Paulo. Quanto ao tamanho dos empreendimentos, como o intuito da pesquisa é mostrar as viabilidades econômicas da utilização do sistema de cogeração, foram escolhidos hotéis de médio a grande porte. Assim, estes devem apresentar elevadas demandas energéticas, facilitando que haja viabilidade econômica na instalação do sistema com cogeração.

10.2. Arquivo Climático e Temperatura da Água da Rede

O procedimento utilizado para selecionar o ano climático para um local específico é baseado na eliminação de anos de dados, os quais contém temperaturas médias mensais extremas (altas ou baixas). Para isto, os meses são classificados em ordem de importância para cálculo de energia. Por fim, o mês mais quente e o mês mais frio do local analisado são considerados os de maior importância, seguidos dos demais meses, listados em ordem de prioridade.

As temperaturas médias mensais para o período de registro disponível são examinadas, de acordo com a sequência listada. O ano com o mês mais quente é anotado; depois, o ano que contém o mês mais frio. O processo continua, anotando-se os anos nos quais ocorrem os extremos. Estes anos são eliminados, e o procedimento é repetido até restar somente um, o qual é designado como Ano Climático de Referência.

O arquivo climático de São Paulo utilizado é um arquivo estatístico do tipo TRY (*Test Reference Year*) e foi desenvolvido pelo LabEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações) em 2005. As temperaturas de bulbo seco das 8.760 horas do ano podem ser vistas no gráfico da Figura 10.1.

Figura 10.1 – Temperaturas de bulbo seco do arquivo climático de São Paulo

Pode-se notar a grande amplitude térmica que São Paulo apresenta, onde em um período de aproximadamente uma semana houve temperaturas próximas dos 30°C e próximas dos 7°C. Outro fator importante para se entender um clima local é a umidade do ar. Nos gráficos das Figuras 10.2 e 10.3, é possível verificar o comportamento das temperaturas de bulbo seco, bulbo úmido e umidade relativa.

Figura 10.2 – Temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido em médias mensais

Figura 10.3 – Umidade relativa em médias mensais

Pode-se observar que o nível de umidade média mensal é bem elevado. Nos meses de verão, quando há uma maior diferença entre temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido, a umidade relativa é um pouco mais baixa. Já nos meses de inverno, as temperaturas se aproximam e a umidade relativa é maior.

Outros dados importantes para a análise do arquivo climático, além de temperatura e umidade, são a velocidade do vento e a radiação solar incidente no local. Os dados médios podem ser vistos na Tabela 10.1.

Tabela 10.1 – Dados climáticos médios do arquivo climático

	TBS [°C]	TBU [°C]	UR [%]	Velocidade do vento [m/s]	Radiação global [W.h/m²]
Média	18,8	16,5	82,1	4,0	213,5
Máxima	32,8	26,2	100	18,0	1245,0
Mínima	7,5	7,0	21,0	0,0	0,0

Além dos dados de clima local, é muito importante definir a temperatura da água que é distribuída pela rede pública, dados estes que serão posteriormente utilizados nas simulações a serem realizadas neste trabalho. No caso deste trabalho, o consumo de carga térmica para aquecimento da água é de fundamental importância para se conhecer a aplicabilidade de um sistema com cogeração.

Entretanto, a temperatura da água da rede não está presente em dados de arquivos climáticos e além de ser um dado difícil de se encontrar na literatura, depende da maneira que a água chega ao edifício e é distribuída na entrada dos sistemas que irão consumir energia para aquecê-la. O comprimento, profundidade no solo, presença e exposição de reservatórios de água terão influência na temperatura final que a água será distribuída.

Para avaliar a temperatura da água fornecida ao edifício a ser analisado pela rede, foi escolhida uma correlação descrita por Hendron et al. (2004) que é apresentada na Equação 10.1:

$$T_{mains} = (T_{out,avg} + 6) + r \left(\frac{\Delta T_{out,maxdif}}{2} \right) . sen[0,986(d - 15 - l) - 90] \quad (10.1)$$

Onde:

- T_{mains} é a temperatura da água [°C]
- $T_{out,avg}$ é a média anual da temperatura do ar [°C]
- $\Delta T_{out,maxdif}$ representa a máxima diferença entre médias mensais de temperatura do ar [°C]
- d é o dia do ano [1-365]

$$r = 0,4 + 0,01(T_{amb,avg} - 44) \quad (10.2)$$

$$l = 35 - (T_{amb,avg} - 44) \quad (10.3)$$

Onde:

- $T_{amb,avg}$ é a temperatura ambiente média do dia [°C]

Os dados de temperatura média anual e máxima diferença entre médias mensais de temperatura do ar foram obtidos do arquivo climático, cujos valores são apresentados na Tabela 10.2.

Tabela 10.2 – Temperaturas ambientes médias mensais do arquivo climático de São Paulo

	Temperatura Média Mensal [°C]	Máxima Temperatura Atingida [°C]	Mínima Temperatura Atingida [°C]
Jan	22,5	32,5	15,5
Fev	22,1	32,8	16,5
Mar	21,2	31,0	15,0
Abr	18,5	28,8	11,5
Mai	16,7	27,0	9,2
Jun	16,8	25,0	8,7
Jul	16,0	27,1	9,1
Ago	17,2	27,9	7,5
Set	18,1	32,0	9,4
Out	17,9	31,0	10,0
Nov	18,9	32,6	12,5
Dez	20,0	31,4	12,4

Entrando com estes dados na simulação e pedindo como saída de dados a temperatura horária da água da rede, foi possível ver que esta correlação foi definida para o hemisfério norte, onde as temperaturas mais baixas ocorrem nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, inverno. No gráfico da Figura 10.4, é possível ver estas temperaturas ao longo do ano.

Figura 10.4 – Temperatura da água de rede definida pela correlação de Hendron et al. (2004)

Para ajustar estas temperaturas para o hemisfério sul, onde as temperaturas mais baixas se darão nos meses de junho, julho e agosto, os dados foram separados exatamente no meio (até a hora 4380 do ano) e trocados de posição com a segunda metade dos dados. O resultado obtido foi a mesma curva apenas com o período deslocado, conforme o gráfico da Figura 10.5.

Figura 10.5 – Temperatura da água de rede ajustada para o hemisfério sul

10.3. Modelo de Referência da Edificação

10.3.1. Características Gerais dos Empreendimentos Ibis Budget®

Neste trabalho, o modelo de referência representa o hotel que foi considerado como padrão de mercado na cidade de São Paulo. Os dados de número de apartamentos, área do mesmo e padrão de uso foram obtidos de alguns dos hotéis da marca Ibis Budget® (Rede Accor Hotéis®), por meio do Departamento Técnico e de Engenharia das unidades. Os edifícios são considerados de médio porte (em torno de 400 quartos) e possuem baixo custo final de hospedagem.

Os dados de área dos apartamentos e quantidade de quartos por hotel foram apresentados na Tabela 10.3, e para definir os dados do modelo, optou-se por utilizar os dados da unidade localizada na Avenida São João, por conta da maior quantidade de informações disponíveis para a realização deste trabalho.

Os serviços oferecidos por estes empreendimentos são similares entre si, tendo entre eles: café da manhã, almoço, jantar, serviço de quarto 24 horas por dia, além de contar com salas de eventos, auditórios, sala de *business center*, serviços de lavanderia, entre outros. Quanto aos serviços de recreação e lazer, grande parte deles possui academia, sauna, piscinas e/ou hidromassagem.

Tabela 10.3 – Dados dos hotéis pesquisados da marca Ibis Budget®

	IBIS BUDGET SÃO PAULO SÃO JOÃO	IBIS BUDGET SÃO PAULO PAULISTA	IBIS BUDGET SÃO PAULO PARAISO	IBIS BUDGET SÃO PAULO JARDINS	IBIS BUDGET SÃO PAULO MORUMBI
Número de quartos	252	399	300	399	378
Área do quarto [m²]	14	14	14	14	14
Área total [m²]	3528	5586	4200	5586	5292
Número de andares	12	19	15	19	18
Quartos por andar	21	21	20	21	21

10.3.2. Características do Projeto Arquitetônico

Para a realização deste trabalho, foi escolhida como referência a unidade do hotel Ibis Budget® localizada na Avenida São João, na cidade de São Paulo, Brasil. No caso do hotel referência em questão, o primeiro pavimento é utilizado para alojar as atividades administrativas, de operação e serviços oferecidos pelo empreendimento. Os pavimentos restantes estão destinados para as unidades habitacionais (UHs) com um pé-direito medindo 2,70m, e a planta destes pavimentos típicos contendo as UHs pode ser vista na Figura 10.6.

Figura 10.6 – Planta baixa dos pavimentos típicos contendo as UHs (sem escala)

Observa-se que a circulação do pavimento tipo é centralizada e que as UHs estão distribuídas perpendicularmente a esta circulação, fazendo com que as UHs estejam expostas às diferentes orientações. Além disso, na maioria dos casos, as UHs não possuem sacadas e os seus banheiros estão dispostos no interior da edificação, fazendo-se necessária a utilização da ventilação mecânica nestes ambientes.

A ocupação diária obtida para as simulações deste trabalho mostra que o perfil de uso do hotel é predominantemente executivo, com alta ocupação após o horário comercial. De acordo com a Gestão da Unidade Ibis Budget São João, no período da manhã, os hóspedes saem a trabalho, e retornam no final da tarde. Os gráficos que mostram o percentual de ocupação das unidades habitacionais ao longo de um dia são vistos na Figura 10.7.

Figura 10.7 – Ocupação diária das unidades habitacionais do hotel em estudo

10.3.3. Características Construtivas da Edificação

Em vista à ausência de informações que caracterizam a construção das paredes e coberturas da edificação visita, foram feitas algumas adaptações nos parâmetros levantados por Lima (2007), e Carlo (2008), na elaboração dos protótipos representativos da atividade hoteleira. Observou-se a predominância de cores escuras na edificação Ibis Budget® Av. São João – São Paulo.

A Tabela 10.4 apresenta as características dos materiais empregados na edificação, enquanto a Tabela 10.5 apresenta os valores adotados para as aberturas.

Tabela 10.4 – Características dos materiais empregados na edificação

Paredes Externas	Bloco cerâmico de 14cm x 19cm x 39cm
	Revestimento interno de 0,5cm de gesso
	Revestimento externo com 2,5cm de espessura de argamassa
Paredes Internas	Painéis em chapas de gesso acartonado (<i>drywall</i>). <ul style="list-style-type: none"> • Cada chapa de gesso possui 12,5mm de espessura • Espaçamento por montantes metálicos, deixando vão entre placas de gesso de 40mm preenchido com lâ-de-vidro de 25mm
Piso	Laje maciça de concreto de 10cm
	Revestimento na face superior com piso melamínico

Tabela 10.5 – Parâmetros definidos para as aberturas

Parâmetros		Variáveis de acordo com:	
		Adaptado de Lima (2007)	Adaptado de Carlo (2008)
Vidro	Cor	Transparente	Transparente
	Espessura	3 mm	3 mm
	Película refletiva	Não	Não

As características técnicas do tijolo utilizado na parede externa são vistas na Figura 10.8, enquanto a Figura 10.9 mostra a parede interna. A absorvância solar das mesmas foi definida igual a 0,5 (intermediária) para as paredes e cobertura. O fator solar dos vidros foi definido igual a 0,8.

Características Técnicas

Dimensão:- 14x19x39 – (LxHxC)

Quantidade p/ Pallet:- 198 peças – Código da peça:- 1439

Peso médio p/peça: -6,100 kg

Consumo p/ m²:- 12,5 peças

Consumo médio de argamassa de assentamento:- 0,020 m³
p/ m² ou 31,30 kg p/ m²

Uso Vedação/Estrutural

Uso recomendado: Na vedação em paredes divisórias internas e externas. Estrutural conforme ABNT NBR 15812/2011

No Estrutural uso Conf. ABNT NBR 15812/2011

Figura 10.8 – Características construtivas adotadas para paredes externas [Cerâmica City, 2017]

Figura 10.9 – Paredes Internas ou Divisórias [Placo, 2017]

10.3.4. Parâmetros para Cálculo da Carga Térmica no Hotel

Os dados que caracterizam o cálculo da carga térmica no interior da edificação hoteleira foram definidos com base nos dados disponibilizados na página do “Simulador de Eficiência Energética em Edificações” [LabEEE, 2010]. A base de dados disponível possui dados de ganhos térmicos devidos à iluminação, ocupação (pessoas) e equipamentos conforme estudos realizados pelo LabEEE, além de informações obtidas dos manuais da ASHRAE e da norma brasileira NBR 16401 [ABNT, 2008]. Para uma modelagem inicial do edifício modelo, foram adotados os valores mostrados na Figura 10.10.

The figure shows a software interface for calculating thermal loads. On the left, there is a grid of icons representing different load sources: lighting (light bulb), occupancy (people), and equipment (computer monitor). Each icon is associated with a value: 14 W/m² for lighting, 15 m²/pessoa for occupancy, and 14,3 W/m² for equipment. Below this grid, a slider indicates the 'Tipo de montagem de luminária: Embutida no forro.' On the right, a sidebar contains several configuration panels:

- Pavimento: ático**: Shows a 3D model of a roof structure with a value of x18.
- Iluminação**:
 - Densidade de potência (W/m²): 14
 - Tipo de montagem: Embutida no forro
 - Padrão de uso: Hotel - Iluminação
- Ocupação**:
 - Densidade (m²/pessoa): 15
 - Padrão de uso: Hotel - Ocupação
- Equipamentos**:
 - Densidade de potência (W/m²): 14,3
 - Padrão de uso: Hotel - Equipamentos
- Infiltração de ar**:
 - Trocas por hora: 0,25
 - Padrão de uso: Hotel - Infiltrações

Figura 10.10 – Parâmetros de carga térmica adotados para a simulação [LabEEE, 2010]

10.3.5. Parâmetros para Simulação do Resfriador Convencional (Ciclo de Refrigeração por Compressão de Vapor)

Os parâmetros que caracterizam o equipamento atualmente instalado na edificação hoteleira em questão também foram definidos com base nos dados disponibilizados na página do “Simulador de Eficiência Energética em Edificações” [LabEEE, 2010]. O equipamento instalado é um resfriador refrigerado a água (por meio de torres de resfriamento). A base de dados disponível possui dados de renovação de ar (pessoas e área construída) conforme informações obtidas dos manuais da ASHRAE 90.1 [ASHRAE, 2010] e da norma brasileira NBR 16401 [ABNT, 2008]. Para uma modelagem inicial do edifício modelo, foram adotados os valores mostrados na Figura 10.11.

Figura 10.11 – Parâmetros de equipamento adotado para a simulação [LabEEE, 2010]

10.4. Modelo do Sistema de Refrigeração por Absorção

Para o desenvolvimento deste trabalho, utilizou-se um sistema de absorção água-amônia de fabricação da empresa italiana ROBUR. A escolha foi baseada na larga aplicação deste fabricante para a cogeração em edificações comerciais, hotéis, escolas e condomínios residenciais. Modelos com capacidades semelhantes produzidos por outros fabricantes também poderiam ser utilizados, sem que houvesse prejuízo do ponto de vista técnico.

O equipamento analisado é o modelo GAHP-W, que funciona tanto para o resfriamento da água a 5°C quanto para o aquecimento de água a 60°C, com uma capacidade nominal de refrigeração de 17,5 kW e uma capacidade nominal de aquecimento de 35 kW. Com este equipamento, foi priorizado o suprimento de água quente.

Tabela 10.6 – Característica Técnica do Equipamento Robur – Modelo GAHP-W
[Robur, 2009]

Desempenho Nominal		Unidades	
Temperatura da entrada da água fria		0	°C
Temperatura de saída da água quente		50	°C
Capacidade de aquecimento		35	kW
Eficiência no aquecimento baseada no consumo de gás		139	%
Capacidade de refrigeração		17,5	kW
Eficiência na refrigeração baseada no consumo de gás		54	%
Vazão de água no ciclo de aquecimento		3	m³/h
Vazão de água no ciclo de refrigeração		2,5	m³/h
Dados do Queimador		Unidades	
Capacidade térmica do queimador		28	kW
Consumo nominal de gás		2,7	m³/h
Dados Elétricos		Unidades	
Tensão nominal		230	V
Potência nominal		540	W
Dados Físicos		Unidades	
Nível de pressão sonora		49	dB(A)
Peso líquido		286	kg
Dimensões	Comprimento	850	mm
	Largura	655	mm
	Altura	1.310	mm
Diâmetro das conexões de água		1.1/4"	pol
Diâmetro da conexão de gás		3/4"	pol

Tabela 10.7 – Característica Técnica do Circuito Robur – Modelo GAHP-W
[Robur, 2009]

Circuito Hermético		
Fluidos utilizados	H ₂ O + NH ₃	Unidade
Carga de H ₂ O	10	kg
Carga de NH ₃	7	kg
Máxima pressão admissível	35	bar
Volume do gerador	18,6	L
Volume câmara niveladora	11,5	L
Volume da solução na bomba	3,3	L
Volume da solução fria no absorvedor	6,3	L
Volume do evaporador	3,7	L
Volume de refrigerante variável	4,5	L
Volume no absorvedor/condensador	3,7	L

As Figuras 10.12 e 10.13 apresentam a vista interna do equipamento Robur, modelo GAHP-W, além do estado físico da solução de fluido refrigerante no interior do ciclo.

Figura 10.12 – Vista interna do equipamento Robur – Modelo GAHP-W [Robur, 2009]

q

Figura 10.13 – Estado físico do fluido refrigerante [Robur, 2009]

10.4.1. Principais Aplicações dos Ciclos de Refrigeração por Absorção no Setor Hoteleiro

- Aquecimento de piscinas e complemento de climatização;
- Aquecimento de água sanitária e complemento de climatização;
- Processos de beneficiamento de produtos alimentícios;
- Controle de temperatura em ambientes.

10.5. Configuração do Sistema Convencional (SC)

A configuração do Sistema Convencional de geração de fonte quente e fria é totalmente independente, e não aproveita os rejeitos térmicos existentes. Esta configuração corresponde à atual instalação do hotel utilizado como modelo neste trabalho.

Sistema para o aquecimento de água:

- 08 Aquecedores de passagem com capacidade de 22.000 kcal/h cada, modelo REU 16, marca Rinnai, sendo que 02 equipamentos funcionam como reserva.
- 01 Reservatório de 3.000 litros;

Sistema de resfriadores:

- 02 Resfriadores Elétricos, modelo RCU 280 SAZ com capacidade de 950 kW (270 TR), marca Hitachi, sendo que 01 equipamento funciona como reserva.

A configuração do Sistema Convencional disponibiliza em fonte quente o valor de 153 kW (132.000 kcal/h) e 950 kW (270 TR) de fonte fria, mostrada na Figura 10.14.

Figura 10.14 – Configuração do Sistema Convencional

O fator de utilização para o sistema de aquecimento de água foi calculado conforme dimensionamento dos sistemas de aquecimento de água, fornecido pelo fabricante dos aquecedores de passagem. Foi obtido o fator de simultaneidade de 30%, que corresponde a 7 horas de utilização por dia. O fator de simultaneidade para o sistema de resfriador foi calculado conforme o Anexo F, e resulta em 50% de utilização do sistema, ou seja, 12 horas por dia.

10.6. Configuração do Sistema Proposto (SP)

Esta configuração busca combinar as fontes energéticas e equipamentos com a melhor eficiência e economia. O resfriador de absorção de pequeno porte (alimentado por água quente) é combinado com um resfriador por compressão de vapor (alimentado pela rede elétrica). O sistema de aquecimento de água é alimentado integralmente com o GLP, combinando a fonte quente do sistema do resfriador de pequeno porte e, como equipamento reserva, um sistema de aquecedor de passagem industrial.

A sinergia deste sistema converge para a melhor prática na área de eficiência energética, por conta da redução do consumo de insumos energéticos para geração das fontes quente e fria. Entretanto, há uma limitação no dimensionamento da quantidade de equipamentos causada pela busca do equilíbrio entre a geração de fonte quente e fria, já que o sistema disponibiliza as fontes de calor simultaneamente.

Para adequar a melhor relação do número de resfriadores de absorção de pequeno porte, foi necessário realizar cálculos para a busca do ponto ótimo de consumo dos insumos energéticos envolvidos e seus referidos gastos. Identificou-se a melhor configuração através de uma simulação em três modelos, variando a quantidade do resfriador de absorção de pequeno porte e consequentemente

adequando a potência do resfriador de grande porte, conforme mostrado na Tabela 10.8.

Tabela 10.8 – Simulação para Escolha da Melhor Configuração Proposta

Configurações	SP1	SP2	SP3
Fonte Quente [kW]	116	272	504
Fonte Fria [TR] - CGP (Chiller de Grande Porte)	255	235	205
Fonte Fria [TR] - CPP (Chiller de Pequeno Porte)	15	35	65

A necessidade de fonte quente é o fator determinante para o dimensionamento do sistema. É possível verificar que um incremento na potência do resfriador por absorção de pequeno porte causa um incremento considerável na geração de fonte quente. A escolha do SP1 pode ser justificada por meio da análise mostrada na Tabela 10.9: conforme aumenta-se o número de equipamentos resfriadores por absorção de pequeno porte, a geração de fonte quente passa a consumir muito mais GLP, desequilibrando o balanceamento térmico da configuração modular entre os sistemas.

Tabela 10.9 – Análise da Configuração Proposta por Fonte

Configuração do Sistema	Fonte Quente Gasto Energia [R\$/ano]	Fonte Fria Gasto Energia [R\$/ano]
Convencional (270 TR)	83.592	551.237
SP1 (255+15 TR)	44.064	431.516
SP2 (235+35 TR)	102.816	430.134
SP3 (205+65 TR)	190.444	419.351

A configuração do sistema proposto SP1 é a que apresenta a melhor economia, considerando um custo unitário do GLP de R\$ 2,50/kg de insumo (incluindo impostos). Foram comparados o gasto total de energia de cada configuração proposta e sua diferença em relação ao gasto total de energia do sistema convencional, a fim de identificar a configuração que fornecia o menor gasto total.

Tabela 10.10 – Análise da Melhor Configuração Proposta

Configuração	Valor do Investimento [R\$]	Gasto Total Anual em Energia [R\$/ano]	Diferença em Relação ao Gasto Anual com a Configuração Convencional [R\$/ano]
Convencional (270 TR)	1.004.000	634.829	-
Proposto 1 (255+15 TR)	1.017.500	475.580	-159.249
Proposto 2 (235+35 TR)	1.071.000	532.950	-101.879
Proposto 3 (205+65 TR)	1.113.000	610.295	-24.534

Pode-se verificar que, pelos dados fornecidos na Tabela 10.10, a configuração SP1 (vide Figura 10.15) é a solução que tem o menor gasto total das três configurações analisadas. A configuração SP1 disponibiliza em fonte quente 96 kW (83.000 kcal/h) e 950 kW (270 TR) de fonte fria, sendo que o resfriador elétrico de grande porte disponibiliza 255 TR e é complementado com 15 TR pelo resfriador de absorção de pequeno porte (considerando o GLP como insumo energético). Esta configuração tem os seguintes equipamentos:

Sistema para o aquecimento de água:

- Aproveita-se o rejeito de calor dos resfriadores de absorção de pequeno porte;
- 01 aquecedor de passagem industrial de 90.000 kcal/h, fabricante Orbitek, modelo RHT 4000, instalado como reserva;
- 02 Reservatórios de 3.000 litros.

Sistema de resfriadores:

- 02 resfriadores elétricos, fabricante Hitachi, modelo RCU 140 SAZ 4AP, sendo que 01 equipamento funciona como reserva;
- 04 resfriadores por absorção, fabricante Robur, modelo GHAW, cada equipamento com potência de 5 TR, sendo que 01 destes é instalado como reserva.

Figura 10.15 – Configuração do Sistema Proposto

O fator de utilização para o sistema de aquecimento de água foi calculado conforme pesquisa em bibliografia. Foi obtido o valor de 50% de utilização, correspondente a 12 horas de utilização por dia, por conta da menor potência instalada e da inclusão de mais um reservatório de água quente.

No sistema de resfriador elétrico, o fator de utilização foi calculado conforme o Anexo F, e resulta em 40% de utilização deste equipamento, correspondente ao valor de utilização de 9,6 horas por dia. Durante 2,4 horas do dia, o resfriador por absorção de pequeno porte realiza a produção de fonte fria, com fator de utilização em 50%.

Para perfeito equilíbrio do sistema utiliza-se como prioridade o funcionamento do resfriador por absorção de pequeno porte, e de acordo com o aumento da demanda, entra em operação o resfriador por compressão de vapor elétrico.

10.7. Configuração do Sistema *Retrofit* (CR)

Elaborou-se uma configuração que considera o uso do resfriador elétrico de 270 TR e dos aquecedores de passagem, os quais se encontram em operação atualmente na unidade do hotel modelo (equipamentos usados há cerca de 20 anos), além da instalação de um resfriador de pequeno porte novo, a ser fornecido pelo fabricante Robur, para substituir os aquecedores de passagem e complementar o resfriador elétrico. Esta configuração deverá reduzir o funcionamento do resfriador elétrico em necessidades de baixa carga, e será denominada “configuração de sistema *retrofit*” (CR).

Esta configuração contribuirá na complementação de perda de eficiência nos sistemas resfriadores de grande porte com o passar dos anos, além de reduzir o consumo dos insumos energéticos.

Figura 10.16 – Configuração do Sistema *Retrofit*

11. Análise de Viabilidade dos Modelos Propostos

A partir dos parâmetros da edificação hoteleira de referência, foi possível realizar os cálculos envolvendo os sistemas propostos nos tópicos precedentes. Com os resultados obtidos na simulação, foi feita a análise de desempenho do modelo em questão: eventuais ajustes e refinamento dos parâmetros foram necessários para atingir o objetivo traçado para a redução do consumo energético do hotel.

Uma análise de desempenho do modelo pode ser obtida justamente a partir dos resultados propostos. Esta costuma ser uma análise de cunho técnico-científico que permite diferenciar as perdas para o ambiente das irreversibilidades internas, além de refletir o verdadeiro desempenho de um equipamento, com base no limite imposto pela Primeira e Segunda Leis da Termodinâmica.

Realizou-se o cálculo envolvendo o Sistema Convencional e o Sistema Proposto, e posteriormente será apresentado o comparativo da Configuração *Retrofit*.

11.1. Investimento Inicial

As Tabelas 11.1 e 11.2 apresentam os resultados do cálculo referente ao investimento da configuração dos Sistemas Convencional e Proposto.

Tabela 11.1 – Cálculo do Investimento do Sistema Convencional (SC)

Configuração Sistema Convencional	Aquecedor de Passagem Convencional	Chiller por Compressão de Vapor Elétrico	Total
	Fonte Quente (GLP)	Fonte Fria (Eletricidade)	
Investimento Total [R\$]	24.000	980.000	1.004.000

Tabela 11.2 – Cálculo do Investimento do Sistema Proposto (SP)

Configuração Sistema Proposto	Chiller Absorção - Pequeno Porte		Aquecedor de Passagem Convencional	Chiller por Compressão de Vapor	Total
	Fonte Quente (GLP)	Fonte Fria (GLP)	Fonte Quente (GLP)	Fonte Fria (Eletricidade)	
Investimento Total [R\$]	85.000	32.000	8.000	892.500	1.017.500

No comparativo das configurações, é possível identificar uma diferença de 1,3% entre o investimento no Sistema Convencional e no Sistema Proposto.

11.2. Consumo Total de Energia

A Tabela 11.3 apresenta o resultado do cálculo de consumo anual total de energia em cada configuração, incluindo a energia elétrica e GLP consumidos.

Tabela 11.3 – Cálculo Comparativo do Consumo Anual Total de Energia (em kWh)

	Fonte Quente		Fonte Fria	
	Sistema Convencional	Sistema Proposto	Sistema Convencional	Sistema Proposto
Energia Consumida [kWh]	431.568	227.493	1.312.470	1.085.104

Realizou-se uma análise referente às diferenças de consumo energético, e o resultado é apresentado na Tabela 11.4.

Tabela 11.4 – Diferença de Consumo Anual Total de Energia entre Configurações do Sistema Convencional (SC) e do Sistema Proposto (SP)

	Diferença (SP-SC)		% (SP/SC)	
	Fonte Quente	Fonte Fria	Fonte Quente	Fonte Fria
Energia Consumida [kWh]	-204.075	-227.366	-47	-17

Identifica-se uma redução de 47% no consumo de energia na geração de fonte quente, e 17% no consumo de energia na geração de fonte fria. Vale ressaltar que a maior diferença obtida na geração da fonte quente ocorre devido à combinação de geração das fontes, resultante do aproveitamento dos rejeitos térmicos do resfriador de pequeno porte.

A redução encontrada no consumo de energia da geração da fonte fria é identificada pelo alívio da demanda do sistema resfriador de grande porte, por conta da operação do resfriador por absorção de pequeno porte, buscando assim a melhor eficiência e flexibilidade de funcionamento entre os sistemas.

11.3. Custos do Consumo de Insumos Energéticos

A Tabela 11.5 apresenta os gastos anuais em Reais (R\$) relacionados ao consumo com fontes energéticas em cada uma das configurações propostas.

Tabela 11.5 – Cálculo do Gasto Anual de Energia em Reais (R\$)

	Fonte Quente		Fonte Fria	
	Sistema Convencional	Sistema Proposto	Sistema Convencional	Sistema Proposto
Gasto Anual de Energia [R\$]	83.592	44.064	551.237	431.516

Na Tabela 11.6, é possível verificar a diferença percentual envolvida no gasto com energia em cada uma das configurações propostas.

Tabela 11.6 – Análise Comparativa do Gasto com Energia entre as Configurações

	Diferença (SP-SC)		% (SP/SC)	
	Fonte Quente	Fonte Fria	Fonte Quente	Fonte Fria
Gasto Anual de Energia [R\$]	-39.528	-119.721	-47	-22

Nesta análise foi identificada uma redução do gasto com energia na geração de fonte quente de 47%, e na geração de fonte fria em 22%, por conta do consumo e dos valores dos insumos energéticos envolvidos (eletricidade e GLP).

11.4. Consumo e Gasto Anual Total de Energia

O comparativo de consumo e gasto total de energia entre as configurações foi realizado para entender o impacto do sistema de uma forma completa, e esta pode ser verificada na Tabela 11.7.

Tabela 11.7 – Cálculos de Consumo e Gasto Total com Energia

	Sistema Convencional	Sistema Proposto	Economia Obtida com o Sistema Proposto
Energia Consumida [kWh]	1.744.038	1.312.597	-431.441 (-25%)
Gasto Anual de Energia [R\$]	634.829	475.580	-159.249 (-25%)

Pode-se identificar o percentual de representatividade de cada fonte sobre o consumo total de energia:

- Sistema Convencional (SC): 25% para fonte quente e 75% para fonte fria;
- Sistema Proposto (SP): 17% para fonte quente e 83% para fonte fria, evidenciado pelo aproveitamento dos rejeitos térmicos do resfriador de pequeno porte.

Foi obtida uma redução de 25% no consumo e gasto total com energia, consolidando a proposta de redução no consumo dos insumos energéticos.

11.5. Impacto do Gasto com Insumos Energéticos em Diferentes Cenários de Preços de Energia

Os cenários avaliados envolvem os possíveis aumentos nos preços dos energéticos e seus impactos nos gastos em cada configuração. A primeira análise adotou o valor da energia elétrica com o preço fixo e variou-se o valor do GLP. Na segunda análise adotou o valor do GLP com o preço fixo e variou-se a tarifa da energia elétrica. Desta forma, pode-se compreender melhor a influência dos preços nas configurações estudadas.

11.5.1. Análise do Gasto com Energia Considerando o Preço do GLP Variável

Foi realizada a análise com o preço fixo da energia elétrica em R\$ 0,42/kWh, valor médio observado na conta de energia elétrica do hotel referência com o consumo de ponta e fora de ponta, e foi variado o preço do GLP em relação ao preço praticado no mercado, hoje em torno de R\$ 2,50/kg.

No primeiro valor de preço de GLP, foi aplicada uma redução de 20% sobre o valor de R\$ 2,50/kg praticado em mercado, e na variação seguinte, o preço foi acrescido em 20%. Na última variação, foi aplicado um acréscimo de 100% no preço praticado atualmente, para um caso extremo da influência do preço no sistema.

A Tabela 11.8 mostra a variação de preço do GLP e o impacto no gasto de energia em sua operação.

Tabela 11.8 – Cálculo do Gasto com Energia em Função do Preço do GLP

Gasto Anual de Energia [R\$/ano] Variando o Custo do GLP					
Custo da Eletricidade [R\$/kWh]		0,42			
GLP Variável [R\$/kg]		2,00	2,50	3,00	5,00
Gasto Anual de Energia [R\$]	Sistema Convencional (SC)	618.111	634.829	651.548	718.421
	Sistema Proposto (SP)	462.620	475.580	488.540	540.380
	Diferença (SP-SC)	-155.491	-159.249	-163.008	-178.041

Observa-se que a variação de preços entre as configurações segue a mesma tendência, com vantagem para o Sistema Proposto (SP) à medida em que a tarifa de GLP aumenta, como ilustrado no gráfico da Figura 11.1.

Figura 11.1 – Custo Anual dos Sistemas Convencional (A) e Proposto (B) em Função da Variação da Tarifa do GLP

11.5.2. Análise do Gasto com Energia Considerando o Preço da Energia Elétrica Variável

A análise apresentada neste tópico considera o preço fixo do GLP em R\$ 2,50/kg (valor médio de mercado em São Paulo), variando a tarifa da energia elétrica em relação ao preço praticado no mercado atualmente, em torno de R\$ 0,42/kWh.

Aplicou-se para a primeira tarifa de energia elétrica uma redução de 20% sobre o valor de R\$ 0,42/kWh, praticado em mercado, e posteriormente a tarifa atual foi acrescida em 20%. Na última variação, foi aplicado um aumento de 100% na tarifa atual, avaliando um caso extremo da influência no preço da energia.

A Tabela 11.9 mostra a variação na tarifa da energia elétrica e o impacto no gasto de energia em sua operação.

Tabela 11.9 – Cálculo do Gasto com Energia Variando o Preço da Energia Elétrica

Gasto Anual de Energia [R\$/ano] Variando o Custo da Energia Elétrica					
GLP Fixo [R\$/kg]		2,50			
Custo da Eletricidade Variável [R\$/kWh]		0,34	0,42	0,50	0,84
Gasto Anual de Energia [R\$]	Sistema Convencional (SC)	529.832	634.829	739.827	1.186.067
	Sistema Proposto (SP)	397.336	475.580	553.824	886.360
	Diferença (SP-SC)	-132.496	-159.249	-186.003	-299.707

Observa-se que a variação de preços entre as configurações segue a mesma tendência, com leve afastamento a favor do Sistema Proposto (SP), superior ao avaliado quando se varia o GLP, conforme ilustrado no gráfico da Figura 11.2.

Figura 11.2 – Custo Anual dos Sistemas Convencional (A) e Proposto (B) em Função da Variação da Tarifa da Energia Elétrica

11.6. Comparativo da Configuração *Retrofit*

Para a elaboração deste comparativo, foi utilizada a simulação do modelo com o conceito de *Retrofit*, que corresponde à configuração do sistema resfriador elétrico de 270 TR usado, complementado por um resfriador por absorção de pequeno porte. A configuração com sistema resfriador elétrico de 270 TR e aquecedores de passagem já em uso no hotel, complementado com o resfriador por absorção de pequeno porte novo foi denominada Configuração *Retrofit*, CR.

Para a elaboração dos cálculos, foi utilizado o valor de investimento gasto com energia e manutenção, apresentado na Tabela 11.10.

Tabela 11.10 – Valores das Configurações de Sistema Convencional (SC), Sistema Proposto (SP) e Configuração *Retrofit* (CR)

Configurações	Sistema Convencional	Sistema Proposto	Retrofit
Investimento Total [R\$]	1.004.000	1.017.500	92.000
Gasto com Energia [R\$/ano]	634.829	475.580	560.914
Gasto com Manutenção [R\$/ano]	72.000	62.000	86.000
Gasto Total [R\$/ano]	706.829	537.580	646.914

12. Conclusões

O setor hoteleiro vem crescendo em sua taxa de ocupação, podendo necessitar de complementação nos sistemas de climatização e água quente, necessitando análises de investimentos que considerem o gasto com os insumos energéticos envolvidos. A energia elétrica é uma forma de energia de alta qualidade, devendo assim ser destinada a aplicações nobres, ou seja, onde não possa ser substituída por outra fonte de energia.

A configuração do Sistema Proposto apresentada neste trabalho é reconhecida na regulamentação do PROCEL, tópico “Edificações Eficientes” para o setor comercial para geração de fonte quente e fria, contribuindo para melhoria de classificação no sistema de etiquetagem das edificações.

A associação de geração de fonte quente e fria através da utilização do GLP resulta em uma redução no consumo de energia nos horários de ponta, e a expansão desta aplicação contribuiria consideravelmente para a redução dos pesados investimentos no setor de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

O Sistema Proposto (SP) promove uma redução de 25% no consumo e gasto total com energia, consolidando a maior eficiência no consumo dos insumos energéticos. O Sistema Proposto (SP) se manteve com vantagens sobre os demais sistemas, sendo menor em seu custo de operação e manutenção. Este resultado do Sistema Proposto demonstra que este representa a melhor solução para o balanceamento de energia dentre todos os sistemas estudados, buscando a melhor sinergia entre eles e evitando maiores perdas.

Apesar dos valores econômicos apresentados para o Sistema Proposto (SP) terem sido próximas aos demais, verifica-se que a tecnologia não é muito difundida comercialmente. É possível citar algumas dificuldades de expansão, tais como a reduzida rede de assistência técnica e de representantes comerciais nacionais e o tempo de importação do equipamento (e relativa burocracia associada).

O impacto econômico das soluções propostas no modelo de hotel também poderia ser avaliado em um futuro trabalho. Uma análise de retorno do investimento pode ser realizada de acordo com a viabilidade do conjunto de soluções adotadas. Este retorno dos gastos relacionados ao projeto é o fator determinante para provocar uma melhoria da construção, e que provavelmente será analisado pelo proprietário da edificação de acordo com os fatores socioeconômicos, políticos e ambientais da região que o hotel pertence.

Nota-se que a caracterização do tipo de hotel (para eventos de semana, eventos de fim de semana, negócios, turismo, resorts, entre outros) pode influenciar nas demandas de fonte quente e fria, além do cálculo para identificar o ponto de equilíbrio entre o número de equipamentos a ser utilizado.

Algumas limitações para este tipo de pesquisa demandam um amplo levantamento, que leva em conta uma base de dados para diversas unidades hoteleiras nas mais variadas regiões do Brasil, identificando suas variações climáticas por um longo período de tempo, para realizar com maior fidelidade a curva de carga das fontes quente e fria.

O desenvolvimento de uma regulamentação ampliada quantitativa a respeito da utilização de um conceito mais abrangente de eficiência energética permitiria quantificar o consumo de energia primária, e assim identificar quais as rotas

tecnológicas e os insumos energéticos mais apropriados para a produção de energia útil, caracterizando-se assim como uma importante ferramenta para as políticas de eficiência energética.

Como sugestões para futuros trabalhos, a realização de estudos do aquecimento de água por meio de placas solares possibilitaria uma significativa redução no consumo de energia e um dimensionamento mais adequado da configuração em questão. Outro ponto interessante a ser tratado em um trabalho futuro, e comparado juntamente com a análise econômica, e que costuma ser largamente analisado em países europeus, é a redução da emissão de gases que provocam o chamado “efeito estufa” no planeta, tanto direta (causada por exemplo pela economia do consumo energético na operação dos equipamentos de climatização) quanto indiretamente (por exemplo, por conta de uma economia energética no transporte do próprio equipamento, desde a fábrica até o local da edificação).

13. Referências Bibliográficas

1. ABIH, **Associação Brasileira da Indústria de Hotéis**, 2016. Disponível em <http://www.abih.com.br>. Acesso em 01/04/2016.
2. Abreu, A. F., **Sistema de Refrigeração por Absorção Intermitente: Concepção, Dimensionamento, Construção, Ensaio e Considerações Econômicas**, Tese de Doutorado em Energia. Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 1999.
3. ABNT NBR 7198, **Projeto e Execução de Instalações Prediais de Água Quente**, 1993.
4. ABNT NBR 16401, **Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários**, 2008.
5. ANÁLISE SETORIAL, **A Indústria Hoteleira no Brasil**, Valor Econômico, São Paulo, 2010.
6. Andreini, P., Iaria, L., **Il Patentino di Abilitazione Alla Conduzione di Impianti Termici**, Editora Ulrico Hoepli, Milano, Itália, 2005.
7. Andreos, R., **Panorama da Energia Elétrica e o Uso de Chiller a Gás – Seminário Técnico**, COMGAS, 2007.
8. ANEEL, **Atlas de Energia Elétrica no Brasil**, 2008. Disponível em <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em 10/08/2012.
9. ANP - Agência Nacional do Petróleo. Disponível em <http://www.anp.gov.br/>. Acesso em 01/11/2015.
10. ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, **PORTARIA Nº 3.523, DE 28 DE AGOSTO DE 1998**, Brasília, 1998. Disponível em http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/1998/prt3523_28_08_1998.html. Acesso em 10/07/2017.
11. ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, **Resolução RE9. Orientação Técnica Sobre Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior em Ambientes Climatizados Artificialmente de Uso Público e Coletivo**, Brasília, 2003. Disponível em http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/3523_98.htm. Acesso em 20/03/2016.
12. ASHRAE, **Standard 55 – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**, Atlanta, EUA, 2004.
13. ASHRAE, **90.1-2010 Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings**, American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, EUA, 2010.

14. ASHRAE, **Handbook of Applications, HOA**, American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, EUA, 2011.
15. ASHRAE, **Handbook of Fundamentals, HOF**, American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, EUA, 2013.
16. ASHRAE, **Handbook of System and Equipment, HSE**, American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, EUA, 2012.
17. Barja, G. J. A., **A Cogeração e sua Inserção ao Sistema Elétrico**, 2006, Dissertação de Mestrado em Ciências Mecânicas, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, 2006.
18. Bohdanowicz, P., Churie-Kallhauge, A., Martinac, I., **Energy-Efficiency and Conservation in Hotels – Towards Sustainable Tourism**, 2001, 4th International Symposium on Asia Pacific Architecture, Havaí, EUA, 2001.
19. Borgnakke, C., Sonntag, R. E., **Fundamentos da Termodinâmica**, Tradução da 8ª Edição Norte-Americana, Editora Blucher, 2013.
20. Brasil, N. P., **Apostila de Cogeração**, 2005. Disponível em <http://www.professores.uff.br>. Acesso em 15/10/2014.
21. Buoro, A. B., **Conforto Térmico e Eficiência Energética em Hotéis Econômicos**, Dissertação de Mestrado, FAU – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
22. Carlo, J. C., **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envolvimento de Edificações não Residenciais**, Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.
23. Cerâmica City, **Bloco 14X19X39**, 2017. Disponível em http://www.ceramicacity.com.br/bloco_ceramico/project/bloco-14x19x39/. Acesso em 12/07/2017.
24. Chaguri, J. J., **Sistemas Prediais de Aquecimento de Água a Gás: Parâmetros de Dimensionamento e Gerenciamento**, Dissertação de Mestrado, Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia – EP / FEA / IEE / IF – Universidade de São Paulo, 2009.
25. Midwest CHP Application Center, **Combined Heat & Power (CHP) Resource Guide**, Energy Resources Center, Chicago, EUA, 2005.
26. Correia, E. L., **Os Preços dos Derivados de Petróleo do Brasil**, Tese de Mestrado, IE – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1993.
27. Datamonitor, **Statistical Review of Global LP Gas**, 2010.

28. Dorer, V., Weber, A., **Energy and CO₂ Emissions Performance Assessment of Residential Micro-Cogeneration Systems with Dynamic Whole-Building Simulation Programs**, Elsevier Energy Conversion and Management, 2009.
29. Dossat, R. J., Horan, T. J., **Princípios da refrigeração**, 2001.
30. Eletropaulo. Disponível em <http://www.aeseletropaulo.com.br/clientes/CientesCorporativos/informacoes/Paginas/TarifasdeEnergia.aspx>. Acesso em 30/11/2015.
31. EnergyPlus, **Engineering Reference: The Reference for EnergyPlus Calculations**, 2014. Disponível em <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>. Acesso em 01/12/2014.
32. EPE (Empresa de Pesquisa Energética), **Plano Nacional de Energia 2030**, 2010.
33. EPE (Empresa de Pesquisa Energética), **Informe à Imprensa – Demanda de Energia Elétrica – 10 Anos**, Nota Técnica, 2012.
34. EPE (Empresa de Pesquisa Energética), **Balanço Energético Nacional**, 2015.
35. Hendron, R., Anderson, R., Christensen, C., Eastment, M., and Reeves, P., **Development of an Energy Savings Benchmark for All Residential End-Uses**, Proceedings of SimBuild 2004, IBPSA-USA National Conference, Boulder, CO, August 4 – 6, 2004.
36. Hitachi, **Catálogo Técnico**, 2010.
37. Hotelnews, **Hotelaria em Números Indica Crescimento em Ocupação e Receita**, 2012. Disponível em http://www.revistahotelnews.com.br/2009/noticia.php?req_url=006&id_noticia=1386. Acesso em 05/02/2015.
38. Ibis Budget®, **Pesquisa de Consumo Elétrico na Rede de Hotéis Ibis Budget® Localizados em São Paulo, SP**, Informe Técnico, 2016.
39. Ilha, M. S. de O., **Sistemas Prediais de Água Quente**, – Texto Técnico, EP – Universidade de São Paulo, 1994.
40. LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, **Planilha de cálculo do desempenho da envoltória de edificações residenciais: Método Prescritivo**, 2010. Disponível em <http://www.s3e.ufsc.br>. Acesso em 10/07/2015.
41. Lacerda, J., **Seminário Técnico**, Tractebel Energia, São Paulo, 2010.
42. Lamberts, R., **Etiquetagem de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais de Serviços e Públicos**, Seminário Técnico, Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Florianópolis, 2010.

43. Lima, G. L. F., **Influência de variáveis arquitetônicas no desempenho energético de hotéis no clima quente e úmido da cidade de Natal/RN**, 160 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Natal, 2007.
44. Lima, R. A. P. F. O., **Avanço das Redes Hoteleiras Internacionais no Brasil**, Tese de Doutorado, Escola de Comunicação e Artes (ECA) – Universidade de São Paulo, 2003.
45. Midwest CHP Application Center, **Combined Heat and Power (CHP) Resource Guide**, 2005. Disponível em <http://www.energy.gov>. Acesso em 01/10/2014.
46. Mello Jr., A. G., **Acionamento de Máquinas de Fluxo por Motores de Combustão Interna a Gás Natural**, Tese de Doutorado, Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia – EP / FEA / IEE / IF – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
47. MME – Ministério de Minas e Energia, **Balanco de Energia Útil**, 2009-2010
48. Palmero-Marrero, A. I., Oliveira, A. C., **Performance Simulation of a Solar Assisted Micro-Tri-Generation System: Hotel Case Study**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2011.
49. Placo, **Guia Placo 2014 de Soluções Construtivas**, 2014. Disponível em http://www.placo.com.br/sites/gypsum.eeap.placo.br/files/content/files/guia_placo.pdf. Acesso em 12/07/2017.
50. Pinto, A., Afonso, A. S., Santos, A. S., Pimentel-Rodrigues, C., Rodrigues, F., **Nexus water energy for hotel sector efficiency**, 8th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, SEB-16, Turim, Itália, 2016.
51. Priyadarsini, R., Xuchao, W., Eang, L. S., **A Study of Energy Performance of Hotel Buildings in Singapore**, Elsevier Energy and Buildings, 2009 Rio+20, **Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável**, 2012. Disponível em <http://www.rio20.info>. Acesso em 18/10/2014.
52. PROCEL, 2015, **Eficiência Energética nas Edificações**. Disponível em <http://www.procelinfo.com.br/>. Acesso em 10/08/2015.
53. Quiles, P. G. V., **Tecnología Energética**, Departamento de Ingeniería de Sistemas Industriales, Escuela Politécnica Superior de Elche, Espanha, 2013.
54. Rinnai, **Catálogo Técnico**. Disponível em <http://www.rinnai.com.br/linha+digital+REU+16+FEA+BE.html>. Acesso em 11/10/2015.

55. Robur, **Catálogo Técnico**, 2009. Disponível em http://www.robur.com/chillers/gas_absorption_chiller_ga_acf. Acesso em 01/10/2015.
56. SENER – Secretaria de Energia Mexicana, **Prospectiva del Mercado de Gas Licuado de Petróleo**, Secretaria de Energia, Cidade do México, México, 2004.
57. Silveira, J. L., Gouvêa, P. E. M., **Uso Racional de Energia**, Faculdade de Engenharia de Química de Lorena, 2004.
58. SINDIGAS – Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Gás Liquefeito de Petróleo, **Boletim Informativo**, 2011.
59. Smith, A. D., Mago, P. J., Fumo, N., **Benefits of Thermal Energy Storage Option Combined with CHP System for Different Commercial Building Types**, Elsevier Sustainable Energy Technologies and Assessments, 2013.
60. Stoecker, W. F., Jones, J. W., **Refrigeração e Climatização**, tradução por José M. Saiz Jabardo et al. – São Paulo – McGraw-Hill do Brasil, 1985.
61. Ultragaz, **Anotações Técnicas**, São Paulo, 2011.
62. USGBC, **Leadership in Energy and Environmental Design**, 2009. Disponível em <http://www.usgbc.org>. Acesso em 10/10/2014.
63. Waukesha, **VGF18GL/GLD**, 2010. Disponível em <http://www.dresser.com/waukesha>. Acesso em 31/05/2015.
64. Web Ar Condicionado, **A História do Ar-Condicionado**. Disponível em <http://www.webarcondicionado.com.br/a-historia-do-ar-condicionado>. Acesso em 22/08/2016.

Anexos

Anexo A

Tabela A.1 – Cálculo das Configurações do Sistema Convencional (SC)

	Aquecedor de Passagem Convencional	Chiller por Compressão de Vapor Elétrico	Total
Fonte de Energia Utilizada	Fonte Quente (GLP)	Fonte Fria (Eletricidade)	
Quantidade de Equipamentos (Incluindo Reserva)	8	2	
Quantidade de Equipamentos em Uso	6	1	
Investimento Total	24.000 R\$	1.053.000 R\$	1.077.000 R\$
Potência Útil Unitária	18.600 kcal/h	270 TR	
Potência Total	111.600 kcal/h	270 TR	
Consumo GLP / Energia Elétrica Unitária	2 kg/h	304 kWh	
Horas em Operação por Ano (360 dias)	8.640		
Fator de Utilização fu [%]	30%	50%	
Consumo Energia Anual Frio	-	1.312.470 kWh/ano	
Consumo Energia Anual Quente	33.437 kg/ano	-	
Preço Energia (Tarifa + Impostos)	2,50 R\$/kg	0,42 R\$/kWh	
Gasto Anual em Energia	83.592 R\$/ano	551.237 R\$/ano	634.829 R\$/ano
Gasto Anual em Manutenção	9.000	63.000 R\$/ano	72.000 R\$/ano

Tabela A.2 – Cálculo das Configurações do Sistema Proposto (SP)

	Chiller Absorção Pequeno Porte + Reservatório de Água Quente		Chiller por Compressão de Vapor Elétrico	Aquecedor de Passagem Industrial	Total
Fonte de Energia Utilizada	Fonte Quente (GLP)	Fonte Fria (GLP)	Fonte Fria (Eletricidade)	Fonte Quente (GLP)	
Quantidade de Equipamentos (Incluindo Reserva)	4		2	1	
Quantidade de Equipamentos em Uso	3		1	1	
Investimento Total [R\$]	117.000 R\$		892.500 R\$	8.000 R\$	1.017.500 R\$
Potência Útil Unitária	27.695 kcal/h	5 TR	235 TR	90.000 kcal/h	
Potência Total	83.085 kcal/h	15 TR	235 TR	90.000 kcal/h	
Consumo GLP / Energia Elétrica Unitária	1,36 kg/h	0,64 kg/h	283 kWh	8,10 kg/h	
Horas em Operação por Ano (360 dias)	8.640				
Fator de Utilização fu [%]	50%		40%	0%	
Consumo Energia Anual Frio	- -	8.294 kg/ano	978.048 kWh/ano	- -	
Consumo Energia Anual Quente	17.626 kg/ano	- -	- -	0 kg/ano	
Preço Energia (Tarifa + Impostos)	2,50 R\$/kg		0 kWh	2,50 R\$/kg	
Gasto Energia [R\$ / ano]	44.064 R\$/ano	20.736 R\$/ano	410.780 R\$/ano	0 R\$/ano	475.580 R\$/ano
Gasto Manutenção [R\$ / ano]	2.000 R\$/ano		60.000 R\$/ano	0 R\$/ano	62.000 R\$/ano

Anexo B

Especificação Técnica do Aquecedor de Passagem Convencional

- Aquecedor de Passagem Rinnai REU 16 FEA BE

REU 16 FEA BE

Vazão 23,5 l/min. GLP

Vazão 23,5 l/min. GN

Garantia de 3 anos

Exaustão forçada

Chama auto modulante

Controle digital com auto diagnóstico

Chaminé Ø 60/80mm

Timer de 60 minutos

Características técnicas		
Dimensões	523 x 350 x 130	
Peso	15 Kg	
Tipo de Gás	GLP	GN
Potência Nominal	39,9 (kW)	39,90 (kW)
Condição Padrão	34.320(kcal/h)	34.301(kcal/h)
Consumo Máximo de Gás	2,90 kg/h	3,60 m³/h
Vazão aproximada de Água (com misturador)	23,5 l/min	23,5 l/min
Pressão mínima e máxima de Água	7 mca - 40 mca	
Sistema de Ignição	Acendimento Eletrônico	
Diâmetro da Chaminé	60/80 mm	
Sistema de Segurança	Sensor iônico/ Bimetálico/Fusível térmico/ Válvula de alívio de pressão/ Timer	
Vazão/Pressão Mínima para Acionamento	3 l/min - 1,0 Mca	
Pressão de gás	GLP	GN
	280 mmca	200 mmca

Fonte: Catálogo Rinnai

Anexo C

Especificação Técnica do Chiller de Grande Porte (Elétrico)

- Chiller Hitachi Série SAZ – Potências: 205 TR (RCU210SAZ4A) e 235 TR (RCU240SAZ4A)

Item		Unid.	RCU140SAZ4A	RCU150SAZ4A	RCU160SAZ4A	RCU170SAZ4A	RCU180SAZ4A	RCU210SAZ4A	RCU240SAZ4A		
Capacidade Nominal (60 Hz)		kcal/h	41794	453138	478651	509313	538555	626911	716853		
		kW	485,8	526,9	556,6	592,2	626,2	729,0	833,6		
		TR	138,2	149,8	158,3	168,4	178,1	207,3	237,1		
Acabamento Externo		-	A estrutura é construída em chapa de aço tratada contra corrosão, pintura a pó eletrostática à base de poliéster na cor bege aplicada em chapa de aço curado em estufa								
Dimensões	Largura	mm	1891								
	Profundidade	mm	4467	6591							
	Altura	mm	2254								
Compartimento Frigorífico	Economizer	-	S	N	N	N	N	S	N		
	Compressor	Tipo	-	Semi Hermético - Parafuso HITACHI							
		Modelo/Qtde	-	60 ASC-Z/2	50 ASC-Z/3	50 ASC-Z/2 + 50 ASC-Z/1	60 ASC-Z/1 + 60 ASC-Z/2	60 ASC-Z/3	60 ASC-Z/4		
		Potência	kW	2 x 45	3 x 39	2 x 39 + 45	39 + 2 x 45	3 x 45	3 x 45	4 x 45	
		Nº de Polos	-	2							
		Aquecedor de Óleo	kW	0,15 (por Compressor)							
	Condensador	Tipo	-	Tubular de cobre com aletas de alumínio em corrente cruzada							
		Modelo	-	8 x C60SAZ	6 x C50SAZ + 6 x C60SAZ	6 x 4 x C50SAZ + 6 x C60SAZ	8 x 2 x C50SAZ + 10 x C60SAZ	12 x C60SAZ	12 x C60SAZ	16 x C60SAZ	
		Ventilador	Tipo	-	Axial						
	Quantidade		pc	8	12						
	Pressão Estática Externa		mmca	0							
	Vazão de Ar		m³/min	2350	3720	3655	3590	3525	4700		
	ΔE da Hélice		mm	710							
	Motor	Ventilação / Proteção	-	TFVE / IPW55							
		Potência	kW	8 x 1,1	12 x 1,1						16 x 1,1
		Número de Pólos	-	6							
		Rotação	rpm	1130							
		Resfriador	Tipo	-	SHELL & TUBE						
	Modelo		-	R140SAZ	R150SAZ	R160AZ	R170SAZ	R180SAZ	R210SAZ	R240SAZ	
	Vazão de Água		m³/h	76,0	82,4	87,0	92,6	97,9	114,0	130,3	
	Perda de Carga		mca	5,2	4,8	5,1	5	5,3	6,2	7,2	
	Fouling Factor		m² °C/W	0,00018							
	Isolamento Térmico		-	Poliuretano							
	Dispositivo de Controle de Refrigeração		-	Válvula de Expansão Termostática							
	Número de Ciclos		-	2	3						4
	Refrigerante	Tipo	-	R-407 C							
		Carga	kg	2 x 58	3 x 56	2 x 56 + 57	56 + 2 x 57	3 x 57	3 x 58	4 x 58	
	Faixa de Controle de Capacidade	%	-	13 a 100 (6,5)	15 a 100 (5,0)*	15 a 100 (8,5)*	15 a 100 (4,5)*	15 a 100 (6)*	13 a 100 (4,5)*	15 a 100 (7,5)*	
Dispositivo Anti-Vibração	-	-	Borracha Anti-Vibração sob o Equipamento								
Controle de Operação	Controle de Capacidade	-	Transmissor de Temperatura na Entrada e Saída de Água								
	Comando	-	IHM								
	Lâmpada de Piloto	-	Power = Verde - Operation = Vermelha - Alarm = Amarela								
	Leitura de Pressão	-	Transmissor de Alta e Baixa Pressão								
Ponto de Atuação dos Dispositivos de Segurança	Relé de Sobrecarga p/ Compressor	A	190	130	130/160	130/160	160	190	160		
	Relé de Sobrecarga p/ Ventilador	A	6,5								
	Termostato Interno do Compressor	°C	Desliga 115 / Liga 93								
	Sensor de Descarga Compressor	°C	Controle 130 - Desliga 140 / Liga 110								
	Termostato Controle By Pass	°C	Desliga 75 / Liga 110								
	Plug Fusível	°C	70 a 77								
	Proteção Anti-Congelamento	°C	Desliga 20 / Liga 6,0								
	Controle da Alta Pressão	kgf/cm²G	Desliga 28,5 / Liga 24,5								
	Pressão Baixa	kgf/cm²G	Controle 3,4 / Desliga 0,5								
	Válvula de Alívio de Pressão	kgf/cm²G	30,6								
Características Elétricas	Consumo Nominal	kW	156,9	162,4	174,6	186,7	198,9	235,3	265,2		
	Corrente Nominal	A	487,6	531,7	564,0	596,4	628,7	731,4	838,3		
	Fator de Potência	%	91,3	89,6	90,1	90,6	91,0	91,3	91,0		
	EER	Btu/h.W	9,78	9,90	9,81	9,82	9,81	9,78	9,79		
	COP	kW/kW	2,86	2,90	2,87	2,88	2,87	2,87	2,87		
	IPLV	-	11,7	11,9	11,8	11,8	11,8	11,7	11,7		
	Corrente de Partida	A	596	648	712	726	744	744	907		
	Fonte de Energia	-	220V / 380V / 440V/ 60 Hz - Trifásico + ou - 10%								
Nível de Ruído	1,5m Altura e 1,0m Distância	dB (A)	80	81						82	
	1,5m Altura e 10m Distância	dB (A)	69,2	70,2						71,2	
	com Ventilador Especial	dB (A)	73	75						76	
Conexões do Resfriador	Entrada de Água e Saída de Água	-	Ø Interno = 129,6mm		CONTRA FLANGE - Ø Interno = 170,7mm						
	Qtde	pc	ANSI B 16,5 - # 150 PSI - 48"		ANSI B 16,5 - # 150 PSI - 6"						
Peso Líquido	kg		3473	4710	4832	4889	4956	5031	6420		
Peso em Operação	kg		3615	4906	5064	5121	5189	5263	6735		

Notas:

A capacidade nominal e características elétricas são baseadas nas condições abaixo:

Temperatura de entrada da água no Resfriador: 12,2°C;

Temperatura de saída da água do Resfriador: 6,7°C;

Temperatura de entrada do ar no Condensador: 35°C.

Dados elétricos são baseados em 220V/60Hz.

Consumo Nominal indicado somente para o(s) compressor(es).

EER e COP inclui consumo do(s) compressor(es) + ventiladores.

Para uso de ventiladores especiais o consumo elétrico é aumentado em 5%.

Especificação Técnica do Chiller de Grande Porte (Elétrico)

- Chiller Hitachi Série SAZ – Potências: 255 TR (RCU210SAZ4A) e 270 TR (RCU240SAZ4A)

Item		Unid.	RCU260SAZ4A	RCU280SAZ4A	RCU300SAZ4A	RCU320SAZ4A	RCU350SAZ4A	RCU390SAZ4A	RCU420SAZ4A	
Capacidade Nominal (60 Hz)		kcal/h	775742	836066	888885	957943	1044567	1164875	1255287	
		kW	902,0	972,2	1045,2	1113,9	1214,6	1354,5	1459,6	
		TR	256,5	276,5	297,3	316,8	345,4	385,2	415,1	
Acabamento Externo		-	A estrutura é construída em chapa de aço tratada contra corrosão, pintura a pó eletrostática à base de poliéster na cor bege aplicada em chapa de aço curada em estufa							
Dimensões	Largura	mm	1891				13287			
	Profundidade	mm	8707				11159			
	Altura	mm	2254							
Compartmento Frigorífico	Economizer		S	S	N	S	S	S	S	
	Compressor	Tipo	Semi Hermético - Parafuso HITACHI							
		Modelo/Qtd	60 ASC-Z/4		60 ASC-Z/5		60ASC-Z/5		60ASC-Z/6	
		Potência	4 x 45		5 x 45		5 x 45		6 x 45	
		Nº de Polos	2							
		Aquecedor de Óleo	0,15 (por Compressor)							
	Condensador	Tipo	Tubular de cobre com aletas de alumínio em corrente cruzada							
		Modelo	16 x C60SAZ		20 x C60SAZ		20 x C60SAZ		24 x C60SAZ	
		Tipo	Axial							
	Ventilador	Quantidade	pc	16		20		24		
		Pressão Estática Externa	mmca	0						
		Vazão de Ar	m³/min	4700		5875		7050		
	Motor	Æ da Hélice	mm	710						
		Ventilação / Proteção	-	TFVE / IPW55						
		Potência	kW	16 x 1,1		20 x1,1		24 x1,1		
		Número de Pólos	-	6						
		Rotação	rpm	1130						
	Resfriador	Tipo	-	SHELL & TUBE						
		Modelo	-	R260SAZ	R280SAZ	R120-R180SAZ	R140-R210SAZ	R140-R210SAZ	R180-R210SAZ	2 X R210SAZ
		Vazão de Água	m³/h	141,0	152,0	163,4	174,2	189,9	211,8	228,2
		Perda de Carga	mca	8	8,8	5,8	5,8	6,8	6,8	6,8
		Fouling Factor	m².°C/W	0,000018						
		Isolamento Térmico	-	Poliuretano						
		Dispositivo de Controle de Refrigeração	-	Válvula de Expansão Termostática						
		Número de Ciclos	-	4		5			6	
	Refrigerante	Tipo	-	R-407 C						
		Carga	kg	2 x 57 + 2 x 58	4 x 58	5 x 57	3 x 57 + 2 x 58	5 x 58	3 x 57 + 3 x 58	6 x 58
	Faixa de Controle de Capacidade	%		13 a 100 (7)*	13 a 100 (6,5)*	15 a 100 (6)*	14 a 100 (5,5)*	15 a 100 (5,0)*	14 a 100 (7,0)*	13 a 100 (6,5)*
Dispositivo Anti-Vibração	-	-	Borracha Anti-Vibração sob o Equipamento							
Controle de Operação	Controle de Capacidade	-	Transmissor de Temperatura na Entrada e Saída de Água							
	Comando	-	IHM							
	Lâmpada de Piloto	-	Power = Verde - Operation = Vermelha - Alarm = Amarela							
	Leitura de Pressão	-	Transmissor de Alta e Baixa Pressão							
Ponto de Atuação dos Dispositivos de Segurança	Relé de Sobrecarga p/ Compressor	A	160/190	190	160	160/190	190	160/190	190	
	Relé de Sobrecarga p/ Ventilador	A	6,5							
	Termostato Interno do Compressor	*C	Desliga 115 / Liga 93							
	Sensor de Descarga Compressor	*C	Controle 130 - Desliga 140 / Liga 110							
	Termostato Controle By Pass	*C	Desliga 75 / Liga 110							
	Plug Fusível	*C	70 a 77							
	Proteção Anti-Congelamento	*C	Desliga 2,0 / Liga 6,0							
	Controle da	Alta	kgf/cm²	Desliga 28,5 / Liga 24,5						
	Pressão	Baixa	kgf/cm²	Controle 3,4 / Desliga 0,5						
	Válvula de Alívio de Pressão	kgf/cm²	30,6							
Características Elétricas	Consumo Nominal	kW	289,5	313,8	331,4	355,7	392,2	434,2	470,6	
	Corrente Nominal	A	906,7	975,2	1047,8	1116,3	1218,9	1360,1	1462,7	
	Fator de Potência	%	91,1	91,3	91,0	91,1	91,3	91,1	91,3	
	EER	Btu/h.V	9,77	9,78	9,82	9,81	9,78	9,79	9,79	
	COP	kWokW	2,86	2,87	2,88	2,87	2,86	2,87	2,87	
	IPLV	-	11,7	11,7	11,8	11,7	11,8	11,7	11,8	
	Corrente de Partida	A	907	907	1069	1069	1069	1217	1217	
	Fonte de Energia	Força	-	220V / 380V / 440V/ 60 Hz - Trifásico + ou - 10%						
Nível de Ruído	Comando	-	220 V / 60 Hz - Monofásico + ou - 10%							
	1,5m Altura e 1,0m Distância	dB (A)	83							
	1,5m Altura e 10m Distância	dB (A)	72,2							
com Ventilador Especial	dB (A)	77								
Conexões do Resfriador	Entrada de Água e Saída de Água	-	CONTRA FLANGE - Ø Interno = 170,7mm		CONTRA FLANGE Ø Interno = 2x129,6mm + 2x170,7mm		CONTRA FLANGE - Ø Interno = 170,7mm			
	Qtd	pc	2		4		4			
Peso Líquido	kg	6462	6572	3473+4956	3473+4936	3473+4956	4956+5031	5031+5031		
Peso em Operação	kg	6775	6886	3558+5189	3615+5189	3615+5263	4715+5263	5189+5263		

Notas:

A capacidade nominal e características elétricas são baseadas nas condições abaixo:

Temperatura de entrada da água no Resfriador: 12,2°C;

Temperatura de saída da água do Resfriador: 6,7°C;

Temperatura de entrada do ar no Condensador: 35°C.

Dados elétricos são baseados em 220V/60Hz.

Consumo Nominal indicado somente para o(s) compressor(es).

EER e COP inclui consumo do(s) compressor(es) + ventiladores.

Para uso de ventiladores especiais o consumo elétrico é aumentado em 5%.

Anexo D

Especificação Técnica do *Chiller* de Pequeno Porte (GLP)

Fonte: Catálogo Robur

Anexo E

Tabela E.1 – Preço de Custo dos Equipamentos

Lista de Equipamentos	Valor Unitário [R\$]	Quantidade	Valor Total [R\$]
Aquecedor de Passagem Rinnai REU	3.000	8	24.000
Aquecedor de Passagem Industrial RHT 4000	8.000	1	8.000
Reservatório com Isolante de 3.000L	17.000	1	17.000
Chiller por Absorção de Pequeno Porte	25.000	4	100.000
Chiller Elétrico Hitachi 205 TR	369.000	2	738.000
Chiller Elétrico Hitachi 235 TR	423.000	2	846.000
Chiller Elétrico Hitachi 255 TR	446.250	2	892.500
Chiller Elétrico Hitachi 270 TR	490.000	2	980.000

Fonte: Empresa “Vitalis Equipamentos e Projetos de Climatização e Aquecimento de Água”, São Paulo – SP

Anexo F

Tabela F.1 – Cálculo do Fator de Utilização do *Chiller* – Curva de Carga do Sistema de Climatização do Hotel

Horas	Consumo TRh	Fator de Utilização
1	216	80%
2	162	60%
3	68	25%
4	68	25%
5	68	25%
6	176	65%
7	221	82%
8	216	80%
9	189	70%
10	81	30%
11	41	15%
12	54	20%
13	27	10%
14	27	10%
15	14	5%
16	14	5%
17	14	5%
18	122	45%
19	230	85%
20	243	90%
21	243	90%
22	243	90%
23	243	90%
24	243	90%
Fator Utilização - Configuração Convencional = 50%		
Fator Utilização - Configuração Proposta = 40%		