



**PROPOSTA DE ALTERNATIVA DE SISTEMAS DE COGERAÇÃO COMO  
FATOR DE REDUÇÃO DE CUSTO NO CONSUMO DE ENERGIA NO  
HOSPITAL ALPHA**

**Victor da Silva Almeida**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos – Mestrado Profissional, PPGEP/ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos.

Orientadores: Jorge Laureano Moya Rodríguez  
Jandecy Cabral Leite

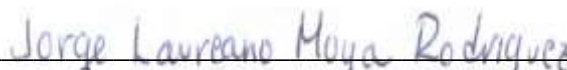
Belém  
Dezembro de 2016

**PROPOSTA DE ALTERNATIVA DE SISTEMAS DE COGERAÇÃO  
COMO FATOR DE REDUÇÃO DE CUSTO NO CONSUMO DE  
ENERGIA NO HOSPITAL ALPHA**

Victor da Silva Almeida

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PROCESSOS – MESTRADO PROFISSIONAL (PPGEP/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA DE PROCESSOS.

Examinada por:



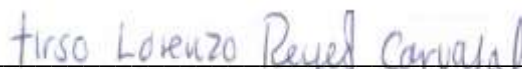
---

Prof. Jorge Laureano Moya Rodríguez, D.Sc.  
(PPGEP-ITEC/UFPA-ITEGAM - Orientador)



---

Prof. Jandecy Cabral Leite, Dr.  
(PPGEP-ITEC/UFPA-Orientador)



---

Prof. Tirso Lorenzo Reyes Carvajal, D.Sc.  
(PPGEP-ITEC/UFPA-ITEGAM - Membro)



---

Prof. Manoel Socorro Santos Azevedo, D.Sc.  
(UEA/EST - Membro Externo)

BELÉM, PA - BRASIL

DEZEMBRO DE 2016

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da UFPA**

---

Almeida, Victor da Silva, 1992-

Proposta alternativa de sistemas de cogeração como fator de redução de custo no consumo de energia no Hospital Alpha/Victor da Silva Almeida.- 2016.

Orientador: Jorge Laureano Moya Rodríguez;  
Coorientador: Jandecy Cabral Leite.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Belém, 2016.

1. Energia elétrica e calor- Cogeração
  2. Energia elétrica- Custos
  3. Sistemas de energia elétrica- Modelos matemáticos
  4. Hospitais- Consumo de energia
- I. Título

CDD 23.ed.621.199

---

*Este trabalho é dedicado primeiramente a Deus por ter me permitido chegar até aqui, à minha família que de forma inenarrável sempre me deu total apoio na minha vida acadêmica, aos amigos que me apoiaram em todos os momentos, aos professores que me orientaram, e particularmente à Faculdade Boas Novas na pessoa da minha Diretora Geral, Mestra Maria José Costa Lima, que me proporcionou todo o espaço e tempo disponível para dedicar-me a pesquisa e disponibilizou recursos de várias naturezas para que esse título hoje eu o tivesse.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, a Ele a honra, a glória e o louvor por ter me conduzido até aqui me fazendo alcançar este título, que era um dos meus maiores sonhos, só tenho a dizer o quanto Ele é fiel na minha vida por permitir o cumprimento deste desafio e por me mostrar a cada dia que guia todos os meus caminhos no lugar e no tempo exato. Expresso meu sentimento de gratidão pela minha família, nossa não existem adjetivos que possam caracterizar o que eu gostaria de expressar à eles, especialmente a meus pais Francisco Almeida e Célia Almeida por me fomentarem com todo o apoio, carinho e compreensão mostrando durante toda a minha trajetória acadêmica e profissional que a perseverança e fé em Deus são, sobretudo as nossas molas propulsoras para o alcance de nossos sonhos e metas, pois relatar o alcance desta me faz recapitular vários momentos da minha vida que se passaram junto aos meus pais, sobre um futuro melhor, como também a persistência, sempre aliado a paciência, amor, fé e agradecimento.

Tenho um agradecimento especial a minha diretora Maria José Costa Lima que me deu apoio total e me incentivou desde o momento da inscrição do mestrado, em cada minuto que me dediquei a essa conquista até ao momento da sua defesa, além de, em alguns momentos, entender que era necessário ausentar-me das minhas atividades profissionais na Instituição que trabalho a minha segunda casa Faculdade Boas Novas. Aos meus colegas e amigos da turma de Mestrado, especialmente Patrick Ribeiro, Diana Ribeiro e Ana Paula Andrade, com eles tudo ficou mais fácil e divertido, pois me lembro exatamente de cada módulo estudado, os trabalhos feitos e os conflitos necessários sempre em busca do melhor resultado.

Agradeço imensamente ao meu orientador Prof. Dr. Jorge Laureano Moya Rodriguez, por ele ter se dedicado muito a me ensinar e por ter sido uma pessoa essencial em todos os momentos da construção desta pesquisa, pela paciência, pelo incentivo, pelo apoio sempre que era solicitado e pelos ajustes quando se faziam necessários em meu trabalho.

Ao Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM) e à Universidade Federal do Pará (UFPA), por trazerem o curso para Manaus-Am, permitindo que profissionais daqui busquem a qualificação *Stricto Sensu* necessária de modo que a mão de obra para o mercado local se desenvolva de maneira mais eficiente e eficaz.

“Filho meu, não te esqueças dos meus ensinamentos e o teu coração guarde os meus mandamentos, porque eles aumentarão os teus dias e te acrescentarão anos de vida e paz”.

“Adquire a sabedoria sim, com tudo o que tu possuis e adquire o entendimento, estima-a e ela te exaltará, se a abraçares ela te honrará”.

Provérbios de Salomão

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGE/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Processos (M.Eng.)

**PROPOSTA DE ALTERNATIVA DE SISTEMAS DE COGERAÇÃO COMO  
FATOR DE REDUÇÃO DE CUSTO NO CONSUMO DE ENERGIA NO  
HOSPITAL ALPHA**

**Victor da Silva Almeida**

Dezembro/2016

Orientadores: Jorge Laureano Moya Rodríguez

Jandecy Cabral Leite

Área de Concentração: Engenharia de Processos

Hospitais têm o maior consumo de energia por área nas unidades dos setores dos edifícios. A utilização contínua de equipamento de aquecimento e de resfriamento requer uma atenção maior em todos os sentidos, de modo a manter o conforto térmico satisfatório e níveis de qualidade do ar interior para os pacientes. E sabendo que esta estrutura tem um custo com consumo de energia elétrica, esse trabalho foi desenvolvido a partir da análise estrutural do hospital Alpha, onde foi feito levantamento da capacidade de atendimento do mesmo, equipamentos que requerem o uso de energia elétrica e os períodos de consumos, considerando o clima inclusive. A partir disso, foi analisado os equipamentos que são necessários para implantação de um módulo de cogeração no hospital, propondo-se uma variante e analisando sua viabilidade econômica e o retorno sobre investimento a médio e longo prazo.

Abstract of Dissertation presented to PPGEP/UFPA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Process Engineering (M.Eng.)

**ALTERNATIVE PROPOSAL OF COGENERATION SYSTEM AS A FACTOR OF COST REDUCTION IN ENERGY CONSUMPTION IN ALPHA HOSPITAL**

**Victor da Silva Almeida**

December/2016

Advisors: Jorge Laureano Moya Rodríguez

Jandecy Cabral Leite

Research Area: Process Engineering

Hospitals have the highest energy consumption in units per area in the buildings. Continuous use of heating and cooling equipment requires greater attention in all directions in order to maintain satisfactory thermal comfort and indoor air quality levels for patients. Knowing that this structure has a cost with electric energy consumption, this work was developed from the structural analysis of the Alpha hospital, where it was surveyed its attendance capacity, equipment that requires the use of electric energy and the consume periods, considering the climate. From this, it was analyzed the equipment that is needed to implement a cogeneration module in the hospital, proposing a variant and analyzing its economic viability and return on investment in the medium and long term.



## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 - MOTIVAÇÃO.....	3
1.2 – OBJETIVOS.....	5
1.2.1 – Objetivo Geral.....	5
1.2.1 - Objetivos Específicos.....	5
1.3 - CONTRIBUIÇÃO E RELEVÂNCIA DO TEMA.....	5
1.4 - ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	6
<b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>7</b>
2.1 - A POLÍTICA ENERGÉTICA BRASILEIRA.....	7
2.2 - O SETOR ELÉTRICO DO ESTADO DO AMAZONAS.....	10
2.3 - SISTEMAS DE COGERAÇÃO.....	12
2.4 - ANÁLISES GERAIS SOBRE SISTEMAS DE COGERAÇÃO - HISTORIA DA COGERAÇÃO.....	13
2.5 - CONCEITO DE COGERAÇÃO.....	15
2.6 - ECONOMIA DE ENERGIA PRIMARIA.....	15
2.7 - SELEÇÃO DE SISTEMAS DE COGERAÇÃO.....	17
2.8 - MODELAÇÃO DOS SISTEMAS DE COGERAÇÃO.....	18
2.9 - SISTEMA.....	20
2.10 - MODELO.....	20
2.10.1 - Classificação dos Modelos.....	20
2.11 - TIPOS DE SISTEMAS DE COGERAÇÃO.....	22
2.12 - SELEÇÃO DO SISTEMA.....	22
2.13 - SIMULAÇÃO.....	25
<b>CAPÍTULO 3 - MODELO MATEMÁTICO PARA A OTIMIZAÇÃO.....</b>	<b>27</b>
3.1 - DIFERENTES MODELOS MATEMÁTICOS E SOLUÇÕES.....	27
3.2 - APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO A UM SISTEMA DE COGERAÇÃO COM TURBINA DE GÁS.....	29
3.2.1 - Função Objetivo.....	30
3.2.2 - Restrições.....	31
3.2.2.1 - Gerador de turbina a gás.....	32
3.2.2.2 - Caldeira de Recuperação de Calor.....	32
3.2.2.3 - Caldeira Auxiliar a Gás.....	32
3.2.2.4 - Chiller de Refrigeração por Absorção de Vapor.....	32
3.2.2.5 - Chiller Elétrico de Compressão.....	33
3.2.3 - Balanço de Energia do Sistema.....	33
3.2.3.1 - Eletricidade.....	33

3.2.3.2 - Gases de exaustão.....	33
3.2.3.3 - Vapor.....	33
3.2.3.4 - Água gelada.....	33
3.2.3.5 - Gás natural.....	33
<b>CAPÍTULO 4 - CARACTERIZAÇÃO DO HOSPITAL ALPHA E ALTERNATIVAS DE FORNECIMENTO ENERGÉTICO.....</b>	<b>35</b>
4.1 - CARATERIZAÇÃO DO HOSPITAL.....	35
4.2 - CONSUMO DE PORTADORES ENERGÉTICOS.....	35
4.3 - ESTRUTURA DOS CONSUMOS DE ENERGIA ELÉTRICA.....	37
4.4 - ESTRUTURA DO CONSUMO DE GLP.....	38
4.5 - ESTRUTURA DO CONSUMO DE DIESEL.....	38
4.6 - ESTRUTURA DO CONSUMO DE FUEL OIL.....	39
4.7 - ÍNDICES GLOBAIS.....	40
4.8 - SIMULTANEIDADE DAS DEMANDAS ATUAIS DE ELETRICIDADE, CALOR E FRIO.....	41
4.9 - SELEÇÃO DA VARIANTE DE TRIGERAÇÃO.....	42
4.9.1 - Alternativas de Fornecimento Energético.....	43
4.9.2 - Sistema de Trigeração de Turbina de Gás (Tg) com Recuperação de Calor de Escape.....	44
4.10 - AVALIAÇÃO ECONÔMICA.....	45
4.10.1 - Avaliação Econômica do Sistema Tradicional.....	46
4.10.2 - Análise Econômica do Sistema de Cogeração Proposto.....	46
4.10.3 - VPL e TIR.....	48
4.11 - ANÁLISES E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	50
<b>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES.....</b>	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>53</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b>	Potencial Hidrelétrico Brasileiro – Capacidade Instalada - MW. Fonte: DENI - Divisão de Recursos Hídricos e Inventário,(2012).....	9
<b>Figura 2.2</b>	Comparação entre as tecnologias convencionais e a cogeração. Fonte: (BICHO et al., 2008).....	16
<b>Figura 2.3</b>	Estrutura de um modelo. Fonte: (TAPIAS, 2010).....	20
<b>Figura 3.1</b>	Algoritmo para a otimização de um sistema de cogeração. Fonte: adaptado de (BEIHONG e WEIDING, 2006).....	29
<b>Figura 3.2</b>	Estrutura de um sistema de cogeração com turbinas a gás. Fonte: Adaptado de (BEIHONG e WEIDING, 2006).....	30
<b>Figura 4.1</b>	Comportamento do consumo energético no ano 2015. Fonte: Autor..	36
<b>Figura 4.2</b>	Estrutura dos Consumos de Energia Elétrica para 2015. Fonte: Autor.....	37
<b>Figura 4.3</b>	Consumos Mensais e Acumulados de GLP, 2015. Fonte: Autor.....	38
<b>Figura 4.4</b>	Consumo de Diesel e produção de Energia Elétrica no ano 2015. Fonte: Autor.....	39
<b>Figura 4.5</b>	Consumo de Fuel Oil Mensal e Acumulado em tep, ano 2015.Fonte: Autor.....	39
<b>Figura 4.6</b>	Simultaneidade das demandas de eletricidade, calor e frio. Fonte: Autor.....	41
<b>Figura 4.7</b>	Sistema de Trigeração. Fonte: Adaptado de (LOZANO <i>et al.</i> , 2009).	44
<b>Figura 4.8</b>	Custo dos diferentes portadores energéticos. Fonte: Autor.....	46

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.1</b>	Comparação entre as principais tecnologias de cogeração. Fonte: (BRANDÃO, 2004).....	23
<b>Tabela 2.2</b>	Características técnicas dos tipos de sistemas de cogeração mais utilizados.....	24
<b>Tabela 4.1</b>	Resumo dos custos dos principais consumidores energéticos utilizados no hospital para o ano de 2015. Fonte: autor.....	40
<b>Tabela 4.2</b>	Resultados do sistema de trigeração proposto. Fonte: Autor.....	44
<b>Tabela 4.3</b>	Características Gerais e Custos das turbinas a gás. Fonte: Adaptado de (NOGUEIRA e ALKMIN, 1996) e de (LEYVA CÉSPEDES, 2010).....	46
<b>Tabela 4.4</b>	Características e Custos de alguns equipamentos de refrigeração por absorção. Fonte: Adaptado de (MESA MEDEROS, 2011; SANYO, 2016).....	47
<b>Tabela 4.5</b>	Resultados Obtidos do Cálculo de Pré-Viabilidade. Fonte: Autor.....	49

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

Em função do crescimento populacional brasileiro, o sistema elétrico nacional está cada vez mais em modificação a fim de atender as necessidades do país. Na última década, ganhou destaque o aumento da geração termoelétrica na matriz elétrica nacional, primeiro proveniente de gás natural, e mais recentemente, de fontes renováveis de energia como a geração proveniente de biomassa ou térmica útil. Isto por que, a partir da década de 1970, com a ocorrência de duas crises internacionais envolvendo o abastecimento de petróleo, a primeira em 1973 e a segunda em 1979, é que o mundo tomou consciência de que os recursos energéticos são finitos. (VEIGA, 2007).

Em diversos países, com exceção dos Estados Unidos e Brasil, ao primeiro sinal de elevação exagerada dos preços do petróleo, programas de racionalização do uso da energia começaram a ser elaborados. Intensificando-se a discussão acerca do problema da utilização de energia, no qual o Brasil iniciou programas de incentivo à redução da demanda de energia elétrica primária contribuindo assim com a necessidade de pensar propostas alternativas de geração de energia (VEIGA, 2007).

Desta forma, num sentido amplo, a conservação de energia engloba não apenas a diminuição da quantidade primária, necessária para propiciar o consumo de um mesmo nível útil, mas também a construção de um estilo alternativo de desenvolvimento que implique mais baixo perfil de demanda de energia útil para um mesmo padrão de satisfação das necessidades sociais. E nessa linha de raciocínio (VEIGA, 2007) diz que “entende-se por estilo de desenvolvimento a maneira como se organizam os recursos materiais e humanos dentro de um determinado sistema, com o objetivo de resolver as questões relativas à “o que”, “para quem” e “como” produzir os bens e serviços”. Analisando, então este contexto sabe-se que o passado histórico do país, especialmente sua relação com os demais países, assim como a capacidade de resolver seus próprios problemas, tem buscado soluções originais para problemas cada vez mais complexos.

Neste cenário se incorpora a ideia de cogeração, que segundo (AGNEW et al., 2015) é um sistema de produção de energia de alto rendimento ( $\approx 85\%$ ), que consiste na produção simultânea de energia térmica e de energia elétrica a partir de uma energia primária combustível, como as energias eletromecânica e térmica, para suprir as

necessidades de uma unidade de processo, seja ela do setor industrial, hospitalar, agrícola, terciário ou um sistema isolado, a partir de uma mesma fonte energética primária. Em outras palavras, seria o aproveitamento de uma parcela de energia que teria de ser obrigatoriamente rejeitada por força da Segunda Lei da Termodinâmica, pois tende a incrementar-se com o tempo, até alcançar um valor máximo. Mais sensivelmente, quando uma parte de um sistema fechado interage com outra parte, a energia tende a dividir-se por igual, até que o sistema alcance um equilíbrio térmico resultando em um aumento da eficiência energética global do ciclo térmico.

Já de acordo com (ALEXIS e LIAKOS, 2013), cogeração é a produção termodinamicamente sequencial de duas ou mais formas úteis de energia a partir de uma fonte primária. Em que, a maioria do calor pode ser recuperada e usada para cobrir demandas térmicas, aumentando a eficiência do ciclo de 30-50% numa planta de potência convencional para 80-90% num ciclo de cogeração.

Esta prática pode ser considerada uma alternativa positiva se comparada ao atual estágio de geração de energia, tal como é concebido no sistema interligado. Neste, as necessidades de energia elétrica são atendidas mediante contrato de compra com uma concessionária, sendo as necessidades térmicas (quentes ou frias) autoproduzidas, devendo nestes casos as unidades de geração ser dimensionadas para operarem de forma independente das concessionárias, garantindo desta forma a confiabilidade do sistema isolado, ao mesmo tempo em que pode ser também redistribuído como propostas alternativas de receita ou amortização do valor investido na implantação de sistemas de cogeração na unidade empresarial implantada.

(MOSTAFAVI TEHRANI et al., 2013) afirma que a prática da cogeração não se encontra limitada pelo desenvolvimento de novas máquinas térmicas, uma vez que simplesmente apresenta uma proposta de geração diversa do conceito atualmente vigente quanto à produção de energia. Este fato não impede, no entanto, que novas formas de geração sejam cuidadosamente incorporadas no processo de expansão das centrais de cogeração tão logo se mostrem competitivas com o estado atual de conhecimentos em geração de energia.

Por outro lado a cogeração se caracteriza como uma tecnologia que apresenta potencial de aplicação em diversos segmentos, tanto em sistemas interligados quanto em sistemas isolados, para os quais não existem opções de acesso a outras formas de geração, distinguindo-se pelo porte dos sistemas então empregados. Como também existe a trigeração de energia que tem como característica a utilização de esquemas de

aquecimento e esfriamento de distrito, posteriormente se começou a utilizar vapor com mais frequência em indústrias químicas e petroquímicas principalmente, devido a frequente necessidade destes três serviços nas plantas do processo. Este termo é utilizado para se referir a produção simultânea de eletricidade, calor e frio.

Diante desse contexto, e especificamente no segmento estudado neste trabalho que é o da saúde, nota-se que os atuais sistemas de energia têm influenciando-os, sejam públicos ou privados, elevando os custos do consumo energético dos hospitais. Portanto, como possível solução para ajudar os hospitais diante do problema a ser discutido neste trabalho que é o gasto em demasia com energia primária pelo alto consumo de eletricidade nos hospitais, o objetivo é apresentar uma proposta alternativa de sistemas de energia por meio da cogeração em um hospital da cidade de Manaus como fator de redução de custo em todo seu processo, por meio da simulação computacional para análise de viabilidade de implantação da trigeração. Simular um modelo de trigeração significa criar um processo, de acordo com a descrição e comportamentos reais demandados pelo hospital, capaz de prever as respostas da produção de acordo com as entradas do sistema. Com o simulador, os engenheiros precisam apenas desenvolver um modelo matemático simples e capaz a partir de um projeto conceitual, agilizar a tomada de decisão, que seja eficiente do ponto de vista econômico e de redução do impacto ambiental. (RENEDO et al., 2006).

Um modelo é orientado por equações, onde cada unidade é descrita através de um conjunto de equações que são combinadas e resolvidas simultaneamente, utilizando modelos desenvolvidos no software do excel como memória de cálculo para este estudo. Usuários podem desenvolver seus próprios modelos ou utilizar uma biblioteca do banco de dados do simulador, em que o mesmo procedimento para cálculo seja estabelecido e encontrado atendendo a necessidade demandada.

## **1.1 - MOTIVAÇÃO**

A avaliação de uma proposta aplicando o conceito de sistema de trigeração por meio de simulação computacional é uma ferramenta para o estudo de consumo de energia em grandes complexos hospitalares e/ou outros modelos de empresa, onde a partir da aplicação da simulação os sistemas podem ser estudados de forma ampla sem que seja necessário realizar experimentos na plataforma real, trazendo indicadores prévios para que se possa avaliar a viabilidade da proposta.

Apesar de sua grande dimensão o Setor Elétrico Brasileiro tem passado por profundos processos de reestruturação institucional marcado pela descentralização e privatização. Este processo, também percebido em âmbito global, tem sido motivado por razões políticas, econômicas, financeiras e ambientais. No Brasil, interferem neste processo a descapitalização, em função principalmente das diferenças entre as tarifas praticadas e o custo marginal de geração, as dificuldades impostas pelos agentes financiadores para a expansão do parque elétrico, além do esgotamento do potencial hídrico com possibilidade de aproveitamento energético. (ALEXIS e LIAKOS, 2013).

E para tanto, a despeito do cenário apresentado, o não atendimento das demandas básicas de grande parte da crescente população sugere uma futura necessidade de expansão do parque de geração de energia elétrica. Diante disto, algumas modalidades de geração de energia elétrica pouco discutidos para a realidade brasileira até 20 anos atrás, como a cogeração e os ciclos combinados, vêm sendo apresentadas como opções de ampliação do parque gerador e incremento na “qualidade” do fornecimento de energia tanto para o parque produtivo como para a sociedade de uma forma geral.

Surge, portanto uma grande possibilidade de desenvolvimento da autoprodução de energia elétrica no Amazonas, a ser promovida tanto pelo setor industrial quanto pelos setores comerciais e de serviços, em função dos preços competitivos dos "novos" combustíveis no cenário nacional e do desenvolvimento tecnológico decorrente das atuais opções energéticas.

Além disso, é importante ressaltar que se encontra a matriz energética do estado do Amazonas implementando ações diretas como o gasoduto Coari-Manaus, além da matriz primária oriunda das hidrelétricas, pois de acordo com um estudo realizado pela PETROBRAS em 2013 a região amazônica estabelece uma gigantesca oportunidade de desenvolver não só o mercado de gás natural, mas também um sistema energético hidrotérmico que integrará toda a região ao restante do país (SAUER, 2013). Servindo como matéria prima para o sistema de trigeriação proposto ao Hospital Alpha.

Atualmente a ciência dispõe de várias ferramentas matemáticas para inferir problemas e aproximar os modelos matemáticos aos resultados reais de processos complexos, como é o caso da cogeração de energia. Baseando-se em técnicas conhecidas é possível garantir um modelo funcional e resultados que possam prever o comportamento das variáveis estudadas no processo.



Por esta razão o estudo de simulação da trigeriação será realizado, com o interesse de apresentar aos gestores da unidade hospitalar a viabilidade de aplicar um modelo de cogeração como proposta de redução de custos nas faturas energéticas do hospital, como também, reduzir a emissão de gases poluentes na atmosfera. Contribuindo com o meio ambiente de maneira sustentável.

## **1.2 – OBJETIVOS**

### **1.2.1 – Objetivo Geral**

Desenvolver um modelo para avaliação de sistemas de cogeração em hospitais e avaliar alternativas de cogeração por demandas simultâneas de energia em um hospital.

### **1.2.2 - Objetivos Específicos**

- Realizar revisão bibliográfica sobre os sistemas de cogeração, e suas aplicações;
- Elaborar um modelo matemático para avaliação de sistemas de cogeração em hospitais;
- Desenvolver uma metodologia para projetar um sistema de trigeriação para um hospital usando um modelo de demandas simultâneas e uma ferramenta computacional;
- Realizar estudo de campo para aplicação da metodologia no Hospital Alpha.

## **1.3 - CONTRIBUIÇÃO E RELEVÂNCIA DO TEMA**

Em um ambiente competitivo com alta produção e novas aplicações: elevou-se a necessidade de utilizar técnicas que permitam a redução de custo em demasia de todas as áreas da organização onde houver desperdícios. E para tanto, nessa atual conjuntura econômica as grandes organizações, sejam públicas ou privadas, tem buscado alternativas que possam ser fatores influentes nas tomadas de decisão estratégicas e que impactem positivamente o negócio.

Assim este trabalho propõe investigar, como ponto central do seu desenvolvimento, a seguinte questão:

- Como diminuir o custo de energia, por meio do estudo e implantação de sistemas de trigeriação/cogeração em um hospital?

A variabilidade de custos poderá ser percebida com a aplicação de instrumentos de coleta de dados no campo e análise deste, onde o objeto investigado servirá de base para apresentar resultados simulados de redução, caso seja implantado um sistema de trigeração/cogeração.

#### **1.4 - ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

Esta dissertação está organizada em cinco capítulos, sendo o presente capítulo o primeiro deles, no qual se enfatizou a importância da trigeração como caso particular deste estudo.

O **capítulo 2** apresenta a revisão da literatura a respeito da política energética no Brasil, bem como as caracterizações do que é cogeração, as barreiras políticas e institucionais. Além disso, é abordada a simulação computacional de forma geral.

O **capítulo 3** trata dos procedimentos metodológicos para aplicação de modelos matemáticos e conceituais os quais serão programados no Excel buscando a identificação dos resultados reais acerca da redução de consumo energético na unidade hospitalar aqui estudada, por meio da trigeração como caso particular desta.

O **capítulo 4** aborda a apresentação do estudo de caso e os resultados técnicos e econômicos do sistema de trigeração proposto, assim como a caracterização dos diferentes consumos energéticos do hospital que servem de base para o estudo de caso. Finalmente no capítulo 5 são apresentadas as conclusões, sugestões e potenciais aplicações futuras em discussões mais profundas acerca do tema.

## **CAPÍTULO 2**

### **REVISÃO DA LITERATURA**

#### **2.1 - A POLÍTICA ENERGÉTICA BRASILEIRA**

Surgida ainda no período imperial, a energia elétrica trazida para o Brasil por iniciativa do Imperador Dom Pedro II, conhecido por sua intelectualidade e pelo apreço à ciência e as artes. Desde então se tem observado o fenômeno que transformou a energia elétrica no maior expoente do desenvolvimento econômico e do progresso tanto do Brasil quanto do restante do mundo(CAMARGO, 2005; SALES, 2008)

A eletricidade experimentou suas primeiras funcionalidades na segunda metade do século XIX, tendo sido implementada no transporte, na iluminação pública e na indústria. O setor elétrico nasceu privado, sendo que o embrião de sua regulação sobreveio já no ano de 1903. Em que a primeira crise da qual se tem registros de 1924, seguida da quebra da bolsa de Nova Iorque em 1929 e o fim da chamada cláusula de ouro, com a entrada em vigor do Decreto n. 23.501 em 1933, pondo fim a indexação das tarifas ao câmbio. (CAMARGO, 2005)

Entretanto, a indústria de energia prosseguiu em sua trajetória estatizante, num ritmo de crescimento que veio a se tornar muito aquém do necessário, até que no ano de 1988, foi criada a Revisão Institucional do Setor Elétrico - REVISE, no governo do então presidente José Sarney e, após o Programa Nacional de Desestatização - PND, já no governo Collor, em 1990.

Foi eleito então, presidente da República Fernando Henrique Cardoso, que deu prosseguimento ao programa de privatização e proporcionou uma ampla abertura do setor, criando o livre mercado para a contratação de energia. Criou também o operador Nacional do Sistema Elétrico, responsável pela operação do Sistema Interligado – SIN, e a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, agente regulador e fiscalizador do setor elétrico, concebido originariamente como órgão cuja independência pudesse torná-lo capaz de articular o mercado de maneira a atrair os investimentos necessários à recuperação do setor elétrico, em especial a da geração de energia elétrica.

Nesse contexto, o atual cenário energético brasileiro tem se apresentado em situações de constantes transformações, tanto do ponto de vista do desenvolvimento quanto das modalidades de oferta de energia para a sociedade brasileira de modo mais

amplo devido à completude que se pretende alcançar com investimentos no setor de energia, pois estabelece estratégias de base para a economia, como também a redução de emissão de gases poluentes para a atmosfera. Em que o fator ambiental torna-se cada vez mais relevante na participação destas estratégias, uma vez que tanto as estatais quanto organizações do setor privado, em que se insere o segmento hospitalar objeto de estudo deste passam a ser beneficiadas.

E para ratificar esse contexto (BERRMAN, 2008) afirma que as crises energéticas oriundas de possíveis projetos de modificação e as políticas que o governo brasileiro está procurando implementar para assegurar o aumento da oferta, está fundamentada em princípios que comprometem de forma irreversível padrões adequados de sustentabilidade energética. De um lado, persiste a ideia de que os grandes aproveitamentos hidrelétricos se constituem em uma alternativa energética limpa e barata. Por outro, insiste-se com a ampliação do gás natural na matriz energética, priorizando sua utilização como combustível nas usinas termelétricas.

E sob o ponto de vista da utilização dos recursos hídricos, a geração de eletricidade no Brasil tem sido considerada como uma prioridade, apesar de uma legislação obsoleta que já estabelecia os princípios do uso múltiplo das águas, como o Código das Águas de 1934. E também a Lei n.9.433, de 08 de janeiro de 1997, que define a Política Nacional de Recursos Hídricos e os instrumentos do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Haja vista que toda essa situação tem inferência direta do setor público e das ações do governo em ter a plena legitimação dessa transformação, possibilitando uma energia pura, limpa e de caráter sustentável.

Por outro lado (GOLDEMBERG, 2007) dizem que é com frequência que empreendimentos hidrelétricos têm se revelado insustentáveis, no cenário internacional e particularmente no Brasil este caráter insustentável pode ser estabelecido a partir de critérios que identificam os problemas físico-químico-biológicos decorrentes da implantação e operação de uma usina hidrelétrica, e da sua interação com as características ambientais do seu "locus" de construção (p.ex., alteração do regime hidrológico; assoreamento; emissões de gases estufa a partir da decomposição orgânica no reservatório; entre outros...). E isso faz com que o impacto no ambiente de instalação da usina seja potencializado devido às modificações dado a implantação da mesma.

E com isso é de se perceber ainda que no relacionamento das empresas do setor elétrico brasileiro com a população, prevaleceu a estratégia do "fato consumado" praticamente em todos os empreendimentos. Enquanto que a alternativa hidrelétrica era

sempre apresentada como uma fonte energética "limpa, renovável e barata", e cada projeto eram justificados em nome do interesse público e do progresso, o fato é que as populações ribeirinhas acabaram por ser as mais prejudicadas em seu contexto social e cultural, pois tiveram as suas bases materiais "invadidas" e compulsoriamente tiveram que ser deslocados para lugares em que muitas vezes as compensações financeiras eram irrisórias ou inexistentes.

Na área das barragens ocorreram diversos problemas de saúde pública, como o aumento de doenças de natureza endêmica, o comprometimento da qualidade da água nos reservatórios, afetando atividades como pesca e agricultura; e, problemas de segurança das populações, com o aumento dos riscos de inundação abaixo dos reservatórios, decorrentes de problemas de operação. Ainda, grandes quantidades de terras cultiváveis ficaram sem poderem explora-las para o cultivo, e em muitos casos, a perda da biodiversidade foi irreparável, fazendo com que fatores ambientais sejam objeto de percepção e influência do setor energético. Tornando-se indispensável a utilização de propostas alternativas de energia para aumento da capacidade de oferta sem afetar em demasia a biodiversidade.

O potencial hidroelétrico brasileiro atualmente em operação (cerca de 61,3 mil MW) representa não mais que 24% do potencial hidroelétrico total, estimado em 260,3 mil MW. Na Figura 2.1 pode-se verificar que esta situação é utilizada como argumento para aqueles que preconizam uma expansão mais vigorosa dos projetos de usinas hidrelétricas no Brasil.

BACIA	Operação	Inventário/Viabilidade/ Projeto Básico	Estimado	Total
Amazonas	521,44	31.119,55	73.642,49	104.762,04
Tocantins	5.574,70	14.313,60	2.823,80	17.137,40
Atlant. N/NE	272,92	1.172,05	2.534,90	3.706,95
São Francisco	10.289,64	13.574,80	2.471,82	16.046,62
Atlant. Leste	1.737,49	9.578,72	2.388,30	11.967,02
Paraná	35.444,12	10.846,02	9.220,39	20.066,41
Uruguai	268,59	8.365,26	2.474,08	10.839,34
Atlant. Sudeste	2.373,07	4.720,00	2.484,48	7.204,48
<b>Total</b>	<b>56.481,97</b>	<b>93.690,00</b>	<b>98.040,26</b>	<b>191.730,26</b>

**Figura 2.1:** Potencial Hidrelétrico Brasileiro – Capacidade Instalada – MW **Fonte:** DENI-Divisão de Recursos Hídricos e Inventário / Eletrobrás - Relatório Anual do GTIB – Grupo de Trabalho de Informações Básicas para o Planejamento da Expansão da Geração, 2012

Entretanto, as possibilidades de expansão da capacidade hidrelétrica a ser instalada no Brasil encontram muitos problemas. Praticamente 2/3 (63,6%) deste potencial encontra-se localizado na Região Amazônica, principalmente nos rios Tocantins, Araguaia, Xingú e Tapajós. As consequências sociais e ambientais da possibilidade de implantação dos empreendimentos hidrelétricos previstos na região, envolvendo questões como as relacionadas com reservatórios em terras indígenas ou a manutenção da biodiversidade, exigem atenção e cuidados muito além da retórica dos documentos oficiais.

Os reservatórios das hidrelétricas já construídas na região, como Tucuruí (PA), Balbina (AM) e Samuel (RO), emitem quantidades consideráveis de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, ambos gases de efeito estufa, colaborando com o agravamento do impacto ambiental desses reservatórios. Tornando-se necessárias fontes alternativas de energia para minimizar essa problemática

## **2.2 - O SETOR ELÉTRICO DO ESTADO DO AMAZONAS**

Os sistemas isolados brasileiros estão situados geograficamente nas localidades em que há dificuldades de interligação ao Sistema Interligado Nacional – SIN ou o custo dessa interligação não é viável economicamente. Atualmente estas localidades abrangem os estados da região Norte (Exceto Tocantins e a parte interligada do Pará); localidades específicas do Estado do Mato Grosso, na região Centro-Oeste; e, no Nordeste, a ilha de Fernando de Noronha, que pertence ao Estado de Pernambuco. Ainda assim parte dos estados do Acre e Rondônia devem ser interligados ao SIN, deixando de fazer parte dos Sistemas Isolados. (ELETROBRÁS, 2009)

Ainda nesse raciocínio pode-se afirmar que o progresso regional está diretamente associado à melhoria das condições de infraestrutura, o que inclui a universalização dos serviços de água e saneamento, de distribuição de energia elétrica e da rede de transportes. Pois a principal dificuldade apresentada pelos sistemas isolados é exatamente o planejamento, pois uma vez que não é possível o intercâmbio de energia entre eles e entre o SIN, cada um deles deve ser dimensionado para atender a sua carga e ainda possuir uma capacidade de expansão da oferta de energia que seja suficiente para suprir aumentos previstos da demanda pelo mercado que atendem.

E no intuito de garantir a continuidade dos serviços de geração de energia, qualidade no atendimento, procurando evitar intempéries desnecessárias, foi delegado

para a ELETROBRÁS a coordenação do planejamento e da operação dos sistemas isolados, cujo o objetivo vem a ser o fornecimento de energia em condições adequadas de segurança e de qualidade

- Projeção de Mercado de Energia Elétrica – Segundo dados obtidos junto a ELETROBRÁS (2009) O mercado dos sistemas isolados é atendido por diversos Sistemas Elétricos de pequeno porte, cuja expansão apresenta uma grande dependência dos programas de investimentos locais. A maioria destes sistemas é composta de pequenas localidades isoladas, física e economicamente, dos demais centros populacionais brasileiros. E diante desse contexto, as projeções são embasadas principalmente em pesquisas de campo, onde as visitas aos órgãos governamentais e setoriais dos respectivos municípios/estados visando ao levantamento de informações socioeconômicas e técnicas, assim como para conhecer os projetos em andamento e as peculiaridades locais, com o intuito de se ter uma visão de seus impactos na evolução da demanda futura de energia elétrica.

O estado do Amazonas possui uma população um pouco acima de 3 milhões de habitantes e uma área territorial bastante extensa, apresentando uma baixa densidade demográfica, em torno de 2%, com uma média de 4hab/dom. A população é predominantemente urbana, representando cerca de 70% do total estadual. Na capital habitam 1,6 milhão de habitantes, representando 51% da população. (IBGE, 2012).

- Mercado de Energia Elétrica: Características e perspectivas - A carga de energia elétrica requerida para atendimento ao Estado do Amazonas responde por 55% da carga total requerida nos Sistemas Isolados e 1,5% da Nacional. A estrutura de participação setorial do consumo no estado assemelha-se à da Região Sudeste, predominando o consumo industrial.
- Favorecida pelo seu porte de desenvolvimento, a capital, Manaus, detém cerca de 70% dos consumidores do estado e de 85% do consumo de energia elétrica, com predominância do consumo direcionado às indústrias. Inclusive, vale ressaltar, que essa categoria de consumo vem aumentando sua participação no consumo de eletricidade da capital ao longo dos últimos dez anos, evoluindo de 31,5% (1998) para 43,5% (2008). (ELETROBRÁS, 2009).

- Com base nesse relatório a projeção de aumento de consumo de energia na capital do estado deverá crescer em torno de 7% ao ano, sendo esperadas maiores taxas para as classes Industrial e Rural. Portanto, fazendo-se necessário a estruturação e implementação de métodos alternativos de geração de energia, haja vista a sobrecarga na atual matriz energética do Estado para fins de uso e distribuição.

### **2.3 - SISTEMAS DE COGERAÇÃO**

Hospitais têm o maior consumo de energia por área nas unidades dos setores dos edifícios. A utilização contínua de equipamento de aquecimento e de resfriamento requer uma atenção maior em todos os sentidos, de modo a manter o conforto térmico satisfatório e níveis de qualidade do ar interior para os pacientes, bem como o uso de iluminação artificial numa base contínua em vários equipamentos elétricos de saúde, para resultar em um consumo de energia relativamente maior em comparação com outros tipos de edifícios, nesse interim sabe-se que há uma série de estudos que tratam do Cogeração em hospitais (ARRIZURIETA e DOMÍNGUEZ, 1999; LOZANO et al., 2005; LEYVA CÉSPEDES, 2010; MADARIAGA ARRIZURIETA e RUANO DOMÍNGUEZ, 2012; FERNÁNDEZ OTXOA, 2014; TORRENTE GIMÉNEZ, 2014; GONZÁLEZ LAMADRID, 2016). O tamanho da instalação e da estratégia de controle tem uma forte influência sobre a economia do sistema Combinado de Calor e Potência (CHP), mostrando que o parâmetro mais importante é a eletricidade a ser produzida (HORLOCK, 1987; HAWKES e LEACH, 2007).

E nesse cenário em que cada vez mais se faz necessário a busca por alternativas energéticas, encontra-se a cogeração que para (RÜCKER e BAZZO, 2003; MATELLI et al., 2004) consistem em alternativas eficientes em relação aos sistemas tradicionais da rede elétrica. Pois a Cogeração é uma tecnologia já introduzida e desenvolvida no setor industrial, devido as suas inquestionáveis vantagens.

Para (KORONAKIS, 2004) quando se faz uma análise do ponto de vista da Cogeração, pressupõem-se que as questões energéticas que se envolvem nesse procedimento tendem a seguir o mesmo raciocínio lógico quando da análise das faturas energéticas, cujos custos marginais de expansão projetam valores a curto, médio e longo prazos com investimentos em equipamentos e máquinas que irão reduzir substancialmente o gasto com energia elétrica.



Ratificando a característica estratégica dessa modalidade alternativa de produção simultânea de energia a partir da térmica útil com a convencional, demonstra-se que devido às elevadas taxas de cobrança das redes de energias atuais, bem como a utilização em empresas do segmento hospitalar em grandes volumes devido à natureza da atividade, requer-se um novo modelo de se utilizar e pensar o consumo energético sustentável. Conforme é apresentado no relatório de eficiência energética em edifícios hospitalares em que se demonstra que a Cogeração traz benefícios diversos como ampliação da potência de frio, centralização da produção de energia dentre outros.

Confirmando esse contexto (LIZARRAGA, 1999; LEYVA CÉSPEDES, 2010; AGNEW et al., 2015; GONZÁLEZ LAMADRID, 2016) mostram que Sistema de cogeração (CHP) é uma das maneiras de economizar a energia e utilizar a energia eficientemente. Quando comparadas para separar a geração de combustível fóssil do calor e eletricidade, CHP pode resultar numa poupança de energia consistente (normalmente variando de 10% a 30%), enquanto que as emissões de CO<sub>2</sub> são evitadas, como uma primeira aproximação, semelhante ao valor de energia poupada. E em termos de sustentabilidade, uma das principais considerações é a eficiência da energia, pois a energia sustentável é considerada como um tipo de energia que é renovável e contínua, o que significa que o uso desse tipo de energia pode, potencialmente, ser mantido no futuro sem causar repercussões negativas para as gerações futuras.

## **2.4 - ANÁLISES GERAIS SOBRE SISTEMAS DE COGERAÇÃO - HISTORIA DA COGERAÇÃO**

Segundo (KOLANOWSKI, 1999) a história da cogeração é tão velha como a produção de eletricidade. A Cogeração teve sua origem na Europa e nos Estados Unidos ao final do século XIX. Durante as primeiras décadas do século XX, a maioria das indústrias tinham suas próprias unidades de geração de potência com sistemas de caldeira de vapor e turbina funcionando com carbono e muitas dessas unidades de cogeração. Posteriormente lhe seguiu um período no qual a aplicação decresceu.

E por dar uma ideia de magnitude acerca do que se tem falado, no início do século XX se gerava, pela cogeração, mais da metade da energia elétrica em EEUU, fazendo em 1950 esse valor cair de uns 15% a uns 5% na década de 70. O desenvolvimento de grandes plantas de potência que proporcionavam um fornecimento confiável de eletricidade e a alta disponibilidade de petróleo, além do barateamento dos combustíveis para as centrais térmicas foram as duas causas principais que fizeram com

que as inversões nas instalações de cogeração fossem pouco rentáveis, exceto nos casos onde as indústrias tinham calor residual dos seus processos e estiveram ligadas a rede elétrica.

Posteriormente, a crise energética de 1973 provocou uma grande preocupação a nível industrial, que originou no estabelecimento de normativas (National) Energy Act em 1973 e publicou Utility Regulatory Policy, PURPA em 1978 para assegurar o fornecimento energético, estabelecendo os princípios básicos para a compra da eletricidade produzida pelos cogeradores e pelas plantas elétricas de pequena potência. Com isto, se originou o início do cenário mudando de um número cada vez maior de iniciativas e projetos de cogeração (LIZARRAGA, 1999; LEYVA CÉSPEDES, 2010)

Mais recentemente, em 1993, o Comitê Internacional da Energia da OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) na intenção de criar condições nas quais o setor energético fora capaz de contribuir para o desenvolvimento, estabeleceram vários objetivos, entre eles o de diversificar, fazer mais eficiente e flexibilizar o setor energético, desenvolvendo fontes de energia ambientalmente aceitáveis e um mercado mais competitivo. Isto contribuiu com a política que a Europa implantava delineado em três objetivos principais em matéria energética: A segurança de abastecimento, combate ao aquecimento global e competitividade, identificando a cogeração como uma das ferramentas para alcançar estes três objetivos (MAVROTAS et al., 2010)

Atualmente, os governos como os da Europa, E.U.A, Canadá e Japão, principalmente, estão promovendo o uso da cogeração somente no setor industrial. Na Europa, por meio da diretiva 2004/08/CE (DOUE, 2004), se planeja o fomento da cogeração, onde o objetivo principal é incrementar a eficiência energética e melhorar a segurança do abastecimento mediante a criação de um marco para o fomento e desenvolvimento da Cogeração de alta eficiência. A diretiva se estabelece de que para atingir o objetivo deve-se ter em conta as circunstâncias nacionais e específicas. Assim, no caso da Espanha em 2006 se contava com 6.500 MWe (15% da demanda elétrica) instalados em plantas de cogeração e se espera contar com 8.400 WME até 2012, cobrindo os 20% da energia elétrica consumida (MILAN et al., 2015).

## 2.5 - CONCEITO DE COGERAÇÃO

Do inglês CHP (Combined Heat and Power) relaciona o conceito da cogeração, vários autores dizem que a Cogeração se define como a produção simultânea num processo sequencial, de eletricidade (energia mecânica) e energia térmica útil, a partir de uma mesma fonte primária de energia. Esta fonte de energia pode ser petróleo, carbono, gás liquefeito ou natural, biomassa ou energia solar, etc (HORLOCK, 1987).

O termo cogeração é amplamente utilizado e aceito para descrever tanto o conceito de produção combinada de potência e calor como para as equipes e sistemas utilizados para produzir potência/calor da mesma maneira. (MOSTAFAVI TEHRANI et al., 2013). A cogeração moderna é um sistema tecnológico que incorpora diferentes princípios, dentre eles, a competitividade e a diminuição de gases poluentes, os quais estão contemplados nas políticas de globalização econômica regional, assim como a política internacional orientada para o atingimento de desenvolvimento sustentável. O propósito principal da Cogeração é atingir um melhor aproveitamento dos combustíveis primários, razão em que considera nos programas de economia de energia como uma alternativa fundamental.

## 2.6 - ECONOMIA DE ENERGIA PRIMARIA

A economia de energia primaria (AEP) se calcula mediante a seguinte fórmula (CUESTA, 2012):

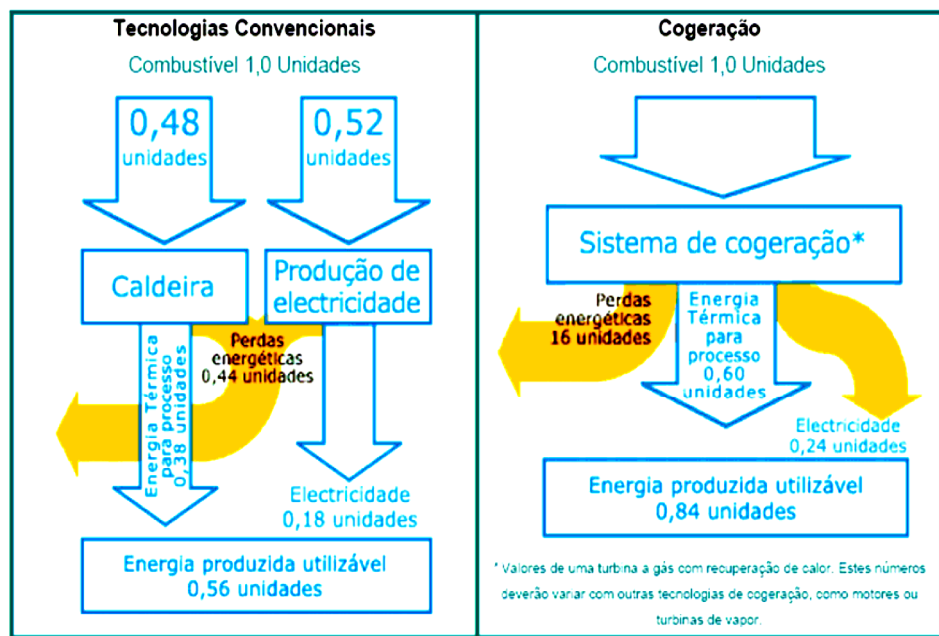
$$AEP = 1 - \frac{1}{\frac{CHP H\eta}{Ref H\eta} + \frac{CHP E\eta}{Ref E\eta}} \quad (2.1)$$

Em que:

- $CHP H\eta$  é a eficiência térmica da produção mediante cogeração definida como a produção anual de calor útil dividida pelo aporte de combustível utilizado para gerar a soma da produção de calor útil e eletricidade procedentes da cogeração.
- $Ref H\eta$  é o valor de referência da eficiência para a produção separada de calor.
- $CHP E\eta$  é a eficiência elétrica da produção mediante cogeração definida como a eletricidade anual produzida por cogeração dividida pelo aporte de combustível utilizado para gerar a soma da produção de calor útil e eletricidade procedentes da cogeração.

Ref En é o valor de referência da eficiência para a produção separada de eletricidade.

Na Figura 2.2 se oferece uma comparação dos sistemas tradicionais com os sistemas de cogeração.



**Figura 2.2** - Comparação entre as tecnologias convencionais e a cogeração. Fonte: (BICHO et al., 2008)

No projeto de sistemas energéticos, e em particular no projeto de sistemas de cogeração para edifícios do setor residencial e comercial, estão implicados os seguintes fatores do projeto (SALATA et al., 2015)

- ✓ A demanda energética de energia elétrica e térmica do centro consumidor;
- ✓ A disponibilidade e garantia de fornecimento dos combustíveis para assegurar o funcionamento dos equipamentos consumidores durante sua vida útil prevista.
- ✓ As tarifas e preços dos combustíveis e eletricidade, aplicáveis na região geográfica onde se realizará a instalação.
- ✓ A disponibilidade comercial dos equipamentos de diferentes tecnologias. A eleição do tipo de tecnologia (de produção de eletricidade, calor e frio) também está na pauta a disponibilidade dos recursos energéticos que consomem.
- ✓ O custo de investimento dos equipamentos, tendo em conta as economias de escala favorecendo o investimento nos equipamentos de maior tamanho.

- ✓ As características técnicas e parâmetros que determinam o rendimento dos equipamentos. Como por exemplo: Para os módulos de Cogeração sua eficiência elétrica, a temperatura das fontes de calor recuperáveis, calor/eletricidade, etc.

A eficiência elétrica e a proporção calor/eletricidade determinam os benefícios econômicos que derivam de sua operação.

- ✓ O marco legal que regula o funcionamento das instalações de cogeração no mercado elétrico. Cada região o país dispõe de normas legais que regulam a venda dos excedentes de eletricidade no mercado.
- ✓ A estratégia global de operação que está condicionada por: 1. As características técnicas dos equipamentos; 2. Os perfis da demanda de calor, frio e eletricidade do consumidor; 3. Os preços do combustível e da eletricidade, e 4. A possibilidade de trocar energia (comprar e/ou vender eletricidade) com o mercado.

## **2.7 - SELEÇÃO DE SISTEMAS DE COGERAÇÃO**

A seleção de um sistema que garanta o fornecimento adequado de energia a uma instalação é um processo que compreende entre outros aspectos a concordância das demandas do tempo, ou o que eles mesmos e a simultaneidade das demandas.

Por outro lado, se encontram os custos das diferentes tecnologias, os preços de compra e venda, as políticas regulatórias e as estratégias de operação.

Este processo tendo em consideração a diversidade de sistemas e possibilidades combinações se faz complexo ao analisa-lo segundo os métodos tradicionais. Na atualidade se empregam ferramentas computacionais para chegar ao melhor tempo possível no modelo adequado de combinação de equipamentos, tendo em vista o alcance da máxima eficiência e o menor custo (LOZANO, 2001; LOGACHO et al., 2015).

(YOSHIDA et al., 2007) diz que atualmente existem diferentes sistemas de informação disponíveis a nível acadêmico e profissional. Onde estes sistemas são muito úteis para sensibilizar o usuário com as ordens de magnitude e as possíveis combinações de tecnologia, porém raramente proporcionam um resultado acordado em cada situação particular.

Para chegar a um planejamento que considere a síntese, o projeto e a operação de forma conjunta dos sistemas de cogeração, deve-se empregar procedimentos de

otimização de onde se busca encontrar a configuração da planta, dimensionando seus equipamentos e avaliar a melhor estratégia de operação. No modelo se podem adicionar certas restrições para valorizar o benefício econômico, a economia de energia e o impacto ambiental (YOSHIDA et al., 2007).

O processo de otimização de pode distinguir em várias etapas, porém, basicamente se pode identificar dois: Um nível de procedimento de projetos e um nível de avaliação de comportamento baixo da influencia das variáveis. Sendo, no procedimento do projeto se busca otimizar o tamanho dos dispositivos que confirmam a planta e os parâmetros de configuração, enquanto que no procedimento de avaliação de comportamento, se busca identificar a melhor estratégia de operação (FAZLOLLAHI et al., 2014).

## **2.8 - MODELAÇÃO DOS SISTEMAS DE COGERAÇÃO**

Os consumos de energia do setor residencial e comercial mostram um crescimento sistemático nos últimos anos (ONOVWIONA et al., 2007). O projeto das plantas de energia para complexos urbanísticos e grandes edifícios se constata a conveniência de se instalar sistemas de cogeração como ferramenta para aumentar a eficiência e diminuir os custos. As vantagens são:

- Melhor eficiência Termodinâmica;
- Maior qualidade;
- Menor Custo anual dos serviços prestados.

Um fator essencial que contribui para o favorecimento da instalação de sistemas energeticamente integrados a outros sistemas são a combinação correta de certa variedades de equipes reduzindo o consumo de energia primária e a fatura energética entre uns 30 e uns 60%. A disponibilidade de um grande número de tecnologias para a cogeração e a necessidade de integra-las energeticamente de modo eficiente, há a dificuldade e o dispendioso problema de decidir aquelas mais adequadas que hão de contribuir com a planta de energia dadas as circunstâncias de que existem inúmeras combinações possíveis.

Este problema tem sido tratado com êxito mediante técnicas de programação linear de meios inteiros (MPLME). Horii e Lozano tem aplicado a seleção do número e tamanho das equipes a instalar a operação óptima de sistemas de cogeração (MILAN et al., 2015). E para identificar a melhor combinação de tecnologias a se implementar nos sistemas de aprovisionamento energético dos grandes edifícios e decidir a conveniência

de instalar módulos de cogeração e/ou máquinas de refrigeração por absorção, deve realizar uma análise rigorosa das condições ambientais e das demandas de serviços energéticos, considerando sua variação temporal.

Também devem ter em conta as tarifas energéticas e a condição legal de autoprodução, pois o objetivo deste trabalho está ligado diretamente nesse propósito que é o desenvolvimento de um modelo WPLME para o projeto inicial de sistemas de cogeração para um hospital, que nesse estudo não será citada sua identidade por solicitação do mesmo e deixando registrada sua confidencialidade.

Os hospitais se encontram entre os edifícios que mais frequentemente incorporam a suas instalações plantas de cogeração para contribuir com o provisionamento de suas necessidades energéticas. As razões são claras: Seu nível de ocupação, ainda que variável, produz uma demanda contínua ao longo do ano; As condições de conforto térmico são mais exigentes pela natureza do serviço que prestam; Por razões de segurança é interessante que existam modos diferentes de proporcionar os serviços energéticos requeridos. (MILAN et al., 2015)

No mundo atual, tanto na área de negócios, como na indústria e no governo, os projetos em grande escala e de grande complexidade são a regra e não a exceção. Estes projetos complexos requerem estudos prévios a sua construção ou modificação, denominados estudos pilotos. Esses estudos pilotos se realizem utilizando a técnica chamada de modelagem, que significa dizer, construção de modelos onde se realiza o estudo com o fim de obter conclusões aplicáveis num sistema real. Onde, uma vez construído o modelo, o processo de ensaio numa determinada alternativa se chama simulação, que consiste num conjunto de estratégias que darão origem aos resultados esperados ou não por meio da simulação. E para tanto, os objetivos do projeto definem qual é o sistema e qual o meio ambiente que o cerca e qual o sistema que satisfaça as necessidades de mudança do meio a qual está inserido. E cada novo sistema o modifica e cria novas e diferentes possibilidades.

O sistema deve ser robusto para se adaptar as alterações e um dos objetivos da simulação de teste é realizada por meio de alterações no sistema do modelo, a fim de escolher a melhor alternativa, e, assim, melhor enfrentar uma realidade que varia de dia para dia ou ano para ano.

## 2.9 – SISTEMAS

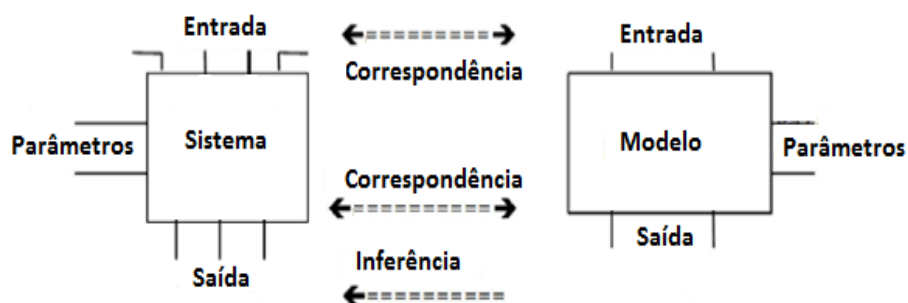
Pode-se dar várias definições de sistema:

- Conjunto de elementos cuja interação se busca estudar;
- Conjunto de elementos que interajam entre si, com um objetivo comum que se isole do universo para seu estudo;
- Conjunto de partes organizado funcionalmente de maneira tal que constitua uma unidade interconectada;
- Conjunto de elementos que interajam entre eles;

## 2.10 – MODELO

A simulação de sistemas implica na construção de modelos que deem sustentação as análises estabelecidas, pois o objetivo é averiguar que modelo sendo passado no sistema traria as variadas hipóteses que deem embasamento para a tomada de decisão.

Desde a antiguidade o homem tem tentado adivinhar o futuro, tem tentado saber o que acontecerá quando se suceder um determinado feito histórico, e para isso, a simulação oferece bases certas, essa previsão do futuro, condicionada a hipóteses prévias, porém, para eles construir os modelos se faz necessário a simplificação da realidade e com isto, surgem de uma análise de todas as variáveis intervenientes no sistema e das relações que se descobrem existentes entre elas, conforme demonstra o modelo abaixo na Figura 2.3



**Figura 2.3:** Estrutura de um modelo. Fonte:(TAPIAS, 2010)

No modelo são estudados os fatos mais marcantes do sistema ou do projeto abstraído da realidade, representando-se o sistema/projeto. (WU et al., 2016). O modelo



que se construirá deverá levar em conta todos os detalhes relevantes ao estudo na questão que represente o sistema real (válido) por razões de simplicidade em que devem eliminar aqueles detalhes que não interessam e que o complicariam desnecessariamente.

A descrição do sistema pode ser abstrata, física ou simplesmente verbal, e as regras definem o aspecto dinâmico do modelo se utilizando para de mecanismos para estudar o comportamento do sistema real. E para ratificar esse pensamento, podemos citar como exemplo físico os túneis de vento onde se comprovados os aviões, simuladores de voo, os canais de experiência, etc. Já como exemplo de abstrato pode citar os modelos econométricos onde, entre outras coisas podem-se comprovar as consequências de medidas econômicas antes de aplica-las.

### **2.10.1 - Classificação dos Modelos**

Existem vários tipos de modelos para representar a realidade, e alguns deles são (TAPIAS, 2010):

- ✓ Dinâmicos: Utilizados para representar sistemas cujo estado varia com o tempo;
- ✓ Estáticos: Utilizados para representar sistemas cujo estado es invariável através do tempo;
- ✓ Matemáticos: Representam a realidade em forma abstrata de diversas maneiras;
- ✓ Físicos: São aqueles em que a realidade é representada por algo tangível, construído em escala e que pelo menos se comporta em forma análoga a essa realidade (maquetes, protótipos, modelos analógicos, etc);
- ✓ Analíticos: A realidade se representa por fórmulas matemáticas;  
Estudar o sistema consiste em operar com essas fórmulas matemáticas (resolução de equações) como (TAPIAS, 2010):
- ✓ Numéricos: Se tem o comportamento numérico das variáveis de intervenção que darão parâmetros de análise;
- ✓ Não se obtêm nenhuma solução analítica;
- ✓ Contínuos: Representam sistemas cujas as fases são graduais, pois as variáveis são contínuas;
- ✓ Determinístico: São modelos cuja as soluções para determinadas condições é única e sempre a mesma;

Estocásticos: Representam sistemas onde os eventos acontecem aleatoriamente, o qual não é repetitivo. Não se pode assegurar que ocorrem em um determinado instante. Se conhece a probabilidade de ocorrência e sua distribuição probabilística como por exemplo: Chega uma pessoa a cada 20 +/- 10 segundos, com uma distribuição equiparável dentro do intervalo

## **2.11 - TIPOS DE SISTEMAS DE COGERAÇÃO**

A parte principal de uma instalação de Cogeração é a máquina que produz eletricidade e energia térmica. Esta máquina caracteriza a instalação ou central de Cogeração. A segunda parte mais importante é o aparelho que produz frio (no caso de Trigerção), utilizando a energia térmica do processo de Cogeração (chiller de absorção). Na atualidade, as tecnologias mais importantes disponíveis no mercado para Cogeração/Trigerção são (FRANÇA e CASEIRO, 2008):

- Turbina de Vapor (ciclo de Rankine);
- Ciclo Combinado;
- Motor alternativo de Combustão Interna (ciclo Diesel ou Otto);
- Microturbinas;
- Células/Pilhas de combustível;
- Motores stirling;
- Unidades Produtoras de água refrigerada (“Chillers”).

## **2.12 - SELEÇÃO DO SISTEMA**

A seleção do sistema de cogeração é um procedimento que deve ser realizado de forma cuidadosa e criteriosa, atendendo a diversos aspectos (DELGADO, 2016).

Um primeiro aspecto a ser analisado, é a relação entre potência e calor, que caracteriza cada tecnologia de cogeração. Uma vez que, de forma geral, essas relações não são coincidentes com relações de procura de potência eléctrica e calor em unidades industriais, a escolha de uma tecnologia em detrimento de outra implica sempre, na escolha pelo atendimento pleno de uma das duas formas de procura energética. Na Tabela 2.1 pode-se ver a razão entre potência eléctrica e calor (NOGUEIRA e ALKMIN, 1996; DELGADO, 2016).

**Tabela 2.1** Comparação entre as principais tecnologias de cogeração.

<b>Equipamento</b>	<b>Turbina a vapor</b>	<b>Ciclo combinado</b>	<b>Motor diesel</b>	<b>Turbina a gás</b>
Eletricidade/Calor	0,10 a 0,30	0,60 a 1,50	0,80 a 2,40	0,30 a 1,2

Fonte: (BRANDÃO, 2004)

Para comparação a Tabela 2.2 resume-se as características técnicas dos tipos de sistemas.

**Tabela 2.2.** Características técnicas dos tipos de sistemas de cogeração mais utilizados

<b>Tecnologia</b>	<b>Turbinas a gás</b>	<b>Motores de explosão a GN</b>	<b>Motores de compressão interna</b>	<b>Turbinas a vapor</b>	<b>Microturbinas</b>	<b>Pilhas de combustível</b>
<b>Rendimento eléctrico</b>	15%-35%	22%-40%	25%-45%	10%-40%	18%-27%	35%-40%
<b>Rendimento térmico</b>	40%-60%	40%-60%	40%-60%	40%-60%	40%-60%	20%-50%
<b>Rendimento global</b>	60%-85%	70%-80%	70%-85%	80%-85%	55%-75%	55%-90%
<b>Potência típica (MWe)</b>	0.2-100	0.05-5	0.015-30	0.5-100	0.03-0.35	0.01-0.25
<b>Relação Pt/Pe</b>	1.25-2	0.4-1.7	0.4-1.7	2-10	1-2.5	1.1
<b>Desempenho com carga parcial</b>	Mau	Médio	Bom	Bom	Médio	Muito bom
<b>Investimento (€/kWe)</b>	600-800	700-1400	700-1400	700-900	1300-2500	>2500
<b>O&amp;M (€/MWh)</b>	2-7	7-15	6-12	3	10(estimativa)	2-12
<b>Disponibilidade</b>	90%-98%	92%-97%	92%-97%	99%	90%-98%	>95%
<b>Revisões (h)</b>	30.000-50.000	24.000-60.000	25.000-30.000	>50.000	5.000-40.000	10.000-40.000
<b>Arranque</b>	10m-1h	10s	10s	1h-1dia	1m	3h-2dias
<b>Pressão do combustível (bar)</b>	8-35	0.07-3.1	<0.35	NA	3-7	0.03-3
<b>Combustíveis</b>	GN, bio gás, propano	GN, bio gás, propano	Diesel, óleo residual	Todos	GN, bio gás, propano	Hidrogénio, GN, propano metanol
<b>Ruído</b>	Médio	Alto	Alto	Alto	Médio	Baixo
<b>Uso do calor</b>	Água quente, vapor AP e BP	Água quente, vapor BP	Água quente vapor BP	Vapor de AP e BP	Água quente, vapor BP	Água quente vapor BP
<b>Densidade de potência</b>	20-500	35-50	35-50	>100	5-70	5-20
<b>NOx (Kg/MWh total)</b>	0.2-2	0.5	1-14	0.9	0.07	0.01

## 2.13 - SELEÇÃO DO SISTEMA

Construído o modelo, testa-se uma alternativa nele com o fim de aplicar as conclusões ao sistema. E a partir dos resultados obtidos, caso não tenham valor e se não forem aplicáveis ao sistema, faz-se outra memória de cálculo a fim de atingir o objetivo pretendido.

A simulação tem como principal objetivo a previsão e poder mostrar o que irá acontecer no sistema real quando se realizarem determinadas mudanças no meio, em busca de novas condições que objetiva-se alcançar. A simulação envolve duas metodologias (GIMELLI e MUCCILLO, 2013)

- ✓ Construir o modelo;
- ✓ Modelar diversas alternativas com o fim de eleger e adotar a melhor no sistema real, procurando que seja a ótima ou que pelo menos seja suficientemente aproximada;

Deve-se evitar, a começar trabalhando na construção do modelo com um sistema superficial, mal concebido, pois perder-se-ão horas de trabalho e de computadores em tarefas inúteis. Isso implica no processo, porquê a insistência de um erro é um projeto que aumenta drasticamente com o instante que se descobre o erro. É dizer, quanto mais se demora em detectar o erro mais complicado é sua correção.

Deve-se discutir em detalhes o sistema, de modo que analistas e usuários reunidos durante horas evitarão que o sistema tenha que ser redefinido depois. Nesta fase se definem os limites do sistema e os objetivos do estudo, verificando que eles não mudem durante o desenvolvimento do mesmo. Diante disso, ainda se deve levar em consideração as condições iniciais do sistema e suas condições finais, pois interessa estudá-lo inicialmente quando os recursos estão desocupados e favoreçam o movimento dos elementos do sistema. E por fim, o modelo deve considerar que resultados estatísticos interessam obter-se para avaliar corretamente o sistema em estudo.

- Escolha do Método para realizar o estudo;
- Pesquisa a ferramenta analítica de resolução;
- Adota-se a mesma em caso de encontra-la;
- Utiliza-se a simulação como última alternativa;
- Variáveis a incluir no modelo

- Que variáveis, parâmetros se incluem? Quais se depreciam por sua irrelevância? A escolha não é fácil.

- Convém fazer um ranking das variáveis e restrições do sistema em grau de importância;

Este ranking deve ser discutido com o usuário e com os diferentes especialistas a fim de proceder a sua verificação e eventual correção, devendo-se recordar que remover uma variável supérflua de um sistema é algo bastante delicado. Enquanto que incluir uma que se havia geralmente desprezado é muito mais complicado.

Levando-se em conta os casos especiais, muitas vezes requer força a ser conduzida com variáveis negligenciáveis para os outros casos de mesma natureza. Esta seleção de variáveis a considerar depende da mecânica que se trata o sistema, a experiência que você tem dele e até mesmo o grupo de intuição humana envolvido no estudo. Evitar uma simplificação que invalida o modelo ou tentar com casos especiais, torna necessária a especificação que nasce com o trabalho longo e difícil de construir o modelo.

Todas as variáveis envolvidas em um modelo são mensuráveis, nem sempre é possível que mesmo com aqueles que estão envolvidos em um sistema real possa, muitas vezes, fazer uma estimativa das mesmas, a fim de incorporá-los ao modelo. Há fatores (interno e controlado pelo sistema) endógenos e exógenos (externos variáveis de sistema e fora de seu controle). Há também variáveis qualitativas, como a preferência pessoal, quantitativa e frequência chegando aos clientes com um banco, onde todos devem ser estimados em termos quantitativos.

## CAPÍTULO 3

### MODELO MATEMÁTICO PARA A OTIMIZAÇÃO

#### 3.1 - DIFERENTES MODELOS MATEMÁTICOS E SOLUÇÕES

Este trabalho se caracteriza como um estudo exploratório, pois (GONÇALVES, 2010) afirma que “a pesquisa exploratória é caracterizada pela existência de ideias, problemas e *insights*, sendo flexível e versátil, além de serem utilizados dados secundários e pesquisas qualitativas”.

E confirmando nesse contexto em que nasce o estudo, será descrito, um modelo de Cogeração que pode-se adequar para um hospital, que embora a implementação deste modelo tenha como um objetivo abordar em algum trabalho posterior no presente, um modelo de programação e otimização de processos e este modelo que foi definido a partir dos diversos modelos existentes.

No presente trabalho desenvolvemos uma metodologia de otimização do projeto de sistemas de cogeração baseada na programação linear inteira mista (MILP), que é uma das mais importantes e mais utilizadas técnicas de pesquisa operacional. Pois o modelo envolvido e a disponibilidade de uma técnica de solução programável em computador como o método Simplex (WITENBERG, 2000), facilitam sua aplicação. Um problema de PL é composto por:

1. Uma função linear formada com as variáveis de decisão chamada de função objetivo, cujo valor deve ser otimizado;
2. Relações de interdependência entre as variáveis de decisão que se expressam por um conjunto de equações ou inequações lineares, chamadas de restrições do modelo;
3. Variáveis de decisão que devem ser positivas ou nulas.

Existem muitos problemas de programação de produção (*scheduling*) que podem ser colocados como problemas de PLIM, pois os modelos matemáticos de otimização correspondentes envolvem variáveis contínuas e discretas que devem satisfazer um conjunto de restrições lineares de igualdade e desigualdade (MORO e PINTO, 1998; PINTO e MORO, 2000). A resolução para problemas de otimização linear inteira mista, entendida como a obtenção de uma solução ótima, pode ser difícil, pela sua natureza combinatorial. No entanto, considera-se que o espaço de soluções inteiras é constituído

de um número finito de pontos. Mesmo no caso misto, o espaço de busca é primeiramente controlado pelas variáveis inteiras. Na forma mais simples, os métodos de enumeração analisam todos os pontos. É o que se chama de busca exaustiva. Um simples método de busca exaustiva pode se tornar mais eficiente se enumerar apenas uma parte das soluções candidatas enquanto descarta pontos que não são promissores. A eficiência de um algoritmo de busca depende de sua capacidade em descartar pontos de solução não promissores. Dentre estas técnicas podem ser citadas: separação e avaliação progressiva ou *Branch and Bound* (NIEBLING e EICHFELDER, 2016) e enumeração implícita (WEI-CHANG, 2015). Estas técnicas podem utilizar uma relaxação do problema para obter em tempo razoável uma estimativa para o valor da melhor solução que pode ser encontrada em cada ramo da enumeração. E a função definida tem como objetivo minimizar o custo total em um período determinado.

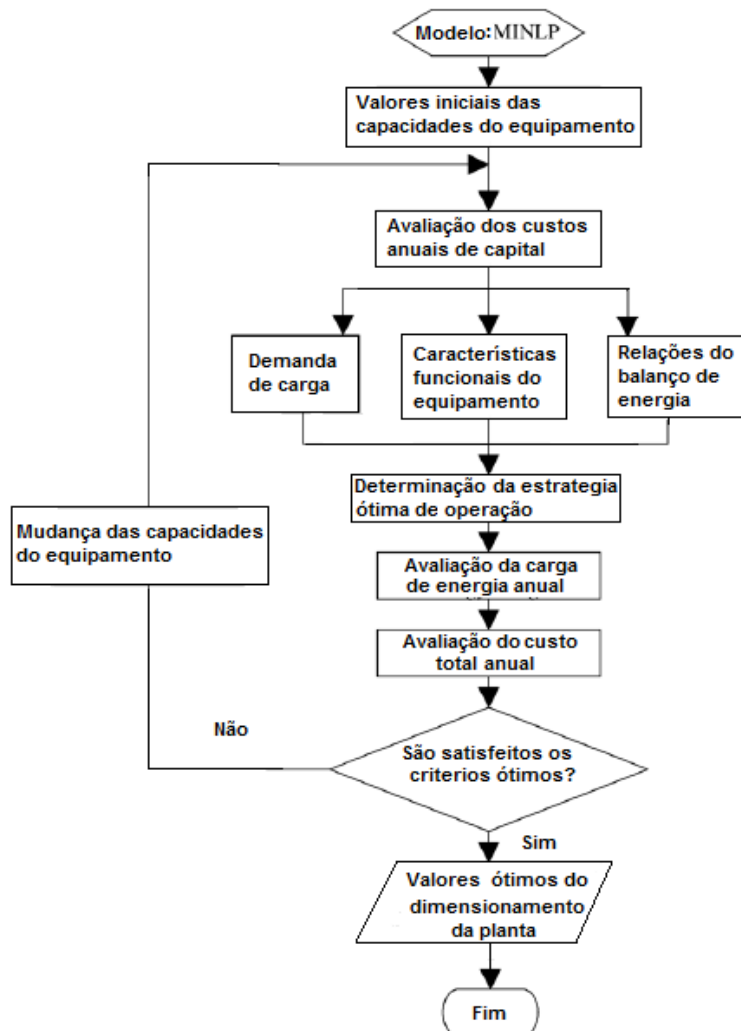
A otimização das centrais de cogeração é um problema frequentemente abordado na literatura (MANOLAS *et al.*, 1997; BURER *et al.*, 2003; SAHOO, 2008; AHMADI e DINCER, 2010). Normalmente se deseja minimizar o custo anual e se utilizam diferentes métodos matemáticos.

As variáveis de concepção dos modelos geralmente são compostas de duas partes, a saber, o problema de dimensionamento e capacidade dos equipamentos e as variáveis que expressam as estratégias operacionais. Embora a capacidade de cada equipamento é selecionada a partir de um conjunto de valores discretos na prática, ele pode ser considerado como variável contínua. A estratégia operacional é expressa pelas variáveis binárias e contínuas, que representam ao estado on / off da situação de fluxo de energia de cada equipamento.

Na Figura 3.1 se oferece um algoritmo do procedimento de otimização que pode ser usado para a otimização de sistemas de cogeração.

Quando o critério ideal é satisfeito, o dimensionamento ótimo da central de cogeração em consideração e a estratégia operacional anual são determinados. Este problema não linear passou a ser um problema de programação inteira mista (MINLP).



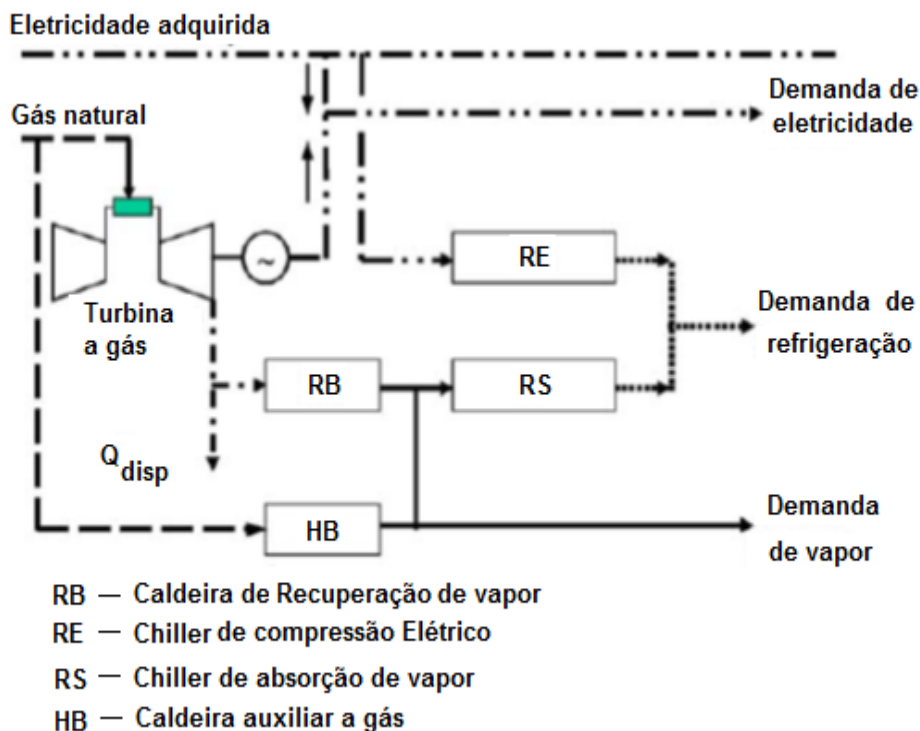


**Figura 3.1.** Algoritmo para a otimização de um sistema de cogeração. Fonte: adaptado de (BEIHONG e WEIDING, 2006)

### 3.2 - APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO A UM SISTEMA DE COGERAÇÃO COM TURBINA DE GÁS

Segundo (BEIHONG e WEIDING, 2006) o seguinte procedimento usando o algoritmo anterior pode ser aplicado a um sistema de cogeração com turbina a gás.

A Figura 3.2 mostra a estrutura de um sistema de cogeração com uma turbina a gás. Nesta figura se mostra somente uma unidade de cada tipo de equipamento, embora podem ser mais de uma unidade. A eletricidade é fornecida aos usuários através do gerador da turbina a gás e da eletricidade da rede exterior.



**Figura 3.2.** Estrutura de um sistema de cogeração com turbinas a gás. Fonte: Adaptado de (BEIHONG e WEIDING, 2006)

A energia elétrica comprada é usada também para acionar refrigeradores de compressão elétricos. O calor de escape da turbina a gás é recuperado pela caldeira de recuperação de calor. O calor excedente de escape é descartado. A escassez de vapor é complementada pela caldeira auxiliar a gás. A água fria para a refrigeração do ambiente é fornecida pelo chillers elétricos e de absorção de vapor. As linhas sólidas, linhas pontilhadas, duas linhas de pontos-traço, linhas ponto-traço e linhas quebradas indicam os fluxos de vapor, água fria, eletricidade, calor de exaustão e do gás natural, respectivamente.

O modelo matemático do problema de dimensionamento ideal é formulado da seguinte maneira:

### 3.2.1 - Função Objetivo

A função objetivo do problema de dimensionamento ideal é a minimização do custo anual global, incluindo custo anual de capital e a carga de energia anual.

$$Min = C_c + C_r \quad (3.1)$$

O custo anual de capital do equipamento  $C_c$  é expresso por:

$$C_c = R \times (N_{GT}C_{GT} + N_{RB}C_{RB} + N_{HB}C_{HB} + N_{RS}C_{RS} + N_{RE}C_{RE}) \quad (3.2)$$

Em que  $N$  e  $C$  são, respectivamente, o número de peças do equipamento instalado e o custo de capital inicial do cada tipo de equipamento. Supõe-se que várias peças de mesma capacidade estão instaladas para cada tipo de equipamento. O fator de recuperação de capital  $R$  é definido por:

$$R = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (3.3)$$

Onde  $i$  é a taxa de juros e  $n$  é a vida útil do equipamento. Supõe-se que os valores de  $i$  e  $n$  são iguais a todos os tipos de equipamentos. As horas operacionais anuais em um ano são discretizadas, definindo  $D$  dias representativos e dividindo cada dia em  $H$  períodos de tempo, e  $T_k$  é cada período de tempo. A carga de energia anual  $C_r$  é dada por:

$$C_r = \sum_D \sum_H C_k(X_k, Y_k)T_k \quad (3.4)$$

Onde  $C_k$  é a carga de energia por hora que é composta principalmente pelo consumo de gás natural e a carga de eletricidade Consumo.  $C_k$  é uma função do vector da variável binária  $X_k$  e do vector da variável continua  $Y_k$ , que expressam, respectivamente o status on / off status e as taxas de fluxo de energia de cada equipamento para o período de tempo correspondente  $T_k$ .

### 3.2.2 – Restrições

As restrições do problema são compostas por duas partes, as denominadas características de desempenho de cada tipo de equipamento e as relações de fluxo de energia de todo o sistema.

As características de desempenho são primeiramente formuladas para cada tipo de equipamento como se segue:

### 3.2.2.1 - Gerador de Turbina a Gás

$$f_{GT} = a_{GT}\delta_{GT} + b_{GT}e_{GT} \quad (3.5)$$

$$q_{GT} = c_{GT}\delta_{GT} + d_{GT}e_{GT} \quad (3.6)$$

$$e_{min,GT}\delta_{GT} \leq e_{GT} \leq 1\delta_{GT} \quad \delta_{GT} \in \{0,1\} \quad (3.7)$$

$$e_{GT} = \frac{E_{GT}}{E_{max,GT}} \quad , \quad f_{GT} = \frac{F_{GT}}{F_{max,GT}} \quad , \quad q_{GT} = \frac{Q_{GT}}{Q_{max,GT}} \quad (3.8)$$

$$e_{min,GT} = \frac{E_{min,GT}}{E_{max,GT}} \quad (3.9)$$

Onde  $E_{max,GT}$ ;  $F_{max,GT}$ ;  $Q_{max,GT}$  são, respectivamente, os valores máximos de energia eléctrica, o consumo de gás natural e a taxa de fluxo de calor da turbina a gás.  $E_{min,GT}$  é o valor mínimo de energia eléctrica, que é considerada no modelo como 50% do  $E_{max,GT}$ .

### 3.2.2.2 - Caldeira de Recuperação de Calor

$$Q_{RB} = \eta_{RB}Q_{GT, RB}\delta_{RB} \quad \delta_{RB} \in \{0,1\} \quad (3.10)$$

### 3.2.2.3 - Caldeira Auxiliar a Gás

$$F_{HB} = \eta_{HB}Q_{HB}\delta_{HB} \quad \delta_{HB} \in \{0,1\} \quad (3.11)$$

### 3.2.2.4 - Chiller de Refrigeração por Absorção de Vapor

$$Q_{RS} = \eta_{RS}C_{RB}\delta_{RS} \quad \delta_{RS} \in \{0,1\} \quad (3.12)$$

### 3.2.2.5 – Chiller Elétrico de Compressão

$$E_{RE} = \eta_{RE} C_{RE} \delta_{RE} \quad \delta_{RE} \in \{0,1\} \quad (3.13)$$

### 3.2.3 - Balanço de Energia do Sistema

O balanço de energia de todo o sistema é formulado para cada fluxo de energia da seguinte maneira:

#### 3.2.3.1 - Eletricidade

$$E_{ele} + \sum_{i=1}^{N_{GT}} E_{GT,i} = \sum_{i=1}^{N_{RE}} E_{RE,i} + E_d \quad (3.14)$$

#### 3.2.3.2 - Gases de exaustão

$$\sum_{i=1}^{N_{GT}} Q_{GT,i} = Q_{disp} + \sum_{i=1}^{N_{RB}} Q_{GT\_RB,i} \quad (15)$$

#### 3.2.3.3 - Vapor

$$\sum_{i=1}^{N_{RB}} Q_{RB,i} + \sum_{i=1}^{N_{HB}} Q_{HB,i} = \sum_{i=1}^{N_{RS}} Q_{RS,i} + H_d \quad (16)$$

#### 3.2.3.4 - Água gelada

$$\sum_{i=1}^{N_{RS}} C_{RS,i} + \sum_{i=1}^{N_{RE}} C_{RE,i} = C_d \quad (17)$$

#### 3.2.3.5 - Gás natural

$$F_{gás} = \sum_{i=1}^{N_{GT}} F_{GT,i} + \sum_{i=1}^{N_{HB}} F_{HB,i} \quad (18)$$

Neste algoritmo de otimização, todas as variáveis vão mudar seus valores automaticamente de modo a minimizar a função objetivo na Eq. (3.1).

Por meio desse modelo matemático, quando implementado, poderão encontrar-se parâmetros mais reais quanto a otimização do processo de Cogeração no âmbito do hospital e poderá ser constatado a partir da comparação dos resultados qual seria o

impacto financeiro caso a proposta de Cogeração seja aprovada para implantação no hospital Alpha.

O modelo pode ser desenvolvido para outras configurações de sistemas de cogeração e pode ser implementado no MATLAB, pois o MATLAB consiste em um software que pode ser usado na resolução de problemas de otimização sendo um sistema interativo baseado na representação matricial para resolução de problemas no âmbito científico de engenharia, ou de forma geral, no estudo de qualquer problema em que haja um problema computacional a ser estudado e que seja significativo no envolvimento de matrizes.

## **CAPÍTULO 4**

### **CARACTERIZAÇÃO DO HOSPITAL ALPHA E ALTERNATIVAS DE FORNECIMENTO ENERGÉTICO**

#### **4.1 - CARATERIZAÇÃO DO HOSPITAL**

O Hospital Alpha é uma instituição do Sistema Nacional de Saúde do Brasil que iniciou suas atividades em 1980, e, desde o início, teve seu foco principal na humanização e no cuidado com os pacientes. Este hospital se encarrega de ofertar assistência médica, científica e tecnológica altamente qualificada, não só no seu local de atuação, mas em todo o território nacional, pois está equipado com tecnologias de ponta e conta com um grupo importante de especialistas reconhecidos nacional e internacionalmente. Faz questão de adquirir e utilizar os mais modernos equipamentos existentes no mercado, possibilitando ao seu corpo clínico a utilização dos mais modernos recursos tecnológicos disponíveis na área de saúde para diagnóstico e tratamento das mais diversas patologias.

Ele reúne todos os serviços médico-hospitalares, desde os serviços ambulatoriais até os serviços de alta complexidade, oferecendo a maior resolutividade. Atende aproximadamente uma população de 836.720 habitantes. O hospital conta com 11 salões de operações e uns 823 leitos disponíveis.

Além dos serviços de destaques como Transplantes de Rins, Cirurgias Cardíacas e Coronarianas, Neurocirurgia e Ortopedia, está com duas modernas Unidades de Oncologia, com tratamento completo e aparelhagem de última geração.

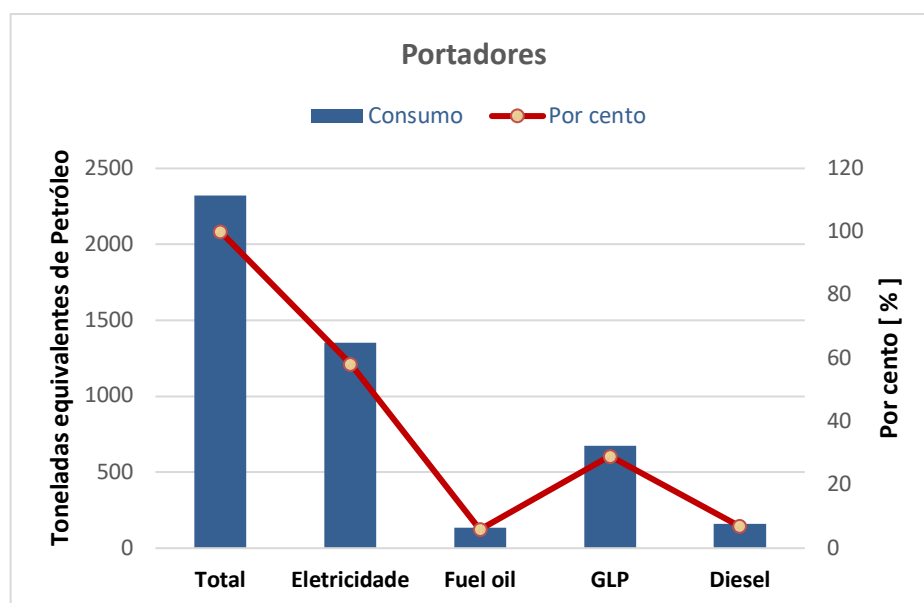
#### **4.2 - CONSUMO DE PORTADORES ENERGÉTICOS**

No hospital Alpha se consomem quantidades apreciáveis de energia elétrica, GLP, Diesel e *Fuel Oil*. Os altos consumos de energia elétrica do hospital se devem ao grande número de equipamentos elétricos médicos e de serviços que existem no mesmo, estes na maioria dos casos são altos consumidores de eletricidade e muitos deles tem um fator de utilização elevado devido a função que desempenham e em sua maioria não podem ser desconectados.

Para a aplicação das ferramentas da Tecnologia de Gestão Total e Eficiente da Energia (TGTEE) no hospital se selecionaram os dados do ano 2015. A partir dos dados estatísticos coletados no departamento estatístico do hospital para o ano analisado, se identificaram os principais consumidores energéticos do período foi utilizado um procedimento muito similar ao descrito em (LEYVA CÉSPEDES, 2010; GONZÁLEZ LAMADRID, 2016; RAMSARRAN, 2016), mas com os dados do hospital Alpha :

- Energia Elétrica;
- GLP
- Fuel Oil
- Diesel

Se destaca que todos os tipos empregados são do tipo não renováveis, constatou-se que na entidade não se empregam fontes renováveis de energia. Na Figura 4.1 mostra-se o consumo dos diferentes portadores energéticos no hospital no ano 2015.



**Figura 4.1** - Comportamento do consumo energético no ano 2015. Fonte: Autor

Como se pode ver na figura os consumos de maior importância foram a energia elétrica, o GLP, o Diesel e o Fueloil.

**Energia elétrica** - Se monitorou o consumo de energia elétrica nos horários de madrugada, dia de pico, assim como reativa para o ano 2015.

- **GLP** - A segunda fonte importante de consumo no hospital foi o GLP usado em Lavanderia, Aquecimento de Água, Cozinha, Esterilização, etc.

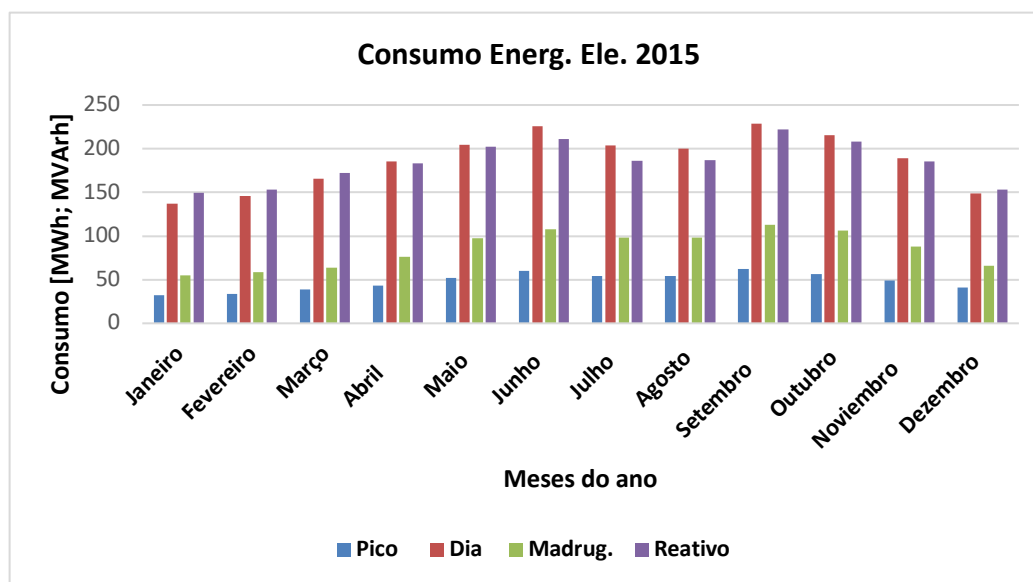


- **Diesel** - O diesel foi a terceira fonte de combustíveis em importância. No combustível diesel foi incluído o consumo das ambulâncias.
- **Óleo Combustível (FUEL OIL)** - A quarta fonte primária de energia consumida no hospital é o combustível Fueloil, que serve essencialmente para a produção de vapor na planta de geração de vapor.

### 4.3 - ESTRUTURA DOS CONSUMOS DE ENERGIA ELÉTRICA

O alto consumo de energia elétrica do hospital se deve ao grande número de equipamentos elétricos médicos e de serviços que existem no mesmo, estes na maioria dos casos são altos consumidores de eletricidade, muitos deles têm um fator de utilização elevado devido à função que realizam e em sua maioria não podem ser desconectados.

O consumo de eletricidade para o ano de 2015 está representado no gráfico abaixo conforme segue:



**Figura 4.2:** Estrutura dos Consumos de Energia Elétrica para 2015. Fonte: Autor

A Figura 4.2 se obteve a partir das contas de eletricidade pagas pelo hospital no ano 2015. A partir da análise do gráfico se pode afirmar que os maiores consumos foram durante o dia, momento o qual se prestam a maior quantidade de serviços.

Os consumos reativos são também elevados, o que indica um baixo fator de potência, algo muito característico nas diferentes instalações de Manaus, tanto

hospitalares como indústrias. Os valores mensais não superaram em nenhum caso o valor mínimo na categoria aceitável pela ELETROBRAS ( $0,90 \leq \cos \varphi \leq 0,96$ ). O valor médio anual do fator de potência foi 0,82. O maior consumo de eletricidade é dos aparelhos de condicionamento de ar e de alguns aparelhos médicos específicos imprescindíveis.

#### 4.4 - ESTRUTURA DO CONSUMO DE GLP

O GLP é utilizado para alimentar as cozinhas, as panelas e o equipamento de esterilização que usa gás para a esterilização dos instrumentos *in situ* nas diferentes consultas. etc. No gráfico 4.3 que segue, se representam os consumos de GLP para o ano de 2015.

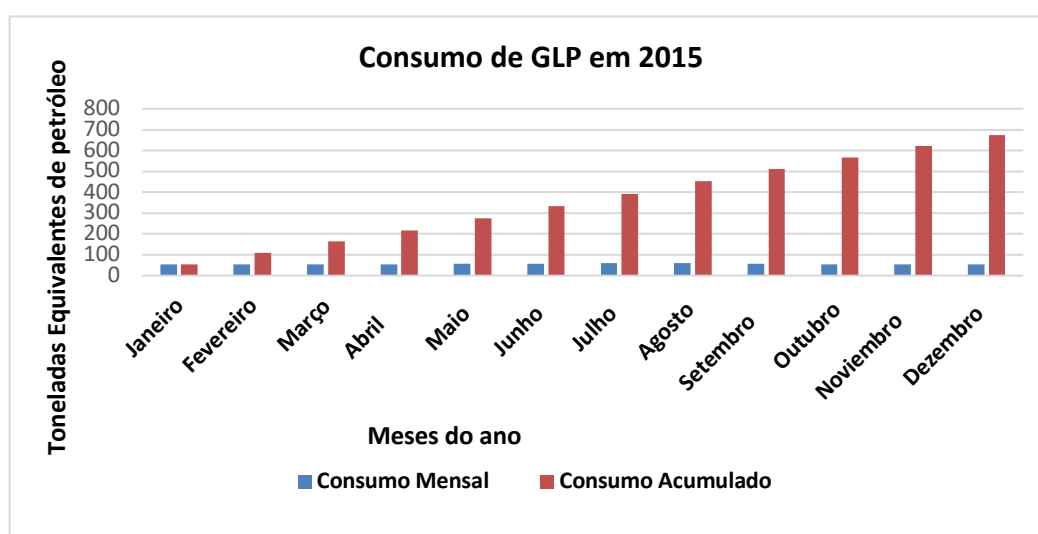
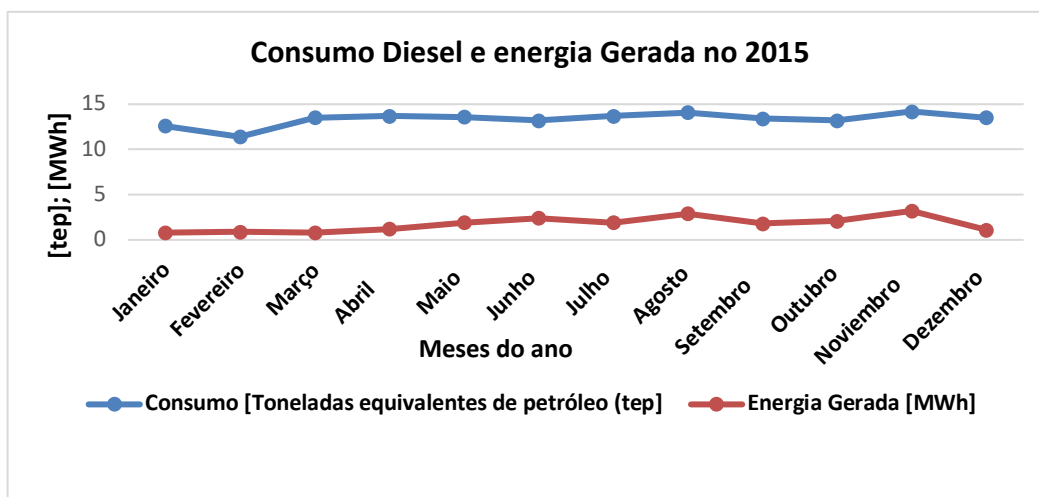


Figura 4.3 - Consumos Mensais e Acumulados de GLP, 2015. Fonte: Autor

#### 4.5 - ESTRUTURA DO CONSUMO DE DIESEL

O combustível diesel se utiliza para alimentar os 5 grupos eletrógenos do hospital, os quais se põem em marcha no caso de que exista alguma avaria, baixa voltagem ou interrupção do serviço elétrico por alguma anormalidade. Além disso foi considerado também o consumo de diesel das ambulâncias. Na Figura 4.4 se oferece o consumo de diesel e a energia gerada pelos grupos eletrógenos do hospital.

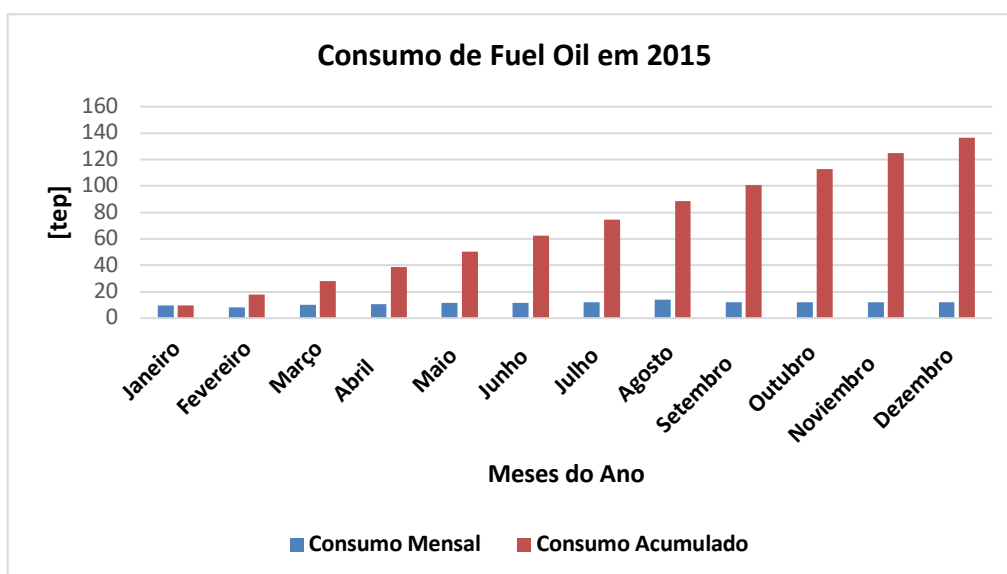


**Figura 4.4** - Consumo de Diesel e produção de Energia Elétrica no ano 2015. Fonte: Autor

Da análise Figura 4.4 se pode perceber um comportamento bastante uniforme entre o consumo de combustível diesel e a energia gerada ao longo do ano. Os maiores consumos de combustível não são devido a geração de eletricidade pelos grupos eletrógenos, mas sim ao consumo das ambulâncias. O consumo de diesel representa quase um 10% do consumo total de portadores energéticos.

#### 4.6 - ESTRUTURA DO CONSUMO DE FUEL OIL

Os consumos de Fuel Oil representam apenas o 7% do total no ano de 2015. No gráfico se pode observar o comportamento do consumo de combustível para o ano 2015 em toneladas equivalentes de petróleo (tep) (ver Figura 4.5).



**Figura 4.5** - Consumo de Fuel Oil Mensal e Acumulado em tep, ano 2015. Fonte: Autor

#### 4.7 - ÍNDICES GLOBAIS

Segundo (SEPÚLVEDA, 2008), um dos índices mais importantes para avaliar a eficiência de um hospital é o consumo por quantidade de camas o leitos. A continuação se expõe um resumo dos consumos, custos e os índices de consumo para os itens energéticos em questão no ano de 2015 conforme a Tabela 4.1. Esses índices são obtidos pela divisão dos diferentes consumos entre a quantidade de camas (NC=823):

**Tabela 4.1** - Resumo dos custos dos principais consumidores energéticos utilizados no hospital para o ano de 2015. Fonte: autor

<b>Energia Elétrica</b>	<b>Valor</b>	<b>Índice</b>	<b>Unidade</b>
kWh	3854520	12,83	kWh/NC-dia
Tep	1350,8	1,64	kWh/NC
Custo	2505438	8,34	\$R/NC-dia
<b>GLP</b>	<b>Valor</b>	<b>Índice</b>	<b>Unidade</b>
Tep	675	0,82	Tep/NC
Custo	2227500	7,4	\$R/NC-dia
<b>Diesel</b>	<b>Valor</b>	<b>Índice</b>	<b>Unidade</b>
Tep	160	0,194	Tep/NC
Custo	528000	1,75	\$R/NC-dia
<b>Fuel Oil</b>	<b>Valor</b>	<b>Índice</b>	<b>Unidade</b>
Tep	136,7	0,166	Tep/NC
Custo	55110,6	0,183	\$R/NC-dia
<b>Totais</b>	<b>Valor</b>	<b>Índice</b>	<b>Unidade</b>
Tep	2322,5	0,0077	Tep/NC – dia
Gastos Monetários em Energia	5316048,6	17,69	\$R/NC-dia

Os custos totais de itens energéticos para o hospital no ano de 2015 foram de mais de 5 milhões de reais, e o índice do custo global de 17,69 reais por cama –dia. É importante salientar que estes custos não incluem medicamentos, alimentos, serviços, etc.

Com esta estrutura de consumo de itens energéticos, é possível instalar uma nova planta de fornecimento energético baseada na cogeração ou na trigeração segundo seja factível, de forma tal que se alcance um aumento da eficiência energética da instalação.

Com a implementação da Cogeração em qualquer unidade industrial, hospitalar, entre outros, o ganho financeiro existe em função da economia no consumo de energia elétrica convencional, pois a Cogeração parte da transformação de uma matéria que seria desperdiçada e a transforma em energia utilizável, reduzindo o consumo convencional e reduzindo as despesas da empresa (BARRERA, 2003; LEYVA CÉSPEDES, 2010)

#### 4.8 - SIMULTANEIDADE DAS DEMANDAS ATUAIS DE ELETRICIDADE, CALOR E FRIO

Para desenhar uma nova planta de fornecimento energético é necessário construir as curvas das demandas de eletricidade, calor e frio para as diferentes horas do dia (LEYVA CÉSPEDES, 2010). Elas permitem conhecer os pontos máximos, mínimos e de media demanda, assim como os momentos do dia nos que aparecem. As curvas que se mostram a continuação foram construídas segundo as necessidades de eletricidade, calor e frio do hospital, as horas do dia nas que se necessitam e as potencias dos equipamentos que existem no hospital (ver Figura 4.6).

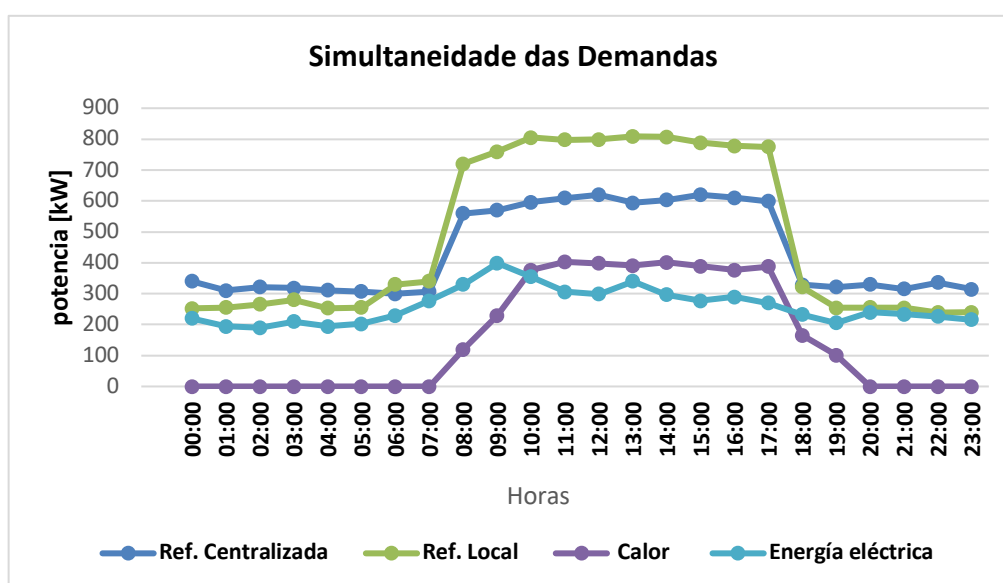


Figura 4.6: Simultaneidade das demandas de eletricidade, calor e frio. Fonte: Autor

A construção da curva de demanda de eletricidade se realizou mediante as leituras de um analisador de redes usado na pesquisa. As demandas de frio se obtiveram mediante o cálculo das cargas térmicas dos locais climatizados do hospital e as horas necessárias de frio para cada local, conforme as áreas dos diferentes locais, sem ter em conta restrições para lograr economia de eletricidade à custa de privar os usuários dos serviços.

A curva da demanda de calor foi obtida a través de uma análise dos diferentes equipamentos que requeriam calor a cada hora do dia. Nesta análise foram incluídas as demandas de calor das cozinhas, lavanderias, água quente sanitária e equipamento de esterilização.

Todos os aspectos prévios têm que ser levados em conta na hora de projetar um sistema de cogeração/trigeração.

#### **4.9 - SELEÇÃO DA VARIANTE DE TRIGERAÇÃO**

Na literatura existem muitos trabalhos focados na trigeração (AKISAWA et al., 2010; AGNEW et al., 2015; ARCURI et al., 2015; AKBARI et al., 2016; ANGRISANI et al., 2016). No trabalho de (AL MOUSSAWI et al., 2016) se oferece uma ampla revisão da literatura sobre os sistemas de cogeração e oferece algumas dicas de como seleccionar eles. Alguns destes trabalhos tem uma grande importância para a aplicação da cogeração em hospitais e servem de referência para o sistema proposto neste trabalho, como os trabalhos de (BIZZARRI e MORINI, 2006; FABRIZIO, 2011; GIMELLI et al., 2017). Um dos trabalhos mais completos encontrados na literatura é o trabalho de (KAVVADIAS e MAROULIS, 2010), onde é desenvolvida uma otimização multicritério dos sistemas de trigeração conforme a critérios térmicos, económicos e ambientais.

Segundo (CARVALHO, 2011) Os cuidados de saúde é uma empresa muito e intensamente dependente da energia intensiva. As instalações hospitalares são diferentes de outros edificios em que operam 24 horas por dia durante todo o ano e que requerem sistemas de backup sofisticados em caso de paralisações de serviços públicos. Os hospitais são bons candidatos para sistemas de trigeração por causa de seus altos requisitos de energia em comparação com outros edificios comerciais, bem como sua necessidade de alta qualidade e confiabilidade da energia.

Conforme a literatura revisada e as características do hospital, podem-se apresentar diferentes variantes de sistemas de fornecimento energético que serão analisadas a continuação.

#### **4.9.1 - Alternativas de Fornecimento Energético**

As alternativas de fornecimento energético que se estudaram para alcançar a satisfação dos requerimentos do hospital foram as seguintes (LEYVA CÉSPEDES, 2010):

- Turbina de Vapor de Contrapressão com sistema de climatização por absorção.;
- Motores a diesel existentes com geradores de vapor de recuperação da energia de escape e do sistema de esfriamento com sistema de climatização por absorção;
- Turbina a gás com gerador de vapor de recuperação da energia do escape com sistema de climatização por absorção.

Segundo (STOICA, 2014), as melhores variantes para a trigeração em um hospital são:

- Motores alternativos de gás;
- Turbinas de gás.

Lembrando que estas propostas são atender o modelo físico escolhido para o hospital alpha, que é o modelo físico por componente com suas características inter relacionadas a estrutura do hospital e os critérios de (SZKLO et al., 2004) e ainda que segundo (YOSHIDA et al., 2007) a melhor variante de sistemas é com turbinas a gás e chillers, foi feita a escolha do sistema de trigeração.

Além disso, o sistema deve (MESA MEDEROS, 2011):

- Conseguir a satisfação de toda a demanda de eletricidade;
- Conseguir a satisfação de toda a demanda de calor;
- Conseguir a satisfação de parte da demanda de climatização centralizada com um sistema de absorção e o resto do clima central com os turbos compressores;
- Conseguir a satisfação de parte da demanda de climatização centralizada com um sistema de absorção e o resto do clima central com vapor das caldeiras.

Atendendo a todos os critérios anteriores foi selecionado um sistema com turbina a gás, para a satisfação de toda a demanda de eletricidade e assumindo que a planta de climatização central de absorção assumirá o clima centralizado somente.

#### 4.9.2 - Sistema de Trigeração de Turbina de Gás (Tg) com Recuperação de Calor de Escape

Esquema com TG e caldeira recuperadora de calor dos gases de escape para geração de vapor para os usados nos equipamentos comentados nas alternativas anteriores, fundamentalmente para o sistema de refrigeração por absorção. O combustível utilizado é o GLP, já que têm grandes disponibilidades no território e é o segundo item de consumo no hospital. Para o projeto foi utilizado RETScreen software, o qual tem sido utilizado com sucesso por outros autores (BRYANT, 2011; GLAVAN e PRELEC, 2012; GIL RAMOS, 2014). Foram seguidas as indicações da referência (RETSCREEN, 2000).

Na Figura 4.7 se oferece um esquema tradicional de cogeração. Na Tabela 4.2 se oferece um resumo dos resultados do sistema de cogeração proposto

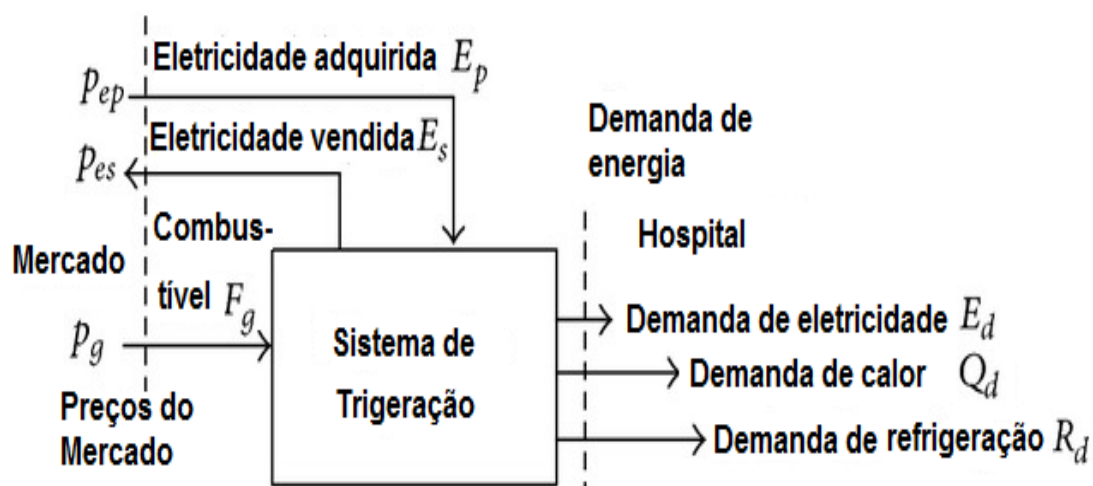


Figura 4.7 - Sistema de Trigeração. Fonte: Adaptado de (LOZANO *et al.*, 2009)

Tabela 4.2. Resultados do sistema de trigeração proposto. Fonte: Autor

Eficiência da TG (Suposta)	30 %
Fluxo de Combustível em tep/ano	212
Custo do combustível \$R/ano	557772
Fluxo de Calor em kW	632



Potência da TG em kW	300
Calor disponível no Escape em kW <sub>t</sub>	430
Potência Elétrica Requerida em kW	343
Fluxo de Combustível: tep/ano	437
Custo em reais no ano	1503
Fluxo de Calor em kW <sub>t</sub>	2958
Calor disponível no escape em kW <sub>t</sub>	1794,8
Entrega a rede em MW <sub>e</sub> h/ano	0
Entrega a rede em \$R/ano	0
Consumo Específico de Combustível em kg/kWh	0,330
<b>Consumo anual de Combustível Convencional</b>	
Fuel Oil	0
Energia Elétrica	0
GLP	989
Totais	989
<b>Economia em Combustível</b>	
Fuel Oil	0
Energia Elétrica	433
GLP	-198
Totais	235
Economia em \$R/ano	775500

Uma vez estudada e desenvolvida a proposta do sistema de trigerção, só resta fazer o cálculo de previabilidade.

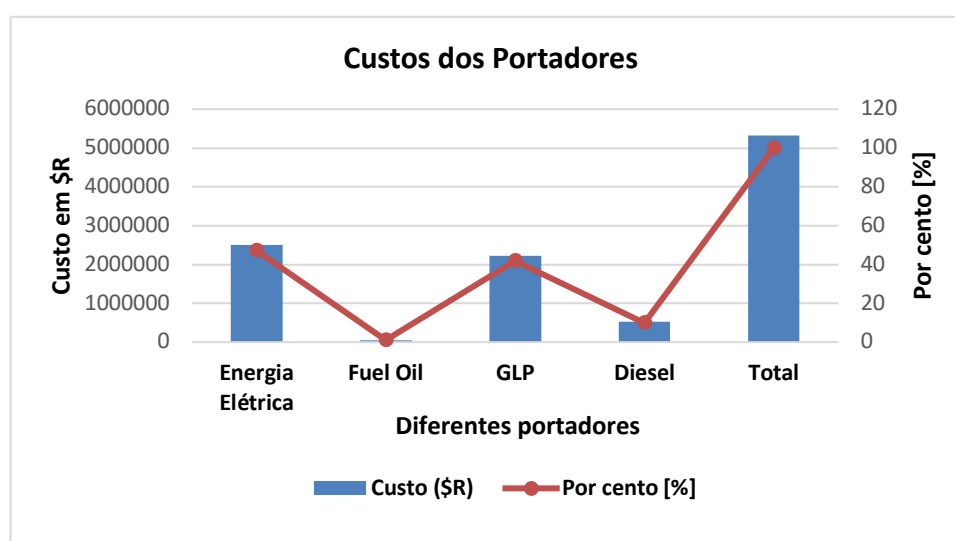
#### 4.10 - AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Nesta seção será analisada a avaliação econômica do sistema no estudo, tanto o tradicional como a nova proposta, a análise do conjunto destes resultados permitirão conhecer quanta economia oferece o sistema de trigerção proposto. É importante declarar que os aspectos que se verão neste estudo constituem-se possibilidades enquanto que não se materialize o sistema proposto.

#### 4.10.1 - Avaliação Econômica do Sistema Tradicional

Na seção anterior se realizou uma caracterização dos consumos dos principais consumidores energéticos utilizados no hospital durante o ano de 2015, neste se caracterizou estes consumidores de acordo com seus custos.

Como se havia comentado anteriormente os principais consumidores energéticos pelo hospital são a energia elétrica, o GLP, o diesel e o Fueloil . Na análise do estudo realizado chegou-se ao resultado de que 58,16% do consumo é devido a energia elétrica, depois o GLP com 29% e o diesel e fuel oil com um 6,8% e 5,8% respectivamente. Estes fatores energéticos também são os maiores gastos monetários que geraram ao hospital em 2015, conforme apresenta a Figura 4.8 a seguir em sua estrutura de custos.



**Figura 4.8** - Custo dos diferentes portadores energéticos. Fonte: Autor

Como se pode ver na figura 4.8, aproximadamente o 47% dos custos correspondem a energia elétrica que equivale a mais de 2 milhões de reais. Estes custos apresentam-se elevados, tanto para o hospital como para o país.

#### 4.10.2 - Análise Econômica Do Sistema De Cogeração Proposto

A análise econômica do sistema proposto se baseia em uma análise de pré-viabilidade.

Para realizar o cálculo de pré-viabilidade é necessário ter uma relação dos possíveis equipamentos a utilizar, dos mesmos é necessário conhecer suas capacidades, seus custos, etc. A Tabela 4.3 mostra um resumo das principais características das turbinas de gás que é a tecnologia de cogeração que é de interesse para esse trabalho.

**Tabela 4.3** – Características Gerais e Custos das turbinas a gás. Fonte: Adaptado de (NOGUEIRA e ALKMIN, 1996) e de (LEYVA CÉSPEDES, 2010)

<b>Tecnologia</b>	<b>Turbinas a gás</b>
Rendimento eléctrico	15%-35%
Rendimento térmico	40%-60%
Rendimento global	60%-85%
Potencia típica (MWe)	0.2-100
Relação Pt/Pe	1.25-2
Desempenho com carga parcial	Mau
Investimento (€/kWe)	600-800
O&M (€/MWh)	2-7
Disponibilidade	90%-98%
Revisões (h)	30.000- 50.000
Arranque	10m-1h
Pressão do combustível (bar)	8-35
Combustíveis	GN, biogás, propano
Ruído	Médio
Uso do calor	Água quente, vapor AP e BP
Densidade de potência	20-500
NOx (Kg/MWh total)	0.2-2

Na Tabela 4.4 aparecem alguns fornecedores de equipamentos para condicionamento de ar que trabalham com ciclo de absorção, estes são os mais comercializados atualmente.

**Tabela 4.4** - Características e Custos de alguns equipamentos de refrigeração por absorção. Fonte: Adaptado de (MESA MEDEROS, 2011; SANYO, 2016)

<b>Marca</b>	<b>Capacidade de frio (kW)</b>	<b>COP</b>	<b>Investimento (M\$/equipamento)</b>	<b>Custo O&amp;M (\$/kWh)</b>
HuiN	11,5-3.489	0,7	34,86- 595,0	0,007
York	1.200	1,0	166,6-168,0	0,007
Sanyo	30-525	0,7	4,3 - 210	0,007

#### 4.10.3 - VPL e TIR

O Valor Presente Líquido e a Taxa Interna de Retorno permitem analisar a viabilidade financeira de projetos ou novos negócios, a partir das estimativas dos investimentos iniciais e retornos futuros (fluxos de caixa). Outras denominações:

- Valor Presente Líquido também é conhecido como Valor Atual Líquido, siglas VPL, VAL ou NPV (Net Present Value)
- Taxa Interna de Retorno também é conhecida pelas siglas TIR ou IRR (Internal Rate of Return)

Com os equipamentos que se relacionaram nas tabelas, é possível construir a nova planta de fornecimento energético baseada na cogeração, estas tecnologias se combinam de acordo com as capacidades necessárias para as variáveis em questão. E para ratificar esse contexto de trabalho, faz-se necessário primeiramente compreender que TIR (Taxa Interna de Retorno) é a taxa para o qual o valor presente líquido do fluxo é nulo (DI LORENZO, 1979; DANIELSON, 2016). O VPL é o somatório dos valores presentes de todas as parcelas. (SALES, 2008).

A TIR não deve ser confundida com a taxa mínima de atratividade que o valor investido deverá proporcionar para que o investimento seja interessante (CHIAVENATO, 2003). Para calcular a TIR, a única maneira será por tentativa e erro, usando uma calculadora ou Excel, mas o Excel já tem desenvolvida a função TIR.

Segundo ainda o autor citado supra existe também a VPL (Valor Presente Líquido) é um procedimento que permite calcular o valor presente de um determinado número de fluxos de caixa futuros, originados por um investimento. A metodologia consiste em descontar no momento atual (é dizer, atualizar mediante uma taxa) todos os fluxos de caixa (em inglês cash-flow) futuros o em determinar a equivalência no tempo 0 dos fluxos de efetivo futuros que gera um projeto e compara esta equivalência com o desembolso inicial. Desta taxa de atualização (k) o de desconto (d) é o resultado do produto entre o custo médio ponderado de capital (CMPC) e a taxa de inflação do período. Quando esta equivalência é maior que o desembolso inicial, então, é recomendável que o projeto seja aceito, e a representação equacional se dá conforme segue:

$$VPL = Investimento\ Inicial + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} \quad (4.1)$$

$F_t$  – Representa os fluxos de Caixa em cada Período  $t$

$n$  – É o número de períodos considerado

$k$  – Taxa de desconto

$VPL > 0 \rightarrow$  O projeto é rentável.

$VPL = 0 \rightarrow$  O projeto é rentável, porque já está incorporando ganhos da taxa de descontos.

$VPL < 0 \rightarrow$  O projeto não é rentável

Para o Cálculo de Previabilidade foi usado o tabulador Excel e os resultados são oferecidos na Tabela 4.5.

**Tabela 4.5 – Resultados Obtidos do Cálculo de Pré-Viabilidade. Fonte: Autor**

<b>Parâmetros</b>	<b>Turbina de Gás</b>	<b>Carrier Sanyo</b>
Potência Instalada kW	600	720
Potência necessária	600	700
Horas de Trabalho h/ano	8760	8760
Custo de Investimento	350.000	160.000
Operação e Manutenção (\$R/ kWh)	0,035	0,007
Quantidade (Unidades)	1	1
Custo Total O&M USD/ano	12250	1120
Custo de Combustível (\$R/ano)	8242,5	
Custo de Investimento BCHP (\$R)	510000	
Custo Total de Operação	13370	
Taxa Investimento no Brasil (%)	20	
Vida Útil da Instalação (anos)	25	
Fluxo de caixa (\$R/ano)	243537	
<b>Valor Atual Líquido (\$R)</b>	<b>1238349,79</b>	
<b>Taxa Interna de Retorno, TIR (%)</b>	<b>38,32</b>	
<b>Período de Recuperação do Investimento (Pay back) em anos.</b>	<b>2</b>	

A análise da Tabela 4.5 demonstra que o sistema de trigeriação proposto oferece valores econômicos satisfatórios, pois tem o VAN é de mais 1,2 milhões de reais e portanto é uma medida de ganhos que pode reportar esse projeto, sendo positivo o saldo entre os benefícios e gastos, em que a TIR é de 38,32%.

#### **4.11 - ANALISES E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS OBTIDOS**

O sistema de trigeriação proposto nesta dissertação tem como objetivo principal, mudar o sistema de fornecimento energético atual do hospital, por um esquema de fornecimento muito mais eficiente que contribui com o aumento da eficiência energética do hospital, a diminuição do consumo total de combustível e dos custos totais de itens energéticos, assim como a redução global de emissões contaminantes, fatores de vital importância na seleção de um determinado projeto.

O investimento total foi de 510 mil reais e permitiria um retorno do investimento em aproximadamente uns dois anos, a qual se pagaria fundamentalmente pela economia líquida durante seu processo de operação ao substituir o sistema atual de fornecimento energético. Isto é que a partir dos dois anos do momento do começo, a instalação está já amortizada e começa a gerar um benefício econômico cada ano.

Com o sistema proposto é possível satisfazer em 100% a demanda de eletricidade, ou seja, uns 493 kWe que compreendem 212 kWe para climatização local e 281 kWe para outros consumos, esta alternativa permite além disso tudo satisfazer em sua totalidade a demanda de calor para alimentar uma planta de refrigeração por absorção de umas 195 TR, também permite satisfazer a demanda de água quente (214 kWt), e em 94% da demanda de vapor para outros usos, o resto do vapor para outros usos se pode gerar nas caldeiras existentes. Nesta alternativa é possível economizar em 43% o uso e consumo do combustível, o que representa uma economia de 936 tcc/ano, sendo a economia líquida mínima de 161 MUSD/ano. Esta variável desde o ponto de vista energético e monetário é a que representa melhores resultados, pois é a que mais traz meios de economia no uso do sistema de cogeração. É possível dizer que a economia de energia pode chegar a ser maior se os cálculos se realizarem tomando por base o preço do GLP importado e este ser um combustível que se pode obter diretamente em nosso país, porque sempre será mais barato produzi-lo do que comprá-lo no mercado, aliás esta cifra pode ser afetada pelo preço do combustível como se havia dito anteriormente, e os benefícios em alguns meses ou anos podem chegar a

serem maiores se se manterem a turbina trabalhando a plena capacidade buscando manter elevada eficiência da mesma e permitindo eventualmente exportar ao SEN a energia elétrica que sobra devido ao balance da demanda. E isto também pode suceder de forma contrária, porém sem nenhuma dúvida esta é uma boa alternativa para se pôr em prática.

O sistema proposto neste estudo tem como objetivo fundamental, transformar o sistema de fornecimento energético atual do hospital Alpha, local em que foi desenvolvida toda a pesquisa, análise de dados, consumos, equipamentos e layout, buscando um esquema de fornecimento muito mais eficiente.

Os perfis de demanda de energia do hospital permitirem estabelecer um sistema de trigeriação como fonte de fornecimento energético baseado nas razões de calor, eletricidade na climatização. A caracterização das demandas de energia para o ano de 2015 mostraram que a energia elétrica com 1350,8 tep é o item energético de maior consumo, seguido pelo combustível GLP.

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSÕES**

Diante do exposto no decorrer desse trabalho, com o estudo da proposta do sistema de Trigeração no âmbito do hospital Alpha entende-se que a prática empresarial que pode ser adotada, trará benefícios financeiros bem interessantes para o negócio, pois num momento de grande recessão econômica tem-se percebido que as organizações sejam elas públicas ou privadas precisam criar alternativas de trabalho/processos para se reinventar de modo a se manterem competitivas no mercado e segmento em que atuam. E diante de toda a dificuldade que há no gerenciamento dos recursos sejam eles humanos ou não, os investidores, gestores de grandes complexos empresariais, no qual se insere o hospital ora estudado, conclui-se que a implantação de um modelo de cogeração estruturado, enxuto, viável economicamente pode proporcionar um novo posicionamento do hospital junto ao mercado que atua.

E dando sequência as discussões nessa temática como sugestão para trabalhos a serem desenvolvidos no futuro em outras instâncias científicas, propõe-se a otimização do processo de cogeração por meio de um software computacional como o MATLAB para que os resultados nele encontrados a partir do modelo matemático inserido no Toolbox do sistema sejam avaliados de forma mais criteriosa e assertiva de modo que possa evidenciar-se que a aplicação é viável e interessante economicamente para o hospital objeto de estudo dessa dissertação.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGNEW, B.; WALKER, S.; NG, B.; TAM, I. C. K. Maximum output from a tri-generation cycle. **Applied Thermal Engineering**, v. 90, p. 1015-1020, 2015. ISSN 13594311.

AHMADI, P.; DINCER, I. Exergoenvironmental analysis and optimization of a cogeneration plant system using multimodal genetic algorithm (mga). **Energy**, v. 35, n. 12, p. 5161-5172, 2010. ISSN 0360-5442.

AKBARI, K.; JOLAI, F.; GHADERI, S. F. Optimal design of distributed energy system in a neighborhood under uncertainty. **Energy**, v. 116, Part 1, p. 567-582, 12/1/ 2016. ISSN 0360-5442. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036054421631324X> >.

AKISAWA, A.; MIYAZAKI, T.; KASHIWAGI, T. Theoretical analysis of the optimal configuration of co-generation systems and competitiveness of heating/cooling technologies. **Energy**, v. 35, n. 10, p. 4071-4078, 10// 2010. ISSN 0360-5442. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544210003361> >.

AL MOUSSAWI, H.; FARDOUN, F.; LOUAHLIA-GUALOUS, H. Review of tri-generation technologies: Design evaluation, optimization, decision-making, and selection approach. **Energy Conversion and Management**, v. 120, p. 157-196, 7/15/ 2016. ISSN 0196-8904. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890416303375> >.

ALEXIS, G. K.; LIAKOS, P. A case study of a cogeneration system for a hospital in greece. Economic and environmental impacts. **Applied Thermal Engineering**, v. 54, n. 2, p. 488-496, 2013. ISSN 13594311.

ANGRISANI, G.; AKISAWA, A.; MARRASSO, E.; ROSELLI, C.; SASSO, M. Performance assessment of cogeneration and trigeneration systems for small scale applications. **Energy Conversion and Management**, v. 125, p. 194-208, 10/1/ 2016. ISSN 0196-8904. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890416302394> >.

ARCURI, P.; BERALDI, P.; FLORIO, G.; FRAGIACOMO, P. Optimal design of a small size trigeneration plant in civil users: A minlp (mixed integer non linear programming model). **Energy**, v. 80, p. 628-641, 2/1/ 2015. ISSN 0360-5442. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544214013760> >.

ARRIZURIETA, J. M.; DOMÍNGUEZ, R. R. La cogeneración aplicada a la climatización de hospitales. Particularidades en el marco económico cubano. **Ingeniería Mecánica**, v. 1, p. 83-90, 1999.

BARRERA, D. V. C. **Integración de la cogeneración en el mercado eléctrico**. 2003. Tesis de Máster, Universidad Pontificia Comillas

BEIHONG, Z.; WEIDING, L. An optimal sizing method for cogeneration plants. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 3, p. 189-195, 2006. ISSN 0378-7788.

BERRMAN. <cogeração e seus aspectos regulatórios.Pdf>. 2008.

BICHO, H.; MENDES, V.; CATALÃO, J.; NAVARRO-LISBOA, R. C. E.; DO LAMEIRO-COVILHÃ, C. F. **Estudo das tecnologias de cogeração e trigerção para aplicação na indústria de serração de madeira e mobiliário**. 2008. (Mestrado). Engenharia Electromecânica, INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA, Portugal.

BIZZARRI, G.; MORINI, G. L. New technologies for an effective energy retrofit of hospitals. **Applied Thermal Engineering**, v. 26, n. 2-3, p. 161-169, 2// 2006. ISSN 1359-4311. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431105001821>>.

BRANDÃO, S. D. S. Cogeração. **Trabalho no âmbito da cadeira Produção e Planeamento de Energia Eléctrica. Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores da Universidade de Coimbra**, 2004.

BRYANT, S. M. **Techno-economic feasibility of chp plants equipped with thermal storage in ontario, canada and their conversion to trigeneration plants using absorption chillers**. 2011. (MS). Sustainable Energy Planning and Management, AALBORG UNIVERSITY, Denmark.

BURER, M.; TANAKA, K.; FAVRAT, D.; YAMADA, K. Multi-criteria optimization of a district cogeneration plant integrating a solid oxide fuel cell-gas turbine combined cycle, heat pumps and chillers. **Energy**, v. 28, n. 6, p. 497-518, 2003. ISSN 0360-5442.

CAMARGO. <política energética brasileira.Pdf>. 2005.

CARVALHO, M. Thermoeconomic and environmental analyses for the synthesis of polygeneration systems in the residential-commercial sector. **University of Zaragoza Ph. D. Thesis**, 2011.

CHIAVENATO, I. **Introdução à teoria geral da administração**. Elsevier Brasil, 2003. ISBN 8535213481.

CUESTA, A. M. **Estudio comparativo de sistemas de cogeneración. Aplicación a una industria química**. 2012. 139 (Tesis de graduación). Escuela Superior de Ingenieros Industriales, Universidad de Cantabria, Cantabria.

DANIELSON, M. G. The irr of a project with many potential outcomes. **The Engineering Economist**, v. 61, n. 1, p. 44-56, 2016. ISSN 0013-791X.

DELGADO, R. F. L. **Estudo e implementação de um sistema de cogeração**. 2016. Universidade do Porto

DI LORENZO, R. Taking into account opportunity cost in the irr calculations, and the theory of the firm. **RDL&A, documento a uso interno**, 1979.

FABRIZIO, E. Feasibility of polygeneration in energy supply systems for health-care facilities under the italian climate and boundary conditions. **Energy for Sustainable Development**, v. 15, n. 1, p. 92-103, 3// 2011. ISSN 0973-0826. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0973082611000056> >.

FAZLOLLAHI, S.; BECKER, G.; MARÉCHAL, F. Multi-objectives, multi-period optimization of district energy systems: Iii. Distribution networks. **Computers & Chemical Engineering**, v. 66, p. 82-97, 2014. ISSN 00981354.

FERNÁNDEZ OTXOA, T. Planta de cogeneración de un motor alternativo de combustión interna para un hospital. 2014.

FRANÇA, A. F. R. T.; CASEIRO, L. P. V. D. C. **Cogeração e trigerção** Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores. Universidad de Lisboa. Portugal. 2008

GIL RAMOS, W. **Selección de alternativas de suministro energético para el hospital clínico quirúrgico “arnaldo milián castro” mediante la aplicación del software retscreen**. 2014. Tesis de graduación (Graduación). CEETA, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

GIMELLI, A.; MUCCILLO, M. Optimization criteria for cogeneration systems: Multi-objective approach and application in an hospital facility. **Applied Energy**, v. 104, p. 910-923, 2013. ISSN 03062619.

GIMELLI, A.; MUCCILLO, M.; SANNINO, R. Optimal design of modular cogeneration plants for hospital facilities and robustness evaluation of the results. **Energy Conversion and Management**, v. 134, p. 20-31, 2/15/ 2017. ISSN 0196-8904. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S019689041631113X> >.

GLAVAN, I.; PRELEC, Z. The analysis of trigeneration energy systems and selection of the best option based on criteria of ghg emission, cost and efficiency. **Engineering review: znanstveni časopis za nove tehnologije u strojarstvu, brodogradnji i elektrotehnici**, v. 32, n. 3, p. 131-139, 2012. ISSN 1330-9587.

GOLDEMBERG. <analise de risco da implantação de sistemas de cogeração.Pdf>. 2007.

GONÇALVES, C. A. M., ANTHERO DE MORAES. Projetos e relatórios de pesquisa em administração. **São Paulo: Atlas**, 2010.

GONZÁLEZ LAMADRID, I. **Caracterización del sistema energético en el hospital "arnaldo milián castro"**. 2016. (Tesis de Graduación). Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial

HAWKES, A.; LEACH, M. Cost-effective operating strategy for residential micro-combined heat and power. **Energy**, v. 32, n. 5, p. 711-723, 2007. ISSN 0360-5442.

HORLOCK, J. H. Combined heat and power. 1987.

KAVVADIAS, K. C.; MAROULIS, Z. B. Multi-objective optimization of a trigeneration plant. **Energy Policy**, v. 38, n. 2, p. 945-954, 2010. ISSN 0301-4215. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421509007939> >.

KOLANOWSKI, B. F. History of cogeneration. **Cogeneration and Competitive Power Journal**, v. 14, n. 1, p. 74-79, 1999. ISSN 1066-8683.

KORONAKIS, I. Co-generation, in air conditioning-energy consumption and environmental quality. **Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Developed under the Auspices of the UNESCO.**, v. Oxford, UK: Eolss Publishers, 2004.

LEYVA CÉSPEDES, A. Suministro energético a instalaciones hospitalarias. Caracterización de escenarios. Argentina, 2010. Disponível em: < <http://www.monografias.com/trabajos91/suministro-energetico-instalaciones-hospitalarias-caracterizacion-escenarios/suministro-energetico-instalaciones-hospitalarias-caracterizacion-escenarios.shtml> >. Acesso em: 12 de Junho de 2016.

LIZARRAGA, J. M. S. Cogeneración: Aspectos termodinámicos, tecnológicos y económicos. **Bilbao: Ed. Universidad del País Vasco**, 1999.

LOGACHO, M.; EDGAR, W.; FLORES VEINTIMILLA, E. **Diseño de un sistema de cogeneración utilizando los gases remanentes de la turbina general electric lm2500 en la planta de proceso del norte bloque 16 repsol ypf**. 2015. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Carrera de Ingeniería Mecánica.

LOZANO, M. A. Optimal planning method of simple cogeneration systems diseño optimo de sistemas simples de cogeneración. **Información Tecnológica**, v. 12, n. 4, p. 53-58, 2001.

LOZANO, M. A.; RAMOS, J.; SÁNCHEZ, S. Optimización de sistemas de trigeneración para hospitales. **Zaragoza (Zona C)**, v. 6284, p. 1261, 2005.

LOZANO, M. A.; RAMOS, J. C.; CARVALHO, M.; SERRA, L. M. Structure optimization of energy supply systems in tertiary sector buildings. **Energy and Buildings**, v. 41, n. 10, p. 1063-1075, 2009. ISSN 0378-7788.

MADARIAGA ARRIZURIETA, J.; RUANO DOMÍNGUEZ, R. La cogeneración aplicada a la climatización de hospitales. Particularidades en el marco económico cubano//the cogeneration applied to the hospital air conditioning. Particularities in the cuban economic situation. **Ingeniería Mecánica**, v. 2, n. 1, p. 83-90, 2012. ISSN 1815-5944.

MANOLAS, D. A.; FRANGOPOULOS, C. A.; GIALAMAS, T. P.; TSAHALIS, D. T. Operation optimization of an industrial cogeneration system by a genetic algorithm. **Energy Conversion and Management**, v. 38, n. 15, p. 1625-1636, 1997. ISSN 0196-8904.

MATELLI, J. A.; FRANCISCO JR, R. W.; BAZZO, E. Simulação de um sistema de cogeração em pequena escala aplicado no hospital universitário da ufsc. Proceedings of the 10o Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering -- ENCIT 2004 2004, Rio de Janeiro, Brazil, Nov. 29 -- Dec. 03, 2004 Braz. Soc. of Mechanical Sciences and Engineering -- ABCM, .

MAVROTAS, G.; FLORIOS, K.; VLACHOU, D. Energy planning of a hospital using mathematical programming and monte carlo simulation for dealing with uncertainty in the economic parameters. **Energy Conversion and Management**, v. 51, n. 4, p. 722-731, 2010. ISSN 01968904.

MESA MEDEROS, A. W. **Alternativas de suministro energético para el hospital provincial clínico quirúrgico universitario "arnaldo milián castro" de santa clara**. 2011. 80 (Tesis de Graduación). CEETA, Univrsidad Cental "Marta Abreu" de Las Villas, Santa clara , Cuba.

MILAN, C.; STADLER, M.; CARDOSO, G.; MASHAYEKH, S. Modeling of non-linear chp efficiency curves in distributed energy systems. **Applied Energy**, v. 148, p. 334-347, 2015. ISSN 03062619.

MORO, L.; PINTO, J. A mixed-integer model for short-term crude oil scheduling. AICHe Annual National Meeting, 1998. p.241c.

MOSTAFAVI TEHRANI, S. S.; SAFFAR-AVVAL, M.; MANSOORI, Z.; BEHBOODI KALHORI, S.; ABBASSI, A.; DABIR, B.; SHARIF, M. Development of a chp/dh system for the new town of parand: An opportunity to mitigate global warming in middle east. **Applied Thermal Engineering**, v. 59, n. 1-2, p. 298-308, 2013. ISSN 13594311.

NIEBLING, J.; EICHFELDER, G. A branch-and-bound algorithm for bi-objective problems. XIII GLOBAL OPTIMIZATION WORKSHOP GOW'16 4-8 September 2016, 2016. p.57-60.

NOGUEIRA, L.; ALKMIN, J. Metodologia para estimar o potencial técnico e econômico de co-geração. **Eletricidade Moderna**, n. 265, p. 86-94, 1996.

ONOVWIONA, H. I.; UGURSAL, V. I.; FUNG, A. S. Modeling of internal combustion engine based cogeneration systems for residential applications. **Applied thermal engineering**, v. 27, n. 5, p. 848-861, 2007. ISSN 1359-4311.

PINTO, J.; MORO, L. A planning model for petroleum refineries. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 17, n. 4-7, p. 575-586, 2000. ISSN 0104-6632.

RAMSARRAN, S. **Caracterización de los portadores energéticos del hospital universitario" arnaldo milián castro" de villa clara (hamc)**. 2016. Universidad

Central “Marta Abreu” de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Mecánica

RENEDO, C. J.; ORTIZ, A.; MAÑANA, M.; SILIÓ, D.; PÉREZ, S. Study of different cogeneration alternatives for a spanish hospital center. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 5, p. 484-490, 2006. ISSN 03787788.

RETSCREEN, M. **Energy diversification research laboratory (cedrl)**: Canada 2000.

RÜCKER, C. P.; BAZZO, E. Análise termodinâmica de um sistema compacto de cogeração utilizando microturbina a gás natural. 2º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 2003.

SAHOO, P. Exergoeconomic analysis and optimization of a cogeneration system using evolutionary programming. **Applied thermal engineering**, v. 28, n. 13, p. 1580-1588, 2008. ISSN 1359-4311.

SALATA, F.; DE LIETO VOLLARO, A.; DE LIETOVOLLARO, R.; MANCIERI, L. Method for energy optimization with reliability analysis of a trigeneration and teleheating system on urban scale: A case study. **Energy and Buildings**, v. 86, p. 118-136, 2015. ISSN 03787788.

SALES, L. D. S. <viabilidade técnico econômica cogeração.Pdf>. **UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**, v. Tese de Doutorado, 2008.

SANYO, C. **Sanyo absorption chiller**. SANYO, C.: Carrier Sanyo 2016.

SEPÚLVEDA, R. A. V. Aplicación metodológica para la determinación del desempeño energético en hospitales de la región metropolitana. **Santiago de Chile: Universidad de Chile**, 2008.

STOICA, G. M. A. **Trigeneración en un hospital en madrid**. 2014. Tesis de Maestría (Master). Ingeniería Industrial, Universidad Carlos III

SZKLO, A. S.; SOARES, J. B.; TOLMASQUIM, M. C. T. Energy consumption indicators and chp technical potential in the brazilian hospital sector. **Energy Conversion and Management**, v. 45, n. 13, p. 2075-2091, 2004. ISSN 0196-8904.

TAPIAS, C. Sistemas, modelos y simulación. **FIUBA, Facultad de ingeniería de la Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires**, 2010.

TORRENTE GIMÉNEZ, R. I. **Estudio de viabilidad económica de una planta de cogeneración en un hospital de madrid**. 2014.

VEIGA, T. P. <projeto de planta de cogeração para um hospital>. **USP**, 2007.

WEI-CHANG, Y. A novel node-based sequential implicit enumeration method for finding all d-mps in a multistate flow network. **Information Sciences**, v. 297, p. 283-292, 2015. ISSN 0020-0255.

WITENBERG, J. P. **Métodos y modelos de investigación de operaciones**. Editorial Limusa, 2000. ISBN 9681805909.

WU, Q.; REN, H.; GAO, W.; REN, J. Modeling and optimization of distributed energy supply network with power and hot water interchanges. **Applied Thermal Engineering**, v. 94, p. 635-643, 2016. ISSN 13594311.

YOSHIDA, S.; ITO, K.; YOKOYAMA, R. Sensitivity analysis in structure optimization of energy supply systems for a hospital. **Energy Conversion and Management**, v. 48, n. 11, p. 2836-2843, 2007. ISSN 01968904.