

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ANÁLISE PRELIMINAR TÉCNICA E ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE
COGERAÇÃO EM UM HOSPITAL

por

Bernardo Niederhageböck Sidou

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, junho de 2018



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica

ANÁLISE PRELIMINAR TÉCNICA E ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE
COGERAÇÃO EM UM HOSPITAL

por

Bernardo Niederhageböck Sidou

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof.^a Dr.^a Thamy Cristina Hayashi
Coordenadora do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Energia e Fenômenos de Transporte**

Orientador: Prof. Dr. Paulo Smith Schneider

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr.^a Thamy Cristina Hayashi

Prof. Dr. Andrés Armando Mendiburu Zevallos

M. Eng. Isaías Mortari Machado

Porto Alegre, 15 de junho de 2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Paulo Smith Schneider pela orientação e suporte no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos Srs. D. Luzzi, R. Mairesse e W. Rowell pela boa vontade e disponibilidade em ajudar ao longo deste trabalho.

Agradeço de forma geral a todos que contribuíram de alguma maneira com a minha formação de Engenheiro Mecânico.

SIDOU, B. N. **Análise preliminar técnica e econômica da implantação de um sistema de cogeração em um hospital**. 2018. 26 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

RESUMO

Neste trabalho é verificada a perspectiva de melhoria do sistema energético de um hospital em Porto Alegre, Brasil, através da instalação de um sistema de cogeração a gás natural. Para isso, apresenta uma análise preliminar de viabilidade técnica e econômica da implantação do sistema proposto. São caracterizados os perfis de consumo de energia do hospital antes e depois do uso de cogeração, para então se obter indicadores clássicos de avaliação do investimento em tal sistema: VPL, TIR e *payback* descontado. Por fim, utiliza-se o método de projeto de experimentos para complementação da análise financeira. No cenário considerado, o VPL fica próximo de R\$ 5 milhões, a TIR próxima de 70% ao ano e o *payback* descontado é menor que 3 anos. Esse conjunto de resultados indica a viabilidade econômica do projeto. A análise via projeto de experimentos resulta na criação de uma equação para obtenção facilitada do VPL em outros cenários de avaliação. Além disso, ela evidencia a variação no preço da energia elétrica como o fator mais influente no resultado do VPL.

PALAVRAS-CHAVE: Cogeração, hospital; melhoria de sistemas energéticos; análise de viabilidade de investimento.

SIDOU, B. N. **Preliminary technical and economic analysis of the implantation of a cogeneration system in a hospital**. 2018. 26 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

ABSTRACT

This study aims to verify the improvement perspective of the energetic system of a hospital in Porto Alegre, Brazil, through the installation of a natural gas fired cogeneration system. In order to do so, it presents a preliminary analysis of the technical and economic feasibility of the implementation of the proposed system. The energy consumption profiles of the hospital before and after the usage of cogeneration are characterized, then obtaining the classical investment evaluation indicators for such system: NPV, IRR and discounted payback period. Lastly, the design of experiments method is used to complement the financial analysis. In the considered scenario, NPV is close to R\$ 5 millions, IRR close to 70% per year and discounted payback period is smaller than 3 years. This set of results indicates the economic feasibility of the project. The analysis via design of experiments yields an equation that eases the calculation of the NPV in other evaluation scenarios. Moreover, it shows that the variation of the electric energy price is the most influencing factor on the NPV.

KEYWORDS: Cogeneration, hospital; energetic systems' improvement; investment feasibility analysis.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/C	Ar condicionado
ASQ	<i>American Society for Quality</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEEE	Companhia Estadual de Energia Elétrica
COP	Coeficiente de performance
EE	Energia elétrica
FP	Fora de ponta
GDR	Grau dia de refrigeração
GE	Gases de exaustão
GLP	Gás liquefeito de petróleo
GN	Gás natural
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
P	Ponta
PCI	Poder calorífico inferior
TIR	Taxa interna de retorno
TMA	Taxa mínima de atratividade

LISTA DE SÍMBOLOS

ρ_a	Densidade da água	(kg/m ³)
c_{p_a}	Calor específico da água	(kJ/kg.°C)
$c_{p_{ge}}$	Calor específico dos gases de exaustão	(kJ/kg.°C)
F_i	Valor de determinado período no cálculo da TMA	(R\$)
i	Índice para identificação de períodos no cálculo da TMA	(-)
m_a	Massa de água a ser aquecida	(kg)
\dot{m}_{ge}	Vazão mássica dos gases de exaustão	(kg/s)
n	Número de períodos no fluxo de caixa	(-)
n_d	Número de dias no mês	(-)
n_l	Número de leitos	(-)
$P_{US\$}$	Cotação do dólar	(R\$/US\$)
Q_a	Energia para aquecimento de água ao longo do mês	(kJ)
\dot{Q}_{ge}	Taxa de energia disponível para aquecimento de água	(kJ/s)
R^2	Coeficiente de determinação	(-)
T_e	Temperatura dos gases de exaustão na entrada no aquecedor	(°C)
T_f	Temperatura de água de abastecimento	(°C)
T_q	Temperatura requerida de água quente	(°C)
T_s	Temperatura dos gases de exaustão na saída no aquecedor	(°C)
V_{cons}	Volume diário de consumo de água quente por leito	(m ³)
VP_{EE}	Taxa de variação anual do preço da energia elétrica	(% a.a.)
VP_{GLP}	Taxa de variação anual do preço do gás liquefeito de petróleo	(% a.a.)
VP_{GN}	Taxa de variação anual do preço do gás natural	(% a.a.)

ÍNDICE

	Pág.
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos.....	1
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	2
2.1 Postos tarifários.....	2
2.2 Graus dia de refrigeração (GDR).....	2
2.3 Análise de investimentos: TMA, VPL, TIR e <i>payback</i> descontado.....	2
2.4 Projeto de experimentos.....	3
3. METODOLOGIA.....	3
4. APRESENTAÇÃO DO CASO.....	3
4.1 Apresentação do Hospital.....	3
4.2 Consumo de energia elétrica.....	4
4.3 Consumo de gás liquefeito de petróleo.....	5
4.4 Sistema de cogeração proposto.....	5
5. CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO ATUAL.....	6
5.1 Repartição dos consumidores de energia elétrica	7
5.2 Repartição dos consumidores de gás liquefeito de petróleo	8
6. IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE COGERAÇÃO.....	8
6.1 Impactos da cogeração no consumo de energia elétrica.....	8
6.2 Impactos da cogeração na climatização.....	9
6.3 Impactos da cogeração no aquecimento de água.....	9
7 ANÁLISE FINANCEIRA.....	9
7.1 Fluxo de caixa e cenário de análise de investimento	9
7.2 Aplicação de projeto de experimentos.....	10
8 RESULTADOS.....	11
8.1 Aportes de insumos energéticos ao Hospital.....	11
8.2 Análise financeira.....	12
9. CONCLUSÕES.....	13
REFERÊNCIAS.....	14
Apêndice I	16
Apêndice II	16
Apêndice III	17
Apêndice IV	17
Apêndice V	18

1. INTRODUÇÃO

Este é um trabalho acerca da instalação de um sistema de cogeração a gás natural em um hospital na cidade de Porto Alegre, Brasil. Sua motivação reside na perspectiva de melhorar a qualidade do sistema energético do estabelecimento, com impactos na segurança de abastecimento e melhor gestão financeira deste. Espera-se que tais benefícios sejam revertidos para a melhoria da capacidade de atendimento à saúde da população.

A proposta de realização desse estudo partiu de uma parceria estabelecida por meio da disciplina de Sistemas Térmicos da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul com a empresa Luming Inteligência Energética¹, que atua na área de projetos de eficiência energética, principalmente por meio de cogeração. Essa parceria visa levar para a Universidade o contato com projetos reais voltados para o mercado de eficiência energética. Assim, a ideia do presente trabalho foi analisar o sistema de cogeração proposto por esta empresa para um potencial cliente, avaliando seu funcionamento e sua viabilidade financeira.

De acordo com COGEN, 2018, a capacidade instalada de cogeração no Brasil vem crescendo nos últimos anos e em 2017 era de 18,2 GW, dos quais 2,7 GW provenientes do uso de gás natural. Essa tecnologia resulta na geração e aproveitamento de duas ou mais formas de energia, geralmente elétrica e térmica, a partir de um mesmo combustível. Com isso, obtêm-se aumentos consideráveis na eficiência de geração em comparação a sistemas térmicos que geram separadamente essas duas formas de energia, além de uma redução no custo da energia obtida. Outro benefício é o incentivo do governo para empreendimentos de geração distribuída, visto que eles adiam investimentos na expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, reduzem o carregamento das redes, minimizando suas perdas, e diversificam a matriz energética, segundo ANEEL, 2018.

Nesse contexto, Tolmasquin *et al.*, 2003, afirmaram que as altas demandas térmica e elétrica características de hospitais tornam o perfil energético desses estabelecimentos adequados para o estudo de viabilidade financeira de um sistema de cogeração. Corroborando essa constatação, diversos estudos foram realizados sobre o tema. Teke *et al.*, 2015, analisaram técnica e economicamente dois sistemas de cogeração a gás natural em um hospital universitário na Turquia. Através do tempo de retorno simples do investimento e economia anual com insumos energéticos, demonstraram a viabilidade de ambos projetos. Já Isa *et al.*, 2016, propuseram um sistema de cogeração alimentado por fontes renováveis para um hospital universitário na Malásia. Concluíram pelo menor custo operacional e menor poluição gerada por tal sistema.

Especificamente no cenário brasileiro, Lara *et al.*, 2007, verificaram a introdução de cogeração através de uma microturbina geradora a gás natural no Hospital Universitário da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. Comparando os casos sem e com cogeração, e analisando a sensibilidade do empreendimento ao preço do gás natural, concluíram que a cogeração tende a ser um investimento atrativo. Para Gonzales *et al.*, 2004, no entanto, as diferentes propostas estudadas para implantação de cogeração no Hospital de Clínicas da Unicamp não resultaram em indicadores de investimento que sugerissem suas viabilidades. No caso de Matelli *et al.*, 2004, de dois cenários simulados para um sistema de cogeração de pequena escala no Hospital Universitário da Universidade Federal de Santa Catarina, um se mostrou viável e o outro não, de acordo com a taxa de retorno obtida.

1.1 Objetivos

O objetivo geral desse trabalho é a realização de uma análise preliminar de viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema de cogeração proposto para um hospital. Os objetivos específicos são:

- Verificação e comparação do aporte de insumos energéticos ao hospital antes e depois da instalação do sistema de cogeração;

¹ www.luming.com.br

- Obtenção de indicadores para avaliação do investimento em tal sistema.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seguir, tem-se uma breve explicação dos principais conceitos necessários para a compreensão do trabalho.

2.1 Postos tarifários

Segundo ANEEL, 2016, os postos tarifários são definidos para permitir a contratação e o faturamento diferenciados da energia e da demanda de potência ao longo do dia. Horário de ponta refere-se ao período vigorando em dias úteis no qual a energia é mais cara, composto por 3 horas diárias consecutivas definidas pela distribuidora, considerando a curva de carga de seu sistema elétrico. Já horário fora de ponta refere-se ao período composto pelo conjunto das horas diárias complementares àquelas definidas no horário de ponta. Na área de concessão de Porto Alegre o horário de ponta se estende das 19h às 22h em horário de verão e das 18h às 21h fora deste.

2.2 Graus dia de refrigeração (GDR)

São uma medida de quanto em média a temperatura ambiente externa em dado período se mantém acima de uma temperatura base determinada, além da qual se supõe que seja necessário a refrigeração do ar dentro de um prédio. São muito utilizados para cálculos de consumo de energia para refrigeração de ambientes [EnergyLens, 2018].

2.3 Análise de investimentos: TMA, VPL, TIR e *payback* descontado

As principais definições para a análise da viabilidade de investimentos são apresentadas de acordo com Soares, 2003.

- Taxa mínima de atratividade (TMA): rentabilidade mínima que um investidor considera necessária para a realização do investimento, devendo ser maior ou igual ao seu custo de oportunidade e ao seu custo de capital.
- Valor presente líquido (VPL): consiste em trazer as entradas e saídas de um fluxo de caixa ao longo de um período analisado para o seu valor presente, através do desconto da TMA estabelecida. A determinação do VPL dá-se utilizando a Equação 2.1.

$$VPL = \sum_{i=0}^n F_i (1 + TMA)^{-i} \quad (2.1)$$

onde i é o índice para identificar os diferentes períodos da análise, n é o número de períodos no fluxo de caixa, F_i é o valor de determinado período a ser trazido para valor presente e TMA é a taxa mínima de atratividade. De um modo geral, se o VPL for maior que zero, o investimento é viável, e quanto maior o VPL, tanto melhor.

- Taxa interna de retorno (TIR): representa a remuneração do investimento em um projeto. Define-se como a taxa de desconto que anula o VPL de um fluxo de caixa do investimento analisado, podendo ser obtida através da Equação 2.1, onde a TIR substitui a TMA. Considera-se o investimento viável se a TIR verificada for maior que a TMA definida, e quanto maior a TIR, tanto melhor.
- *Payback* descontado: é o tempo de retorno, período necessário para os benefícios de um investimento compensarem o valor investido. No caso do *payback* descontado, os valores do fluxo de caixa são descontados pela TMA, corrigindo-os assim para o seu valor presente. Se

o *payback* descontado for menor que a vida econômica do projeto, considera-se que este é viável.

2.4 Projeto de experimentos

De acordo com ASQ, 2018, trata-se de uma metodologia parte da estatística aplicada que lida com o planejamento, condução, análise e interpretação de testes controlados para avaliar os fatores que controlam o valor de um parâmetro ou grupo de parâmetros. Essa ferramenta pode ser usada em uma variedade de situações experimentais, permitindo que diversos fatores de entrada sejam manipulados simultaneamente para determinar seus efeitos sobre uma resposta. Isso permite identificar importantes interações entre esses fatores, que seriam ignoradas em experimentos variando um fator de cada vez. A metodologia de projeto de experimentos é utilizada quando mais de um fator de entrada é suspeito de influenciar uma resposta, para confirmar suspeitas de relação entre fatores de entrada e respostas, e para o desenvolvimento de uma equação preditiva adequada para essa relação. Experimentos bem executados permitem a verificação de quais são os fatores principais e seus efeitos em um processo, a identificação de quais níveis desses fatores conduzem à melhor resposta esperada e a determinação dos efeitos das interações entre os fatores do processo.

3. METODOLOGIA

As principais etapas para o cumprimento dos objetivos do trabalho são a seguir descritas em ordem de realização.

- 1) Coleta e análise de dados: nessa etapa, faturas de energia elétrica e de gás liquefeito de petróleo (GLP), assim como informações sobre o funcionamento e principais componentes dos sistemas consumidores de energia do hospital, foram disponibilizadas pela empresa parceira, tratada por Luming no restante desse relatório, possibilitando o tratamento desse conjunto de dados²;
- 2) Elaboração de hipóteses: a partir dos dados analisados na etapa anterior, foram elaboradas hipóteses e correlações para caracterizar os perfis de demanda energética das principais atividades e equipamentos consumidores do hospital ao longo de um ano;
- 3) Análise da implantação do sistema de cogeração: foi verificado o impacto da implantação do sistema de cogeração proposto nos sistemas de energia do hospital, obtendo-se o perfil de consumo do estabelecimento ao se considerar esse sistema alternativo;
- 4) Estudo de viabilidade financeira do investimento: através da elaboração de um fluxo de caixa, foram obtidos os indicadores de viabilidade do investimento no sistema de cogeração para determinado cenário construído. Foi utilizado ainda o método projeto de experimentos para complementar a análise com outros resultados de interesse.

4. APRESENTAÇÃO DO CASO

4.1 Apresentação do hospital

O hospital objeto desse estudo, doravante tratado apenas por Hospital, situa-se em Porto Alegre, Brasil. Trata-se de um hospital geral, com cerca de 7000 m² e 100 leitos, sendo assim caracterizado como um hospital de pequeno porte [Tolmasquin *et al.*, 2003] operando sem interrupções na realização de atendimentos aos pacientes.

Atualmente, o Hospital compra energia elétrica da distribuidora local Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE) e GLP da Liquigás. A energia elétrica alimenta equipamentos

² Dados e informações referentes à Luming são do acervo próprio da empresa, não estão publicados.

hospitalares, iluminação, elevadores, bombas, vaporização do GLP, ventilação e o sistema de ar condicionado central (A/C). O GLP é utilizado na cocção de alimentos e para o aquecimento de água dos banhos, limpeza e uso geral.

Para o presente trabalho, os equipamentos mais relevantes dessa instalação são os que pertencem ao sistema de A/C e ao sistema de aquecimento de água. A climatização do Hospital se dá através de 4 refrigeradores elétricos de 176 kW (50 TR) cada, produzindo água fria distribuída por um sistema em arquitetura de anel, sem acumulação, que termina em *fan-coils* no uso final. O fornecimento de água quente é feito por 2 aquecedores de 2.000 L cada, com queimadores a GLP de potência variável de 50 a 120 kW, e mais um reservatório de acumulação de 2.000 L.

4.2 Consumo de energia elétrica

A contratação de energia elétrica pelo Hospital enquadra-se no subgrupo A4 (tensões entre 2,3 e 25 kV), com estrutura tarifária horária verde. Nesse enquadramento, a fatura é composta por uma parcela relativa à demanda e outras duas relativas aos consumos em ponta (P) e fora de ponta (FP) medidos. Tem-se uma demanda estabelecida em contrato que é comparada com a maior demanda lida ao longo do período faturado, sendo a maior dessas a referência para o faturamento. Em caso de ultrapassagem da demanda contratada, uma tarifa adicional é cobrada por essa chamada demanda de ultrapassagem.

A representação da energia elétrica requerida pelo Hospital ao longo de um ano é baseada nos dados das faturas mensais obtidas, referentes ao período de junho de 2016 a maio de 2017 (dados no Apêndice I). As Figuras 4.1 (a) e (b) ilustram, respectivamente, as demandas e consumos em cada mês do ano.

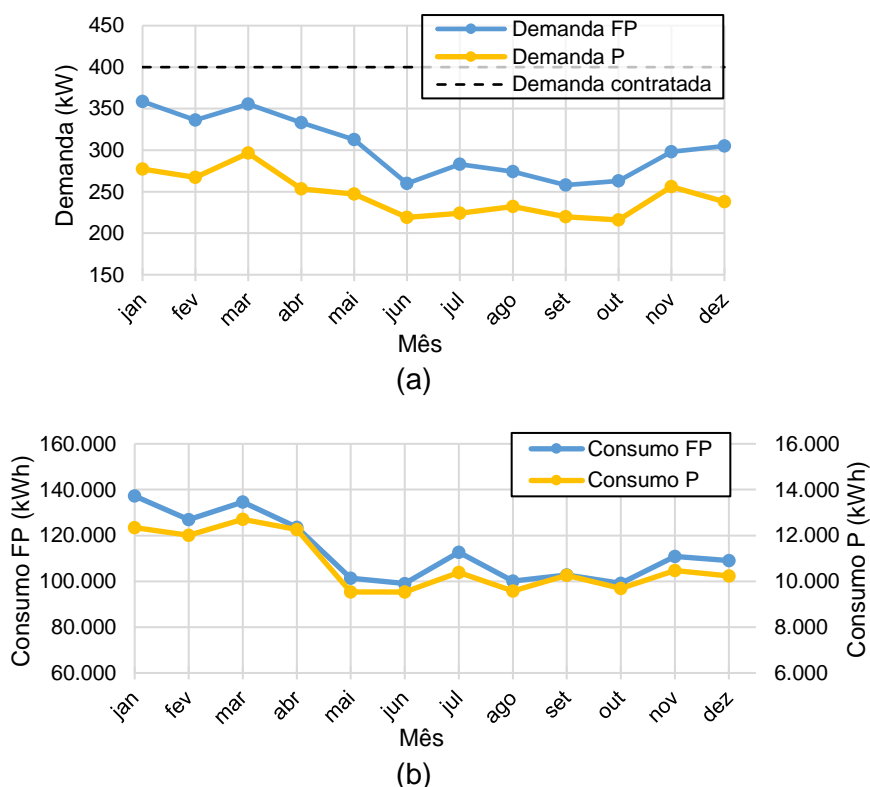


Figura 4.1 – (a) Demandas FP, P e contratada e (b) consumos FP e P, ao longo de um ano.

As demandas lidas correspondem aos valores máximos de potência elétrica requerida para o período de medição, com maior intensidade nos meses mais quentes do que nos mais frios. Verifica-se ainda como os 400 kW contratados pelo Hospital ficam além do necessário. Complementando o perfil de demanda, o consumo de energia elétrica evidencia o mesmo

comportamento sazonal, com um consumo FP aproximadamente 10 vezes maior que o consumo P (verificar o fator de 10 entre as escalas dos dois eixos verticais na figura).

4.3 Consumo de gás liquefeito de petróleo

O GLP é comprado na forma a granel e armazenado em tanques fixos no Hospital, com reabastecimentos aproximadamente a cada 14 dias. A representação do GLP requerido pelo Hospital também é baseada nos dados das faturas de compras desse insumo, referentes ao período de final de maio de 2016 a início de maio de 2017 (dados no Apêndice III). Conforme ilustrado na Figura 4.2, esses dados foram adaptados para se obter uma representação mensal do consumo de GLP ao longo de um ano, com períodos correspondentes aos verificados nas faturas de energia elétrica. Ressalta-se aqui que os meses indicados designam os períodos faturados pela distribuidora de energia elétrica, não exatamente meses reais.

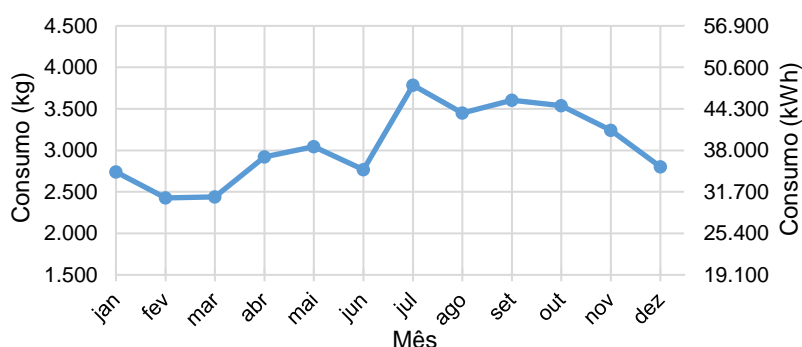


Figura 4.2 – Consumo de GLP ao longo de um ano.

No gráfico apresentado na Figura 4.2, o eixo secundário das ordenadas indica a energia correspondente ao consumo de GLP obtido através do poder calorífico inferior (PCI) desse combustível. Observa-se um comportamento sazonal inverso ao do consumo de energia elétrica, com menor consumo do GLP nos meses mais quentes. Tendo em vista que o GLP é utilizado para fornecer energia térmica, esse perfil de consumo se mostra coerente.

4.4 Sistema de cogeração proposto

Ao propor este estudo, a equipe da Luming sugeriu uma arquitetura específica para o sistema de cogeração, cujos principais elementos a serem instalados são duas microturbinas iguais alimentadas a gás natural (GN) e um refrigerador por absorção (denota-se nesse trabalho o conjunto turbo-gerador apenas como microturbina). Os dados mais importantes dos equipamentos escolhidos são apresentados na Tabela 4.1

Tabela 4.1 – Principais dados dos equipamentos.

Microturbinas ¹		Refrigerador por absorção ²	
Fabricante:	Capstone	Fabricante:	Thermax
Modelo:	C65	Modelo:	ED 10B CU
Potência elétrica nominal (kW):	65	Capacidade de refrigeração (kW):	186
Eficiência elétrica nominal:	28%	(TR):	53
Combustível:	GN	COP:	1,3
Consumo nominal (m ³ /h):	22,7		

¹ Fonte: Capstone, 2018

² Fonte: Luming

Na arquitetura idealizada, GN comprado da Sulgás é fornecido para as microturbinas gerarem energia elétrica. Os gases de exaustão (GE) das microturbinas são primeiramente aproveitados como fonte de calor para o refrigerador por absorção produzir água fria para o

sistema de A/C, sendo em seguida utilizados para produção de água quente através de trocadores de calor nos aquecedores, antes de serem liberados ao ambiente.

A capacidade das microturbinas foi escolhida para que a energia elétrica gerada substituísse a maior parte da energia elétrica comprada da distribuidora. Além disso, esperou-se que a energia térmica dos gases de exaustão fosse suficiente para suprir a demanda de climatização, através do refrigerador por absorção, e a demanda de água quente, fornecendo calor aos reservatórios.

Como consequência, os refrigeradores elétricos e os queimadores de GLP para aquecimento de água atualmente em operação deveriam ser desativados, permanecendo apenas como sistema de *backup*. Os demais consumidores de GLP do Hospital também deveriam ser adaptados para utilização de GN, ocorrendo a substituição entre os combustíveis. A Figura 4.3 ilustra a utilização do sistema de cogeração no Hospital.

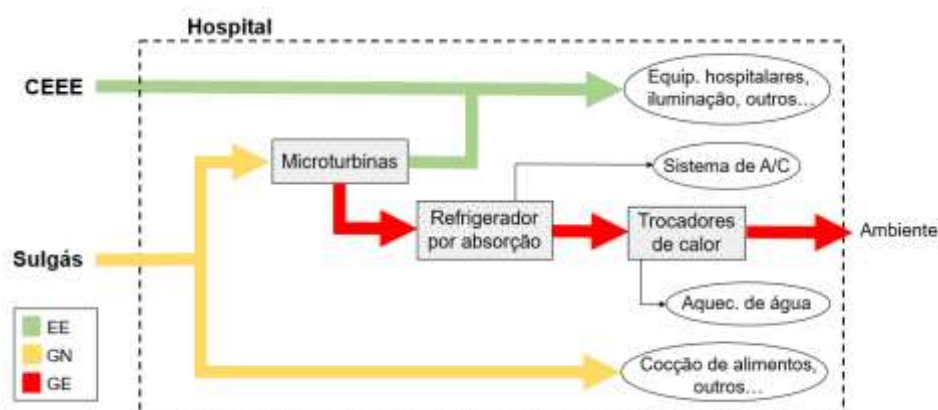


Figura 4.3 – Arquitetura do sistema de cogeração proposto.

A operação do sistema foi planejada com funcionamento das microturbinas em regime nominal sem interrupções, visto que essa é tipicamente a maneira que tende a viabilizar projetos desse tipo no atual cenário brasileiro, segundo equipe da Luming. Dessa forma, a potência elétrica disponibilizada e o estado energético dos gases de exaustão permaneceriam praticamente constantes (com pequenas variações em função das condições ambientais), facilitando a análise.

Ao final, a implantação do sistema de cogeração proposto prevê uma redução da energia elétrica comprada da distribuidora e a eliminação do uso de GLP, ocorrendo por outro lado a introdução de um novo insumo energético, o GN. Com isso, espera-se obter uma redução nos custos com energia do hospital.

5. CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO ATUAL

Para se verificar o impacto da implantação do sistema de cogeração no perfil energético do Hospital, é importante a definição das parcelas de energia elétrica e GLP dispendidas atualmente nos consumidores a serem substituídos: sistema de A/C e aquecedores de água. A Figura 5.1 ilustra a repartição desejada dos insumos energéticos entre os consumidores, cuja obtenção é explicada no restante deste capítulo.

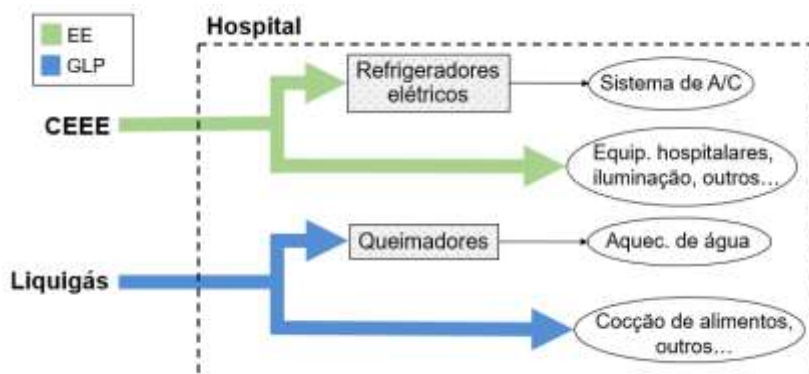


Figura 5.1 – Repartição da energia atualmente consumida pelo Hospital.

5.1 Repartição dos consumidores de energia elétrica

A parcela devida ao A/C no consumo total de energia elétrica foi assumida como sendo a diferença entre os valores das estações quente e fria, uma vez que não houve a entrada ou variação importante de outros consumidores na instalação. Para corroborar a hipótese, a temperatura e o consumo de energia elétrica foram correlacionados utilizando-se os graus dia de refrigeração (GDR). A Figura 5.2 apresenta a correlação entre o consumo de energia elétrica verificado nas faturas mensais e os GDR, utilizando-se dados de temperatura medidos na estação meteorológica do Aeroporto Internacional Salgado Filho, Porto Alegre, RS, obtidos de DegreeDays, 2018, e tomando-se como temperatura base 17 °C.

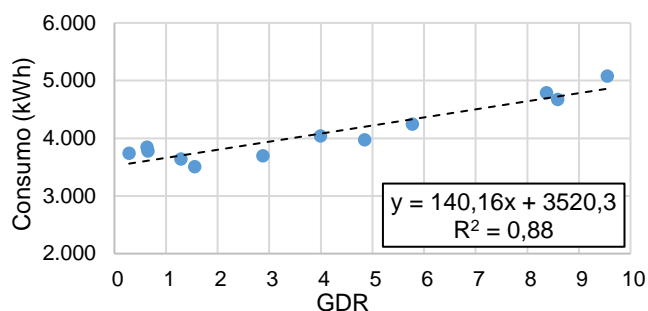


Figura 5.2 – Correlação entre consumo elétrico do Hospital e os GDR com temperatura base de 17 °C para a cidade de Porto Alegre, RS.

A regressão linear obtida apresenta um coeficiente de correlação $R^2 = 0,88$, reforçando a relação do consumo de energia com a temperatura. Dada a hipótese inicial, o consumo de energia elétrica pelo A/C foi estimado multiplicando-se a inclinação da equação da reta obtida pelos GDR de cada mês. O consumo de base do Hospital, associado aos demais equipamentos elétricos, foi estimado multiplicando-se o termo constante da equação pelo número de dias de cada mês. A Figura 5.3 traz a repartição de consumo de energia elétrica obtida com esse procedimento.

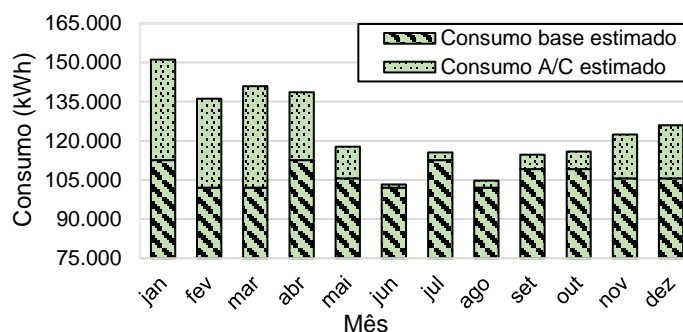


Figura 5.3 – Consumo anual de energia elétrica com divisão de consumidores.

A caracterização construída aponta para um consumo de base praticamente constante, com pequenas variações devidas às diferenças no número de dias em cada período, enquanto que o consumo do A/C experimenta um aumento nos meses mais quentes, quase não aparecendo nos meses mais frios. Para complementar a estimativa de consumo elétrico, foi considerado simplificada que o consumo é proporcionalmente distribuído nos postos horários FP e P.

5.2 Repartição dos consumidores de gás liquefeito de petróleo

Na ausência de dados necessários à determinação da parcela de GLP dispendida para o aquecimento de água, recorreu-se a estimativa usada por Tolmasquin *et al.*, 2003, que considera o consumo de 0,125 m³ de água quente a 60 °C por leito e por dia em hospitais. A estimativa da energia total Q_a para aquecer a água em um mês foi realizada com as Equações 5.1 e 5.2.

$$m_a = V_{cons} n_l n_d \rho_a \quad (5.1)$$

$$Q_a = m_a c_{p_a} (T_q - T_f) \quad (5.2)$$

onde m_a é a massa de água a ser aquecida, V_{cons} é o volume diário de consumo de água quente por leito, n_l é o número de leitos do Hospital, n_d é o número de dias no mês considerado, ρ_a é a densidade da água, c_{p_a} é o calor específico da água, T_q é a temperatura especificada para a água quente e T_f é a temperatura da água fornecida pela companhia de abastecimento, tomada como igual a temperatura de bulbo úmido média ambiental do período analisado, cujos valores constam no Apêndice II. Os resultados da estimativa de repartição mensal do consumo de GLP e energia correspondente são apresentados na Figura 5.4.

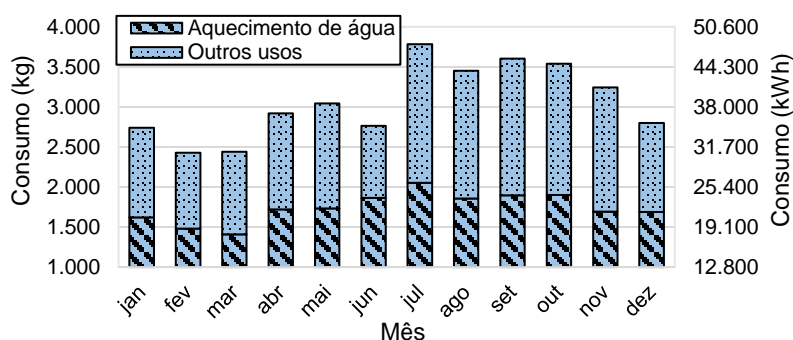


Figura 5.4 – Caracterização do consumo anual de GLP com divisão de consumidores.

Nota-se que o consumo dos aquecedores não varia significativamente, sendo a variação relacionada à diferença de dias em cada período e a variação da temperatura de bulbo úmido média de cada mês.

6. IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE COGERAÇÃO

A partir das premissas dadas na Seção 4.4, foram avaliados os impactos da implantação do sistema de cogeração proposto. Com isso, visou-se à obtenção de um perfil de demanda por insumos energéticos do Hospital caracterizando tal sistema.

6.1 Impactos da cogeração no consumo de energia elétrica

Com o funcionamento das microturbinas gerando energia elétrica continuamente em regime nominal, tem-se que a quantidade de energia elétrica gerada deixa de ser comprada da distribuidora. Juntas, as microturbinas fornecem uma potência elétrica nominal de 130 kW. Dessa potência, deve-se descontar ainda aproximadamente 4 kW para a compressão do GN da rede

até a pressão de operação da turbina. Além disso, a carga originalmente dispendida no sistema de A/C deixa de ser comprada da distribuidora, já que esse sistema passa a ser suprido pelos gases de exaustão das microturbinas através do refrigerador por absorção, conforme detalhado na próxima seção.

6.2 Impactos da cogeração na climatização

Conforme mostrado na Tabela 4.1, o refrigerador por absorção pode gerar até 186 kW (53 TR) para a climatização do Hospital continuamente, aproveitando a vazão mássica total dos gases de exaustão das microturbinas. A potência média máxima requerida pelo sistema de A/C ao longo do ano foi estimada como aproximadamente 169 kW (48 TR), tomando-se o mês de maior consumo e o COP igual a 3 dos refrigeradores elétricos originalmente instalados. Na prática, sendo um valor médio do mês, essa potência de refrigeração deve oscilar em torno desse valor ao longo de um dia, podendo inclusive ultrapassar os 186 kW (53 TR) que o refrigerador por absorção é capaz de entregar. Como a necessidade da média de 169 kW (48 TR) ocorre apenas em um mês do ano, sendo consideravelmente maior que a maioria dos outros meses, o refrigerador por absorção foi considerado capaz de substituir totalmente os equipamentos atualmente instalados, que permanecem como *backup*.

6.3 Impactos da cogeração no aquecimento de água

De acordo com os dados complementares do refrigerador por absorção (Apêndice IV), em regime nominal os gases de exaustão deixam o refrigerador rumo aos trocadores de calor para aquecimento de água a 173 °C, com uma vazão mássica de 0,98 kg/s. A disponibilidade de energia \dot{Q}_{ge} para esse aquecimento é dada por:

$$\dot{Q}_{ge} = \dot{m}_{ge} c_{p_{ge}} (T_e - T_s) \quad (6.1)$$

onde \dot{m}_{ge} é a vazão mássica dos gases de exaustão $c_{p_{ge}}$ é o calor específico desses gases, T_e é a temperatura de entrada no aquecedor e T_s é a temperatura de saída (propriedades dos gases de exaustão conforme Apêndice IV). Sabendo-se que não é recomendado para o trocador de calor com a água que os gases de exaustão fiquem a uma temperatura inferior a aproximadamente T_s igual a 120 °C (recomendação de fornecedores dos trocadores de calor devido a condensação e formação de compostos ácidos, segundo equipe da Luming), obtém-se uma disponibilidade de aproximadamente 57 kW para o aquecimento da água.

Assim, utilizando o mesmo raciocínio do caso do A/C, e os dados da Seção 5.2 e da Figura 5.4, tem-se julho como o mês de maior demanda de energia para o aquecimento de água, necessitando de aproximadamente 26.000 kWh. Isso implica numa potência média de aquecimento de 34 kW nesse mês, bem abaixo do que a calculada como disponível nos gases de exaustão. Também nesse caso, tem-se variações no consumo de água quente ao longo do dia, o que é compensado pelos tanques de acumulação. Dessa forma, foi considerado que os gases de exaustão das turbinas suprem totalmente a necessidade de aquecimento da água (ainda assim, os combustores originais permanecem como *backup*).

7. ANÁLISE FINANCEIRA

7.1 Fluxo de caixa e cenário de análise de investimento

O conjunto de custos que compõem o investimento inicial para a implantação do sistema de cogeração é detalhado na Tabela 7.1, com dados fornecidos pela Luming. Nesse conjunto, constam os preços dos equipamentos principais e complementares necessários, assim como custos de instalação e mão de obra.

Tabela 7.1 – Investimento inicial no sistema de cogeração.

	Quantidade:	Preço unitário (US\$)*:	Preço unitário (R\$):
Microturbina C65	2	108.800,00	-
Refrigerador por absorção	1	88.400,00	-
Compressor	1	27.200,00	-
Torre de resfriamento	1	-	30.000,00
Transformador	1	-	25.000,00
Instalação/mão de obra	-	-	250.000,00

* Equipamentos com preço em dólar são importados e já consideram os impostos de importação

Na avaliação desse investimento, elaborou-se um fluxo de caixa em uma planilha Excel para se chegar nos indicadores apresentados na Seção 2.3: VPL, TIR e *payback* descontado. O período de avaliação do projeto foi de 10 anos, conforme indicação da Luming, e a TMA foi definida como 15% ao ano.

O fluxo de caixa se inicia com uma entrada negativa relativa ao investimento necessário para implantação do sistema de cogeração, atrelado ao preço do dólar. As outras entradas são as diferenças mensais entre os custos com insumos energéticos do Hospital com e sem cogeração, associando-se os aportes de insumos obtidos para essas situações aos preços dos insumos. Como essas diferenças devem representar uma economia mensal, são entradas positivas no fluxo. Ainda, partindo-se dos preços atuais dos insumos no primeiro ano, dados na Tabela 7.2, foram consideradas taxas de variações anuais nos preços de cada um deles.

Tabela 7.2 – Tarifas atuais dos insumos energéticos (maio de 2018).

Energia elétrica ¹		GN ²		GLP ³	
Demanda (R\$/kW):	20,21	Tarifa (R\$/m ³):	1,41	Tarifa (R\$/kg):	6,14
Consumo P (R\$/kWh):	1,48				
Consumo FP (R\$/kWh):	0,32				

¹ Fonte: CEEE, 2017

² Fonte: Sulgás, 2018

³ Fonte: CONFAZ, 2018

Para avaliação do investimento, foi construído um cenário buscando representar a projeção de comportamento do mercado ao longo dos 10 anos avaliados. Esse cenário é caracterizado pela combinação de valores médios históricos atribuídos aos 5 fatores que influenciam no fluxo de caixa montado: preço do dólar, TMA definida e taxas de variação anual do preço de cada um dos 3 insumos.

Para a energia elétrica, dados históricos dos reajustes dos preços praticados pela CEEE entre 2010 e 2018 foram obtidos de ANEEL, 2017. Os dados sobre reajustes do GN foram obtidos dos registros históricos dos preços praticados pela Sulgás entre 2009 e 2018 fornecidos pela Luming. As taxas de variações nos preços do GLP no Rio Grande do Sul entre 2012 e 2018 foram obtidas de Sindigás, 2016. As cotações para o dólar comercial se basearam nas cotações entre 2015 e 2018 obtidas de Uol Economia, 2018. A Tabela 7.3 apresenta os valores obtidos para a caracterização do cenário de análise.

Tabela 7.3 – Cenário de análise do investimento.

VP _{EE} (% a.a.):	VP _{GN} (% a.a.):	VP _{GLP} (% a.a.):	P _{US\$} (R\$/US\$):	TMA (% a.a.):
15	3	8	3,5	15

7.2 Aplicação de projeto de experimentos

Para possibilitar a aplicação da metodologia de projeto de experimentos também foram selecionados dos registros históricos os valores máximos e mínimos para cada um dos fatores. No caso da TMA foi considerado um mínimo de 10% ao ano e um máximo de 20% ao ano. A Tabela 7.4 resume os dados obtidos.

Tabela 7.4 – Níveis selecionados dos fatores.

	VP _{EE} (% a.a.):	VP _{GN} (% a.a.):	VP _{GLP} (% a.a.):	P _{US\$} (R\$/US\$):	TMA (% a.a.):
Mínimo	-20	-10	2	3	10
Médio	15	3	8	3,5	15
Máximo	40	15	15	4	20

Com os 3 níveis de cada um dos 5 fatores é possível a composição de $3^5 = 243$ cenários distintos de avaliação do investimento. Utilizando-se o *software* Minitab, foi gerado um experimento no qual 46 dentre esses 243 cenários foram selecionados aleatoriamente através de um procedimento estatístico do *software* e tiveram os níveis de cada um de seus fatores e as respostas correspondentes em termos de VPL fornecidas ao *software*. Tratando esses dados através de um modelo estatístico, o *software* gerou uma equação simplificada para obtenção do VPL dentro dos limites definidos para os fatores com um grau de confiança de 95% e também demonstrou graficamente a sensibilidade do VPL à variação de cada fator.

8. RESULTADOS

8.1 Aportes de insumos energéticos ao Hospital

A caracterização final da demanda anual por insumos energéticos antes da instalação do sistema de cogeração, resultante das estimativas dadas nas Seções 5.1 e 5.2, é ilustrada na Figura 8.1.

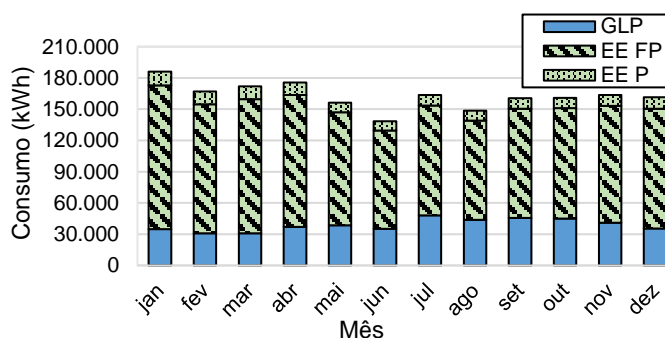


Figura 8.1 – Consumo anual de energia pelo Hospital sem cogeração.

No total, o Hospital é abastecido mensalmente pelas distribuidoras de energia elétrica e GLP com valores aproximadamente entre 185.000 kWh e 140.000 kWh para seu funcionamento. Verifica-se também a preponderância do uso de energia elétrica sobre o uso de GLP. Foi prevista ainda a divisão de consumo de energia elétrica em horas FP e P, importante para a análise financeira realizada.

Partindo do perfil atual de consumo de insumos energéticos pelo Hospital mostrado na Figura 8.1 e das considerações do Capítulo 6, foi obtida a caracterização de como ficaria o perfil de consumo após a implantação do sistema de cogeração proposto. A Figura 8.2 ilustra essa caracterização.

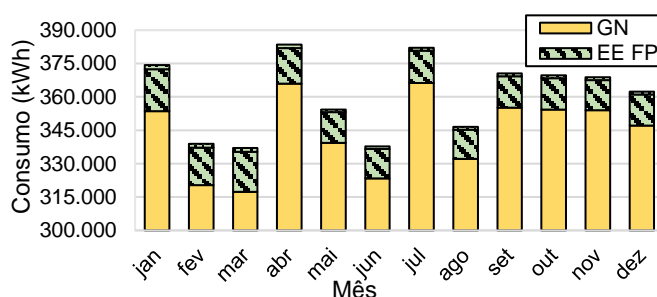


Figura 8.2 – Consumo anual de energia pelo Hospital com cogeração.

Usado majoritariamente como combustível para as microturbinas, o consumo mensal de GN varia aproximadamente entre 320.000 kWh e 365.000 kWh (consumo em unidades de energia obtido através do PCI do combustível), enquanto que a energia elétrica comprada da distribuidora é reduzida para uma variação mensal aproximadamente entre 15.000 kWh e 20.000 kWh.

Verifica-se que sem o sistema de cogeração o Hospital é abastecido mensalmente por uma média de aproximadamente 160.000 kWh, enquanto que com a instalação desse sistema essa média fica acima de 360.000 kWh. Assim, é possível se questionar a implantação do projeto proposto sob o ponto de vista do uso de energia e seu impacto ambiental. Porém, simplesmente verificar esses números não leva a conclusões significativas a esse respeito, sendo necessário um estudo aprofundado considerando tais impactos desde a extração ou produção a partir de recursos naturais, até o uso final dos recursos energéticos, o que não é o escopo desse trabalho.

8.2 Análise financeira

As Figuras 8.3 (a) e (b) mostram o custo anual do Hospital com insumos energéticos sem e com cogeração, respectivamente, considerando os gráficos das Figuras 8.1 e 8.2 e os preços dos insumos dados na Tabela 7.2.

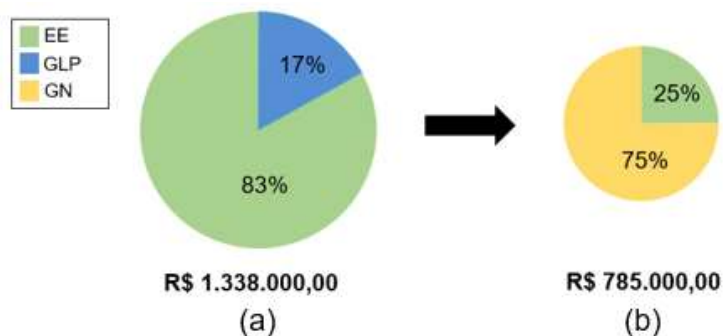


Figura 8.3 – Custo anual com insumos energéticos (a) sem cogeração e (b) com cogeração.

Na comparação estabelecida, instalando-se o sistema de cogeração, em um ano as despesas com insumos energéticos reduzem aproximadamente R\$ 550.000,00, apesar do maior aporte de energia para o estabelecimento. Isso pode ser verificado através do cálculo dos preços médios do kWh para cada insumo, ilustrados na Tabela 8.1.

Tabela 8.1 – Preço médio do kWh por insumo energético.

	EE	GLP	GN
Preço (R\$/kWh):	0,87	0,48	0,14

Esses resultados confirmam a motivação inicial de se fazer a análise de investimento no sistema de cogeração. Através do fluxo de caixa elaborado (Apêndice A.V), obtiveram-se os indicadores do investimento do cenário avaliado, mostrados na Tabela 8.2.

Tabela 8.2 – Indicadores do investimento para o cenário avaliado.

<i>Payback</i> descontado:	VPL (R\$):	TIR (% a.a.):
2 anos e 8 meses	5.152.617,00	69,5

O *payback* descontado obtido indica o retorno do investimento em um período mais de 7 anos menor do que os 10 anos considerados para o projeto. O VPL resultante foi maior do que R\$ 5.000.000,00, correspondendo a um valor maior do que 3 vezes o investido, de aproximadamente R\$ 1.500.000,00 nesse cenário. A TIR calculada de 69,5% ao ano também superou a TMA definida a 15% ao ano.

Com a aplicação da metodologia de projeto de experimentos ao fluxo de caixa, obteve-se a Equação 8.1 para o cálculo facilitado do VPL.

$$\begin{aligned}
 VPL = & 4286111 + 554270 VP_{EE} - 220676 VP_{GN} + 105815 VP_{GLP} + 629769 P_{US\$} + \\
 & - 451478 TMA + 7216 VP_{EE}^2 - 3123 VP_{GN}^2 + 630 VP_{GLP}^2 - 137567 P_{US\$}^2 + \\
 & + 11759 TMA^2 - 22463 VP_{EE} TMA + 7200 VP_{GN} TMA - 3624 VP_{GLP} TMA
 \end{aligned} \quad (8.1)$$

onde VP_{EE} , VP_{GN} e VP_{GLP} são as variações anuais dos preços de energia elétrica, GN e GLP, respectivamente, $P_{US\$}$ é o preço do dólar e TMA é a Taxa Mínima de Atratividade. Essa equação permite se obter o VPL sem a utilização de um fluxo de caixa. A Figura 8.4 ilustra outro resultado obtido do projeto de experimentos.

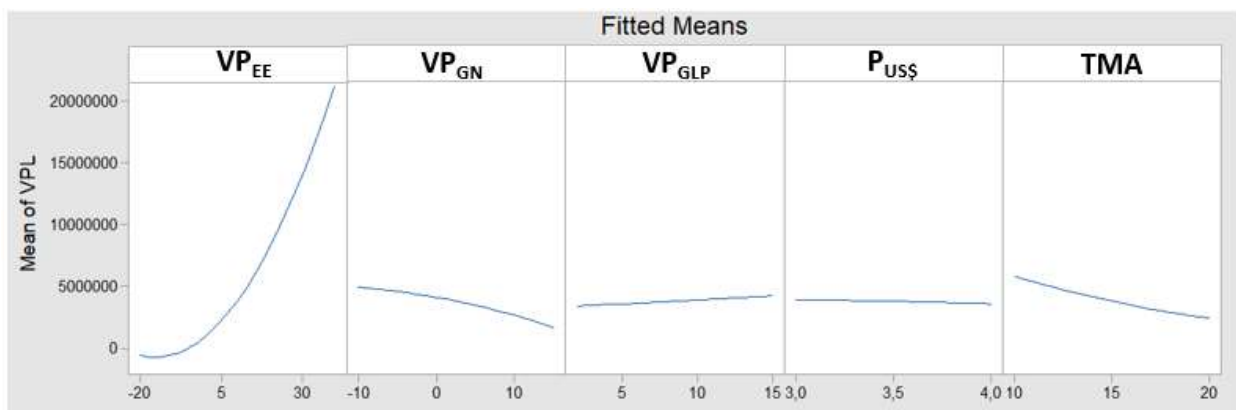


Figura 8.4 – Sensibilidade do VPL à variação de cada fator.

Cada gráfico na Figura 8.4 analisa a sensibilidade do VPL a um diferente fator. Fica evidente que o reajuste no preço da energia elétrica é o fator preponderante na determinação do VPL. A leve inclinação nos gráficos referentes à TMA e aos reajustes do GN também indicam uma certa sensibilidade inversamente proporcional do VPL a esses fatores. Já os reajustes de preços do GLP e o preço do dólar relativamente não afetam muito a resposta do problema. Esses gráficos também servem para se ter uma ideia do nível de cada fator para se obter o VPL máximo.

9. CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi analisada a proposta de instalação de um sistema de cogeração em um hospital de Porto Alegre, buscando verificar seu funcionamento e a diferença na demanda do hospital por insumos energéticos em relação a sua situação atual. Essa proposta foi motivada pela perspectiva de redução dos custos de operação dos sistemas energéticos do Hospital. Por isso, realizou-se ainda uma avaliação da viabilidade do investimento no sistema de cogeração através da obtenção dos indicadores VPL, TIR e *payback* descontado.

Os resultados apresentados cumprem o objetivo geral da análise preliminar de viabilidade técnica e econômica proposta. Com relação à parte técnica, os perfis de consumo anuais sem e com o sistema de cogeração foram caracterizados, demonstrando as substituições energéticas obtidas. Verificou-se que no segundo caso é necessário um aporte consideravelmente maior de energia ao Hospital. No entanto, os três indicadores de investimento resultantes do cenário construído indicaram a viabilidade do empreendimento, concluindo-se que a instalação do sistema de cogeração deve resultar em um alto retorno financeiro para o Hospital, em termos de economia na operação de seus sistemas energéticos.

A utilização da metodologia de projeto de experimentos também se mostrou capaz de oferecer resultados úteis para uma análise desse tipo. Além da obtenção de uma equação para cálculo direto do VPL, de modo que outros cenários de interesse possam ser facilmente avaliados, ela permitiu concluir que a variação no preço da energia elétrica é o fator mais significativo na viabilização do projeto.

Por fim, ressalta-se que os resultados expostos não devem justificar por si só a instalação do sistema de cogeração, já que se tratou apenas de uma análise preliminar. A indicação de viabilidade obtida sugere que a realização de um estudo mais aprofundado é recomendável. Em todo caso, a importância de uma análise preliminar como a apresentada fica evidente através dos resultados alcançados.

REFERÊNCIAS

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016. **Postos tarifários**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/alta-tensao/-/asset_publisher/zNaRBjCLDgbE/content/alta-tensao/654800?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Falta-tensao%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_zNaRBjCLDgbE%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mo>. Acesso em: 20 Maio 2018.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2017. **Resultado dos processos tarifários de distribuição**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/resultado-dos-processos-tarifarios-de-distribuicao>>. Acesso em: 27 Abril 2018.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2018. **Geração distribuída**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>>. Acesso em: 26 Maio 2018.

ASQ - AMERICAN SOCIETY FOR QUALITY, 2018. **What is Design of Experiments (DOE)?**. Disponível em: <<http://asq.org/learn-about-quality/data-collection-analysis-tools/overview/design-of-experiments.html>>. Acesso em: 05 Junho 2018.

CAPSTONE, 2018. **C65 specifications**. Disponível em: <<https://www.capstoneturbine.com/products/c65>>. Acesso em: 02 Abril 2018.

CEEE - COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2017. **Tabela de Tarifas - Grupo A**. 2017. Disponível em: <http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Archives/Upload/Tabela_de_Tarifas_do_Grupo_A_63123.pdf>. Acesso em: 10 Maio 2018.

COGEN - ASSOCIAÇÃO DA INDÚSTRIA DE COGERAÇÃO DE ENERGIA, 2018. **Evolução da cogeração no Brasil**. Disponível em: <<http://www.cogen.com.br/cogeracao/cogeracao-no-brasil/biomassa>>. Acesso em: 1 Junho 2018.

CONFAZ - CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA FAZENDÁRIA, 2018. **Ato COTEPE/PMPF 9/18 - Preço médio ponderado ao consumidor final de combustíveis**. Disponível em: <https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/atos-pmpf/2018/pmpf009_18>. Acesso em: 13 Maio 2018.

DEGREEDAYS, 2018. **Custom degree day data**. Disponível em: <<http://www.degreedays.net/>>. Acesso em: 20 Março 2018.

ENERGYLENS, 2018. **Degree days**. Disponível em: <<http://www.energylens.com/articles/degree-days#what>>. Acesso em: 18 Março 2018.

GONZALES, R., NEBRA, S.A., WALTER, A.C. (2004). **Cogeração com gás natural: metodologia de seleção e avaliação econômica para um hospital**. Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. [S.l.]: [s.n.].

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2018. **BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 2 Março 2018.

ISA, N.M., DAS, H.S., TAN, C.W., YATIM, A.H.M., LAU, K.Y. (2016). **A techno-economic assessment of a combined heat and power photovoltaic/fuel cell/battery energy system in Malaysia hospital**. Energy, v. 112, p. 77-90.

LARA, G.S., JUNIOR, A.R.S., ARAÚJO, W.R., MOREIRA, S.G., NISHIMURA, R., TORRES, R.D., MINARI, R.C. (2007). **A utilização de microturbina a gás natural como cogeração**. Congresso Brasileira de Eficiência Energética. [S.l.]: [s.n.].

MATELLI, J.A., FRANCISCO, R.W., BAZZO, E. (2004) **Simulação de um sistema de cogeração em pequena escala aplicado no hospital universitário da UFSC**. Encontro Nacional de Ciências Térmicas. [S.l.]: [s.n.].

SINDIGÁS, 2016. **Evolução do preço do GLP**. Disponível em: <http://www.sindigas.org.br/novosite/?page_id=3020>. Acesso em: 28 Abril 2018.

SOARES, F. (2013). **Análise Econômica do Gás Natural**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SULGÁS, 2018. **Tabela de preços - Comercial - Cogeração, climatização e geração em horário de ponta**. Disponível em: <<http://www.sulgas.rs.gov.br/sulgas/comercial/tabela-de-precos>>. Acesso em: 15 Maio 2018.

TEKE, A., ZOR, K., TIMUR, O. (2015) **A simple methodology for capacity sizing of cogeneration and trigeneration plants in hospitals: A case study for a university hospital**. Journal of Renewable and Sustainable Energy.

TOLMASQUIN, M., SKZLO, A., SOARES, J. (2003). **Mercado de Gás Natural na Indústria Química e no Setor Hospitalar do Brasil**. [S.l.]: Rio de Janeiro: Editora Sinergia.

UOL ECONOMIA, 2018. **Câmbio dólar comercial**. Disponível em: <<https://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/dolar-comercial-estados-unidos>>. Acesso em: 25 Abril 2018.

APÊNDICE I

Tabela A.I - Principais dados das faturas de energia elétrica*.

Mês de referência:	Período:	Demanda contratada (kW):	Demanda FP (kW):	Demanda P (kW):	Demanda faturada (kW):	Consumo FP (kWh):	Consumo P (kWh):
jun/16	12/05/16 - 09/06/16	400	260	219	400	99.034	9.532
jul/16	10/06/16 - 11/07/16	400	283	224	400	112.704	10.381
ago/16	12/07/16 - 09/08/16	400	274	232	400	100.090	9.576
set/16	10/08/16 - 09/09/16	400	258	220	400	102.720	10.264
out/16	10/09/16 - 10/10/16	400	263	216	400	99.110	9.685
nov/16	11/10/16 - 09/11/16	400	298	256	400	110.861	10.468
dez/16	10/11/16 - 09/12/16	400	305	238	400	109.086	10.238
jan/17	10/12/16 - 10/01/17	400	359	277	400	137.211	12.338
fev/17	11/01/17 - 08/02/17	400	336	267	400	126.912	12.008
mar/17	09/02/17 - 09/03/17	400	356	296	400	134.658	12.705
abr/17	10/03/17 - 10/04/17	400	333	253	400	123.583	12.252
mai/17	11/04/17 - 10/05/17	400	313	247	400	101.380	9.536

*Fonte: Luming

APÊNDICE II

Tabela A.II - Caracterização dos meses analisados.

Mês:	Nº de dias:	Nº de horas FP:	Nº de horas P:	Temp. de bulbo seco média (°C)*:	Umidade relativa média (%)*:	Temp. de bulbo úmido média (°C):
jan	32	702	66	26	81	22
fev	29	633	63	25	83	22
mar	29	636	60	27	81	23
abr	32	702	66	23	80	20
mai	30	663	57	19	72	17
jun	29	636	60	14	75	12
jul	32	702	66	13	70	12
ago	29	633	63	14	73	12
set	31	678	66	16	72	14
out	31	681	63	17	77	14
nov	30	660	60	21	76	18
dez	30	657	63	21	79	18

* Fonte: INMET, 2018

Tabela A.III - Principais dados das faturas de GLP*.

Data da compra:	Nº de dias entre compras:	Quantidade (kg):
12/05/2016	-	1.340
25/05/2016	13	1.304
09/06/2016	15	1.700
23/06/2016	14	1.648
07/07/2016	14	1.564
21/07/2016	14	1.750
04/08/2016	14	1.621
18/08/2016	14	1.650
01/09/2016	14	1.600
15/09/2016	14	1.635
29/09/2016	14	1.555
13/10/2016	14	1.530
27/10/2016	14	1.490
10/11/2016	14	1.362
24/11/2016	14	1.267
08/12/2016	14	1.205
22/12/2016	14	1.235
05/01/2017	14	1.102
19/01/2017	14	1.200
01/02/2017	13	1.120
16/02/2017	15	1.200
02/03/2017	14	1.255
16/03/2017	14	1.232
29/03/2017	13	1.240
12/04/2017	14	1.340
27/04/2017	15	1.515
10/05/2017	13	1.350

*Fonte: Luming

APÊNDICE IV

Tabela A.IV - Dados complementares de operação do refrigerador por absorção*.

Circuito de fornecimento de calor ao refrigerador:	
Vazão mássica dos gases de exaustão em carga de projeto (kg/s):	0,98
Calor específico médio dos gases de exaustão (kJ/kg °C):	1,11
Temperatura de entrada dos gases de exaustão em carga de projeto (°C):	309
Temperatura de saída dos gases de exaustão em carga de projeto (°C):	173

*Fonte: Luming

APÊNDICE V

Tabela A.V – Demonstração do fluxo de caixa para o cenário de avaliação do investimento.

Período (ano):	Valor de entrada (R\$):	Observações:
0	-1.471.200,00	Investimento inicial
1	514.472,31	Economia com insumos energéticos
2	558.785,23	
3	597.921,62	
4	632.455,28	
5	662.898,08	
6	689.706,55	
7	713.287,79	
8	734.004,72	
9	752.180,79	
10	768.104,21	
Valor presente líquido	5.152.617,00	