

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS GOIÂNIA/DEPARTAMENTO IV
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

FERNANDA CARDOSO DE ANDRADE SANTOS

PROPOSTA DE AÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA:
Estudo de Caso na Prefeitura Municipal de Varjão-Goiás

Goiânia, 2019.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo da Autora: Fernanda Cardoso de Andrade Santos

Matrícula: 20171011060268

Título do Trabalho: Proposta de Ações de Eficiência Energética: Estudo de Caso na Prefeitura Municipal de Varjão-Goiás

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no ReDi/IFG: 12/08/2019

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☒ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

A referida autora declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia, 09/08/2019.
Local Data

Fernanda Cardoso de Andrade Santos

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

FERNANDA CARDOSO DE ANDRADE SANTOS

PROPOSTA DE AÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA:
Estudo de Caso na Prefeitura Municipal de Varjão-Goiás

Monografia apresentada ao curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás como requisito parcial para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. José Luis Domingos.

Goiânia, 2019.

Sa596p Santos, Fernanda Cardoso de Andrade.
Proposta de ações de eficiência energética: estudo de caso na Prefeitura Municipal de Varjão
–Goiás / Fernanda Cardoso de Andrade Santos. – Goiânia: Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia, 2019.
57 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. José Luis Domingos.

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica,
Departamento de Áreas Acadêmicas IV, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Goiás, Câmpus Goiânia.

1. Eficiência energética. 2. Energia elétrica. 3. Iluminação. I. Domingos, José Luis
(orientador). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.
III. Título.

CDD 621.312

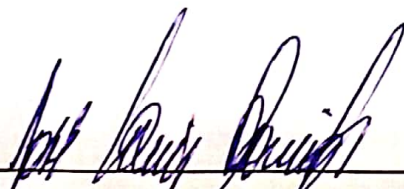
Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Karol Almeida da Silva Abreu CRB1/ 2.740
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.

FERNANDA CARDOSO DE ANDRADE SANTOS

PROPOSTA DE AÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA:
Estudo de Caso na Prefeitura Municipal de Varjão-Goiás

Monografia apresentada ao curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás como requisito parcial para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Elétrica. Linha de pesquisa: Eficiência Energética.

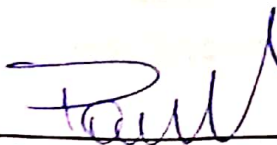
Goiânia, 09 de julho de 2019.



Prof.: Dr. José Luis Domingos (Orientador)



Prof.: Dr. Arquimedes Lopes da Silva



Prof.: Me. Paulo César Bezerra Bastos

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida, saúde e oportunidade de cursar Bacharelado em Engenharia Elétrica no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. Eternamente grata a Deus por me oferecer coragem para superar as dificuldades. Sem Deus nada seria possível.

Ao meu amado esposo, Edmar Vieira Santos Cardoso por ser um companheiro atencioso e conselheiro. Muito obrigada Edmar, pelo amor, apoio absoluto e por sempre me motivar e incentivar desde o início.

A minha amada mãe, Alcione Terezinha Cardoso pela educação, por me ensinar a estudar, pelo amor e apoio. Muito obrigada mãe.

As minhas amadas irmãs, Caroline Cardoso de Andrade Ribeiro e Elizabeth Cardoso de Andrade, por serem companheiras e por me apoiarem.

Ao meu orientador, professor Dr. José Luis Domingos, pela sua disponibilidade, pelos seus ensinamentos e incentivos para eu pudesse alcançar meus objetivos e prosseguir nos estudos. Muito obrigada professor José Luis.

Aos meus familiares, tio William Gomes de Andrade e tia Sandra Aparecida Cardoso, por serem como pai e mãe para mim e por me apoiarem em tudo. Muito obrigada tio William e tia Sandra.

Aos meus familiares, tia Lúcia Helena Alves Carvalho, tia Delza Alves Carrijo e prima Denise Alves Lopes, pelo incentivo, apoio e por me acolherem na casa de vocês sempre que eu precisasse. Muito obrigada tia Lúcia, tia Delza e prima Denise.

Aos meus familiares, tio Edvan José da Silva, tia Daiana Aparecida Rosa de Oliveira e prima Geovanna Oliveira Silva, pelo apoio e por me acolherem na casa de vocês no primeiro período da faculdade. Muito obrigada tio Edvan, tia Daiana e prima Geovanna.

A minha sogra Heliene Vieira da Silva, pelo apoio e incentivo absoluto. Muito obrigada minha sogra.

Aos meus avós, avó Maria Terezinha Cardoso, avó Milma Gomes de Andrade, avô Sebastião Luis da Silva e avô Alencar Vieira de Sousa, por sempre me motivarem.

Ao meu amado pai, Wildson Gomes de Andrade pela minha educação, pelos ensinamentos bíblicos e por me ensinar a acreditar em Deus. Obrigada pai.

Ao meu padrasto, Wellington Geraldo Barbosa, pelo apoio e incentivo.

A toda minha família que sempre me motivou a estudar.

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração.

Aos meus colegas de faculdade pela troca de conhecimentos ao longo do curso.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha carreira acadêmica, o meu muito obrigado.

RESUMO

O objetivo do trabalho é apresentar estudos de viabilidade técnica e econômica de Ações de Eficiência Energética (AEE) no Serviço Público. Através da análise dos procedimentos previstos no âmbito dos Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é realizado um estudo de caso para os sistemas de iluminação e de condicionamento ambiental das edificações públicas selecionadas da cidade de Varjão-Goiás (Varjão-GO). As AEE referem-se a troca de lâmpadas incandescentes e fluorescentes por lâmpadas de tecnologia a Led. E a substituição dos aparelhos de ar-condicionados atuais por aparelhos energeticamente eficientes. A partir do levantamento dos dados do sistema atualmente instalado e analisando o sistema proposto é avaliada a Energia Economizada (EE) e a Redução de Demanda na Ponta (RDP) no decorrer de um ano. Através do estudo realizado obtém-se o parâmetro econômico Relação Custo Benefício (RCB) onde é possível concluir que as AEE propostas são consideradas técnicas e economicamente viáveis no âmbito do PROPEE. O trabalho também abrange estudos de análise de investimento econômico, considerando o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o *Payback*. E através dos métodos de investimento conclui-se que a implementação do projeto de Eficiência Energética proposto é viável economicamente.

Palavras-Chave: Eficiência energética; Iluminação; Condicionamento ambiental.

ABSTRACT

The objective of this work is to present technical and economic feasibility studies of Energy Efficiency Actions (AEE) in the Public Service. Through an analysis of the procedures provided for in the Energy Efficiency Program Proceedings (PROPEE) of the National Electricity Agency (ANEEL), a case study is carried out for the lighting and environmental conditioning systems of selected public buildings in the city of Varjão-Goiás (Varjão-GO). The AEE refer to the replacement of incandescent and fluorescent lamps with LED technology lamps. And the replacement of the current air conditioners with energy-efficient appliances. From the data collection of the currently installed system and analyzing the proposed system, the Energy Savings (EE) and Demand Demand Reduction (RDP) are evaluated over the course of a year. The economic parameter Cost Benefit Ratio (RCB) is obtained through the study, where it is possible to conclude that the proposed AEE are considered to be technically and economically feasible within the scope of PROPEE. The study also covers economic investment analysis studies, considering Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) and Payback. And through the investment methods it is concluded that the implementation of the proposed Energy Efficiency project is economically feasible.

Keywords: Energy efficiency. Lighting. Environmental conditioning.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Etapas do PEE.	18
Figura 2. Etiqueta Nacional de Conservação de Energia.	21
Figura 3: Selo PROCEL.	22
Figura 4: Foto da cidade de Varjão-GO.....	33
Figura 5: Edificação da Prefeitura Municipal de Varjão-GO.	34
Figura 6: Edificação do Centro Municipal de Educação Infantil Maria Isabel Arantes.	34
Figura 7: Edificação do Programa Saúde Família.	34
Figura 8: Edificação da Escola Municipal Gilberto Pereira Machado.	35
Figura 9: Lâmpada vapor de mercúrio na edificação da Prefeitura Municipal de Varjão-GO.	36
Figura 10: Lâmpada tubular fluorescente na edificação do Programa Saúde da Família.....	36
Figura 11: Lâmpada fluorescente compacta na edificação do Centro Municipal de Educação Infantil.....	37
Figura 12: Lâmpada fluorescente compacta na edificação da Escola Municipal Gilberto Pereira Machado.....	37
Figura 13: Classificação das lâmpadas do sistema atual.	39
Figura 14: Classificação das lâmpadas do sistema proposto.....	42
Figura 15: Ar condicionado tipo janela na edificação do Programa Saúde da Família.	43
Figura 16: Ar condicionado tipo janela na edificação da Prefeitura Municipal de Varjão-GO.	43
Figura 17: Ar condicionado na edificação da Prefeitura Municipal de Varjão-GO.....	44
Figura 18: Etiqueta de ar condicionado tipo <i>split</i> na edificação da Prefeitura Municipal de Varjão-GO.	44
Figura 19: Classificação dos aparelhos de ares-condicionados do sistema atual.....	45
Figura 20: Fluxo de caixa no decorrer da vida útil do projeto.	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Análise luminotécnica para cada ambiente.	23
Tabela 2: Dados para o sistema de iluminação atual.	24
Tabela 3: Dados para o sistema de iluminação proposto.	24
Tabela 4: Dados para o condicionamento ambiental atual.	25
Tabela 5: Dados para o condicionamento ambiental proposto.	25
Tabela 6: Constantes de perdas em função do fator de carga.	28
Tabela 7: Constantes de perdas.	35
Tabela 8: Tarifas de energia.	35
Tabela 9: Custos.	36
Tabela 10. Total de pontos de iluminação.	37
Tabela 11: Tipos de lâmpadas.	38
Tabela 12: Potência Instalada em kW do sistema de iluminação.	39
Tabela 13: Energia Consumida em MWh/ano pelo sistema de iluminação.	40
Tabela 14: Demanda média na ponta do sistema atual e do sistema proposto.	40
Tabela 15: Custos para implementação do sistema proposto de iluminação de acordo com o PROPEE.	41
Tabela 16: Parâmetros necessários para o cálculo do custo anualizado total do sistema proposto.	42
Tabela 17: Classificação dos aparelhos de ares-condicionados do sistema atual.	45
Tabela 18: Potência instalada em kW do condicionamento ambiental.	46
Tabela 19: Energia consumida em MWh/ano pelos sistemas de ar condicionado.	46
Tabela 20: Custos para implementação do sistema proposto de ar condicionado de acordo com o PROPEE.	47
Tabela 21: Custos dos aparelhos de ar condicionado tecnologia split inverter.	48
Tabela 22: RCB global estimado.	48
Tabela 23: Dados necessários para o fluxo de caixa.	49
Tabela 24: Fluxo de caixa determinado do ano 0 ao 3.	50
Tabela 25: Fluxo de caixa determinado do ano 4 ao 6.	50
Tabela 26: Fluxo de caixa determinado do ano 7 ao 9.	51
Tabela 27: Fluxo de caixa determinado do ano 10 ao 12.	51
Tabela 28: Fluxo de caixa determinado do ano 13 ao 15.	51
Tabela 29: Resultados dos métodos de análise de investimento.	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEE	Ações de Eficiência Energética
ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
CPP	Chamada Pública de Projetos
EfE	Eficiência Energética
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial
LED	Diodo Emissor de Luz
M&V	Medição e Verificação
MME	Ministério de Minas e Energia
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PEE	Programa de Eficiência Energética
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PNE 2030	Plano Nacional de Energia
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROPEE	Procedimentos do Programa de Eficiência Energética
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e Custódia
TE	Tarifa de Energia Consumida
TUSD	Tarifa de Utilização de Serviços de Distribuição
Varjão-GO	Varjão-Goiás

LISTA DE PARÂMETROS

BAt	Benefício anualizado total (R\$/ano)
C_1	Custo unitário do sistema de distribuição no horário de ponta (R\$/MWh)
C_2	Custo unitário do sistema de distribuição no horário fora de ponta (R\$/MWh)
C_3	Custo unitário da energia no horário de ponta (R\$/MWh)
C_4	Custo unitário da energia no horário fora de ponta (R\$/MWh)
CA_n	Custo anualizado de cada equipamento (R\$/ano)
CA _T	Custo anualizado total (R\$/ano)
CED	Custo evitado de demanda (R\$/kW)
CEE	Custo evitado de energia (R\$/MWh)
CE_n	Custo de cada equipamento (R\$)
CE_T	Custo total em equipamentos (R\$)
CT	Custo total do projeto (R\$)
cv	Coeficiente de variação
Da	Demanda média na ponta total do sistema atual (kW)
Da_n	Demanda média na ponta do sistema atual tipo n (kW)
Dp	Demanda média na ponta total do sistema proposto (kW)
Dp_n	Demanda média na ponta do sistema proposto tipo n (kW)
e	Nível de precisão
Ea	Energia consumida total do sistema atual (MWh/ano)
Ea_n	Energia consumida do sistema atual tipo n (MWh/ano)
EE	Economia de energia (MWh/ano)
Ep	Energia consumida total do sistema proposto (MWh/ano)
Ep_n	Energia consumida do sistema proposto tipo n (MWh/ano)
Fc	Fator de carga do segmento elétrico
$FCPa_n$	Fator de coincidência na ponta do sistema atual tipo n
$FCPp_n$	Fator de coincidência na ponta do sistema proposto tipo n
FRC_u	Fator de recuperação do capital para u anos
ha_n	Horas de funcionamento anual do sistema atual tipo n (h/ano)
hfp	Número de horas fora da ponta em um mês (h/ano)
hp	Número de horas da ponta em um mês (h/ano)
hp_n	Horas de funcionamento anual do sistema proposto tipo n (h/ano)
i	Taxa de desconto

LE_1	Constante de perda de energia no posto de ponta de períodos secos considerando 1 kW de perda de demanda no horário de ponta
LE_2	Constante de perda de energia no posto de ponta de períodos úmidos considerando 1 kW de perda de demanda no horário de ponta
LE_3	Constante de perda de energia no posto de ponta de períodos secos considerando 1 kW de perda de demanda no horário fora de ponta
LE_4	Constante de perda de energia no posto de ponta de períodos úmidos considerando 1 kW de perda de demanda no horário fora de ponta
LP	Constante de perda de demanda no posto fora de ponta, considerando 1kW de perda de demanda no horário de ponta
N	Tamanho da população
n	Tamanho reduzido da amostra
n_0	Tamanho da amostra inicial
pa_n	Potência do aparelho atual tipo n (kW)
Pa_n	Potência instalada dos aparelhos atuais tipo n (kW)
pp_n	Potência do aparelho proposto tipo n (kW)
Pp_n	Potência instalada dos aparelhos propostos tipo n (kW)
Pra_n	Potência de refrigeração do equipamento de ar-condicionado atual tipo n (btu/h)
Prp_n	Potência de refrigeração do equipamento de ar-condicionado proposto tipo n (btu/h)
qa_n	Quantidade de equipamentos do sistema atual tipo n
qp_n	Quantidade de equipamentos do sistema proposto tipo n
RCB	Relação custo benefício
RDP	Redução de demanda na ponta (kW)
u	Vida útil dos equipamentos (anos)
z	Distribuição normal padrão

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. CONTEXTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL	17
2.1 PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (PEE)	17
2.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS	22
3. METODOLOGIA	23
3.1 ANÁLISE LUMINOTÉCNICA E ANÁLISE DA POTÊNCIA DE REFRIGERAÇÃO.....	23
3.2 DIRETRIZES SELECIONADAS DOS PROCEDIMENTOS DO PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	23
3.2.1 Cálculo da RDP e EE	24
3.2.2 Cálculo da Viabilidade Econômica do Projeto de Eficiência Energética	27
3.3 MÉTODOS DE ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE INVESTIMENTO.....	30
3.3.1 Valor Presente Líquido	30
3.3.2 Método da Taxa Interna de Retorno.....	31
3.3.3 <i>Payback</i>	32
3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
4. RESULTADOS.....	33
4.1 ESTIMATIVA DO CUSTO EVITADO DE ENERGIA E CUSTO EVITADO DE DEMANDA	35
4.2 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	36
4.3 CONDICIONAMENTO AMBIENTAL	43
4.4 RCB GLOBAL	48
4.5 ANÁLISE DE INVESTIMENTO	49
4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
5. CONCLUSÃO	54
REFERÊNCIAS.....	56

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica é a fonte de alimentação utilizada nos equipamentos eletroeletrônicos. Por conta disso as tecnologias dependem de constante avanço e/ou aperfeiçoamento para que seu uso se torne eficaz. Neste sentido, o estudo da Eficiência Energética (EfE) dos equipamentos e/ou dispositivos eletroeletrônicos tem sido tema de projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) em todo o mundo.

Usar a eletricidade de forma eficaz significa buscar o uso dos equipamentos da forma mais eficiente possível, ou seja, buscar o maior efeito útil minimizando as perdas de energia. Quando ocorre transformação de energia, como por exemplo, energia mecânica em energia elétrica há perdas no processo de conversão. Então, podem-se definir como Ações de Eficiência Energética (AEE) toda e qualquer ação que promova a redução do consumo de energia, mantendo o mesmo ou melhor nível de serviço prestado, podendo resultar ainda em aumentos de lucratividade e economia associados à melhoria da qualidade e da confiabilidade dos processos.

Os aspectos relacionados com o uso racional de recursos, principalmente água e energia, aumentaram em termos de importância, em função da demanda cada vez mais crescente e de suas limitadas fontes. Dessa forma, ações e movimentos da sociedade progridem na direção do aumento da eficiência dos diversos processos usados no dia a dia da população mundial (MOREIRA, 2017).

O principal objetivo da EfE é utilizar equipamentos com menores perdas possíveis, para menor desperdício de energia. A tecnologia sem dúvida ajuda as AEE, e é necessário buscar alternativas que possuem as principais transformações de energia em efeito útil.

No Brasil as empresas concessionárias e permissionárias distribuidoras de energia elétrica são obrigadas por lei a investir em P&D e no Programa de Eficiência Energética (PEE). O mais recente uso destes recursos financeiros está operacionalizado por meio da Chamada Nº 001/2016 Projeto Prioritário de Eficiência Energética e Estratégico de P&D: "Eficiência Energética e Minigeração em Instituições Públicas de Educação Superior" da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em que o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás foi contemplado por meio de projeto submetido, aprovado e em execução em parceria com a então CELG Distribuição, atual ENEL Distribuição Goiás. Este projeto

praticamente deixará o IFG auto-suficiente no que tange à demanda por energia elétrica.

Em 2013 a ANEEL aprovou os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE) através da publicação da Resolução Normativa 556/2013, com isso tornaram obrigatórias as Chamadas Públicas de Projetos (CPP), além de priorizar os investimentos em EfE e englobar projetos que possuem fontes incentivadas de energia junto as AEE. O PROPEE é um guia determinativo de procedimentos dirigido às distribuidoras, para elaboração e execução de projetos de EfE regulados pela ANEEL (ANEEL, 2014).

Neste contexto, é realizada a presente proposta de projeto de pesquisa que tem por objetivo realizar estudos que contribuam para diagnosticar e avaliar a viabilidade econômica de AEE no Serviço Público, caracterizados por projetos realizados nos sistemas de iluminação e de condicionamento ambiental nas edificações da Prefeitura Municipal de Varjão/GO.

Esse estudo se justifica, pois, os profissionais da área de engenharia são os responsáveis pelos estudos e desenvolvimento dos projetos a serem apresentados às distribuidoras de energia elétrica que operacionalizam e financiam a implementação dos projetos de EfE no âmbito do PROPEE. Deste modo, desenvolver estudos nesta temática conduz a uma melhor formação profissional, além de buscar o uso eficiente dos recursos naturais no que tange à geração e uso da energia elétrica. Isto contribui para o desenvolvimento regional e colabora com todo o sistema nacional de geração e distribuição de energia elétrica. Além de cooperar com o desenvolvimento tecnológico quando são avaliados e utilizados equipamentos e/ou dispositivos eletroeletrônicos com características técnicas dentro de determinados padrões de EfE.

Ainda pode ser mencionado que os resultados dos estudos permitirão aos gestores, por meio de estudo de caso, o auxílio à tomada de decisão no que tange a investimentos em AEE.

Os objetivos específicos desse trabalho são:

- i. realizar estudos sobre os procedimentos para desenvolvimento de projetos de AEE no âmbito do PROPEE da ANEEL;
- ii. definir o âmbito das AEE a serem realizadas, caracterizando os procedimentos para a realização do projeto;

- iii. realizar estudos de viabilidade de projeto de investimento utilizando métodos determinísticos, como, o método do Valor Presente Líquido (VPL), o método da Taxa Interna de Retorno Modificada (TIRM), o método da Taxa Interna de Retorno (TIR) e o método de *Payback* simples;
- iv. elaborar projeto de EfE para os sistemas de iluminação e de condicionamento ambiental para as edificações da Prefeitura da cidade de Varão/GO, observadas as diretrizes estabelecidas pela ANEEL, conforme o PROPEE.

A estrutura do trabalho é dividida da seguinte maneira:

- i. INTRODUÇÃO – nesse tópico é apresentada uma introdução ao tema, destacando a justificativa do projeto, objetivo geral, objetivos específicos e a forma como o trabalho é dividido;
- ii. CONTEXTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL – expõe sobre os programas brasileiros que incentivam a aplicação de AEE no Brasil;
- iii. METODOLOGIA – esse capítulo relata os métodos utilizados para alcançar os objetivos, detalhando procedimentos e expressões;
- iv. RESULTADO – esse tópico é mostrado os resultados em ilustrações e tabelas;
- v. CONCLUSÃO – apresenta uma conclusão do projeto e aborda sugestões para trabalhos futuros;
- vi. REFERÊNCIAS – essa parte apresenta as referências utilizadas para realização do trabalho.

2. CONTEXTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL

A Eficiência Energética (EfE) é fundamental para alcançar um mundo sustentável. Para aprimorar a EfE deve-se realizar Ações de Eficiência Energética (AEE), que é qualquer ato que promova o uso racional de eletricidade mantendo o mesmo ou melhor nível de serviço prestado.

No Brasil existem incentivos que contribuem para o crescimento da EfE, os principais programas são:

- i. Programa de Eficiência Energética (PEE);
- ii. Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE);
- iii. Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE);
- iv. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL).

O setor de energia elétrica no Brasil é uma competência do Ministério de Minas e Energia (MME). A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a Eletrobrás e a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) são autarquias vinculadas ao MME, e essas organizações contribuem para o aprimoramento do âmbito de EfE no setor elétrico brasileiro. A ANEEL tem como competência regulamentar e fiscalizar o setor elétrico brasileiro. A Eletrobrás é uma organização que controla a maioria dos sistemas de geração e transmissão de energia elétrica do Brasil.

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) tem por finalidade prestar serviços ao (MME) na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, cobrindo energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados e biocombustíveis (MME, 2004).

O MME junto a EPE desenvolveu o Plano Nacional de Energia (PNE 2030), que possui dentre seus objetivos proporcionar oportunidades do uso mais eficiente da eletricidade.

2.1 PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (PEE)

O PEE da ANEEL tem o objetivo de requerer o uso racional de eletricidade por meio de projetos que demonstrem a viabilidade econômica de AEE em usos finais.

A Lei nº 9.991 de 24 de julho de 2000 regulamenta a obrigatoriedade de investimentos de empresas concessionárias e permissionárias distribuidoras de energia elétrica no Brasil em Programa de Eficiência Energética (PEE). Este

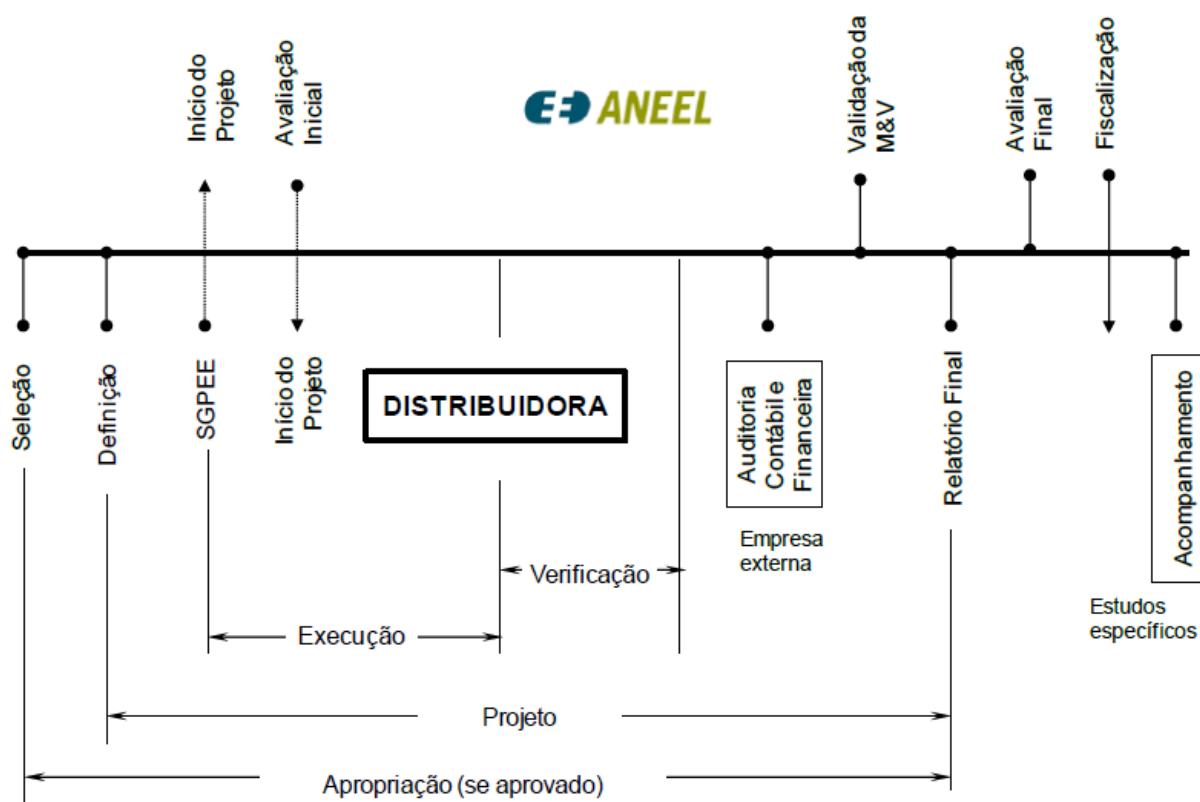
investimento foi definido em 0,5% da receita operacional líquida de tais empresas (BRASIL, 2000).

Os projetos de EfE a serem implementados com recursos do PEE são selecionados por meio de Chamada Pública de Projetos (CPP) realizadas por empresas distribuidoras de energia elétrica.

A elaboração desses projetos deve ser de acordo com o PROPEE, que é um guia determinativo que abrange diversos aspectos de projeto e do PEE. O PROPEE é composto por 10 módulos, onde cada módulo abrange aspectos relacionados aos procedimentos para elaboração de um projeto de EfE.

O módulo 1(Introdução) apresenta uma introdução geral ao PROPEE. A figura 3 apresenta as etapas de um projeto no âmbito do PEE.

Figura 1: Etapas do PEE.



Fonte: PROPEE, 2013.

No módulo 2 (Gestão do Programa) é informado sobre a gestão do PEE e sobre os recursos que são destinados as distribuidoras. Trata sobre a Audiência Pública que é o mecanismo utilizado pra divulgar o PEE a sociedade. Abrange também sobre o Marketing e Divulgação que representa o conjunto de atividades

que visam prestar contas a sociedade divulgando os recursos investidos e os resultados obtidos pelo PEE.

O módulo 3 (Seleção e Implantação de Projetos) estabelece as regras para seleção dos projetos no âmbito do PEE e orienta quanto a forma de implantação junto ao consumidor. O módulo 3 estabelece as diretrizes para a CPP e sobre os Contratos de Desempenho Energético. A CPP é emitida através de edital elaborado pela distribuidora, segundo diretrizes da ANEEL, para haver a seleção de projetos de EE. O Contrato de Desempenho Energético estabelece os acordos entre o consumidor contemplado para a implantação do projeto de EfE e a distribuidora.

O módulo 4 (Tipologia de Projeto) abrange sobre as AEE a serem realizadas conforme as tipologias de projeto. Para cada uso final de energia tem-se regras estabelecidas para implantação de AEE.

As tipologias consideradas pela ANEEL são:

- Industrial;
- Comércio e serviços;
- Poder público;
- Rural;
- Residencial;
- Baixa renda;
- Gestão energética municipal;
- Educacional;
- Iluminação pública.

Os usos finais de energia estabelecido pelo PROPEE são:

- Iluminação;
- Condicionamento ambiental;
- Sistemas motrizes;
- Sistemas de refrigeração;
- Aquecimento solar de água;

O módulo 5 (Projetos Especiais) apresenta as diretrizes para projetos especiais, como:

- Projeto Prioritário;
- Projeto de Grande Relevância;
- Projeto Piloto;
- Projeto Cooperativo.

O módulo 6 (Projetos com Fontes Incentivadas) refere-se a regras implantadas em projetos de EfE com adição de fonte incentivada de energia elétrica em unidades consumidoras.

Entende-se como geração a partir de Fonte Incentivada: i) microgeração distribuída, central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras; ii) minigeração distribuída, central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW e que utilize cogeração qualificada ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2012).

No módulo 7 (Cálculo da Viabilidade) é apresentado os principais fatores para o cálculo da Relação Custo Benefício (RCB).

O módulo 8 (Medição e Verificação) apresenta as técnicas de medição e verificação que deve ser considerada após a execução do projeto.

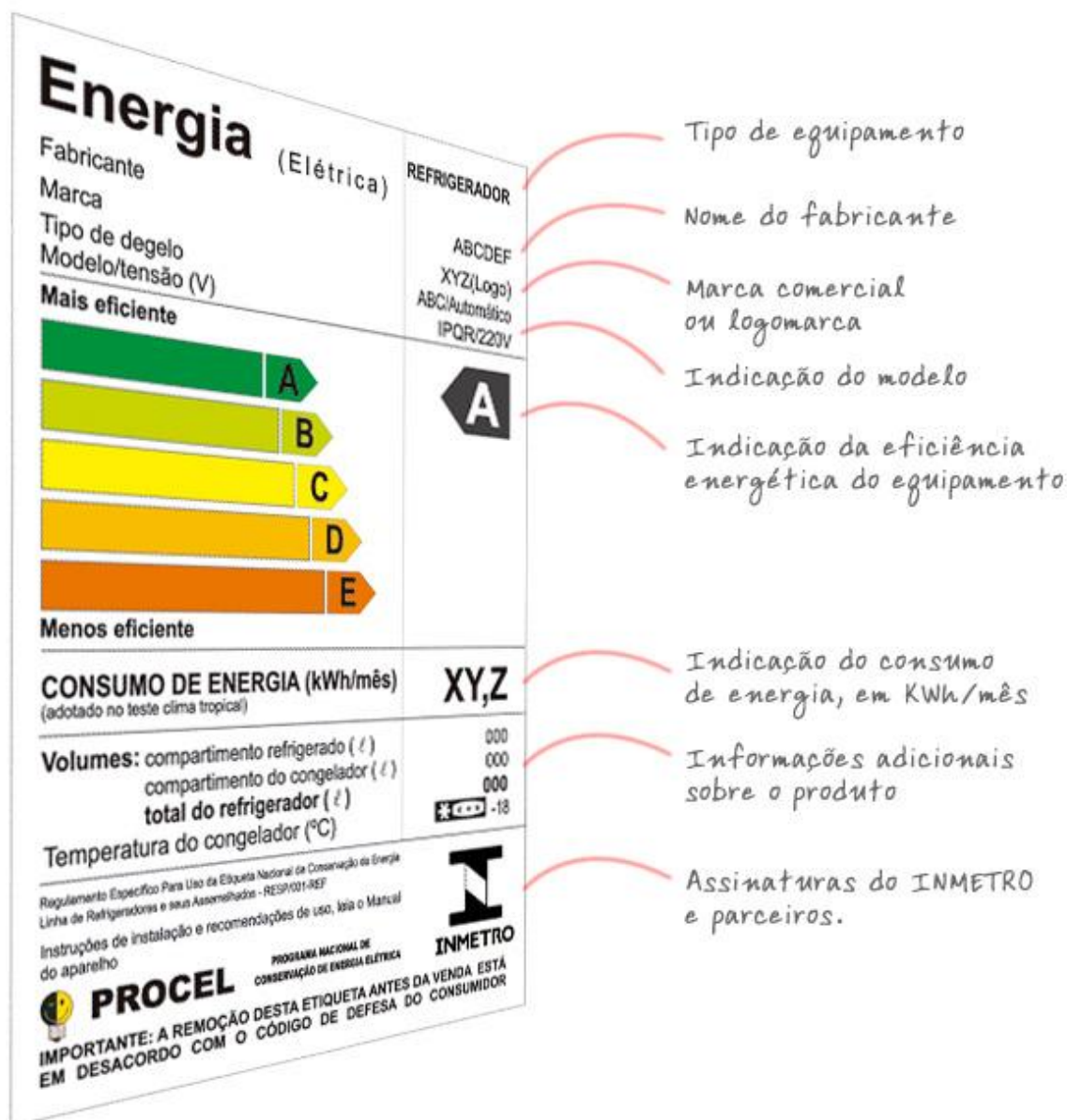
O módulo 9 (Avaliação dos Projetos e Programa) estabelece critérios para uma avaliação inicial e final dos projetos e do programa como um todo.

E por fim o módulo 10 (Controle e Prestação de Contas) estabelece os procedimentos para prestação de contas de investimentos realizados em projetos do PEE.

Para o auxílio de escolha de equipamentos eficientes tem-se o apoio do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). O PBE é coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), uma autarquia vinculada ao governo federal.

O PBE tem o objetivo de informar ao consumidor por meio da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), figura 1, sobre o nível EfE de um produto. Se o produto tiver a letra indicando eficiência “A”, informa que o produto possui ótima eficiência. Dessa maneira, se o produto carregar a símbolo “D”, ele possui pouca eficiência. O INMETRO disponibiliza tabelas de eficiência energética de produtos para fins de pesquisa do consumidor. Cada linha de eletrodoméstico possui sua própria etiqueta, mudando de acordo com as características técnicas de cada produto.

Figura 2. Etiqueta Nacional de Conservação de Energia.



Fonte: INMETRO, 2014.

Ainda para o auxílio de escolha de equipamentos eficientes tem-se o apoio do Programa Nacional de Conservação de Energia PROCEL. O PROCEL é coordenado pela Eletrobrás e promove AEE em diversos segmentos da economia auxiliando a população a economizar eletricidade, gerando benefícios para toda a sociedade. O PROCEL contribui em diversas áreas para a melhoria de EfE, como, equipamentos, edificações, iluminação pública, poder público, indústria e comércio.

O PROCEL é responsável pela criação do selo Procel, figura 2, que informa ao consumidor se um produto tem o melhor nível de EfE.

Figura 3: Selo PROCEL.



Fonte: Procel, 2014.

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o desenvolvimento do trabalho, como revisão de literatura é estudado o contexto de eficiência energética brasileiro, abordando os principais órgãos e programas que são responsáveis por essa competência.

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para alcançar os objetivos deste projeto de pesquisa é dividida em: i) análise luminotécnica e análise da potência de refrigeração ii) diretrizes selecionadas dos Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE) e iii) métodos de análise de viabilidade econômica de investimento.

3.1 ANÁLISE LUMINOTÉCNICA E ANÁLISE DA POTÊNCIA DE REFRIGERAÇÃO

Inicialmente é feita a análise luminotécnica em cada ambiente. O estudo é realizado de acordo com a Associação Brasileira De Normas Técnicas, NBR 5413: Iluminância de interiores. A tabela 1 apresenta as principais definições obedecidas associados ao ambiente a ser iluminado e ao nível de iluminamento previsto.

Tabela 1: Análise luminotécnica para cada ambiente.

Ambiente	Iluminância (lux)
Salas administrativas e consultórios	300
Salas de aulas	200
Salas de arquivos, cozinhas e banheiros	100
Corredores, depósitos e áreas externas	50

Fonte: NBR 5413.

Nos ambientes que utilizam condicionamento ambiental é considerado as recomendações do fabricante, utilizando um simulador *online* do mesmo. São levadas em consideração as dimensões físicas do ambiente, a quantidade de pessoas por ambiente, os aparelhos eletrônicos presentes no ambiente e a incidência de sol no ambiente no decorrer do horário de experiente.

3.2 DIRETRIZES SELECIONADAS DOS PROCEDIMENTOS DO PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

As AEE serão propostas para um consumidor enquadrado na tipologia Serviço Público. As AEE contribuirão no sistema de iluminação e condicionamento ambiental.

Para o cálculo da Redução de Demanda na Ponta (RDP) e da Energia Economizada (EE), é preciso fazer o levantamento de dados do sistema atual, separando os aparelhos do sistema atual de acordo com seu tipo e potência, para posteriormente propor um sistema eficiente.

3.2.1 Cálculo da RDP e EE

As tabelas 2 e 3 apresentam os parâmetros necessários para o levantamento de dados do sistema atual e do sistema proposto de iluminação, respectivamente. As tabelas 2 e 3 estabelecem as características dos sistemas de iluminação de acordo com o tipo. O Fator de Coincidência na Ponta (FCP) é o percentual de horas que os aparelhos permanecem ligados, em relação ao total de horas de ponta ao longo de um ano.

Tabela 2: Dados para o sistema de iluminação atual.

Parâmetros	Sistema 1	Sistema 2	Sistema n
Tipo de equipamentos (incandescente, fluorescente, etc.)	Tipo 1	Tipo 2	Tipo n
Potência da lâmpada (W)	pa_1	pa_2	pa_n
Quantidade de lâmpadas	qa_1	qa_2	qa_n
Potência Instalada (kW)	Pa_1	Pa_2	Pa_n
Horas de funcionamento (h/ano)	ha_1	ha_2	ha_n
Fator de Coincidência na Ponta	$FCPa_1$	$FCPa_2$	$FCPa_n$
Energia Consumida (MWh/ano)	Ea_1	Ea_2	Ea_n
Demanda Média na Ponta (kW)	Da_1	Da_2	Da_n

Fonte: PROPEE, 2013.

Tabela 3: Dados para o sistema de iluminação proposto.

Parâmetros	Sistema 1	Sistema 2	Sistema n
Tipo de equipamentos	Tipo 1	Tipo 2	Tipon
Potência da lâmpada (W)	pp_1	pp_2	pp_n
Quantidade de lâmpadas	qp_1	qp_2	qp_n
Potência Instalada (kW)	Pp_1	Pp_2	Pp_n
Horas de funcionamento (h/ano)	hp_1	hp_2	hp_n
Fator de Coincidência na Ponta	$FCPp_1$	$FCPp_2$	$FCPp_n$
Energia Consumida (MWh/ano)	Ep_1	Ep_2	Ep_n
Demanda Média na Ponta (kW)	Dp_1	Dp_2	Dp_n

Fonte: PROPEE, 2013.

Já as tabelas 4 e 5 mostram as informações necessárias para o levantamento de dados do sistema atual e proposto do condicionamento ambiental, respectivamente.

Tabela 4: Dados para o condicionamento ambiental atual.

Parâmetros	Sistema 1	Sistema 2	Sistema n
Tipo de equipamentos (<i>split</i> , janela, etc.)	Tipo 1	Tipo 2	Tipo n
Potência de refrigeração (btu/h)	Pra_1	Pra_2	Pra_n
Potência do aparelho de ar-condicionado (W)	pa_1	pa_2	pa_n
Quantidade de ares-condicionados	qa_1	qa_2	qa_n
Potência Instalada (kW)	Pa_1	Pa_2	Pa_n
Horas de funcionamento (h/ano)	ha_1	ha_2	ha_n
Fator de Coincidência na Ponta	$FCPa_1$	$FCPa_2$	$FCPa_n$
Energia Consumida (MWh/ano)	Ea_1	Ea_2	Ea_n
Demanda Média na Ponta (kW)	Da_1	Da_2	Da_n

Fonte: PROPEE, 2013.

Tabela 5: Dados para o condicionamento ambiental proposto.

Parâmetros	Sistema 1	Sistema 2	Sistema n
Tipo de equipamentos	Tipo 1	Tipo 2	Tipo n
Potência de refrigeração (btu/h)	Prp_1	Prp_2	Prp_n
Potência do aparelho de ar-condicionado (W)	pp_1	pp_2	pp_n
Quantidade de ares-condicionados	qp_1	qp_2	qp_n
Potência Instalada (kW)	Pp_1	Pp_2	Pp_n
Horas de funcionamento (h/ano)	hp_1	hp_2	hp_n
Fator de Coincidência na Ponta	$FCPp_1$	$FCPp_2$	$FCPp_n$
Energia Consumida (MWh/ano)	Ep_1	Ep_2	Ep_n
Demanda Média na Ponta (kW)	Dp_1	Dp_2	Dp_n

Fonte: PROPEE, 2013.

Após a coleta de dados conforme as tabelas 2, 3, 4 e 5. Os parâmetros estabelecidos são calculados conforme as expressões:

$$Pa_n = \frac{pa_n \cdot qa_n}{1000}; \quad (3.1)$$

$$Pp_n = \frac{pp_n \cdot qp_n}{1000}; \quad (3.2)$$

$$Ea_n = \frac{Pa_n \cdot ha_n}{1000}; \quad (3.3)$$

$$Ep_n = \frac{Pp_n \cdot hp_n}{1000}; \quad (3.4)$$

$$Da_n = FCPa_n \cdot Pa_n; \quad (3.5)$$

$$Dp_n = FCPp_n \cdot Pp_n; \quad (3.6)$$

$$FCP_n = \frac{nm \cdot nd \cdot nup}{792}; \quad (3.7)$$

onde:

- nm – número de meses, ao longo do ano, de utilização em horário de ponta (≤ 12 meses);
- nd – número de dias, ao longo do mês, de utilização em horário de ponta (≤ 22 dias);
- nup – número de horas de utilização em horário de ponta (≤ 3 horas);
- 792 – número de horas de ponta disponíveis ao longo de 1 ano.

Após a análise dos valores obtidos a partir das expressões 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 é preciso estimar a Economia de Energia (EE) e a Redução de Demanda na Ponta (RDP) por meio das expressões 3.12 e 3.14, respectivamente:

$$Ea = \sum_{i=1}^n Ea_i; \quad (3.8)$$

$$Da = \sum_{i=1}^n Da_i; \quad (3.9)$$

$$Ep = \sum_{i=1}^n Ep_i; \quad (3.10)$$

$$Dp = \sum_{i=1}^n Dp_i; \quad (3.11)$$

$$EE = Ea - Ep; \quad (3.12)$$

$$EE (\%) = \frac{EE}{Ea} \cdot 100; \quad (3.13)$$

$$RDP = Da - Dp; \quad (3.14)$$

$$RDP (\%) = \frac{RDP}{Da} \cdot 100; \quad (3.15)$$

onde:

- Ea – energia consumida total do sistema atual (MWh/ano);
- Da – demanda média na ponta total do sistema atual (kW);
- Ep – energia consumida total do sistema proposto (MWh/ano);
- Dp – demanda média na ponta total do sistema proposto (kW);
- EE – economia de energia (MWh/ano) alcançada através da execução do sistema proposto;

- RDP – redução de demanda na ponta (kW) por meio da implementação do sistema eficiente.

3.2.2 Cálculo da Viabilidade Econômica do Projeto de Eficiência Energética

Após o levantamento de dados dos sistemas de iluminação e condicionamento ambiental é estimado o Custo Evitado de Energia (CEE) em R\$/MWh/ano e o Custo Evitado de Demanda (CED) dado em R\$/kW/ano conforme as expressões 3.16 e 3.17, respectivamente:

$$CEE = \frac{C_3 \cdot (LE_1 + LE_2) + C_4 \cdot (LE_3 + LE_4)}{LE_1 + LE_2 + LE_3 + LE_4}; \quad (3.16)$$

$$CED = 12 \cdot F_C \cdot 10^{-3} \cdot (C_1 \cdot h_p + C_2 \cdot h_{fp} \cdot LP); \quad (3.17)$$

onde:

- C_1 – custo unitário do sistema de distribuição no horário de ponta (R\$/MWh);
- C_2 – custo unitário do sistema de distribuição no horário fora de ponta (R\$/MWh);
- C_3 – custo unitário da energia no horário de ponta (R\$/MWh);
- C_4 – custo unitário da energia no horário fora de ponta (R\$/MWh);
- LE_1 – constante de perda de energia no posto de ponta de períodos secos considerando 1 kW de perda de demanda no horário de ponta;
- LE_2 – constante de perda de energia no posto de ponta de períodos úmidos considerando 1 kW de perda de demanda no horário de ponta;
- LE_3 – constante de perda de energia no posto de ponta de períodos secos considerando 1 kW de perda de demanda no horário fora de ponta;
- LE_4 – constante de perda de energia no posto de ponta de períodos úmidos considerando 1 kW de perda de demanda no horário fora de ponta;
- LP – constante de perda de demanda no posto fora de ponta, considerando 1kW de perda de demanda no horário de ponta;
- h_p – número de horas da ponta em um mês, considerando somente os dias úteis;
- h_{fp} – número de horas fora da ponta em um mês;
- F_c – fator de carga do segmento elétrico admitir-se-á o médio da distribuidora dos últimos 12 meses.

De acordo com (PROPEE, 2014) a tabela 6 indica os valores das constantes de perdas em relação ao fator de carga.

Tabela 6: Constantes de perdas em função do fator de carga.

Fator de Carga (Fc)	LP	LE ₁	LE ₂	LE ₃	LE ₄
0,30	0,2500	0,27315	0,19121	0,35166	0,24832
0,35	0,2809	0,28494	0,19946	0,52026	0,36738
0,40	0,3136	0,29727	0,20809	0,71014	0,50146
0,45	0,3481	0,31014	0,21710	0,9213	0,65057
0,50	0,3844	0,32355	0,22649	1,15375	0,81472
0,55	0,4225	0,33750	0,23625	1,40748	0,99389
0,60	0,4624	0,35199	0,24639	1,68249	1,18808
0,65	0,5041	0,36950	0,25865	1,97632	1,39557
0,70	0,5476	0,38516	0,26961	2,29381	1,61977

Fonte: PROPEE, 2013.

O principal critério para avaliação da viabilidade econômica é a Relação Custo Benefício (RCB), que, pela ótica do sistema elétrico e pelo ponto de vista do Programa de Eficiência Energética (PEE) dever ser igual ou inferior a oito décimos. A RCB é estimada através da expressão 3.18. É possível também calcular um RCB global de dois usos finais de energia basta juntar os custos e os benefícios e utilizar a expressão 3.18.

$$RCB = \frac{CA_t}{BA_t} \quad (3.18)$$

onde:

- CA_t – custo anualizado total;
- BA_t – benefício anualizado total.

Os parâmetros Custo Evitado de Energia (CEE) e Custo Evitado de Demanda (CED) são utilizados para calcular o benefício anualizado total, estimado de acordo com a expressão 3.19.

$$BA_t = (EE \cdot CEE) + (RDP \cdot CED) \quad (3.19)$$

O custo anualizado total é obtido conforme a expressão 3.20.

$$CA_t = \sum_n CA_n; \quad (3.20)$$

$$CA_n = CE_n \cdot \frac{CT}{CE_T} \cdot FRC_u; \quad (3.21)$$

$$CE = \sum_n CE_n; \quad (3.22)$$

$$FRC_u = \frac{i(1+i)^u}{(1+i)^u - 1}; \quad (3.23)$$

$$u = \frac{\text{Vida útil (em horas)}}{\text{Tempo de utilização (em horas/ano)}}; \quad (3.24)$$

onde:

- CA_t – custo anualizado total (R\$/ano);
- CA_n – custo anualizado de cada equipamento (R\$/ano);
- CE_T – custo total em equipamentos (R\$);
- CE_n – custo de cada equipamento (R\$);
- CT – custo total do projeto (R\$);
- FRC_u – fator de recuperação do capital para u anos;
- u – vida útil dos equipamentos em anos;
- i – taxa de desconto, estabelecida conforme a Chamada Pública de Projetos (CPP).

A vida útil (em horas) do equipamento é fornecida pelo fabricante.

A atividade de avaliação dos resultados energéticos dos projetos é baseada no Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance (PIMVP – EVO, 2012), que descreve as melhores práticas atualmente disponíveis para medir e verificar os resultados de projetos de eficiência energética (PROPEE, 2014).

Segundo as diretrizes do PROPEE, no custo total do projeto deve ser incluído os custos de Medição e Verificação (M&V), e para isso é necessário estimar a quantidade de pontos que será medido e verificado após a execução do projeto de EfE.

Antes da execução de um projeto de EfE é realizada uma avaliação *ex-ante*. Essa avaliação estima através dos procedimentos no âmbito do PROPEE a quantidade de EE e RDP, conforme descrito no item 3.2.1.

Avaliação *ex-post*, com valores mensurados, consideradas a economia de energia e a redução de demanda na ponta avaliadas por ações de M&V, a partir de medições feitas nas fases de Execução (período da linha de base) e Verificação (período de determinação da economia) e análise para determinação da eficiência energética (PROPEE, 2013).

Conforme o PROPEE (2013), os pontos de M&V são estimados conforme a expressão 3.25.

$$n_0 = \frac{z^2 \cdot cv^2}{e^2} \quad (3.25)$$

onde:

- n_0 – tamanho da amostra inicial;
- e – nível de precisão;
- z – distribuição normal padrão;
- cv – coeficiente de variação.

Deve-se ajustar a estimativa inicial do tamanho da amostra para pequenas populações, conforme a expressão 3.26, se $n < n_0$, adotar n .

$$n = \frac{n_0 \cdot N}{n_0 + N} \quad (3.26)$$

onde:

- n_0 – tamanho da amostra inicial;
- n – tamanho reduzido da amostra;
- N – tamanho da população.

3.3 MÉTODOS DE ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE INVESTIMENTO

É importante analisar a viabilidade econômica de projeto de EfE para o auxílio na tomada de decisão e caso o consumidor queira investir em AEE utilizando recursos próprios.

Os seguintes métodos determinísticos são utilizados para se obter critérios de decisão para o investimento de um projeto: i) Método do Valor Presente Líquido (VPL); ii) Método da Taxa Interna de Retorno (TIR); iii) *Payback* simples.

Antes de calcular qualquer um desses métodos é preciso primeiramente construir um fluxo de caixa. Fluxo de caixa é uma análise feita sobre entradas e saídas de caixa no decorrer da vida útil de um projeto. As entradas de caixa são os valores positivos, em reais, que o projeto vai fornecer ao longo do tempo, para isso é preciso prever o que o projeto pode retornar de benefício em termos financeiros. As saídas de caixa são os custos, os valores negativos, em reais, que o projeto precisa para ser implementado e sustentado no decorrer do tempo. É preciso definir uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) para fins de decisão do investimento. A TMA é uma referência do mínimo que o investidor quer ganhar por ano com o investimento.

3.3.1 Valor Presente Líquido

O VPL estimado através da expressão 3.27 é um parâmetro bastante utilizado em análise de investimento. Essa medida mostra o quanto o projeto retorna em valor presente ao longo da vida útil do projeto. Para estimá-lo é necessário utilizar uma

Taxa Mínima de Atratividade (TMA) como referência, a TMA será utilizada para fins de comparação. Se o VPL for positivo, isso demonstrará que é viável investir no plano.

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+TMA)^j} \quad (3.27)$$

onde:

- FC_j – fluxo de caixa no ano j ;
- TMA – taxa mínima de atratividade;
- n – vida útil do projeto.

Quando a técnica de análise de investimento é a do VPL, uma decisão é feita a favor de um projeto se o valor presente líquido for um número positivo. Vale notar também que esse método pode ser aplicado na comparação de vários projetos quando são considerados investimentos mutuamente exclusivos. Por isso aquele mais positivo desbancará o de menor valor e assim sucessivamente (MOREIRA, 2017).

3.3.2 Método da Taxa Interna de Retorno

A TIR também é muito utilizada para análise de investimento de projetos. Essa medida, comparada com a TMA estabelece um critério de decisão importante no que tange a investimento em AEE. A TIR é estimada pelo meio da expressão 3.28. Se a TIR for maior que a TMA pode-se considerar o projeto viável economicamente.

$$\sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+TIR)^j} = FC_0 \quad (3.28)$$

onde:

- FC_j – fluxo de caixa no ano j ;
- FC_0 – investimento inicial;
- TIR – taxa interna de retorno;
- n – vida útil do projeto.

A TIR é definida como a taxa pela qual um investimento é recuperado por meio de rendimentos auferidos de um projeto. A TIR representa, por meio desse motivo, a taxa de desconto que iguala os fluxos de entrada com os de saída de caixa. Em outras palavras, trata-se da taxa que gera um valor presente líquido para o projeto analisado igual a zero (MOREIRA, 2017).

3.3.3 *Payback*

Payback significa retorno. Esse conceito é utilizado para medir o tempo de retorno de investimento, ou seja, através de um fluxo de caixa no decorrer da vida útil de um projeto, é analisado ao longo do tempo, quando (tempo) o investimento é retornado. Se o *Payback* for curto em relação a vida útil do projeto significa que o projeto é viável economicamente, pois havendo um retorno logo no início do tempo, sinal que no restante da vida útil do projeto só existirá benefícios, pois o investimento inicial já foi compensado.

O método *Payback* simples avalia o tempo necessário para que os fluxos de caixa esperados paguem os desembolsos do investimento. Portanto, por meio do método *Payback* simples os investimentos (ou diferentes projetos) são comparados em termos de quanto tempo se leva para recuperar o investimento inicial por intermédio do cômputo de seus retornos (MOREIRA, 2017).

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme as metodologias descritas, é possível analisar a viabilidade econômica de ações de eficiência energética para sistemas de iluminação e condicionamento ambiental. É possível prever a viabilidade do projeto através da RCB estabelecida conforme as diretrizes do PROPEE e através dos métodos, VPL, TIR e *Payback*.

4. RESULTADOS

Esse capítulo descreve os resultados alcançados através das metodologias apresentadas no capítulo 3.

O estudo de caso é feito nos prédios públicos da cidade de Varjão-Goiás (Varjão-GO), um município com aproximadamente cinco mil habitantes. A figura 4 apresenta uma foto da cidade de Varjão-GO.

Figura 4: Foto da cidade de Varjão-GO.



Fonte: Drone Varjão, 2019.

As Ações de Eficiência Energética (AEE) atribuídas são as substituições dos sistemas atuais de iluminação e condicionamento ambiental por sistemas eficazes. Ou seja, é proposta a troca das lâmpadas atuais por lâmpadas de tecnologia a Led e a troca dos aparelhos de ares-condicionados atuais por equipamentos energeticamente eficientes.

O estudo de caso é feito nas seguintes edificações públicas de Varjão-GO:

- i. Prefeitura Municipal de Varjão (figura 5);
- ii. Programa Saúde da Família (figura 6);
- iii. Escola Municipal Gilberto Pereira Machado (figura 7);
- iv. Centro Municipal de Educação Infantil Maria Isabel Arantes (figura 8).

Figura 5: Edificação da Prefeitura Municipal de Varjão-GO.



Fonte: Própria autora, 2019.

Figura 6: Edificação do Centro Municipal de Educação Infantil Maria Isabel Arantes.



Fonte: Própria autora, 2019.

Figura 7: Edificação do Programa Saúde Família.



Fonte: Própria autora, 2019.

Figura 8: Edificação da Escola Municipal Gilberto Pereira Machado.



Fonte: Própria autora, 2019.

4.1 ESTIMATIVA DO CUSTO EVITADO DE ENERGIA E CUSTO EVITADO DE DEMANDA

Nessa seção são demonstrados os valores do Custo Evitado de Energia (CEE) e o Custo Evitado de Demanda (CED) segundo o item 3.2.3.

Para o cálculo do CEE e CED é considerado um F_c de 0,7 e conforme a tabela 6 tem-se os resultados demonstrados na tabela 7.

Tabela 7: Constantes de perdas.

F_c	LP	LE_1	LE_2	LE_3	L_4
0,70	0,5476	0,38516	0,26961	2,29381	1,61977

Fonte: PROPEE, 2014.

Os valores publicados pela resolução homologatória nº 2.470, de 16 de outubro de 2018, da ANEEL, são apresentados na tabelas 8 e 9. A tabela 8 apresenta a Tarifa de Utilização de Serviços de Distribuição (TUSD) e a Tarifa de Energia Consumida (TE) em relação aos postos de ponta e fora de ponta do subgrupo B3. É possível calcular o CEE e o CED pelo meio das equações 3.16 e 3.17, respectivamente.

A tabela 9 mostra os valores de custos em R\$ definidas no item 3.2.3

Tabela 8: Tarifas de energia.

Subgrupo atribuído as edificações do estudo de caso	Posto	TUSD (R\$/MWh)	TE (R\$/MWh)
B3	Horário de ponta	R\$ 622,54	R\$ 449,4
	Horário fora de ponta	R\$ 208,79	R\$ 280,7

Fonte: ANEEL, 2018.

Tabela 9: Custos.

Custos	Valores
C1	R\$ 622,54
C2	R\$ 208,79
C3	R\$ 1071,97
C4	R\$ 489,51

Fonte: ANEEL, 2018.

O CEE e o CED são estimados em R\$ 573,94 e R\$ 973,24, respectivamente.

4.2 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

O sistema de iluminação atual das edificações selecionadas é composto por lâmpadas comuns que não apresentam EfE, divididas em lâmpadas fluorescentes tubulares com reator, lâmpadas fluorescentes, lâmpadas incandescentes, lâmpadas a vapor de mercúrio e lâmpadas a vapor de sódio. As figuras 9, 10, 11 e 12 apresentam algumas lâmpadas do sistema atual.

Figura 9: Lâmpada vapor de mercúrio na edificação da Prefeitura Municipal de Varjão-GO.



Fonte: Própria autora, 2018.

Figura 10: Lâmpada tubular fluorescente na edificação do Programa Saúde da Família.



Fonte: Própria autora, 2018.

Figura 11: Lâmpada fluorescente compacta na edificação do Centro Municipal de Educação Infantil.



Fonte: Própria autora, 2018.

Figura 12: Lâmpada fluorescente compacta na edificação da Escola Municipal Gilberto Pereira Machado.



Fonte: Própria autora, 2018.

O levantamento de dados foi feito em meados de novembro e dezembro de 2018. A tabela 10 apresenta os pontos de iluminação das edificações selecionadas do sistema atual e do sistema proposto. Conforme a tabela 1, para cada ponto de iluminação é definido os lumens por metro quadrado necessários de acordo com ambiente. A tabela 11 apresenta a quantidade de lâmpadas do sistema atual de acordo com o tipo.

Tabela 10. Total de pontos de iluminação.

Locais	Sistema atual	Sistema proposto
Prefeitura Municipal de Varjão	47	47
Programa Saúde da Família	37	37
Escola Municipal Gilberto Pereira Machado	42	42
Centro Municipal de Educação Infantil	42	42
Total	168	168

Fonte: Própria autora, 2018.

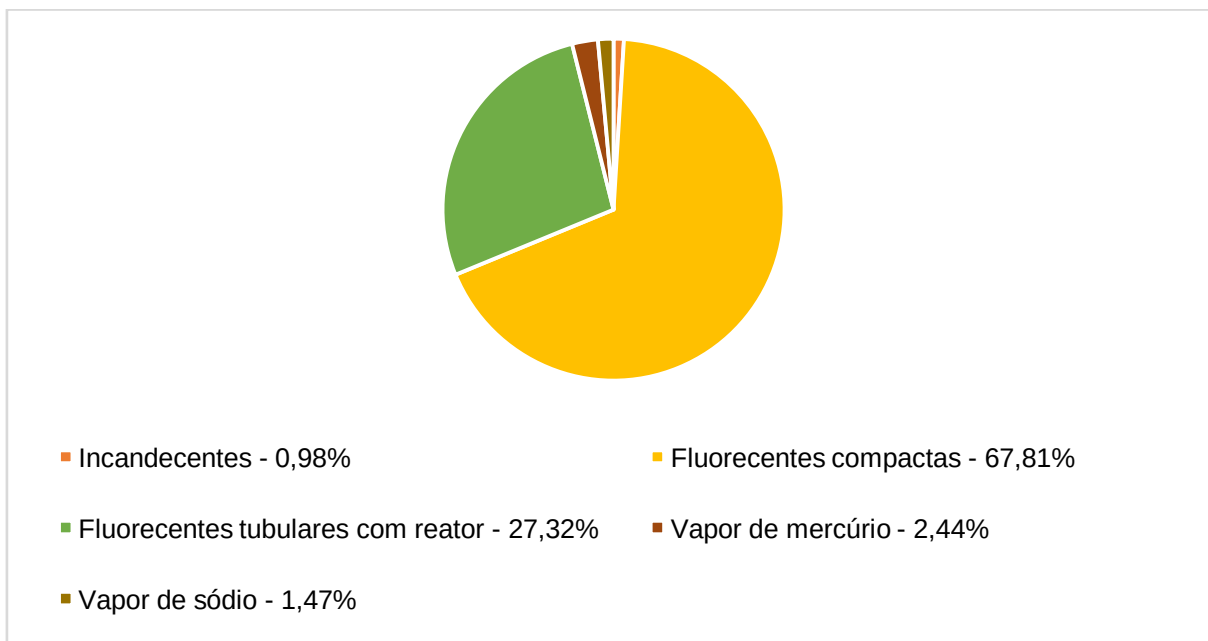
Tabela 11: Tipos de lâmpadas.

Locais	Sistema atual	Quantidade de lâmpadas
Prefeitura Municipal De Varjão	Incandescentes	1
	Fluorescentes compactas	39
	Fluorescentes tubulares com reator	26
	Vapor de mercúrio	3
	Subtotal	69
Programa Saúde da Família	Fluorescentes compactas	25
	Fluorescentes tubulares com reator	18
	Vapor de sódio	3
	Subtotal	46
Escola Municipal Gilberto Pereira Machado	Incandescentes	1
	Fluorescentes	41
	Subtotal	42
Centro Municipal de Educação Infantil	Fluorescentes compactas	34
	Fluorescentes tubulares com reator	12
	Vapor de mercúrio	2
	Subtotal	48
Totais	Incandescentes	2
	Fluorescentes compactas	139
	Fluorescentes tubulares com reator	56
	Vapor de mercúrio	5
	Vapor de sódio	3
	Total	205

Fonte: Própria autora, 2018.

As lâmpadas a vapor de mercúrio são as mais potentes e representam 2,44% do sistema atual, como mostra o gráfico da figura 10, e três lâmpadas desse tipo ficam acessas continuamente no período noturno inclusive em horário de ponta no prédio da prefeitura da cidade. A figura 11 apresenta a classificação das lâmpadas do sistema atual.

Figura 13: Classificação das lâmpadas do sistema atual.



Fonte: Própria autora, 2018.

A tabela 12 apresenta a potência instalada do sistema de iluminação em cada edificação pública.

Tabela 12: Potência Instalada em kW do sistema de iluminação.

Locais	Sistema atual	Sistema proposto
Prefeitura Municipal de Varjão	2,504	0,797
Programa Saúde da Família	1,880	0,567
Escola Municipal Gilberto Pereira Machado	1,305	0,650
Centro Municipal de Educação Infantil	1,640	0,511
Total	7,329	2,525

Fonte: Própria autora, 2018.

É definido que todas as lâmpadas ficam ligadas em média 8 horas por dia, 20 dias no mês. Nas edificações da Prefeitura Municipal de Varjão-GO e Programa Saúde da Família totalizam 1920 horas por ano com o sistema de iluminação em funcionamento, pois são considerados 12 meses no ano. E nas edificações da Escola Municipal Gilberto Pereira Machado e Centro Municipal de Educação Infantil Maria Isabel Arantes as lâmpadas ficam acesas 1600 horas por ano, isso porque no período de férias as lâmpadas permanecem desligadas, sendo considerado apenas 10 meses no ano.

A tabela 13 apresenta a energia consumida pelo sistema atual e pelo sistema proposto de iluminação.

Tabela 13: Energia Consumida em MWh/ano pelo sistema de iluminação.

Locais	Sistema atual	Sistema proposto
Prefeitura Municipal de Varjão	4,8077	1,5302
Programa Saúde da Família	3,6096	1,0886
Escola Municipal Gilberto Pereira Machado	2,0880	1,0400
Centro Municipal de Educação Infantil	2,6240	0,8176
Total	13,1293	4,4765

Fonte: Própria autora, 2018.

De acordo com a expressão 3.12 e a tabela 13 é estimada uma Economia de Energia (EE) equivalente a 8,6528 MWh/ano. Com a implementação do sistema proposto é estimada uma redução de energia em aproximadamente 66%.

A tabela 14 apresenta parâmetros para a estimativa da demanda média na ponta do sistema de iluminação atual e sistema proposto.

Tabela 14: Demanda média na ponta do sistema atual e do sistema proposto.

Locais	Demanda na ponta pelo sistema atual (kW)	Demanda na ponta pelo sistema proposto (kW)	FCP	Da (kW)	Dp (kW)
Prefeitura Municipal de Varjão	0,62	0,056	0,5757	0,3569	0,0322
Programa Saúde da Família	0,61	0,088	0,5757	0,3512	0,0507
Escola Municipal Gilberto Pereira Machado	0,39	0,042	0,5757	0,2245	0,0242
Centro Municipal de Educação Infantil	0,36	0,072	0,5757	0,2073	0,0415
Total	1,98	0,258	0,5757	1,1399	0,1485

Fonte: Própria autora, 2018.

A estimativa da Redução de Demanda na Ponta (RDP) consiste em analisar os tipos de lâmpadas que ficam em funcionamento no horário de ponta, ou seja, é considerado um Fator de Coincidência na Ponta, que é uma taxa percentual relativa ao total de horas de ponta disponíveis em um ano, estimada pelo meio da expressão 3.7. Em todas as edificações, algumas lâmpadas ficam acesas em média 57% do total de horas de ponta ao longo de um ano, equivalente a 456 h. A demanda média

na ponta do sistema atual é estimada pela expressão 3.9 e a demanda média na ponta do sistema proposto é calculada por meio da expressão 3.11.

Com o sistema proposto implantado pode se afirmar uma redução de demanda na ponta de aproximadamente 87%, equivalente a uma RDP de 0,99 kW.

Através da expressão 3.19, com a RDP igual a 0,99 kW, a EE igual a 8,6528 MWh/ano, o CEE igual a R\$ 573,94 e o CED de R\$ 973,24, é calculado um Benefício Anualizado Total (BA_t) de R\$ 5.923,32.

O orçamento do sistema de iluminação foi realizado em meados de janeiro e março de 2019, a pesquisa de orçamento consiste no estabelecimento de preço intermediário dentre as várias análises de orçamentos.

Conforme o (PROPEE, 2013), para a estimativa de pontos de medição e verificação M&V, sugere-se adotar 10% de precisão, o valor padrão da distribuição normal igual a 1,96, um coeficiente de variação de 0,5. Com isso, através da expressão 3.25 temos um valor de $n_0=96$. Com uma população (lâmpadas do sistema atual) $N=205$, e $n=65$, estimado através da expressão 3.26, tem-se $n_0 < n$, então adota-se 65 pontos para o orçamento de M&V.

Os custos relacionados com a concessionária devem ser previstos de acordo com a Chamada Pública de Projetos (CPP) em que o projeto for submetido, nesse caso é considerada um acréscimo de 5,5% nos custos, de acordo com a CPP da Enel 2018. A tabela 15 apresenta os custos considerados no projeto de EfE.

Tabela 15: Custos para implementação do sistema proposto de iluminação de acordo com o PROPEE.

Definição	Preço unitário	Quantidade	Total
Mão de obra	R\$ 40,00	168 pontos de iluminação	R\$ 6.720,00
Medição e verificação	R\$ 45,00	65 pontos de M&V	R\$ 2.925,00
Descarte de equipamentos	R\$ 1,50	205 lâmpadas	R\$ 307,50
Concessionária	Porcentagem definida por CPP		R\$ 788,29
Custo total de equipamentos	-	208 lâmpadas	R\$ 4.380,00
Custo total do projeto	-	-	R\$ 15.120,79

Fonte: Própria autora, 2018.

A escolha do sistema proposto é feita através da necessidade de cada ambiente. As novas lâmpadas são de tecnologia a Diodo Emissor de Luz (LED). A

lâmpada de tecnologia a LED consegue produzir muitos lumens gastando pouca energia elétrica. O sistema proposto é composto por 204 lâmpadas. No orçamento é previsto uma lâmpada a mais para cada tipo de lâmpada. E a tabela 16 apresenta os parâmetros necessários para o cálculo do custo anualizado total do sistema proposto.

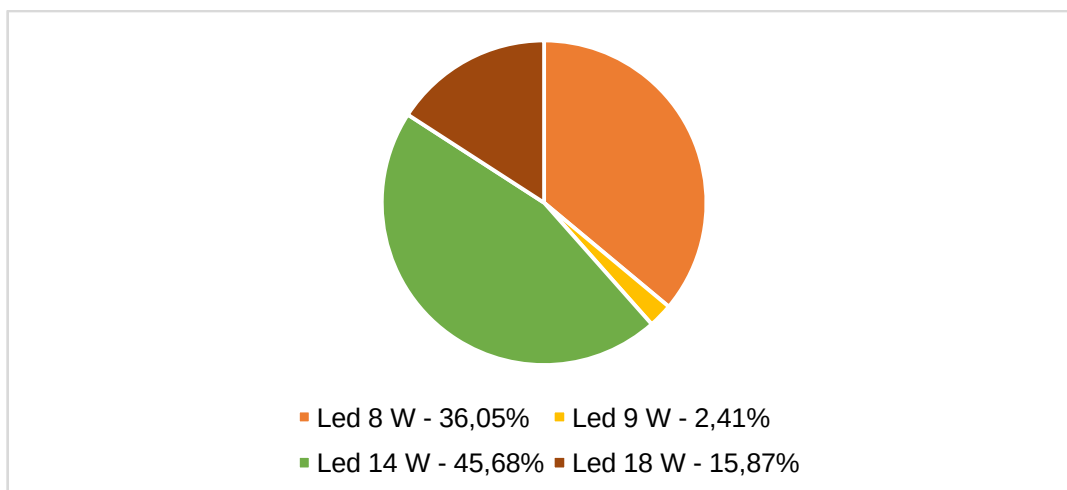
Tabela 16: Parâmetros necessários para o cálculo do custo anualizado total do sistema proposto.

Lâmpadas	Quantidade de lâmpadas	Preço unitário	Custo	Vida útil (anos)	FRC _u	CA _n
Led bulbo 8 W 810 lm	75	R\$ 16,00	R\$ 1.200,00	13	0,13	R\$ 522,81
Led tubular 9 W 1050 lm	5	R\$ 25,00	R\$ 125,00	13	0,13	R\$ 54,46
Led bulbo 14 W 1600 lm	95	R\$ 20,00	R\$ 1.900,00	13	0,13	R\$ 827,79
Led tubular 18 W 2100 lm	33	R\$ 35,00	R\$ 1.155,00	13	0,13	R\$ 503,21
Total	208		R\$ 4.380,00			R\$ 1.908,27

Fonte: Própria autora, 2018.

A vida útil (u) é estimada através da expressão 3.24, o Fator de Recuperação do Capital (FRC_u) é calculado conforme a expressão 3.23, onde a taxa de desconto definida pela CPP da Enel 2018 é de 8%. E através da tabela 16 observa-se um Custo Anualizado Total (CA_t) igual a R\$ 1908,27, estimado por meio da expressão 3.20. A figura 14 apresenta a classificação das lâmpadas do sistema eficiente.

Figura 14: Classificação das lâmpadas do sistema proposto.



Fonte: Própria autora, 2018.

4.3 CONDICIONAMENTO AMBIENTAL

O sistema de condicionamento ambiental atual é composto por equipamentos tipo janela e *split*, e é proposto as AEE somente nos aparelhos tipo janela e aparelhos tipo *split* com eficiência B ou C. A tabela 17 mostra a distribuição dos aparelhos atuais em que é sugerido as AEE. Nas figuras 13, 14, 15 e 16 apresentam aparelhos do sistema atual.

Figura 15: Ar condicionado tipo janela na edificação do Programa Saúde da Família.



Fonte: Própria autora, 2018.

Figura 16: Ar condicionado tipo janela na edificação da Prefeitura Municipal de Varjão-GO.



Fonte: Própria autora, 2018.

definição da potência de refrigeração é utilizado um simulador do fabricante do sistema proposto.

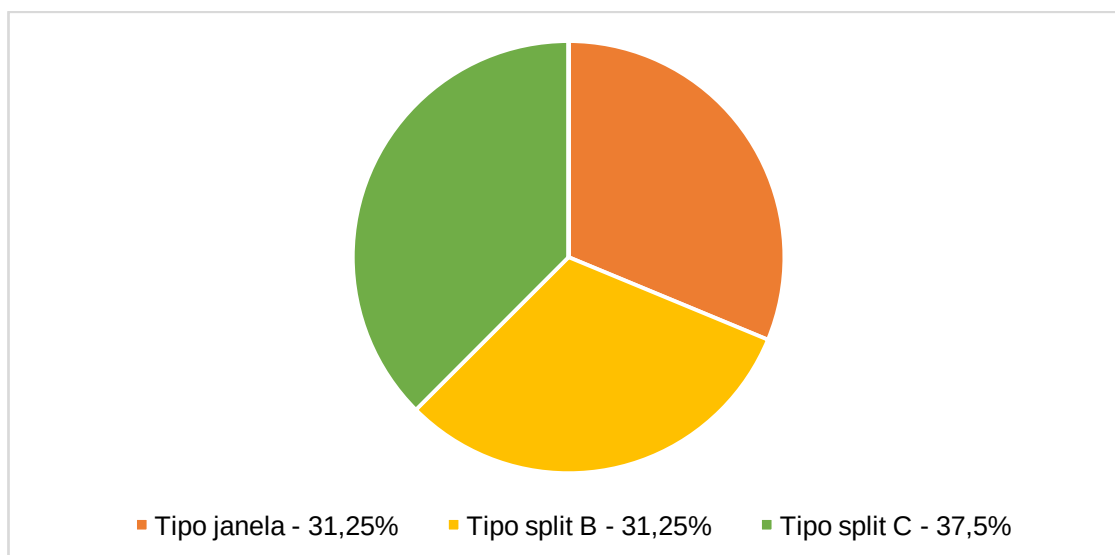
A tabela 17 apresenta a distribuição dos equipamentos de ares-condicionados do sistema atual de acordo com a edificação. A figura 19 apresenta um gráfico com a classificação dos aparelhos de ares-condicionados do sistema atual.

Tabela 17: Classificação dos aparelhos de ares-condicionados do sistema atual.

Locais	Sistema atual
Prefeitura Municipal de Varjão	8 equipamentos, onde 3 são do Tipo janela e 5 são do tipo <i>split</i> com Eficiência B ou C
Programa Saúde da Família	4 onde 2 são do tipo janela e 2 são do tipo <i>split</i> com nível de eficiência B ou C
Escola Municipal Gilberto Pereira Machado	3 são do tipo <i>split</i> com nível de eficiência B ou C
Centro Municipal de Educação Infantil	1 do tipo <i>split</i> com nível de eficiência C
Total	16

Fonte: Própria autora, 2018.

Figura 19: Classificação dos aparelhos de ares-condicionados do sistema atual.



Fonte: Própria autora, 2018.

Os aparelhos de ares-condicionados permanecem ligados 8 horas por dia, 20 dias no mês e não ficam ligados em horário de ponta. Nas edificações da Prefeitura Municipal de Varjão-GO e Programa Saúde da Família totalizam 1920 horas por ano com o sistema de condicionamento ambiental em funcionamento, pois são

considerados 12 meses no ano. E nas edificações da Escola Municipal Gilberto Pereira Machado e Centro Municipal de Educação Infantil Maria Isabel Arantes os aparelhos de ares-condicionados permanecem ligados 1600 horas por ano, isso porque no período de férias os mesmos permanecem desligados, sendo considerados apenas 10 meses no ano.

A tabela 18 apresenta a potência instalada do sistema de condicionamento ambiental atual e do sistema proposto. E a tabela 19 apresenta a energia consumida do condicionamento ambiental do sistema atual e do sistema proposto.

Tabela 18: Potência instalada em kW do condicionamento ambiental.

Locais	Sistema atual	Sistema proposto
Prefeitura Municipal de Varjão	7,899	6,912
Programa Saúde da Família	5,376	3,758
Escola Municipal Gilberto Pereira Machado	4,116	3,82
Centro Municipal de Educação Infantil	0,822	0,79
Total	18,213	15,28

Fonte: Própria autora, 2018.

Tabela 19: Energia consumida em MWh/ano pelos sistemas de ar condicionado.

Locais	Sistema atual	Sistema proposto
Prefeitura Municipal de Varjão	15,1661	13,2710
Programa Saúde da Família	10,3219	7,2154
Escola Municipal Gilberto Pereira Machado	6,5856	6,1120
Centro Municipal de Educação Infantil	1,3152	1,2640
Total	33,3888	27,8624

Fonte: Própria autora, 2018.

Com a possível implementação do sistema indicado é estimada uma economia de energia de 5,5264 MWh/ano, o equivalente uma redução de consumo em 16,55%.

No condicionamento ambiental a RDP é 0 kW, porque os equipamentos não ficam ligados em horário de ponta.

De acordo com a expressão 3.19, com a EE igual a 5,5264 MWh/ano e o CEE igual a R\$ 573,94 é calculado um Benefício Anualizado Total (BA_t) de R\$ 3.171,82.

Conforme o PROPEE, 2013, para a estimativa de pontos de M&V, sugere-se adotar 10% de precisão, o valor padrão da distribuição normal igual a 1,96, um coeficiente de variação de 0,5. Com isso, através da expressão 3.25 temos um valor de $n_0=96$. Com uma população (equipamentos de ares-condicionados do sistema atual) $N=16$, e $n=13$, estimado através da expressão 3.26, tem-se $n_0 < n$, então adota-se 13 pontos para o orçamento de M&V.

O sistema proposto é composto por 16 aparelhos de ares-condicionados tipo *split inverter* com nível de eficiência “A”. Os custos relacionados com a concessionária devem ser previstos de acordo com a Chamada Pública de Projetos (CPP) em que o projeto é submetido, então de acordo com a CPP da Enel 2018, é considerado um acréscimo de 5,5% nos custos. A tabela 20 apresenta os custos considerados no projeto de EfE conforme as diretrizes do PROPEE.

Tabela 20: Custos para implementação do sistema proposto de ar condicionado de acordo com o PROPEE.

Definição	Preço unitário	Quantidade	Total
Mão de obra	R\$ 450,00	16 pontos de condicionamento ambiental	R\$ 7.200,00
Medição e verificação	R\$ 60,00	13 pontos de medição e verificação	R\$ 780,00
Concessionária	Porcentagem definida por CPP		R\$ 1.950,19
Custo total de equipamentos	-	16 equipamentos	R\$ 27.478,00
Custo total do projeto	-	-	R\$ 37.408,19

Fonte: Própria autora, 2018.

E a tabela 21 apresenta os parâmetros necessários para o cálculo do custo anualizado total do sistema proposto. A vida útil (u) é estimada através da expressão 3.24, o Fator de Recuperação do Capital (FRC_u) é calculado conforme a expressão 3.23, onde a taxa de desconto definida pela CPP da Enel 2018 é de 8%. E através da tabela 21 observa-se um Custo Anualizado Total (CA_t) igual a R\$ 4.369,28, estimado por meio da expressão 3.20.

Tabela 21: Custos dos aparelhos de ar condicionado tecnologia *split inverter*.

Equipamento	Quantidade de aparelhos	Preço unitário	Custo	u (anos)	FRC _u	CA _n
Samsung inverter 9000 btu/h	10	R\$ 1.533,00	R\$ 15.330,00	15	0,12	R\$ 2.437,62
Samsung inverter 12000 btu/h	4	R\$ 1.748,00	R\$ 6.992,00	15	0,12	R\$ 1111,80
Samsung inverter 18000 btu/h	2	R\$ 2.578,00	R\$ 5.156,00	15	0,12	R\$ 819,86
Total	16		R\$ 27.478,00			R\$ 4.369,28

Fonte: Própria autora, 2018.

4.4 RCB GLOBAL

Com os benefícios e custos anualizados totais dos dois sistemas estudados é possível calcular um RCB global conforme apresenta a tabela 22.

Tabela 22: RCB global estimado.

Uso final	EE (MWh/ano)	RDP (kW)	CA _t	BA _t	RCB
Iluminação	8,6528	0,9915	R\$ 1.908,27	R\$ 5.923,32	0,32
Condicionamento ambiental	5,5264	0,0000	R\$ 4.369,89	R\$ 3.171,82	1,37
Total	14,1792		6278,1598	9095,1457	0,69

Fonte: Própria autora, 2019.

Para o sistema de iluminação a RCB é de 0,3222, sendo viável economicamente no âmbito do PROPEE da ANEEL, pois é um valor menor que oito décimos. Já a RCB do sistema de condicionamento ambiental é de 1,3777, um valor maior que 0,8, sendo considerado inviável economicamente a implementação do sistema de condicionamento ambiental proposto.

De acordo com o (PROPEE, 2014) é possível analisar a RCB global, que consiste em juntar os custos e os benefícios dos usos finais de energia, o RCB global resultou em 0,6903, com isso pode-se afirmar que as AEE são viáveis economicamente no âmbito do PROPEE da ANEEL, pois o RCB é menor que oito décimos.

4.5 ANÁLISE DE INVESTIMENTO

Nessa seção são apresentados os resultados da utilização da metodologia que envolve métodos de análise de investimento caso o investidor queira um auxílio na tomada de decisão e implementar o projeto com recursos próprios.

Primeiramente é feito um fluxo de caixa de acordo com a tabela 23. Como saída de caixa tem-se o investimento inicial que será por recursos da prefeitura municipal, onde R\$ 11.407,50 é o custo de investimento do sistema de iluminação e R\$ 34.678,00 é o custo de investimento do sistema de condicionamento ambiental.

Para o investimento inicial é desconsiderados alguns custos da tabela 20, como, Medição e Verificação e gastos com concessionária, pois esses custos são levados em consideração somente para o cálculo de viabilidade econômica segundo o PROPEE.

Ainda como saída de caixa tem-se o custo de operação e manutenção no decorrer da vida útil do projeto, é considerado no primeiro ano, um custo de R\$ 150,00 para operação e manutenção, esse custo é considerado caso seja necessário levar aparelhos para a garantia, gastos com transporte do equipamento.

A vida útil do sistema de iluminação é estimada por meio da expressão 3.24 em 13 anos. E o sistema de condicionamento ambiental, conforme indica o fabricante, possui vida útil de 15 anos.

Para a vida útil do projeto é considerado a vida útil do sistema de condicionamento ambiental. No décimo terceiro ano haverá novamente a troca do sistema de iluminação, o custo desse investimento é de R\$ 18.409,24 observando a inflação de 2018 que é de 3,75%. A tabela 23 apresenta as entradas e saídas de caixa consideradas na análise.

Tabela 23: Dados necessários para o fluxo de caixa.

Saídas de caixa	
Investimento inicial	R\$ 46.085,5
Custos com operação e manutenção inicial	R\$ 150,00
Entradas de caixa	
Economia de energia no primeiro ano	R\$ 12.487,62

Fonte: Própria autora, 2019.

Como entrada de caixa tem-se a economia de energia por ano promovida através da implementação do projeto. Logo no primeiro ano é estimada uma economia de energia de 14179,2 kWh. Analisando o valor da tarifa a 0,8807 R\$/kWh, é possível estimar uma entrada de caixa de aproximadamente R\$ 12.487,62 já no primeiro ano.

É considerado que durante a vida útil do projeto haverá um reajuste anual das tarifas de energia a uma taxa de 4% (FARIA, 2016 apud RUTHER, 2008).

Através da análise econômica é montado um fluxo de caixa apresentado nas tabelas 24 a 28 e na figura 19.

Tabela 24: Fluxo de caixa determinado do ano 0 ao 3.

Tempo (anos)	0	1	2	3
(+) Economia de Energia		R\$ 12.487,62	R\$ 12.987,13	R\$ 13.506,61
(-) Custos com operação e manutenção		R\$ 150,00	R\$ 155,63	R\$ 161,46
(-) Implantação do Sistema	R\$ 46.085,50			
(=) Fluxo de Caixa	- R\$ 46.085,50	R\$ 12.337,62	R\$ 12.831,50	R\$ 13.345,15

Fonte: Própria autora, 2019.

Tabela 25: Fluxo de caixa determinado do ano 4 ao 6.

Tempo (anos)	4	5	6
(+) Economia de energia	R\$ 14.046,88	R\$ 14.608,75	R\$ 15.193,10
(-) Custos com operação e manutenção	R\$ 167,52	R\$ 173,80	R\$ 180,31
(-) Implantação do sistema			
(=) Fluxo de caixa	R\$ 13.879,36	R\$ 14.434,95	R\$ 15.012,79

Fonte: Própria autora, 2019

Tabela 26: Fluxo de caixa determinado do ano 7 ao 9.

Tempo (anos)	7	8	9
(+) Economia de energia	R\$ 15.800,82	R\$ 16.432,86	R\$ 17.090,17
(-) Custos com operação e manutenção	R\$ 187,08	R\$ 194,09	R\$ 201,37
(-) Implantação do sistema			
(=) Fluxo de caixa	R\$ 15.613,75	R\$ 16.238,77	R\$ 16.888,80

Fonte: Própria autora, 2019.

Tabela 27: Fluxo de caixa determinado do ano 10 ao 12.

Tempo (anos)	10	11	12
(+) Economia de energia	R\$ 17.773,78	R\$ 18.484,73	R\$ 19.224,12
(-) Custos com operação e manutenção	R\$ 208,92	R\$ 216,76	R\$ 224,88
(-) Implantação do sistema			
(=) Fluxo de caixa	R\$ 17.564,86	R\$ 18.267,97	R\$ 18.999,23

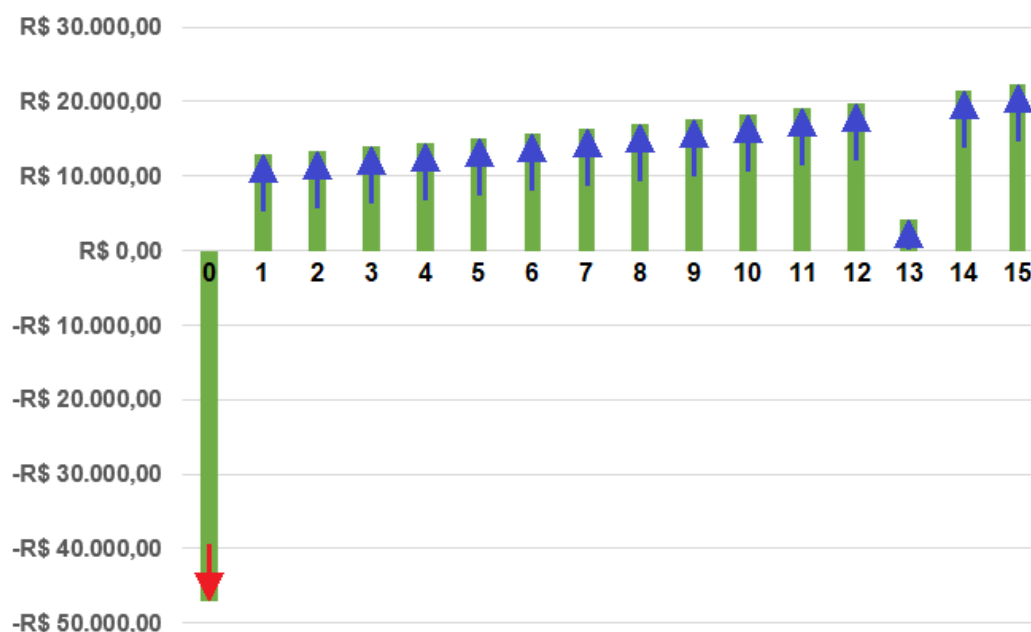
Fonte 1: Própria autora, 2019.

Tabela 28: Fluxo de caixa determinado do ano 13 ao 15.

Tempo (anos)	13	14	15
(+) Economia de energia	R\$ 19.993,08	R\$ 20.792,81	R\$ 21.624,52
(-) Custos com operação e manutenção	R\$ 233,32	R\$ 242,07	R\$ 251,15
(-) Implantação do sistema	R\$ 18.409,24		
(=) Fluxo de caixa	R\$ 1.350,53	R\$ 20.550,74	R\$ 21.373,37

Fonte 2: Própria autora, 2019.

Figura 20: Fluxo de caixa no decorrer da vida útil do projeto.



Fonte: Própria autora, 2019.

Com o fluxo de caixa montado é possível estimar os critérios de investimento. Logo no primeiro ano é estimado um retorno de aproximadamente R\$ 12.337,62, dessa maneira é observado que o *Payback* ocorre no começo do quinto ano, o *Payback* ocorre em curto prazo em relação a vida útil do projeto, trazendo uma possível tomada de decisão para o investidor. Os resultados dos métodos de análise de investimento são apresentados na tabela 29.

Tabela 29: Resultados dos métodos de análise de investimento.

Critérios	Resultados
VPL	R\$ 85.439,06
TIR	29,12%
PAYBACK	5º ANO

Fonte: Própria autora, 2019.

Para o cálculo do VPL, teve-se como base uma taxa mínima de atratividade de 6,5% que é equivalente a taxa do Sistema Especial de Liquidação e Custódia (SELIC). Através da expressão 3.27 tem se um VPL estimado em R\$ 85.439,06, o que significa que é viável economicamente investir nesse projeto de EfE.

A taxa interna de retorno, através da expressão 3.28, trouxe um resultado de 29,12%. Como a TIR é maior que a TMA é possível afirmar mais um resultado positivo com relação a viabilidade do projeto de EfE.

4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o desenvolvimento do trabalho, para o sistema de iluminação tem-se uma economia de energia de 8,7 MWh/ano, com uma RDP de 0,99 kW. Já para o sistema de ares-condicionados, com a implementação do projeto de EfE é previsto uma economia de energia de 5,5 MWh/ano. Com esses valores e demais cálculo demonstrado no capítulo 4 obteve-se um RCB de 0,69. Pelo meio do estudo de investimento, observa-se que ao longo de quinze anos o projeto de EfE retornará em valor presente um valor de R\$ 85.439,06.

5. CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento desse trabalho conclui-se a importância de aprimorar a Eficiência Energética (EfE), pois é com a realizações de sucessivas Ações de Eficiência Energética (AEE) que o crescimento da EfE é oportuno. Com a implementação de projetos de EfE ao longo do tempo é plausível obter um mundo sustentável, sendo importante também sempre analisar economicamente as AEE a serem realizadas.

É admissível concluir que o projeto é viável economicamente no âmbito dos Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), pois a Relação Custo Benefícios (RCB) resultou em 0,69, sendo menor que oito décimos, obedecendo assim a principal diretriz do PROPEE.

Além do projeto de EfE ser viável economicamente de acordo com as regras do PROPEE, é cabível concluir também que as AEE são economicamente viáveis se o governo municipal de Varjão-Goiás (Varjão-GO) optar por investir no projeto de EfE com recursos próprios. Isso porque os resultados dos métodos determinísticos são positivos. Esses métodos auxiliam na tomada de decisão no que tange a investimento em AEE. Com o valor economizado a organização pública de Varjão-GO pode investir em projetos sociais para população, ou seja, além de economia de energia têm-se a oportunidade de oferecer propostas benéficas para cidade de Varjão-GO.

Para conclusão do estudo de caso, os principais capítulos utilizados do guia PROPEE foram os; i) Módulo 4 (Tipologia de Projeto), que define as tipologias de projeto , nesse caso, Serviço Público e as AEE a serem realizadas em diversos usos finais de energia elétrica, e ii) Módulo 7 (Cálculo da Viabilidade), que estabelece os fatores para o cálculo do RCB.

O Programa de Eficiência Energética (PEE) junto ao PROPEE contribuem de forma positiva com o desenvolvimento do Brasil, pois estimulam o aumento das implementações de projetos de EfE, tornando cada vez mais um país eficiente em termos de energia elétrica.

Em relação ao estudo dos métodos determinísticos de investimento, o método Taxa Interna de Retorno Modificada (TIRM) não é empregada no

estudo de caso, pois, só se utiliza esse método quando existe mais de um fluxo de caixa negativo. Por isso, nesse caso é aplicado o método TIR.

O projeto de EfE elaborado, constitui de AEE que cooperarão para uma economia de energia de aproximadamente 14,179 MWh/ano, equivalente a uma economia de aproximadamente R\$ 12.487,00 logo do primeiro ano. O trabalho produz um Valor Presente Líquido (VPL) positivo, uma Taxa Interna de Retorno (TIR) maior que a TMA e um *Payback* curto em relação a vida útil do projeto. Esses valores trazem ao investidor uma possível tomada de decisão em relação a implementação do projeto de EfE elaborado.

No desenvolvimento do trabalho surge sugestões para realização de novas pesquisas e em relação a EfE. Seguem algumas propostas:

- i. Proposta de instalação de Fonte Incentivada para consumidores;
- ii. Proposta de Ações De Eficiência Energética: Estudo de caso em Iluminação Pública;
- iii. Estudos Sobre Ações de Eficiência Energética no Setor Industrial.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Programa de Eficiência Energética – PEE**. Brasília: ANEEL, 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/pt/programa-eficiencia-energetica>>. Acesso em: ago. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução homologatória nº 2.470, de 16 de outubro de 2018**. Homologa o resultado da quarta Revisão Tarifária Periódica – RTP da Enel Distribuição Goiás, as Tarifas de Energia – TE e as Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição – TUSD, e dá outras providências. Brasília: ANEEL, 2018. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20182470.pdf>>. Acesso em: fev. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa ANEEL nº 556/2013 - Procedimentos do Programa de Eficiência Energética - PROPEE**. Brasília: ANEEL, 2014. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/pt/programa-eficiencia-energetica>>. Acesso em: ago. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, 17 maio 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: fev. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413: Iluminância de interiores**. Rio de Janeiro. 1992.

BBC. **Taxa Selic**. Banco Central do Brasil. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/taxaselic>> Acesso em mar. 2019.

BRASIL. **Lei nº 9.991 de 24 de julho de 2000**. Dispõe sobre a realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 25 jul. 2000.

ENEL. **Chamada Pública de Projetos 2018**. ENEL GOIÁS. Disponível em: <<http://enel-go.chamadapublica.com.br/>> Acesso em: mar 2019.

FARIA, A. F. **Eficiência energética e geração distribuída: estudo de caso aplicado a sistema de iluminação, condicionamento ambiental e adição de fonte incentivada de energia elétrica**. 2016. 140 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia 2014.

FILHO, N. C.; KOPITKE, B. H. **Análise de Investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial**. 11. ed. São Paulo. Atlas, 2010.

IBGE. **Índices de Preços ao Consumidor - IPCA e INPC**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/precos/inpc_ipca/ipca_inpc_201504_1.shtm>. Acesso em: mar. 2019.

INMETRO. **Tabelas de consumo/Eficiência Energética**. Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionadores.asp>> Acesso em: set. 2018

INMETRO. **Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE**. Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial. Disponível em: <<https://www2.inmetro.gov.br/pbe/>> Acesso em: jan. 2019.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Eficiência Energética**. Brasília: MME, 2011.

MOREIRA, J. R. S. **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética**. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

PROCEL. **Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica**. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?Team=%7B505FF883%2DA273%2D4C47%2DA14E%2D0055586F97FC%7D>> Acesso em: set. 2018.

RUTHER, R. et al. **Programa de telhados solares fotovoltaicos conectados à rede elétrica pública no Brasil**. XII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, v. 12, Fortaleza, 2008.