

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
IFG CÂMPUS GOIÂNIA
MESTRADO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS

Adriano Ferreira de Faria

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA:
Estudo de Caso Aplicado a Sistema de Iluminação, Condicionamento Ambiental e
Adição de Fonte Incentivada de Energia Elétrica.

Goiânia, 2016.

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
IFG CÂMPUS GOIÂNIA
MESTRADO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS

Adriano Ferreira de Faria

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA:
Estudo de Caso Aplicado a Sistema de Iluminação, Condicionamento Ambiental e
Adição de Fonte Incentivada de Energia Elétrica.

Programa de Pós-Graduação *stricto sensu* em
Tecnologia de Processos Sustentáveis do IFG
(PPGTPS- IFG) - Dissertação de Mestrado
Profissional. Área de Concentração: Tecnologia de
Sistemas de Produção Limpa. Linha de Pesquisa:
Energias Renováveis e Engenharia Econômica
Aplicada

Orientador: Prof. Dr. José Luis Domingos

Coorientador: Prof. Dr. Elder Geraldo Domingues

Goiânia, 2016.

F225e Faria, Adriano Ferreira de.

Eficiência energética e geração distribuída: estudo de caso aplicado a sistema de iluminação, condicionamento ambiental e adição de fonte incentivada de energia elétrica / Adriano Ferreira de Faria. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2016.
140 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. José Luis Domingos.

Coorientador: Prof. Dr. Elder Geraldo Domingues.

Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis, Coordenação do Programa de Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

1. Energias renováveis. 2. Energia elétrica – fontes alternativas. 3. Geração fotovoltaica.
I. Domingos, José Luis (orientador). II. Domingues, Elder Geraldo (coorientador). III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. IV. Título.

CDD 333.794

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Karol Almeida da Silva Abreu CRB1/2740
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

Câmpus
Goiânia

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
IFG CÂMPUS GOIÂNIA
MESTRADO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS

Adriano Ferreira de Faria

**“EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA: ESTUDO
DE CASO APLICADO A SISTEMA DE ILUMINAÇÃO,
CONDICIONAMENTO AMBIENTAL E ADIÇÃO DE FONTE”**

Programa de Pós-Graduação *stricto sensu* em
Tecnologia de Processos Sustentáveis do IFG (PPGTPS
- IFG) - Dissertação de Mestrado Profissional. Área de
Concentração: Tecnologia de Sistemas de Produção
Limpa. Linha de Pesquisa: Energias Renováveis e
Engenharia Econômica Aplicada

Prof(a). Dr.(a) JOSÉ LUIS DOMINGOS (presidente e orientador IFG);

Assinatura

Prof(a). Dr. (a) ELDER GERALDO DOMINGUES (coorientador IFG);

Assinatura

Prof(a). Dr.(a) JAMIL HADDAD (avaliador externo UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá);

Assinatura

Prof(a). Dr.(a). AYLTON JOSÉ ALVES (avaliador IFG)

Assinatura

Prof(a). Dr.(a). WESLEY PACHECO CALIXTO (suplente IFG)

Assinatura

Aprovado em: 13/10/2016

Dedico esta dissertação à minha mãe, Dercília,
exemplo de luta e autoridade moral.

À minha esposa Fabyola, companheira
de jornada e razão da minha vida.

À meu filho Daniel, que tem me possibilitado
vivenciar um amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus que iluminou de maneira especial os meus pensamentos me levando a buscar mais conhecimentos durante esta caminhada.

À minha esposa Fabyola Amaral da Silva Sá e ao meu filho Daniel Amaral Faria de Sá, por serem o meu oásis em meio ao deserto das pressões e do cansaço. Vocês me trouxeram motivação e ânimo para cumprir as etapas mais difíceis e vencer os obstáculos dessa jornada.

À minha mãe Dercília por me ensinar na prática os valores morais necessários para uma vida de trabalho e honestidade.

Ao orientador, professor José Luis Domingos, e ao coorientador professor Elder Geraldo Domingues, que conduziram a pesquisa de forma que os melhores resultados fossem alcançados. Colocaram-se na dianteira do projeto, abrindo portas e mostrando a direção que deveria ser tomada para que cada etapa fosse cumprida com êxito. Suas contribuições foram relevantes e significativas para o resultado final desta pesquisa de mestrado.

A todos os professores membros do mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis, que ministraram as disciplinas apresentando os conhecimentos necessários para a pesquisa.

Aos colegas da terceira turma do mestrado, pela vivência acadêmica e fraterna no decorrer do curso.

À secretária do programa de mestrado, Leila Ninon de Souza, por sua prontidão e simpatia no atendimento às solicitações apresentadas no decorrer do curso.

Aos professores Aylton José Alves, Wesley Pacheco Calixto e a todos os demais professores, pesquisadores e colegas que integram o Núcleo de Estudos Experimentais e Tecnológicos do IFG – NEXT, por suas contribuições para o trabalho.

Ao professor Jamil Haddad da Universidade Federal de Itajubá-UNIFEI pelas sábias contribuições ao trabalho de dissertação.

Ao amigo Paulo Roberto Vilela, vulgo “Pig”. Seus ensinamentos, conselhos e principalmente exemplos, me deram o norte que precisava na carreira profissional e na vida.

Ao Superintendente de Comercialização da CELG Distribuição, Leandro Chaves Melo, bem como o gerente do Departamento de Medição e Utilização de Energia, Mário Márcio Marques pelo apoio e incentivo em todas as etapas do mestrado.

Aos amigos do Setor de Utilização de energia da CELG Distribuição, Elizete Oseias da Silva, Márcio Leonel Silva Miguel, Gerley Costa Lemos, Eduardo Borges Mesquita, TiagoPezshkzad de Sousa, Fabrício Alves de Melo, João Alexandre Júnior e Ricardo Wayne

Veras Barros por fazerem parte da família DC-SUE, ligados pela energia do profissionalismo, da amizade e da união.

Aos colegas do Departamento de Clientes Cooperativos da CELG Distribuição, Edneitler Martins Camilo e André Luiz Abrão Mello pelo fornecimento das informações técnica e regulatórias indispensáveis para o êxito do trabalho.

Aos Colegas do Setor de Medição da CELG Distribuição, Ednaldo Alves Flores e Gilmar Rodrigues dos Santos pelas memórias de massa do consumidor analisado no estudo de caso.

Por fim, aos colegas do denominado “grupo do almoço”, Estêvão Luiz do Nascimento, Rodrigo Flávio de Ataíde, Edneitler Martins Camilo, Gerson da Silva Lima e Lúcio Marcos Pinheiro por estarem comigo quase que diariamente vivenciando momentos de descontração e amizade.

E disse Deus: Haja luz; e houve luz.

Gênesis 1:3

TÍTULO: EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA: Estudo de Caso Aplicado a Sistema de Iluminação, Condicionamento Ambiental e Adição de Fonte Incentivada de Energia Elétrica.

Autor: Adriano Ferreira de Faria

Orientador: Dr. José Luis Domingos

Coorientador: Dr. Elder Geraldo Domingues

RESUMO

A ênfase dada neste trabalho é na elaboração de projeto de eficiência energética com adição de geração proveniente de fonte incentivada de energia elétrica (geração fotovoltaica) no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG) Câmpus Goiânia, observadas as diretrizes estabelecidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Os resultados do estudo de caso permitem concluir que a energia economizada, a redução de demanda evitada na ponta, advindas das ações de eficiência energética nos sistemas de iluminação e condicionamento ambiental, além da geração fotovoltaica, tornará o IFG Câmpus Goiânia autossuficiente em energia elétrica. O cálculo da relação custo benefício (RCB) global do projeto, consideradas as somas dos custos e benefícios de todos os sistemas permite concluir também, que o projeto proposto neste trabalho é considerado técnica e economicamente viável no âmbito do Programa de Eficiência Energética da ANEEL. Também é realizada a estimativa da emissão evitada de carbono, considerando as metodologias utilizadas pela *United Nations Framework Climate Change Convention* (UNFCCC) para projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) que contemplem atividades de eficiência energética e geração de energia renovável conectada à rede.

PALAVRAS-CHAVE: Programas de Eficiência Energética, Geração Distribuída, Energias Renováveis, Geração Fotovoltaica, Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

TITLE: ENERGY EFFICIENCY AND DISTRIBUTED GENERATION: Case study applied to illumination system, environmental conditioning and addition of incentiveted power source (photovoltaic plant).

Author: Adriano Ferreira de Faria

Adviser: José Luis Domingos

Co-adviser: Elder Geraldo Domingues

ABSTRACT

The emphasis in this work is the development of energy efficiency project with addition of incentiveted power source (photovoltaic plant) at Campus Goiânia of Federal Institute of Education, Science and Technology of Goiás (IFG) subject to the guidelines established by National Electric Energy Agency (ANEEL). The case study results leads to the conclusion that the saved energy, the reduction of end demand, resulting from actions of energy efficiency on lighting system and environmental conditioning, besides the generation from photovoltaic solar panels, could make the IFG Campus Goiânia independent in electricity. The evaluation of the global cost-benefit ratio of the project, taking into account all costs and benefits of the systems, allow to conclude the suggested project on this work is economically viable to the Energetic Efficiency Program from ANEEL. It is also considered the avoided carbon emissions estimation, looking at the methodologies used by United Nations Framework Climate Change Convention (UNFCCC) to projects of Clean Development Mechanism (CDM) which include energy efficient actions and renewable energy generation connected to the grid.

KEYWORDS: Energy Efficiency Programs, Distributed Generation, Renewable Energy, Generation Photovoltaics, Clean Development Mechanism.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Número de conexões por fonte	37
Figura 2: Número de conexões por Unidade da Federação - UF	38
Figura 3: Potência total instalada (kW)	38
Figura 4: Projeção do consumo energético por setor, considerando o consumo evitado pela conservação de energia.....	42
Figura 5: Módulos do PROPEE	50
Figura 6: Etapas dos projetos do PEE	52
Figura 7: Conceito de adicionalidade	72
Figura 8: Fachada do IFG Câmpus Goiânia	82
Figura 9: Edificações que compõem o IFG Câmpus Goiânia	83
Figura 10: Visão geral tridimensional das edificações do IFG Câmpus Goiânia.....	83
Figura 11: Tipologia das lâmpadas do IFG Câmpus Goiânia	86
Figura 12: Lâmpadas fluorescentes tubulares por potência e quantidade	86
Figura 13: Luminária com 5 lâmpadas e sem aletas presente no IFG Câmpus Goiânia	87
Figura 14: Quantidade de ar condicionados instalados por tecnologia no IFG Câmpus Goiânia	94
Figura 15: Ar condicionado com mais de 10 anos instalado no IFG Câmpus Goiânia.....	95
Figura 16: Blocos com telhado disponível para instalação de sistema fotovoltaico	102
Figura 17: Estrutura dos telhados dos blocos 300, 400 e 500	103
Figura 18: Estrutura dos telhados dos blocos 600, 700 e 800	103
Figura 19: Posicionamento dos blocos 300, 400, 500, 600, 700 e 800	104
Figura 20: Preço médio dos sistemas fotovoltaicos no Brasil em 2014 por faixa de potência	106
Figura 21: Composição do custo total da instalação de um sistema fotovoltaico	106
Figura 22: Consumo de energia mensal do IFG Câmpus Goiânia	110
Figura 23: Curva de demanda do dia 21/10/2015 - IFG Câmpus Goiânia.....	114
Figura 24: Fluxo de caixa - IFG Câmpus Goiânia.....	121

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Brasil – Consumo de energia e Eficiência Energética.....	42
Tabela 2: Resultados do ciclo 2008 a 2015 de projetos de Eficiência Energética realizados pelo PEE da ANEEL nas diversas tipologias.	43
Tabela 3: Estimativa da energia gerada oriunda da instalação de sistemas de Geração Distribuída no horizonte decenal (GWh)	43
Tabela 4: Coeficientes das equações para $k = 0,15$	59
Tabela 5: Sistema de iluminação	61
Tabela 6: Sistema de condicionamento ambiental	65
Tabela 7: Lista de metodologias para projetos de MDL que utilizam energia renovável	73
Tabela 8: Informações gerais – IFG Câmpus Goiânia	82
Tabela 9: Resumo do levantamento de carga dos sistemas de iluminação, ar condicionado e ventiladores IFG-Câmpus Goiânia	84
Tabela 10: Sistema de iluminação por tipologia e potência	85
Tabela 11: Tipo de lâmpada e quantidade	85
Tabela 12: Quantidade de lâmpadas fluorescentes tubulares considerando o número de lâmpadas por luminária	87
Tabela 13: Tabela de equivalência do sistema de iluminação.....	88
Tabela 14: Custo da iluminação eficiente.....	88
Tabela 15: Custos diretos e indiretos do sistema de iluminação proposto	89
Tabela 16: Custos anualizados do sistema de iluminação proposto	90
Tabela 17: Parâmetros para o cálculo da amostra inicial do M&V - sistema de iluminação ...	90
Tabela 18: Parâmetros utilizados nos cálculos de CED e CEE.....	90
Tabela 19: Tarifas de fornecimento: resolução homologatória ANEEL nº 1.858 de 27/02/2015, início da vigência 02/03/2015	91
Tabela 20: Parâmetros para o cálculo da energia economizada e demanda retirada na ponta sistema de iluminação atual.....	91
Tabela 21: Parâmetros para o cálculo da energia economizada e demanda retirada na ponta sistema de iluminação proposto.....	92
Tabela 22: Energia economizada e demanda retirada na ponta do sistema de iluminação	92
Tabela 23: Análise de viabilidade econômica do sistema de iluminação.....	92

Tabela 24: Sistema de condicionamento ambiental por tipologia e potência.....	93
Tabela 25: Quantidade de aparelhos de ar condicionado por ambiente	94
Tabela 26: Tabela de equivalência do sistema de condicionamento ambiental	96
Tabela 27: Custo do condicionamento ambiental eficiente.....	97
Tabela 28: Custos diretos e indiretos do sistema de condicionamento ambiental proposto.....	98
Tabela 29: Custos anualizados do sistema de condicionamento ambiental proposto	99
Tabela 30: Parâmetros para o cálculo da amostra inicial do M&V - sistema de condicionamento ambiental.....	99
Tabela 31: Parâmetros para o cálculo da energia economizada e demanda retirada na ponta do sistema de condicionamento ambiental atual	100
Tabela 32: Parâmetros para o cálculo da energia economizada e demanda retirada na ponta do sistema de condicionamento ambiental proposto	101
Tabela 33: Energia economizada e demanda retirada na ponta do sistema de condicionamento ambiental	101
Tabela 34: Análise de viabilidade econômica do sistema de condicionamento ambiental	102
Tabela 35: Área disponível para implantação do sistema fotovoltaico	104
Tabela 36: Características do sistema fotovoltaico	105
Tabela 37: Consumo em 2015 e geração fotovoltaica simulada	105
Tabela 38: Parâmetros para o cálculo da amostra inicial do M&V - sistema fotovoltaico	107
Tabela 39: Composição do custo total da instalação de um sistema fotovoltaico.....	107
Tabela 40: Custos anualizados do sistema fotovoltaico proposto	108
Tabela 41: Análise de viabilidade econômica do sistema de geração fotovoltaica.....	108
Tabela 42: Análise de viabilidade econômica do projeto.....	109
Tabela 43: Consumo de energia anual do IFG Câmpus Goiânia	110
Tabela 44: Redução do consumo de energia anual proporcionada pelas AEE	110
Tabela 45: Consumo previsto de energia em 2018.....	110
Tabela 46: Caracterização da unidade consumidora	111
Tabela 47 – Leitura de consumo e demanda do IFG Câmpus Goiânia – jul/2015 a jun/2016	111
Tabela 48 – Leitura de consumo e demanda do IFG Câmpus Goiânia – jul/2015 a jun/2016	112

Tabela 49 – Tarifas de energia e demanda - modalidade tarifária azul.....	112
Tabela 50 – Tarifas de energia e demanda - modalidade tarifária verde.....	113
Tabela 51 – Valores mensais pagos nas tarifas verde e azul, considerando a TUSD, TE e impostos.....	113
Tabela 52 – Demanda mensal faturada em 2015.....	114
Tabela 53 – Redução da demanda com AEE	115
Tabela 54 – Demanda contratada após AEE	115
Tabela 55 – Leitura de consumo e demanda considerando as AEE no IFG Câmpus Goiânia – jul/2015 a jun/2016.....	117
Tabela 56 – Leitura de kVArh e kVAr do IFG Câmpus Goiânia – jul/2015 a jun/2016	117
Tabela 57 – Valores mensais pagos na tarifa verde, considerando Ações de Eficiência Energética, geração fotovoltaica, nova demanda contratada, TUSD, TE e impostos	118
Tabela 58 – Taxa de juros de longo prazo – TJLP	119
Tabela 59 – Parâmetros para elaboração do fluxo de caixa	120
Tabela 60 – Fluxo de caixa estratificado IFG Câmpus Goiânia (ano 0 ao 4º)	121
Tabela 61 – Fluxo de caixa estratificado IFG Câmpus Goiânia (ano 5 ao 9º)	122
Tabela 62 – Fluxo de caixa estratificado IFG Câmpus Goiânia (ano 10 ao 14º)	122
Tabela 63 – Fluxo de caixa estratificado IFG Câmpus Goiânia (ano 15 ao 19º)	122
Tabela 64 – Fluxo de caixa estratificado IFG Câmpus Goiânia (ano 20)	123
Tabela 65 – Critérios econômicos de decisão	123
Tabela 66: Dados da MC e MO referente ao ano 2014.....	125
Tabela 67: Parâmetros e estimativa do fator de emissão do SIN no cenário 2014.....	125
Tabela 68: Resultado das emissões evitadas do sistema fotovoltaico (451,02 kWp) - cenário 2014.....	126
Tabela 69: Emissões do projeto decorrentes das fugas físicas de refrigerante – sistema atual	128
Tabela 70: Emissões do projeto decorrentes das fugas físicas de refrigerante – sistema proposto	129
Tabela 71: Emissões de linha de base dos sistemas de iluminação e condicionamento ambiental IFG Câmpus Goiânia	129

Tabela 72: Emissões do projeto dos sistemas de iluminação e condicionamento ambiental IFG Câmpus Goiânia	130
Tabela 73: Redução das emissões dos sistemas de iluminação e condicionamento ambiental IFG Câmpus Goiânia	130
Tabela 74: Redução das emissões considerando todo o projeto no IFG Câmpus Goiânia	130

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABRADEE	Associação Brasileira das Distribuidoras de Energia Elétrica
AEE	Ação de Eficiência Energética
AMS-I.D	Metodologia do MDL Envolvendo Projetos de Energias Renováveis Conectados à Rede
AMS-II.C	Metodologia do MDL Envolvendo Projetos com Atividades de Eficiência Energética pelo lado da Demanda para Tecnologias Específicas Conectadas à Rede
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ANS	Ajuste de Nível de Serviço
BA_{CG}	Benefício Anual da Central Geradora (R\$/ano)
BA_{EE}	Benefício Anual das Ações de Eficiência Energética (R\$/ano).
BA_T	Benefício Anualizado Total (R\$/ano)
BE_y	Emissões da Linha de Base no Ano y (tCO ₂ eq/ano)
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
C_1	Custo Unitário da Demanda no Horário de Ponta (R\$/kW/mês)
C_2	Custo Unitário da Demanda no Horário Fora de Ponta (R\$/kW/mês)
C_3	Custo Unitário da Energia no Horário de Ponta de Períodos Secos (R\$/MWh)
C_4	Custo Unitário da Energia no Horário de Ponta de Períodos Úmidos (R\$/MWh)
C_5	Custo Unitário da Energia no Horário Fora de Ponta de Períodos Secos (R\$/MWh)
C_6	Custo Unitário da Energia no Horário Fora de Ponta de Períodos Úmidos (R\$/MWh)
CA_n	Custo Anualizado de Cada Equipamento (R\$/ano)
CA_T	Custo Anualizado Total (R\$/ano)

<i>CED</i>	Custo Unitário Evitado de Demanda (R\$/kW)
<i>CEE</i>	Custo Unitário da Energia Economizada (R\$/MWh)
CDB	Certificado de Depósito Bancário
CELG D	Celg Distribuição S/A
CE_n	Custo de Cada Equipamento (R\$)
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CE_T	Custo Total em Equipamentos (R\$)
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CGIEE	Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
CODI	Comitê de Distribuição
CONPET	Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
<i>CT</i>	Custo Total do Projeto (R\$)
<i>cv</i>	Coefficiente de Variação das Medidas
DMCR	Demanda Máxima Corrigida
<i>e</i>	Precisão Desejada (= 0,1)
EE	Energia Anual Economizada (MWh/ano)
$EF_{CO_2,grid,y}$	Fator de Emissão de CO ₂ eq da Rede Elétrica no Ano <i>y</i> (tCO ₂ eq/MWh)
$EF_{grid,MC,y}$	Fator de Emissão de CO ₂ eq da Margem de Construção no ano <i>y</i> (tCO ₂ eq/MWh)
$EF_{grid,MO,y}$	Fator de Emissão de CO ₂ eq da Margem de Operação no ano <i>y</i> (tCO ₂ eq/MWh)

$EG_{BL,y}$	Quantidade Líquida de Eletricidade Fornecida à Rede Elétrica como Resultado da Implementação da Atividade de Projeto de MDL no Ano y (MWh)
ELETOBRAS	Centrais Elétricas Brasileiras S/A
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ER_y	Redução das Emissões no Ano y (tCO ₂ eq/ano)
ESCO	Empresas de Conservação de Energia
EVO	<i>Efficiency Valuation Organization</i>
EXCEN	Centro de Excelência em Eficiência Energética
FC	Fator de Carga
$FCPa_i$	Fator de Coincidência na Ponta no Sistema i Atual
$FCPp_i$	Fator de Coincidência na Ponta no Sistema i Proposto
FP	Fator de Perda
FRC_u	Fator de Recuperação do Capital para u Anos (1/ano)
GD	Geração Distribuída
GEE	Gases de Efeito Estufa
$GWP_{ref,BL}$	Potencial de Aquecimento Global do Refrigerante na Linha de Base (tCO ₂ eq/t refrigerante)
ha_i	Tempo de Funcionamento do Sistema i Atual (h/ano)
HFCs	Hidrofluorcarbonos
hp_i	Tempo de Funcionamento do Sistema i Proposto (h/ano)
i	Taxa de Juro
IFG	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IPCA	Índice de Preços ao Consumidor Amplo
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>

k	Constante que Varia Tipicamente de 0,15 a 0,30
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
LED	Diodo Emissor de Luz
LE_y	Emissões Decorrentes das Fugas no Ano y (tCO ₂ eq/ano)
LP	Constante de Perda de Demanda no Posto Fora de Ponta, Considerando 1kW de Perda de Demanda no Horário de Ponta
M&V	Medição e Verificação
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, da Indústria e do Comércio Exterior
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MICROGERAÇÃO	Central Geradora de Energia Elétrica com Potência Instalada menor ou igual a 75 kW
MINIGERAÇÃO	Central Geradoras com Potência Instalada Superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MME	Ministério de Minas e Energia
N ₂ O	Óxido Nitroso
n	Tamanho Reduzido da Amostra
N	Tamanho da População
n_0	Tamanho Inicial da Amostra
nd	Número de Dias, ao Longo do Mês, de Utilização em Horário de Ponta (≤ 22 dias)

<i>nm</i>	Número de Meses, ao Longo do Ano, de Utilização em Horário de Ponta (≤ 12 meses)
<i>nup</i>	Número de Horas de Utilização em Horário de Ponta (≤ 3 horas)
ONS	Operador Nacional do Sistema
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
<i>pa_i</i>	Potência da Lâmpada e Reator no Sistema <i>i</i> Atual (W)
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PDE	Plano Decenal de Energia
PEE	Programa de Eficiência Energética
<i>PE_{ref,y}</i>	Emissões do Projeto Decorrentes das Fugas Físicas de Refrigerante do Equipamento do Projeto no Ano <i>y</i> (tCO ₂ eq)
PETROBRÁS	Petróleo Brasileiro S.A.
<i>PE_y</i>	Emissões do Projeto no Ano <i>y</i> (tCO ₂ eq/ano)
PFCs	Perfluorcarbonos
PIMVP	Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance
PNE2030	Plano Nacional de Energia
PNEf	Plano Nacional de Eficiência Energética
<i>pp_i</i>	Potência da Lâmpada e Reator no Sistema <i>i</i> Proposto (W)
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
PROESCO	Programa de apoio a Projetos de Eficiência Energética
PROPEE	Procedimento do Programa de Eficiência Energética
PRORET	Procedimentos de Regulação Tarifária
<i>Pua_i</i>	Potência Média do Aparelho no Sistema <i>i</i> Atual (kW)
<i>Pup_i</i>	Potência Média do Aparelho no Sistema <i>i</i> Proposto (kW)
<i>qa_i</i>	Número de Lâmpadas/Aparelhos no Sistema <i>i</i> Atual

qp_i	Número de Lâmpadas/Aparelhos no Sistema i Proposto
$Q_{ref,BL}$	Quantidade Média Anual de Refrigerante Usado na Linha de Base para Substituir o Refrigerante que Vazou (toneladas/ano)
RCB	Relação Custo Benefício
RDP	Redução de Demanda em Horário de Ponta (kW)
SBPE	Sociedade Brasileira de Planejamento Energético
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e Custódia
SF_6	Hexafluoreto de Enxofre
SGPEE	Sistema de Gestão do Programa de Eficiência Energética
TE	Tarifa de Energia
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
u	Vida Útil dos Equipamentos (ano)
UFER	Unidade de Faturamento de Energia Reativa
UNFCCC	<i>United Nations Framework Climate Change Convention</i>
UNIFEI	Universidade Federal de Itajubá
w_{MC}	Ponderação do Fator de Emissão para Margem de Construção para Novos Empreendimentos de Energias Renováveis
w_{MO}	Ponderação do Fator de Emissão da Margem de Operação para Novos Empreendimentos de Energias Renováveis
z	Valor Padrão da Distribuição Normal (confiabilidade de 95%) = 1,96
792	Número de Horas de Ponta Disponíveis ao Longo de 1 Ano

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	23
2	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA: ASPECTOS REGULATÓRIOS E DE MERCADO E INSERÇÃO NO PLANEJAMENTO ENERGÉTICO BRASILEIRO.....	28
2.1	INTRODUÇÃO	28
2.2	A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS PROGRAMAS DE GOVERNO.....	28
2.2.1	<i>Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE)</i>	28
2.2.2	<i>Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL)</i>	29
2.2.3	<i>Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET)</i>	29
2.2.4	<i>A Lei de Eficiência Energética</i>	30
2.2.5	<i>Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE)</i>	31
2.2.6	<i>O Plano Nacional de Eficiência Energética</i>	31
2.2.7	<i>Os Programas de Eficiência Energética das Concessionárias (PEE)</i>	32
2.3	A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NOS PROGRAMAS DE GOVERNO	34
2.3.1	<i>Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD)</i>	39
2.4	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO ATENDIMENTO À DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA	41
2.5	ANÁLISE CRÍTICA DAS POLÍTICAS E PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	44
2.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	47
3	METODOLOGIA DE ANÁLISE.....	48
3.1	INTRODUÇÃO	48
3.2	OS PROCEDIMENTOS DO PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - PROPEE	49
3.3	VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO.....	54
3.3.1	<i>Cálculo da Relação Custo-Benefício</i>	55
3.3.2	<i>Cálculo dos Custos</i>	56
3.3.3	<i>Cálculo dos Benefícios</i>	57
3.3.4	<i>Metodologia de Cálculo do Número de Amostras para Medição e Verificação</i>	66
3.4	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA UTILIZANDO MÉTODOS DETERMINÍSTICOS DE ANÁLISE DE INVESTIMENTO (VPL, TIR, TIRM, PAYBACK).....	67
3.4.1	<i>Valor Presente Líquido – VPL</i>	68
3.4.2	<i>PAYBACK</i>	69
3.4.3	<i>Taxa Interna de Retorno – TIR e Taxa Interna de Retorno Modificada – TIRM</i>	69
3.5	METODOLOGIA DE CÁLCULO DAS EMISSÕES EVITADAS DE CO ₂ EQUIVALENTE	70
3.5.1	<i>Metodologia AMS-I.D aplicada a projetos envolvendo energias renováveis conectados à rede</i> ..	72
3.5.2	<i>Metodologia AMS-II.C – projetos envolvendo atividades de eficiência energética pelo lado da demanda para tecnologias específicas conectadas à rede</i>	75
3.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	79

4	AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA E RESULTADOS	81
4.1	INTRODUÇÃO	81
4.2	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DO ESTUDO DE CASO	81
4.3	ELABORAÇÃO DO PROJETO	84
4.3.1	<i>Diagnóstico Energético</i>	84
4.3.2	<i>Sistema Fotovoltaico</i>	102
4.3.3	<i>Consumo de energia do IFG</i>	109
4.3.4	<i>Análise tarifária</i>	111
4.3.5	<i>Análise de recontração da demanda</i>	114
4.3.6	<i>Análise de Viabilidade Econômica pelos Critérios do VPL, TIRM e PAYBACK</i>	116
4.3.7	<i>Análise das emissões evitadas de CO₂eq</i>	124
4.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	131
5	CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	132
5.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	134
	REFERÊNCIAS	135
	TRABALHOS PUBLICADOS EM ANAIS DE EVENTOS.....	140

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é essencial no mundo contemporâneo e revolucionou nosso modo de produção e consumo. Todavia, é preciso compreender que para usufruir dos benefícios da energia elétrica é necessário se faz utilizar-se dos recursos naturais do planeta. O mito da “natureza inesgotável” já não pode mais ter lugar nas ações cotidianas. Os recursos naturais são escassos e há a necessidade de readequação nas atitudes dos seres humanos perante o meio ambiente.

Segundo a Nota Técnica DEA 07/13 (EPE, 2013) - Avaliação da Eficiência Energética e Geração Distribuída para os próximos 10 anos (2013-2022), que considera alguns pontos relevantes sobre a questão energética, como a perspectiva de custos mais elevados da oferta de energia de origem fóssil e a preocupação com a questão das mudanças climáticas decorrentes do aquecimento global do planeta, aquecimento este atribuído, em grande medida, à produção e ao consumo de energia, trouxeram argumentos novos e consistentes que justificam uma análise mais criteriosa quanto à busca do equilíbrio entre oferta e o consumo de energia.

De acordo com Kitta Eitler (2012), o que parece certo é que a época da economia e da vida social, moldadas e abastecidas por um número reduzido de fontes de energia amplamente dominadas pelos fósseis vão acabar, e os novos sistemas e estruturas produtivas, inclusive e principalmente a vida nas cidades, serão adaptados a um conjunto muito mais diversificado e descentralizado de fontes de energia.

Os desafios e oportunidades do setor elétrico brasileiro, fortemente dependente das hidrelétricas (61,3%) e das térmicas (17,4%), conforme dados do Banco de Informações de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL disponibilizados em abril de 2016 (ANEEL, 2016), cujo cenário atual de baixa dos reservatórios e consequentemente acionamento sistemático das usinas termelétricas movidas a óleo combustível, carvão mineral e/ou gás natural, demonstram a necessidade da diversificação da matriz energética com outras fontes renováveis de energia, assegurando dessa forma, o atendimento da crescente demanda e a melhoria da segurança energética, além de reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

Esses aspectos exigem a busca por soluções que possibilitem o uso eficiente dos recursos disponíveis, a fim de atender as necessidades presentes e garantir que as gerações futuras também sejam atendidas. É nesse contexto que a Eficiência Energética (EE) e a Geração Distribuída (GD) desempenham um papel fundamental para ajudar a enfrentar os desafios relativos ao crescente consumo de energia elétrica no Brasil e mitigar seus impactos.

A eficiência no uso da energia é um importante vetor no atendimento da demanda, contribuindo para a segurança energética, para a modicidade tarifária, para a competitividade da economia e para a redução das emissões de gases de efeito estufa. A GD se apresenta também como uma possível, e bem próxima, alternativa ao atual modelo de planejamento da expansão do sistema energético brasileiro, podendo ser uma alternativa de uso mais eficiente de recursos energéticos, econômico-financeiros e ambientais.

De acordo com o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) publicado pelo Ministério de Minas e Energia - MME, Eficiência Energética “refere-se a ações de diversas naturezas que culminam na redução da energia necessária para atender as demandas da sociedade por serviços de energia sob a forma de luz, calor/frio, acionamento, transportes e uso em processos”. Ainda, “objetiva, em síntese, atender às necessidades da economia com menor uso de energia primária e, portanto, menor impacto da natureza” (MME/PNEf, 2011).

Segundo Kitta Eitler (2012), a Eficiência Energética não é uma questão apenas técnica, pois não depende somente do avanço tecnológico. Na verdade, ela envolve também os aspectos humanos e sociais do uso da energia. A vertente humana visa reduzir o desperdício de energia elétrica e a disseminar os bons hábitos de consumo entre os cidadãos. A vertente tecnológica, por sua vez, visa ao desenvolvimento e à adoção de tecnologias mais eficientes.

Já a GD é aquela geração de energia localizada próxima ao consumidor final, cuja instalação objetiva o atendimento prioritário a este, podendo ou não gerar excedentes energéticos comercializáveis para além das instalações do consumidor final. Outro aspecto a destacar é que se considera a geração de energia como um todo, abrangendo eletricidade e outros energéticos. Juntas, tais alternativas contribuem com parcela importante do atendimento da demanda de energia no país.

No Brasil, diversas iniciativas sistematizadas de EE e GD vêm sendo implementadas há mais de 30 anos. Destacam-se o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), cuja coordenação executiva está a cargo das Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (ELETROBRAS), e o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET), cuja coordenação executiva é de responsabilidade da Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS), o Programa de Apoio a Projetos de Eficiência Energética (PROESCO), cuja coordenação executiva pertence ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). O PBE é vinculado ao Ministério do Desenvolvimento, da Indústria e do Comércio

Exterior (MDIC). O PROCEL e o CONPET são vinculados ao Ministério de Minas e Energia (MME).

Além destes, a Lei nº 10.295/2001 determina a instituição de “níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados e comercializados no país” e o Decreto nº 4.059/2001 regulamenta a mesma. Neste âmbito, mais recentemente, foi instituída a política de banimento gradativo das lâmpadas incandescentes por faixa de potência através da Portaria Interministerial MME/MCTI e MDIC, nº 1.007/2010 (EPE, 2013).

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 PEE, consolidando assim o Programa de Eficiência Energética. Este investimento foi definido em 0,5% da receita operacional líquida de tais empresas (BRASIL, 2000).

Vale destacar também, que o país tem caminhado na direção de incentivar a penetração da geração distribuída de pequeno porte, por exemplo, com a Resolução Normativa da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) nº482/2012 (ANEEL, 2012), alterada pela Resolução Normativa da ANEEL nº687/2015 (ANEEL, 2015), que 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, entre outras.

Estudos de Eficiência Energética e Geração Distribuída no âmbito do Setor Elétrico Brasileiro permitirão importantes reflexões sobre o tema, pois o cenário atual é bem parecido com a crise energética vivenciada em 2001. Segundo Vilela (2001), houve uma tomada de consciência forçada. O susto levou à consciência. A noção de que energia elétrica é um bem caro foi assimilada pela população. Quase 15 anos depois, é necessário dar um passo adiante, ou seja, vivenciar na prática aquilo que já está consolidado na consciência.

Considerando o exposto, este trabalho visa avaliar, através de um estudo de caso aplicado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG) Câmpus Goiânia, a importância e a viabilidade técnica/econômica de ações de combate ao desperdício de energia elétrica e de melhoria da eficiência energética de equipamentos, processos e usos finais de energia, bem como avaliar os ganhos energéticos e ambientais através da instalação de sistemas de geração fotovoltaica sobre o telhado de um consumidor enquadrado na classe de consumo Poder Público. A escolha do IFG Câmpus Goiânia como estudo de caso, se deve ao fato que o mesmo reúne condições favoráveis para receber um Projeto de Eficiência Energética com Adição de Fonte Incentivada de Energia.

Se um dos principais objetivos do Programa de Eficiência Energética das distribuidoras de energia é demonstrar à sociedade que projetos desta natureza são viáveis técnica e economicamente, nada mais justo e coerente do que verificar essa viabilidade, através de um estudo de caso em uma instituição pública, referência de ensino de qualidade e que oferece cursos desde educação integrada ao ensino médio à pós-graduação.

O efeito multiplicador da implantação de um projeto de eficiência energética vai muito além dos benefícios públicos da energia economizada e da demanda evitada no horário de ponta do sistema elétrico. Busca-se, enfim, a implantação de uma cultura de combate ao desperdício de energia elétrica e a conscientização do consumidor (alunos, professores, servidores e demais membros da sociedade) quanto ao uso sustentável dos recursos naturais renováveis e não renováveis. A possibilidade de se replicar o projeto para outras unidades de ensino e demais instituições públicas também foi decisiva na escolha do IFG Câmpus Goiânia, enquanto estudo de caso, uma vez que maximiza o processo de transformação do mercado de energia elétrica, estimulando o desenvolvimento de novas tecnologias e a criação de hábitos eficientes do uso da energia.

A metodologia de análise a ser desenvolvida poderá ser utilizada como ferramenta de apoio a tomada de decisão para outros consumidores da classe de consumo Poder Público e/ou que apresentam potencialidade para serem eficientizados e/ou tornarem-se também geradores de energia elétrica.

Dessa forma, são definidos o objetivo geral e os objetivos específicos do trabalho. O objetivo geral do trabalho é avaliar, através de um estudo de caso, a importância e a viabilidade técnica/econômica de ações de combate ao desperdício de energia elétrica e de melhoria da Eficiência Energética aplicado a sistema de iluminação, condicionamento ambiental e adição de fonte incentivada de energia elétrica (geração fotovoltaica). Já os objetivos específicos consistem em:

- a) analisar e propor modificações na legislação vigente sobre os Programas de Eficiência Energética e Geração Distribuída (mini e micro geração distribuída);
- b) elaborar um projeto de Eficientização Energética com Adição de Geração Proveniente de Fonte Incentivada de Energia Elétrica (geração fotovoltaica) no IFG Câmpus Goiânia, observadas as diretrizes estabelecidas pela ANEEL para a sua elaboração, conforme Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE);

- c) realizar análise de viabilidade de projeto de investimento utilizando outros métodos determinísticos;
- d) realizar análise de recontração da demanda, após as Ações de Eficiência Energética;
- e) quantificar as emissões evitadas de CO₂ equivalente com o projeto de eficiência energética.

Para o alcance dos objetivos supracitados, este trabalho foi organizado, conforme os capítulos descritos a seguir:

- a) o Capítulo 1 apresenta informações relevantes para a contextualização das necessidades que levaram à formação dos objetivos do trabalho, assim como para o alcance destes;
- b) o Capítulo 2 aborda os aspectos regulatórios e de mercado quanto aos Programas de Eficiência Energética e Geração Distribuída das concessionárias de energia, assim como projeções e metas governamentais acerca de suas contribuições no planejamento energético brasileiro;
- c) o Capítulo 3 descreve as metodologias utilizadas para se atingir os objetivos do trabalho;
- d) o Capítulo 4 é destinado a apresentar os resultados obtidos a partir da aplicação das metodologias em um estudo de caso, buscando-se destacar as contribuições resultantes desta aplicação;
- e) o Capítulo 5 apresenta as conclusões obtidas a partir dos resultados do trabalho e da experiência proporcionada pela pesquisa, assim como algumas recomendações para trabalhos futuros;
- f) por fim, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas nesta dissertação.

2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA: ASPECTOS REGULATÓRIOS E DE MERCADO E INSERÇÃO NO PLANEJAMENTO ENERGÉTICO BRASILEIRO

2.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta aspectos regulatórios e de mercado quanto aos Programas de Eficiência Energética e Geração Distribuída do setor elétrico brasileiro, assim como projeções e metas governamentais acerca de suas contribuições no planejamento energético.

2.2 A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS PROGRAMAS DE GOVERNO

A oferta de um serviço de energia exige uma cadeia de transformações, transporte e estocagem com origem nas fontes primárias, ou seja, nas formas disponíveis na natureza tanto de origem renovável (solar direta, eólica, hidráulica, cana de açúcar e madeira) quanto não renovável (petróleo, gás natural, carvão mineral e nuclear). As ações de EE compreendem modificações ou aperfeiçoamentos tecnológicos ao longo da cadeia, mas podem também resultar de uma melhor organização, conservação e gestão energética por parte das entidades que a compõem. Devem ser privilegiadas todas as ações que, na margem, tenham um custo inferior ao necessário para suprir a energia economizada (MME/PNEf, 2011).

De acordo com o Guia para Eficiência Energética nas Edificações Públicas 2015, o Brasil possui, há pelo menos três décadas, programas de Eficiência Energética reconhecidos internacionalmente como o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET), entre outros, além de políticas e planos específicos. O projeto Esplanada Sustentável insere-se nesse contexto e estimula que órgãos e instituições públicas federais adotem um novo modelo de gestão organizacional e de processos estruturado na implantação de ações voltadas ao uso racional de recursos naturais, promovendo a sustentabilidade ambiental e socioeconômica na Administração Pública Federal (CEPEL/2015).

2.2.1 Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE)

Em 1984, o INMETRO iniciou, juntamente com o Ministério de Minas e Energia (MME), discussão sobre energia, com a finalidade de contribuir para a racionalização no seu

uso no país, informando os consumidores sobre a Eficiência Energética de cada produto, estimulando-os a fazer uma compra mais consciente. Esse esforço deu início ao Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE).

O PBE promove a Eficiência Energética por meio de etiquetas informativas a respeito do desempenho de máquinas e equipamentos energéticos, sendo de adesão compulsória para alguns equipamentos a partir da Lei 10.295, publicada em outubro de 2001 (conhecida por “Lei de Eficiência Energética”). Há dezenas de equipamentos etiquetados como, por exemplo, refrigeradores, congeladores verticais e horizontais, máquinas de lavar roupa, condicionadores de ar, motores elétricos trifásicos, lâmpadas fluorescentes compactas, aquecedores de água de passagem, fogões e fornos domésticos a gás, entre outros.

De acordo com o Departamento de Desenvolvimento Energético pertencente a Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético do MME, de 2006 a 2013, a etiquetagem de lâmpadas foi responsável por economia de cerca de R\$ 23 bilhões. No tocante a Refrigeradores e Condicionadores de Ar, estima-se economia de R\$ 6 bilhões, desde 2000 (CEPEL/2015).

2.2.2 Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL)

Criado em 1985, coordenado pelo MME e operacionalizado pela ELETROBRÁS, o PROCEL é constituído por diversos subprogramas, dentre os quais se destacam ações nas áreas de iluminação pública, industrial, saneamento, educação, edificações, prédios públicos, gestão energética municipal, informações, desenvolvimento tecnológico e divulgação. As ações de marketing, notadamente a etiquetagem, o Selo e o Prêmio PROCEL, são responsáveis por cerca de 90% dos resultados do programa. Desde sua criação já foram investidos mais de R\$ 1,4 bilhão, sendo o programa responsável pela economia estimada de cerca de 70 TWh, equivalente ao suprimento de 35 milhões de residências durante um ano. Em 2003, o PROCEL foi responsável por uma economia de energia de 1,82 TWh, chegando a 6,16 TWh, no ano de 2010 e 9,74 TWh em 2013 (ELETROBRAS/PROCEL 2014).

2.2.3 Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET)

Criado em 1991, coordenado pelo MME e operacionalizado pela PETROBRAS, o CONPET é constituído por vários subprogramas, dentre os quais se destacam ações na área de

transporte de carga, passageiros e combustíveis, educação, marketing e premiação. Um destes programas, o Economizar, atende a 22 estados da federação e possui mais de 5.000 empresas participantes, tendo promovido a economia de mais de 1 bilhão de litros de diesel e evitado a emissão de cerca de 2,7 milhões de toneladas de CO₂ e de 60 mil toneladas de material particulado desde sua criação (CEPEL/2015).

De 2003 a 2013, o Selo CONPET para fogões a gás, fornos e aquecedores de água promoveu uma economia de cerca de 6 milhões de metros cúbicos no consumo de GLP, o que representa 10 milhões de toneladas de CO₂ evitado. Em 2012, foram incorporados critérios de Eficiência Energética no novo regime automotivo, permitindo que, hoje, 70% dos automóveis vendidos no Brasil possuam etiqueta de Eficiência Energética. Em junho de 2014, eram mais de 550 modelos, em 36 marcas diferentes (CEPEL/2015).

O uso do Selo CONPET está associado aos modelos que utilizam a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia, que compara os automóveis semelhantes em suas categorias desde “A”, para mais eficientes, até “E”, para menos eficientes, e informa o consumo de combustível do veículo. Recebe o Selo CONPET aqueles modelos eficientes em suas categorias e também eficientes na comparação com todos os demais modelos participantes do programa

2.2.4 A Lei de Eficiência Energética

A Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, estabelecendo “níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de Eficiência Energética, de máquinas e aparelhos fabricados ou comercializados no País”. É a chamada “Lei de Eficiência Energética” (BRASIL, 2001).

Em junho de 2012, iniciou-se a gradativa retirada das lâmpadas incandescentes ineficientes do mercado, a começar pelas de potência maior que 100 W. Os benefícios energéticos desta medida, nos próximos vinte anos, representarão cerca de 10 TWh/ano, equivalendo à expansão de 2.433 MW na oferta, proporcionando uma economia de aproximadamente R\$ 6 bilhões em custos de geração, transmissão e distribuição (CEPEL/2015).

2.2.5 Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE)

Instituído por meio do Decreto Nº 4.059/2001, o CGIEE tem por objetivo implementar o disposto na Lei de Eficiência Energética. Suas principais atribuições são: regulamentar os níveis máximos de consumo de energia ou mínimos de Eficiência Energética de aparelhos consumidores de energia, estabelecer Programas de Metas com indicação da evolução dos níveis a serem alcançados por cada equipamento regulamentado e constituir Comitês Técnicos para analisar matérias específicas (BRASIL, 2001).

O processo de definição dos parâmetros necessários para a regulamentação dos equipamentos se fundamenta em metodologias e regulamentos específicos, estudos de impacto e priorização, critérios de avaliação de conformidade, e conta com laboratórios credenciados para ensaios e testes. Tanto a Lei quanto o Decreto estabelecem a obrigatoriedade de realização de audiências públicas para aprovação das regulamentações específicas. O CGIEE é composto pelo Ministério de Minas e Energia (MME), que o preside, Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC), Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Agência Nacional de Petróleo (ANP), por um representante de universidade brasileira e um cidadão brasileiro, ambos especialistas em matéria de energia.

2.2.6 O Plano Nacional de Eficiência Energética

A Eficiência Energética está contemplada entre as diretrizes de longo prazo no planejamento energético brasileiro. O Plano Nacional de Energia 2030 – PNE2030 (MME, 2008 – b) estabeleceu metas de redução da demanda de energia elétrica a partir de Eficiência Energética no setor elétrico. Para fazer frente ao desafio de economizar 10% de energia no horizonte de 2030, o Plano Nacional Eficiência Energética (PNEf) objetiva alinhar os instrumentos de ação governamental, orientar a captação dos recursos, promover o aperfeiçoamento do marco legal e regulatório afeto ao assunto, constituir um mercado sustentável de Eficiência Energética e mobilizar a sociedade brasileira no combate ao desperdício de energia, preservando recursos naturais. O MME tem a responsabilidade de coordenar as atividades de implantação do Plano, acionando ou promovendo negociação com outros órgãos do Governo Federal, Congresso Nacional, Estados, Municípios, Associações, Confederações, Universidades e instituições representativas (MME/PNEf, 2011).

2.2.7 Os Programas de Eficiência Energética das Concessionárias (PEE)

Conforme dispõe a Lei no 9.991, de 24 de julho de 2000 (BRASIL, 2000), alterada pela Lei nº 13.280, de 3 de maio de 2016 (BRASIL, 2016), as empresas concessionárias ou permissionárias de distribuição de energia elétrica devem aplicar um percentual de no mínimo 0,5 % da receita operacional líquida em Programas de Eficiência Energética (PEE), segundo regulamentos da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

O principal objetivo do Programa de Eficiência Energética é demonstrar à sociedade a importância e a viabilidade econômica de ações de combate ao desperdício de energia elétrica e de melhoria da Eficiência Energética de equipamentos, processos e usos finais de energia.

Para isso, busca-se maximizar os benefícios públicos da energia economizada e da demanda evitada. Busca-se, enfim, a transformação do mercado de energia elétrica, estimulando o desenvolvimento de novas tecnologias e a criação de hábitos eficientes do uso da energia elétrica.

No âmbito do PEE, verificou-se, nos primeiros ciclos, a predominância dos investimentos na redução de perdas técnicas nas redes de distribuição, em lâmpadas eficientes em redes de iluminação pública e na realização de diagnósticos energéticos em instalações industriais, comerciais e de serviços. Nos ciclos mais recentes, observou-se o forte crescimento de ações de otimização da gestão energética, frequentemente envolvendo parcerias com Empresas de Conservação de Energia (ESCOs), em indústrias e estabelecimentos comerciais e de prestação de serviços.

Em 2005, a ANEEL estabeleceu o direcionamento de pelo menos 50% dos recursos desse programa para o uso eficiente de energia junto a consumidores residenciais de baixa renda (adequação de instalações elétricas internas das habitações, doações de equipamentos eficientes, entre outros). Em 2010, foi promulgada a Lei nº 12.212, que alterou o percentual destinado aos consumidores de baixa renda. Por meio desta Lei, as concessionárias e permissionárias de distribuição de energia elétrica devem aplicar, no mínimo, 60% dos recursos dos seus programas de Eficiência Energética em unidades consumidoras beneficiadas pela Tarifa Social (BRASIL, 2010).

A Resolução Normativa ANEEL nº 63 de 12/05/2004 (ANEEL, 2004) aprova os procedimentos para regular a imposição de penalidades aos concessionários, permissionários, autorizados e demais agentes de instalações e serviços de energia elétrica, bem como às entidades responsáveis pela operação do sistema, pela comercialização de energia elétrica e

pela gestão de recursos provenientes de encargos setoriais. O Art. 6º determina que constitui infração, sujeito à imposição de penalidades de multa:

II – Deixar de implementar nos prazos previstos, os Programas Anuais de Incremento à Eficiência no Uso e na Oferta de Energia Elétrica ou os relativos à Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor Elétrico aprovados pela ANEEL.

A Resolução Normativa ANEEL nº 300 de 2008 (ANEEL, 2008) aprova os procedimentos para contabilização dos custos, determinando que no mês de competência do faturamento, a Empresa deverá provisionar os valores representativos dos recursos de PEE inclusos no respectivo faturamento, efetuando o registro contábil a crédito da conta 211.91.8 (Programas de Eficiência Energética) em contrapartida da conta 611.0X.7.X.32 (Encargos do Consumidor). Esse lançamento deverá ser feito mensalmente, respeitando o regime de competência. Sobre o saldo do exigível acima 211.91.8 (Programas de Eficiência Energética) incidirão juros, a partir do segundo mês subsequente ao faturamento, até o mês da efetiva aplicação dos recursos, calculados mensalmente com base na taxa SELIC, devendo a concessionária efetuar o registro a débito da conta 635.0X.X.9 (Outras Despesas Financeiras) e creditar, em contrapartida, a conta 211.91.8 (Programas de Eficiência Energética).

A Coordenação do Programa de Eficiência Energética da ANEEL esclarece que desde a criação do programa em 1998, a agência reguladora assume como compromisso maximizar seus resultados em economia de energia e em redução de demanda no horário de ponta do sistema de distribuição de energia.

O programa atua em duas frentes: a) troca e melhoria de equipamentos e instalações e; b) mudanças de hábitos de consumo. Por meio do investimento de cerca de R\$ 4,6 bilhões, o PEE obteve, em 15 anos, a economia de 8,50 TWh/ano e a retirada de demanda no horário de ponta de 2,50 GW, com um custo da energia economizada média de R\$ 165,00 R\$/MWh (ANEEL, Revista de Eficiência Energética, 2013). Essa economia de energia equivale suprir a cidade de Goiânia por aproximadamente três anos.

Após ampla discussão com as concessionárias de energia elétrica, a ANEEL publicou a Resolução Normativa 556/2013, que aprovou os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE). Entre as mudanças, destacam-se a obrigatoriedade das Chamadas Públicas de Projetos, priorizando os investimentos que ampliam os benefícios voltados à Eficiência Energética, o incentivo à Contrapartida, em que parte dos custos do projeto é paga pelo consumidor ou por terceiros, e a inclusão de projetos que contemplam Fontes

Incentivadas de Energia em conjunto com ações de Eficiência Energética no uso final (ANEEL/PROPEE, 2014).

De acordo com o Centro de Excelência em Eficiência Energética (EXCEN) da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), os avanços recentes em Eficiência Energética no país surgiram como resposta a problemas conjunturais e que, políticas como o Programa de Eficiência Energética - PEE são inovadoras, trazendo uma concepção de política pública com foco na conscientização da população. Todavia, o EXCEN é taxativo ao apontar que ainda há muito a ser feito para que essas políticas sejam, de fato, eficazes, atribuindo a baixa efetividade dos programas à pouca complementaridade entre eles e à escassez de recursos. Também ressalta que o potencial de conservação de energia existente no país deve ser utilizado como um instrumento capaz de compor a estratégia futura de atendimento à expansão do mercado de energia elétrica, bem como o desenvolvimento de mecanismos que permitam explorar esse potencial por meio da ampliação e da sustentação dos atuais Programas de Eficiência Energética (ANEEL, Revista de Eficiência Energética, 2013).

2.3 A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NOS PROGRAMAS DE GOVERNO

A despeito de o conceito de Geração Distribuída (GD) apresentar algumas nuances dependendo da localidade, adota-se como definição para GD aquela geração de energia localizada próxima ao consumidor final, cuja instalação objetiva atendimento prioritário a este, podendo ou não gerar excedentes energéticos comercializáveis para além das instalações do consumidor final (EPE, 2013).

A GD se apresenta como uma possível, e bem próxima, alternativa ao atual modelo de planejamento da expansão do sistema energético brasileiro, podendo ser uma alternativa de uso mais eficiente de recursos energéticos, econômico-financeiros e ambientais. Para um entendimento do significado da Geração Distribuída é apresentado a seguir alguns conceitos utilizados para esse tema.

O decreto nº 5.163/2004 (BRASIL, 2004), define a Geração Distribuída da seguinte forma:

“Art. 14. Para os fins deste Decreto, considera-se Geração Distribuída a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, incluindo aqueles tratados pelo art. 8º da Lei nº 9.074, de 1995, conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de empreendimento:

I - hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW; e

II - termelétrico, inclusive de cogeração, com Eficiência Energética inferior a setenta e cinco por cento, conforme regulação da ANEEL, a ser estabelecida até dezembro de 2004.

Parágrafo único. Os empreendimentos termelétricos que utilizem biomassa ou resíduos de processo como combustível não estarão limitados ao percentual de Eficiência Energética prevista no inciso II do *caput*.”

Os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) define a Geração Distribuída como, centrais geradoras de energia elétrica, de qualquer potência, com instalações conectadas diretamente no sistema elétrico de distribuição ou através de instalações de consumidores, podendo operar em paralelo ou de forma isolada e despachadas ou não pelo Operador Nacional do Sistema (ONS) (ANEEL, 2012c).

Diversas fontes e tecnologias podem ser consideradas no âmbito da Geração Distribuída, sejam estas renováveis ou não: solar fotovoltaica, eólica e biomassa são os principais exemplos de fontes renováveis distribuídas; microturbinas e motogeradores a gás natural, cogeração a gás natural e motores a diesel são os principais exemplos para fontes não renováveis. Há ainda outras possibilidades como os resíduos de processos industriais como os gases de alto forno nas siderúrgicas e a lixívia na indústria de papel e celulose.

Com intuito de reduzir as barreiras para a penetração da Geração Distribuída de pequeno porte, a ANEEL, através da Resolução Normativa nº 482/2012, estabelece regra que incluem a microgeração, com até 100 kW de potência, e a minigeração, de 100 kW a 1 MW. Esta resolução estabelece também o sistema de compensação de energia, que permite ao consumidor instalar pequenos geradores em sua unidade consumidora e trocar energia com a distribuidora local. As condições do regulamento são válidas para geradores que utilizem fontes incentivadas de energia: hídrica, solar, biomassa, eólica e cogeração qualificada (ANEEL, 2012b).

Em 24 de novembro de 2015 a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 687 que altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição (PRODIST). Entre as mudanças está a ampliação das fontes que poderão ser caracterizadas como micro ou minigeração e também a redefinição dos limites de energia gerada. Na minigeração, a potência instalada, que antes precisava ser superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW, agora poderá ter até 5 MW, menos a geração hidrelétrica, que poderá ter, no máximo, 3 MW. Já na microgeração, que tinha que ter potência instalada menor ou igual a 100 kW, agora caiu para 75 kW.

Conforme a nova resolução, os créditos de energia elétrica adquiridos por proprietários de micro e minigeração participantes do Sistema de Compensação de Energia Elétrica serão calculados com base em todas as componentes da tarifa de energia elétrica¹, ou seja, integralmente. Outra mudança é o autoconsumo remoto, que permitirá que um gerador utilize créditos em outra unidade consumidora. Um cliente residencial, por exemplo, pode produzir a energia em sua casa de praia e utilizar os créditos em seu apartamento. Outro ponto que também merece destaque é a geração compartilhada, que possibilitará que diversos interessados se unam em consórcio ou em uma cooperativa, instalem uma micro ou minigeração distribuída e utilizem a energia gerada para redução das faturas. Além disso, o tempo de duração de créditos foi expandido, passando de três para cinco anos. Já o prazo total para as distribuidoras conectarem as usinas de até 75 kW, que era de 82 dias, foi reduzido para 34 dias e usinas acima de 75 kW, que também era de 82 dias, foi reduzido para 49 dias.

O aperfeiçoamento da REN 482/2012 criou novos modelos de negócios de micro e minigeração, conforme documentos disponibilizados pela Aneel na Audiência Pública 26/2015, descritos a seguir:

- a) Empreendimentos de múltiplas unidades consumidores – “caracterizados pela utilização da energia elétrica de forma independente, no qual cada fração com uso individualizado constitua uma unidade consumidora e as instalações para atendimento das áreas de uso comum constituam uma unidade consumidora distinta, de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento, e desde que as unidades consumidoras estejam localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas, sendo vedada a utilização de vias públicas, de passagem aérea ou subterrânea e de propriedades de terceiros não integrantes do empreendimento”.
- b) Autoconsumo remoto – “as unidades consumidoras que utilizem a energia produzida por microgeração ou minigeração localizada longe do local de consumo”, ou seja, o proprietário de uma unidade consumidora poderá utilizar a energia gerada em outra unidade consumidora de sua propriedade.

¹ As componentes da tarifa de energia elétrica em R\$/MWh são: A Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) que remunera todas as instalações, equipamentos e componentes da rede de distribuição utilizados para levar a energia com qualidade e continuidade até o consumidor; Tarifa de Energia (TE) valor monetário unitário determinado pela ANEEL, em R\$/MWh, utilizado para efetuar o faturamento mensal referente ao consumo de energia.

- c) Geração Compartilhada – “unidades consumidoras dentro de uma mesma área de concessão ou permissão possam se reunir em consórcio ou cooperativa, instalem micro ou minigeração em uma unidade consumidora distante do local de consumo e dividam, entre os consorciados ou cooperados, os créditos de energia elétrica gerados”.

As novas regras da micro e minigeração entraram em vigência a partir de 1º de março de 2016, porém alguns procedimentos e formulários das concessionárias e permissionárias de distribuição foram alterados antes.

De acordo com os dados do Banco de Informações de Geração da ANEEL (ANEEL, 2016), a Geração Distribuída superou em outubro de 2016 a marca de 4.000 adesões de consumidores. Ao todo, são 4.151 conexões no país que representam potência instalada de 38,9 MW. A fonte mais utilizada pelos consumidores é a solar com 4.055 adesões, seguida da eólica com 62 instalações, conforme apresentada na Figura 1.

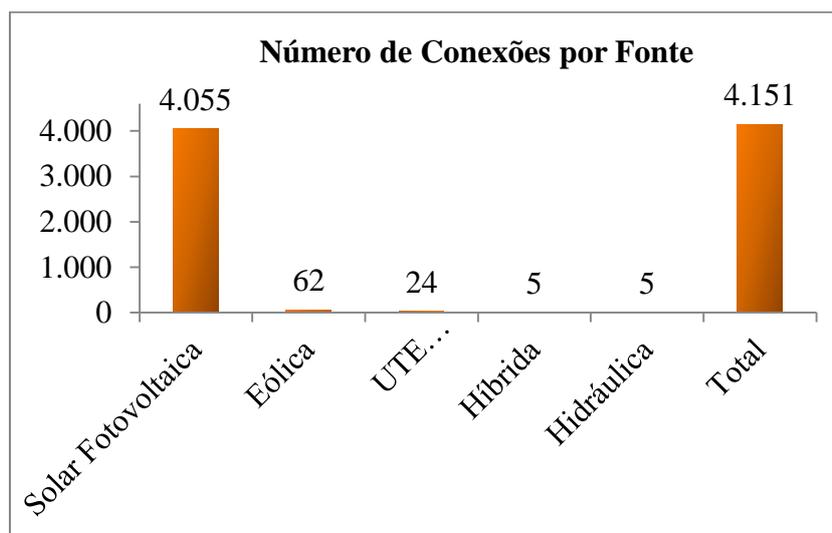


Figura 1: Número de conexões por fonte

A Figura 2 apresenta o número de conexões por Unidade da Federação (UF), já a Figura 3 apresenta a potência instalada desses geradores em quilowatts (kW). Atualmente, o estado que possui mais micro e minigeradores é Minas Gerais com 985 conexões, seguido de São Paulo com 620 e Rio Grande do Sul com 493. Em Goiás já são 52 conexões. Em termos de potência instalada a maior contribuição é da geração solar fotovoltaica com 32 MW.

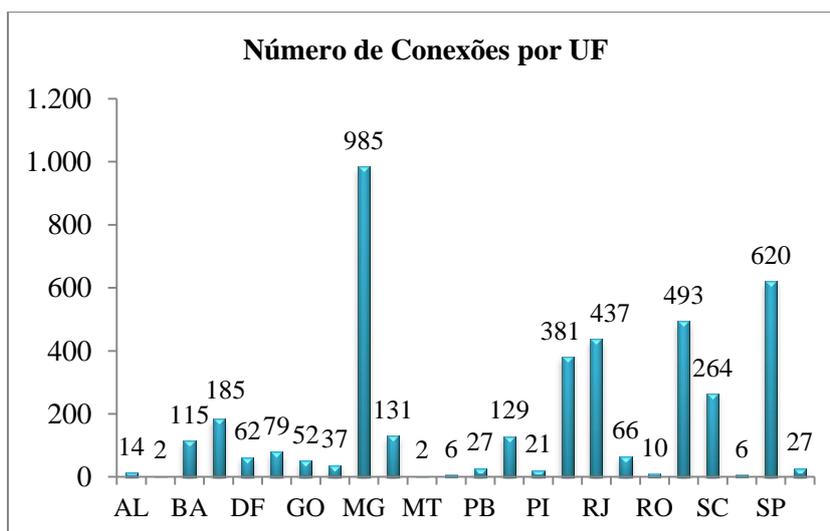


Figura 2: Número de conexões por Unidade da Federação - UF

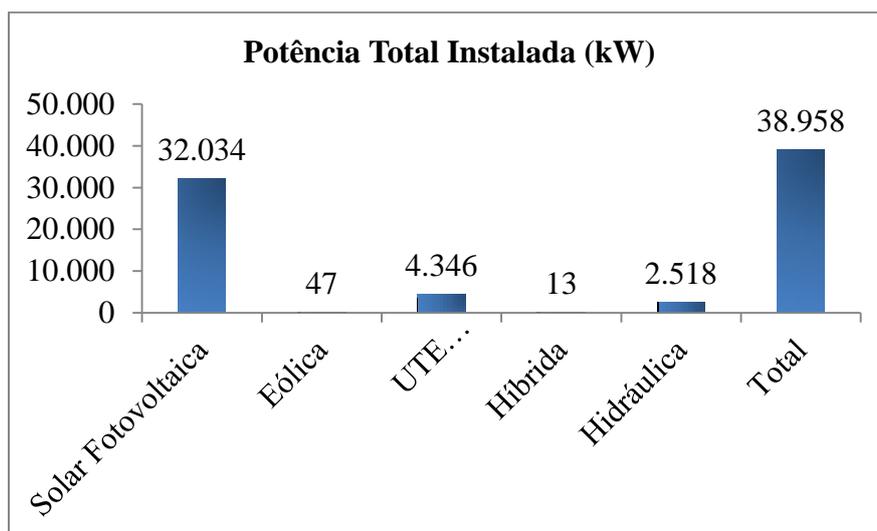


Figura 3: Potência total instalada (kW)

A criação dos novos arranjos descrita na Resolução Normativa nº 687/2015 permitirá um aumento significativo da micro e minigeração no Brasil. Todavia, alguns fatores principais podem explicar a baixa adoção inicial, como por exemplo: cobrança de impostos sobre a energia compensada no sistema, pagamento pela utilização da rede nos casos de geração e consumo em momentos ou em locais distintos, condições de financiamento e falta de conhecimento técnico por parte dos consumidores.

De acordo com o Instituto Acende Brasil, é importante lembrar que o sistema de compensação de energia elétrica instituído pela resolução 482/2012 da ANEEL visa promover

a Geração Distribuída para consumo próprio. A energia ativa gerada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração que é injetada na rede de distribuição não tem fins comerciais. Dessa forma, uma das medidas mais simples e racionais para promover a Geração Distribuída seria reduzir a incidência de tributos sobre a atividade. Não faz sentido propor subsídios e em seguida tributar a mesma atividade subsidiada. Portanto, se os legisladores desejam promover a Geração Distribuída, uma medida óbvia seria assegurar que a energia compensada não seja tributada (não só pelo ICMS, mas também pelo PIS/PASEP e COFINS e por qualquer outro tributo).

Cálculos realizados pelo Instituto Acende Brasil por meio de um Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento no Estado da Bahia, região de grande incidência solar, demonstram que a taxa de retorno de projetos fotovoltaicos variou entre 3% e 12%, dependendo do custo da tecnologia, do nível de radiação solar, da potência instalada e da classe de consumo (Instituto Acende Brasil, 2015).

Ainda, segundo o Instituto, para contornar o baixo retorno dos projetos (dado o estágio tecnológico atual) e a barreira do investimento inicial, uma medida de incentivo seria ofertar financiamento em condições atraentes para a instalação de unidades de mini ou microgeração.

Uma forma de viabilizar tal financiamento seria disponibilizar recursos dos diversos programas voltados a fontes renováveis de energia, como: o Fundo Clima, Inova Energia, Finem Fontes Alternativas e Finame PSI.

Outro fator que emperra a adesão à Geração Distribuída é a falta de conhecimento técnico, por parte dos consumidores, para avaliar os custos e benefícios da adesão ao regime de compensação (Instituto Acende Brasil, 2015).

2.3.1 Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD)

O Ministério de Minas e Energia (MME) lançou no dia 15 de dezembro de 2015 o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD), para ampliar e aprofundar as ações de estímulo à geração de energia pelos próprios consumidores, com base nas fontes renováveis de energia (em especial a solar fotovoltaica). O Programa prevê aproximadamente R\$ 100 bilhões em investimentos, até 2030 (BRASIL, 2015).

Um dos pontos importantes previstos na legislação para estimular a geração de energia distribuída é a atualização dos Valores Anuais de Referência Específicos (VRES), em R\$ 454,00/MWh para a fonte solar fotovoltaica, e R\$ 329,00/MWh para a cogeração a gás

natural. Esse valor define a remuneração paga pela distribuidora ao gerador pela energia que ele entregar à rede de distribuição, e sua atualização a um patamar competitivo aumenta a atratividade dessa oferta de energia. O Ministério de Minas e Energia publicará em 2016, os Valores Anuais de Referência Específicos - VRES, a serem calculados pela Empresa de Pesquisa Energética - EPE, para demais fontes de geração distribuída. O Programa também define mecanismo de atualização automática desse valor, anualmente pelo Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), durante vigência do contrato, garantindo manutenção dos custos. Atualmente, as empresas de distribuição de energia podem comprar até 10% de seu mercado de fontes de geração de energia distribuída, para compor seu portfólio.

O ProGD também prevê a estruturação de novos horizontes para a comercialização da energia gerada pelos consumidores-geradores no mercado livre, aumentando a energia comercializada nesse ambiente e permitindo a extensão de benefícios característicos do mercado livre para mais agentes. O ProGD prevê ações para simplificar o mecanismo de comercialização dessa energia no Ambiente de Contratação Livre.

Ainda no âmbito do ProGD, os ministérios de Minas e Energia e da Educação estudam projeto específico de instalação de sistemas de geração distribuída baseados em painéis fotovoltaicos para universidades, institutos federais e escolas técnicas federais, extensível a hospitais federais. Na proposta, que será aprofundada e estruturada pelo ProGD, as universidades, institutos federais e escolas técnicas federais desenvolverão como contrapartida cursos específicos destinados a preparar recursos humanos aptos a atender esse novo mercado da geração distribuída para projeto, instalação e manutenção.

Para aprofundar as ações previstas de estímulo à geração distribuída e propor novas medidas, foi criado em dezembro de 2015, Grupo de Trabalho específico composto por representantes do Ministério de Minas e Energia (MME), da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL); da Empresa de Pesquisa Energética (EPE); do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL); e da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). Entre essas ações, destacam-se como objetivos do ProGD:

- a) Criação e expansão de linhas de crédito e formas de financiamento de projetos para a instalação de sistemas de geração distribuída nos segmentos residencial, comercial e industrial;
- b) O incentivo ao estabelecimento de indústrias fabricantes de componentes e equipamentos usados em empreendimentos de geração a partir de fontes renováveis, englobando o desenvolvimento produtivo, tecnológico e a inovação,

bem como o estabelecimento de empresas de comércio e de prestação de serviços na área de geração distribuída a partir de fontes renováveis;

- c) A promoção da atração de investimentos, nacionais e internacionais, e favorecer a transferência e nacionalização de tecnologias competitivas para energias renováveis;
- d) O fomento à capacitação e formação de recursos humanos para atuar em todos os elos da cadeia produtiva das energias renováveis.

2.4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO ATENDIMENTO À DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) publicou um estudo em 2013, através de nota técnica, no qual apresenta a projeção dos ganhos de Eficiência Energética considerados nas projeções da demanda de energia para um horizonte de dez anos (2013-2022), bem como as perspectivas de inserção da Geração Distribuída consideradas naquele estudo (EPE, 2013). Cabe destacar também, que esta nota técnica constitui parte dos estudos de suporte ao Plano Decenal de Energia 2022 (PDE), fornecendo parâmetros para as estimativas finais de Eficiência Energética e de penetração de Geração Distribuída no PDE.

A Tabela 1 apresenta a consolidação dos resultados do estudo citado, referente à contribuição da Eficiência Energética na redução da demanda de energia para os próximos 10 anos (EPE, 2013). De acordo com essas estimativas, as ações de Eficiência Energética contribuirão para reduzir a demanda de energia em aproximadamente 23 milhões de toneladas equivalente de petróleo em 2022. A tonelada equivalente de petróleo (tep) é uma unidade de energia utilizada na comparação do poder calorífico de diferentes formas de energia com o petróleo. Uma tep corresponde à energia que se pode obter a partir de uma tonelada de petróleo padrão. Os montantes de ganho de eficiência alcançados, por setor de consumo, são ilustrados na Figura 4 (EPE, 2013).

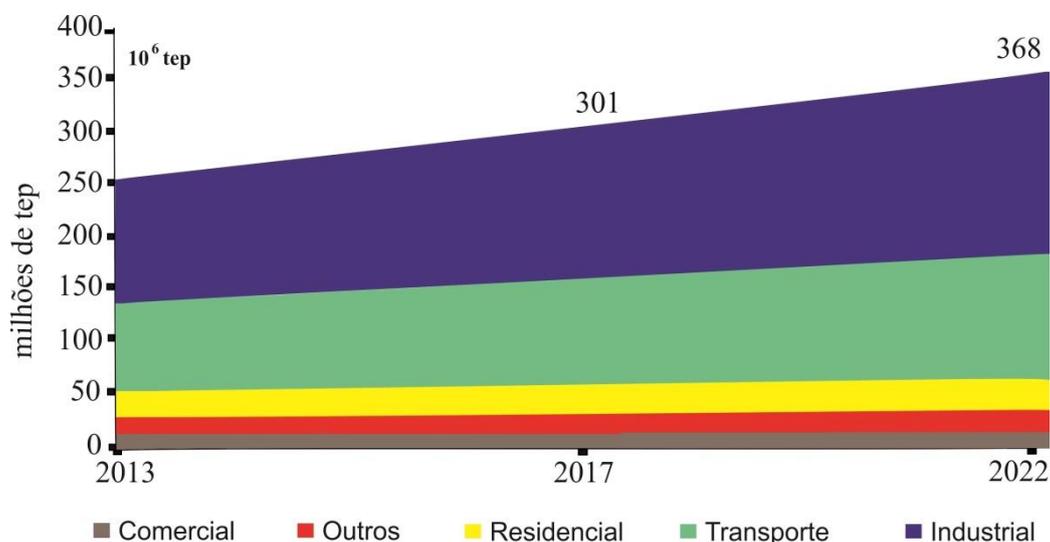
Associado ao impacto do consumo evitado de energia está o volume aproximado de emissões evitadas de gases de efeito estufa em 2022, que são devido à:

- a) Conservação de combustíveis fósseis: cerca de 38 MtCO₂ eq;
- b) Conservação de eletricidade: cerca de 22 MtCO₂ eq (assumindo-se que o consumo evitado de eletricidade é gerado a partir de uma geração termelétrica a gás natural como usina marginal).

Tabela 1: Brasil – Consumo de energia e Eficiência Energética

Consumo (10 ³ tep) ²	2012	2013	2017	2022
Consumo potencial sem conservação	237.171	252.420	310.729	391.530
Energia conservada	-	1.448	8.811	22.740
Energia conservada (%)	-	0,6	2,8	5,8
Consumo final, considerando conservação	237.171	250.972	301.918	368.790
Emissões Evitadas com a Eficiência MtCO ₂ eq ³	-	4,6	24	60

Nota-se que a Eficiência Energética tem importante contribuição nas emissões evitadas de CO₂ eq, podendo alcançar em 2022 cerca de 60 MtCO₂ eq. Isto equivale a evitar aproximadamente 4 vezes a emissão de CO₂ eq, devido à geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN) no ano de 2011, que foi da ordem de 15 MtCO₂ eq, calculado com base nos dados de produção por origem do Operador Nacional do Sistema (ONS).

**Figura 4: Projeção do consumo energético por setor, considerando o consumo evitado pela conservação de energia**

A Tabela 2 dispõe os resultados do ciclo 2008 a 2015 de projetos de Eficiência Energética realizados pelo PEE da ANEEL, nas diversas tipologias (ANEEL, 2016).

² Corresponde ao consumo total de eletricidade em todos os setores somado ao consumo de combustíveis em todos os setores, exceto o residencial.

³ Corresponde a energia conservada total (eletricidade e combustíveis) em todos os setores.

Tabela 2: Resultados do ciclo 2008 a 2015 de projetos de Eficiência Energética realizados pelo PEE da ANEEL nas diversas tipologias.

Tipologia	Energia Economizada Global (GWh/ano)	Demanda Global Retirada de Ponta (MW)	Projetos por Tipologia
Aquecimento Solar	25,5	18	30
Baixa Renda	1.993	702	250
Co-geração	70	9	5
Comércio e Serviços	62	19	165
Educacional	3	1	44
Gestão Energ. Municipal	-	-	11
Industrial	62	4	29
Pelo Lado da Oferta	-	0,3	1
Poder Público	335	71	335
Projeto Piloto	38	4	10
Residencial	1.060	360	41
Rural	34	16	53
Serviços Públicos	116	25	104
Total	3.799	1.229	1.078

A EPE também destaca o relevante papel da Geração Distribuída no atendimento à demanda de eletricidade. Estima-se que esta alternativa de atendimento permitirá abater em torno de 117 TWh desta demanda (EPE, 2013). Deste total, mais de 99% se originam de projetos de co-geração industriais de grande porte, nomeadamente nas indústrias siderúrgica, química, celulose e papel, açúcar e álcool e produção de petróleo e gás natural. Na Tabela 3 são apresentados os resultados consolidados da Geração Distribuída estimada no horizonte decenal.

Tabela 3: Estimativa da energia gerada oriunda da instalação de sistemas de Geração Distribuída no horizonte decenal (GWh)

Tipo de Geração Distribuída	2013	2017	2022
Grande Porte	53.549	75.843	115.008
Siderurgia	5.205	5.205	10.167
Petroquímica	2.459	2.459	4.439
Celulose & papel	12.226	18.036	25.056
Açúcar & álcool	15.071	19.818	23.623
Outros setores	18.588	30.325	51.723
Pequeno Porte	14	325	1.919
Fotovoltaica	14	325	1.919
Total	53.563	76.168	116.927

2.5 ANÁLISE CRÍTICA DAS POLÍTICAS E PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Especialistas do setor elétrico brasileiro destacam que o potencial de conservação e geração de energia renovável existente no país deve ser utilizado como um instrumento capaz de compor a estratégia futura de atendimento à expansão do mercado de energia elétrica. Todavia, os programas voltados para a promoção da Eficiência Energética e Geração Distribuída possuem amplos desafios, entre eles as diferenças entre os mercados das distribuidoras, sinergia entre eles e com outras ações e programas governamentais.

Se por um lado os programas de Eficiência Energética e Geração Distribuída tem possibilitado ganhos energéticos e ambientais ao país, por outro se poderia já ter alcançado um patamar bem superior ao vivenciado no momento. Um dos fatores que tem dificultado o sucesso desses programas é que os órgãos responsáveis pela gestão e execução dos mesmos são coordenados na maioria das vezes por gestores que não possuem as habilidades técnicas necessárias para a tomada de decisão em momentos estratégicos que o mercado de energia elétrica de tempos em tempos experimenta. Órgãos Públicos como o Ministério de Minas e Energia (MME), Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), ELETROBRÁS, dentre outros, são utilizados para atenderem interesses de aliados políticos, sendo os cargos do alto escalão preenchidos por siglas partidárias e não por profissionais de carreira ou com experiência na área de atuação.

Como contra ponto a esses gestores políticos, os órgãos públicos, ao contrário do senso comum, possuem um capital humano altamente qualificado em seus quadros de pessoal, com técnicos, graduados, especialistas, mestres, doutores com vasta experiência, carinhosamente chamados no setor elétrico brasileiro de “eletrossauros”. Todavia, a bagagem profissional desses servidores fica comprometida por não encontrar respaldo na alta direção de suas empresas, e isso provoca uma assimetria em toda a cadeia do setor elétrico.

Um exemplo disso foi a mudança da regra dos Programas de Eficiência Energética das concessionárias em 2001. Por conta da crise energética daquele ano, o MME e a ANEEL determinaram que os recursos obrigatórios em projetos de Eficiência Energética deveriam ser destinados a doação de lâmpadas fluorescentes compactas (FLC) à população, além de obrigar os consumidores a reduzirem em 20% o consumo de energia elétrica, sob pena de multa. As concessionárias que já haviam elaborados seus respectivos programas contemplando projetos voltados para as tipologias definidas no manual de PEE da ANEEL, como projetos educacionais, iluminação pública, poder público, dentre outros, se viram obrigadas a

interromperem os mesmos e aplicarem todo o recurso na substituição das lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas. Mas esse não foi o grande problema. O mercado de LFC ainda não estava consolidado em termos comerciais e regulatório. O que se viu naquele momento foi todo o país incorporando ao sistema elétrico lâmpadas eletrônicas com baixo fator de potência, poluindo a rede elétrica com distorções inerentes a essas cargas.

O que parece certo, conforme opinião de vários especialistas do setor elétrico brasileiro é que ações e programas voltados para a Eficiência Energética e Geração Distribuída só são implementadas no Brasil como resposta emergente a problemas conjunturais, o que impossibilita um melhor planejamento. Passadas as crises, esses programas são relegados ou até mesmos esquecidos.

O Programa Nacional de Conservação de Energia (PROCEL) retrata bem essa situação. Considerado um dos carros-chefes na promoção da Eficiência Energética, sua atuação mais intensiva é sempre marcada em épocas de crise energética, se limitando em seguida a algumas ações pontuais. A Lei nº 13.280, de 3 de maio de 2016 que altera a Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, reforça esse cenário. Ela determina que as concessionárias devem repassar diretamente para ao PROCEL, através da ELETROBRÁS, 20% dos recursos do Programa de Eficiência Energética. Espera-se que esses recursos sejam de fato utilizados na promoção da redução do consumo e no combate ao desperdício de energia elétrica, e não como forma de capitalizar a empresa gestora do PROCEL, que se encontra atualmente em desequilíbrio econômico/financeiro.

Os Programas de Eficiência Energética das concessionárias também apresentam alguns entraves, que foram agravadas por ações como a Lei 12.212/2010, que determinou que 60% dos recursos do PEE devem ser aplicados em consumidores com baixo potencial de economia de energia. As penalidades e multas previstas pela ANEEL acabam por criar outras dificuldades para as concessionárias de energia no cumprimento das metas estabelecidas pelo Programa.

Quanto a Geração Distribuída, até o momento, apesar de os primeiros passos terem sido trilhados pela Resolução Normativa nº 482/2012 e atualizada pela Resolução Normativa nº 687/2015, ainda há um conjunto de iniciativas que precisam ser executadas por meio de políticas públicas bem coordenadas para que a GD ocupe um espaço relevante no Brasil.

Diante do quadro geral elaborado por esta pesquisa, quanto à aplicação dos Programas de Eficiência Energética, bem como as perspectivas de inserção da Geração Distribuída através das fontes alternativas e sustentáveis de energia no Brasil, é possível a proposição de

novos caminhos que assegurem o êxito destes programas, sejam eles através de mudanças de leis, alteração de procedimentos ou modificações metodológicas, conforme descritas a seguir:

- a) Políticas consistentes do governo que tragam complementaridade e sinergia a esses programas e ações de Eficiência Energética e Geração Distribuída, estimulando dessa forma, o engajamento contínuo dos consumidores em promover o uso eficiente dos recursos naturais;
- b) Criação e expansão de linhas de crédito e formas de financiamento de projetos de Eficiência Energética e Geração Distribuída nos segmentos residencial, comercial, industrial, iluminação pública e órgãos públicos;
- c) Incentivo ao estabelecimento de indústrias fabricantes de componentes e equipamentos utilizados em projetos de Eficiência Energética e em empreendimentos de geração a partir de fontes renováveis, englobando o desenvolvimento produtivo, tecnológico e a inovação;
- d) Incentivo ao estabelecimento de empresas de comércio e de prestação de serviços na área de Eficiência Energética e Geração Distribuída a partir de fontes renováveis;
- e) Fomento à capacitação e formação de recursos humanos para atuarem em todos os elos da cadeia produtiva das energias renováveis e dos projetos de Eficiência Energética;
- f) Não reduzir o percentual de recursos obrigatórios em projetos de Eficiência Energética das distribuidoras, atualmente 0,5 % da receita operacional líquida;
- g) Na Geração Distribuída em pequena escala, uma medida de incentivo seria assegurar que a energia compensada não seja tributada, não só pelo ICMS, mas também pelo PIS/PASEP e COFINS ou por qualquer outro tributo;
- h) Ações integradas no âmbito do Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD) lançado em 2015 e do Programa de Eficiência Energética das Concessionárias (PEE) com o objetivo de elaborar e executar projetos específicos em escolas técnicas, institutos e universidades federais, contemplando Fontes Incentivadas de energia em conjunto com ações de Eficiência Energética no uso final. Como contrapartida desses consumidores, eles fornecerão cursos específicos destinados a preparar recursos humanos aptos a atenderem esse novo mercado de Eficiência Energética e Geração Distribuída, ou seja, projeto, instalação e manutenção.

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Foram abordados os aspectos regulatórios e de mercado quanto aos Programas de Eficiência Energética e Geração Distribuída, assim como projeções e metas governamentais acerca de suas contribuições no planejamento energético brasileiro, bem como a proposição de novos caminhos que assegurem o êxito destes programas, sejam eles através de mudanças de leis, alteração de procedimentos ou modificações metodológicas.

3 METODOLOGIA DE ANÁLISE

3.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo são descritas as metodologias utilizadas para o desenvolvimento do trabalho proposto, onde a mesma é baseada na análise de documentos, leis, regulamentações e normas técnicas dos diversos setores ligados aos Programas de Eficiência Energética (PEE), Geração Distribuída (GD) e do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Estes documentos estão disponíveis nos sítios da ANEEL, distribuidoras de energia, PROCEL, ELETROBRAS, ABNT, nos catálogos dos fabricantes, nas resenhas dos laboratórios creditados para ensaios, entre outros.

Será feita uma análise crítica em cada uma dessas áreas verificando-se possíveis pontos de estrangulamento para ações de Eficiência Energética e Geração Distribuída, em especial a mini e micro geração distribuída, que historicamente tenham limitado estas ações e como estes pontos podem ser mitigados através de novos procedimentos que serão propostos neste trabalho.

Como estudo de caso, será elaborado um projeto de Eficiência Energética com adição de geração proveniente de fonte incentivada de energia elétrica (geração fotovoltaica) em um consumidor enquadrado na classe de consumo Poder Público, observadas as diretrizes estabelecidas pela ANEEL para a sua elaboração, conforme os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE).

A elaboração do projeto compreenderá uma avaliação das oportunidades de Eficiência Energética com adição de geração proveniente de fonte incentivada de energia elétrica nas instalações do consumidor, através de um diagnóstico energético, onde resultará em um relatório contendo a descrição detalhada de cada ação de eficiência energética e sua implantação, o valor do investimento, economia de energia, redução de demanda na ponta (estimativa *ex-ante*), análise de viabilidade, bem como os ganhos energéticos e ambientais através da instalação de sistemas de geração fotovoltaica sobre o telhado deste consumidor.

Será verificado através das faturas de energia elétrica dos últimos meses, conforme os parâmetros definidos pela Resolução 414/2010 da ANEEL, se a modalidade tarifária em que o consumidor se enquadra é a correta.

Para a análise da recontração de demanda, serão consideradas as contribuições advindas das Ações de Eficiência Energética e da parcela de energia gerada pelo sistema fotovoltaico proposto, obtendo-se assim, uma nova demanda final da edificação.

Também será realizada a análise de viabilidade econômica utilizando métodos determinísticos de análise de investimento, tais como: a) Método do Valor Presente Líquido (VPL); b) Método da Taxa Interna de Retorno Modificada (TIRM); c) Método de tempo de recuperação do investimento (*PAYBACK*).

Por fim, serão quantificadas as emissões evitadas de CO₂ eq, através das metodologias desenvolvidas pelo Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL para projetos de pequena escala, envolvendo energias renováveis conectados à rede - AMS-I.D e AMS-II.C para projetos contemplando atividades de eficiência energética pelo lado da demanda para tecnologias específicas conectadas à rede (UNFCCC).

Neste instante, espera-se ter um quadro energético geral do consumidor, possibilitando um posicionamento crítico em relação a Eficiência Energética e Geração Distribuída, com a proposição de novos caminhos, sejam eles, através de mudanças de leis, alteração de procedimentos ou modificações metodológicas. Estas proposições farão parte integrante do trabalho a ser desenvolvido e poderão ser utilizadas pelas diversas distribuidoras de energia do país.

3.2 OS PROCEDIMENTOS DO PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - PROPEE

Os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE) é um guia determinativo de procedimentos dirigido às distribuidoras de energia elétrica, para elaboração e execução de projetos de Eficiência Energética regulados pela ANEEL (ANEEL/PROPEE, 2014). Definem-se nos PROPEE a estrutura e a forma de apresentação dos projetos, os critérios de avaliação e de fiscalização e os tipos de projetos que podem ser realizados com recursos do PEE. Apresentam-se, também, os procedimentos para contabilização dos custos e apropriação dos investimentos realizados.

Os PROPEE são compostos de 10 (dez) módulos, que abrangem os diversos aspectos de projetos e do programa PEE, com múltiplas interligações entre eles, as principais indicadas na Figura 5.

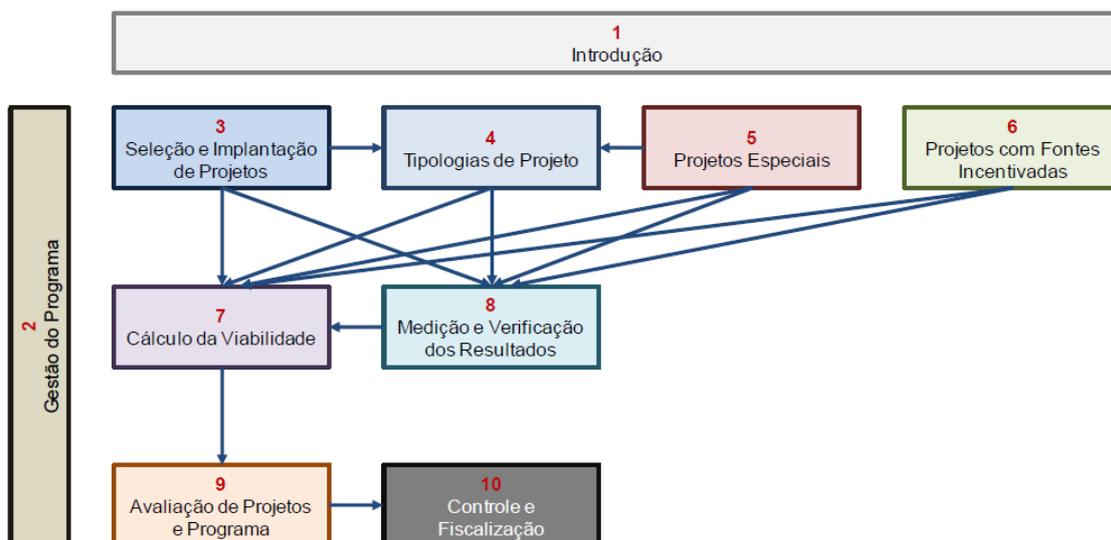


Figura 5: Módulos do PROPEE

Cada módulo dos PROPEE, conforme apresentado na Figura 5 é detalhado da seguinte forma:

- a) O Módulo 1 - **Introdução** apresenta uma visão geral dos PROPEE e o glossário dos termos usados;
- b) O Módulo 2 - **Gestão do Programa** apresenta os aspectos gerenciais que permeiam as ações do PEE;
- c) O Módulo 3 - **Seleção e Implantação de Projetos** apresenta a forma para seleção de projetos ao PEE e orienta quanto à forma de implantação junto ao consumidor ou interessado;
- d) O Módulo 4 - **Tipologias de Projeto** apresenta os tipos de projetos do PEE e suas características principais;
- e) O Módulo 5 - **Projetos Especiais** versa sobre projetos que, por sua relevância ou característica não típica, merece atenção especial, tanto da distribuidora quanto do regulador;
- f) O Módulo 6 - **Projetos com Geração de Energia Elétrica a partir de Fontes Incentivadas** aborda os projetos de Eficiência Energética com adição de fonte incentivada para atender a unidade consumidora;
- g) O Módulo 7 - **Cálculo da Viabilidade** estabelece os diferentes fatores e formas de cálculo que são considerados para verificar se um projeto é viável e pode ser executado no âmbito do PEE, assim como outros possíveis benefícios que podem ser obtidos por um projeto;

- h) O Módulo 8 - **Medição e Verificação dos Resultados** estabelece os procedimentos para uma avaliação confiável dos benefícios energéticos auferidos com os projetos;
- i) O Módulo 9 - **Avaliação dos Projetos e Programa** estabelece os procedimentos para a avaliação dos projetos do PEE, inicial e final, e do programa como um todo para o seu aprimoramento;
- j) O Módulo 10 - **Controle e Fiscalização** estabelece as diretrizes para a contabilização dos gastos dos projetos e atividades de fiscalização a serem realizadas pela ANEEL.

De acordo com a Coordenação do PEE, uma característica primordial no planejamento estratégico dos investimentos em projetos de Eficiência Energética é a vocação por projetos de natureza socioambiental. É bastante evidenciado de forma positiva o fato que o aspecto da sustentabilidade implica na visão clara da sociedade e sua integração ao meio ambiente, vinculadas aos benefícios advindos. Os PROPEE possibilitam investimentos em várias tipologias de projeto, beneficiando públicos diversos, com base no conceito norteador da sustentabilidade. A seguir são apresentadas cada tipologia de projeto definida pelos PROPEE:

- a) Educacionais: projeto dirigido à formação de uma cultura de uso eficiente e responsável dos insumos energéticos, voltado ao público estudantil, principalmente os de ensino fundamental e ensino médio;
- b) Atendimento a comunidades de baixo poder aquisitivo: projetos dirigidos à substituição de equipamentos ineficientes, ações educacionais, combate ao furto de energia, regularização de consumidores clandestinos e reforma das instalações internas;
- c) Residencial: projetos realizados em unidades consumidoras residenciais, através de ações de combate ao desperdício de energia elétrica e efficientização de equipamentos;
- d) Poder Público: projetos realizados em instalações de responsabilidade de pessoa jurídica de direito público, com ações de combate ao desperdício e efficientização de equipamentos;
- e) Serviço Público: projetos realizados em instalações de serviço público, visando à melhoria da Eficiência Energética de estabelecimentos assistenciais de saúde, sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, tração elétrica e demais serviços públicos;

- f) Projeto Piloto: projeto promissor, inédito ou inovador, incluindo pioneirismo tecnológico e buscando experiência para ampliar, posteriormente, sua escala de execução.

Cada projeto, em linhas gerais, seguirá as etapas mostradas na Figura 6.

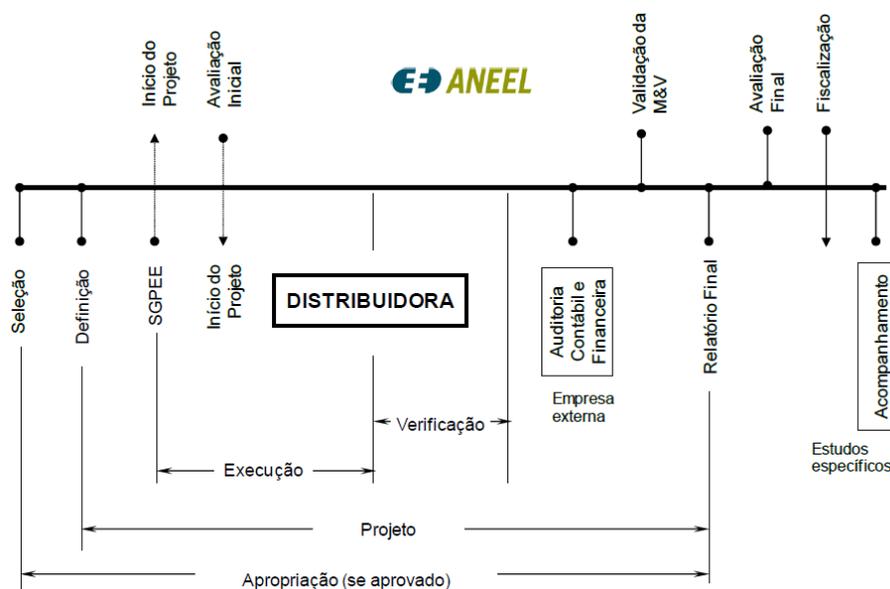


Figura 6: Etapas dos projetos do PEE

As características principais de cada etapa, identificando, quando for o caso, o produto gerado na forma de um documento são apresentadas a seguir:

- Seleção** - inclui as atividades de prospecção, pré-diagnóstico e seleção de projetos, por meio de uma Chamada Pública de projetos ou diretamente pela distribuidora;
- Definição** - definição das ações de Eficiência Energética a implantar com respectiva análise técnico-econômica e bases para as atividades de M&V, conforme o Módulo 8 – Medição e Verificação de Resultados. Em alguns projetos, as fases de Seleção e Definição poderão ser feitas de forma conjunta;
- SGPEE** - carregamento do projeto no SGPEE – Sistema de Gestão do PEE, segundo o disposto no manual disponível na página da ANEEL na internet. Há um campo específico para cadastrar a data de início do projeto, independente de sua tipologia. Caso seja necessária avaliação inicial, a distribuidora deverá estimar a possível data de início do projeto, considerando o prazo para o parecer e demais providências necessárias. Esta etapa resulta em um produto identificado como “cadastro do SGPEE”;

- d) **Avaliação Inicial** - os projetos que necessitem de Avaliação Inicial, segundo o Módulo 9 – Avaliação dos Projetos e Programa, serão submetidos à apreciação prévia da ANEEL. Esta etapa resulta em um produto identificado como “Avaliação Inicial”;
- e) **Execução** - elaboração do Plano de M&V e implantação das ações definidas no item “Definição”;
- f) **Verificação** - comissionamento das ações e etapa inicial do período de determinação da economia das atividades de M&V, conforme o Módulo 8 – Medição e Verificação de Resultados. Esta etapa resulta em um produto identificado como “Relatório de M&V”;
- g) **Validação da M&V** - a critério da ANEEL, a validação do processo de M&V poderá ser feita por instituição devidamente capacitada e isenta, segundo o Módulo 8 – Medição e Verificação dos Resultados. Esta etapa resulta em um produto identificado como “Parecer Técnico do Processo de M&V”;
- h) **Auditoria Contábil e Financeira** - segundo o manual “Manual de Orientação dos Trabalhos de Auditoria de P&D e PEE” acessível no hyperlink à página da ANEEL na internet. Produto: Esta etapa resulta em um produto identificado como “Relatório de Auditoria”;
- i) **Relatório Final** - realizado com o objetivo de apresentar os resultados obtidos, após a conclusão do projeto e da fase inicial do período de determinação da economia das atividades de M&V, devendo ser carregado no SGPEE, junto com o Relatório de M&V (que inclui o Plano de M&V) e o Relatório da Auditoria. Esta etapa resulta em um produto identificado como “Relatório Final”;
- j) **Avaliação Final** - obrigatória para todos os projetos desenvolvidos no âmbito do PEE, realizada segundo o Módulo 9 – Avaliação dos Projetos e Programa. Esta etapa resulta em um produto identificado como “Avaliação Final”;
- k) **Fiscalização** - realizada pela ANEEL segundo o Módulo 10 - Aspectos Contábeis e Fiscalização. Esta etapa resulta em um produto identificado como “Relatório de Fiscalização”;
- l) **Acompanhamento** - para avaliar a permanência das ações de Eficiência Energética implantadas e mudanças do mercado serão realizados estudos de acompanhamento, definidos pela ANEEL, conforme o Módulo 9 - Avaliação dos Projetos e Programa.

3.3 VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO

O principal critério para avaliação da viabilidade econômica do projeto do PEE é a Relação Custo-Benefício (RCB) que ele proporciona. O benefício considerado é a valoração da energia economizada e da redução da demanda na ponta durante a vida útil do projeto para o sistema elétrico, conforme a tipologia. O custo compreende os aportes feitos para a sua realização (do PEE, do consumidor ou de terceiros).

Quanto aos dados disponíveis, dois tipos de avaliação devem ser feitos durante a realização do projeto:

- a) Avaliação *ex-ante*, com valores estimados, na fase de definição, quando se avaliam o custo e benefício baseado em análises de campo, experiências anteriores, cálculos de engenharia e avaliações de preços no mercado;
- b) Avaliação *ex-post*, com valores mensurados, consideradas a economia de energia e a redução de demanda na ponta avaliadas por ações de Medição e Verificação e os custos realmente despendidos.

Quanto ao recurso considerado, dois tipos de estudo devem ser feitos nas duas situações descritas acima:

- a) Ponto de vista do PEE, onde os benefícios são comparados aos custos aportados pelo PEE;
- b) Ponto de vista do projeto, onde os benefícios são comparados a todos os recursos aportados por todos os agentes envolvidos (PEE, consumidor e terceiros).

Adicionalmente, considerando a ótica de quem avalia, dois tipos de estudos podem ser feitos:

- a) Ótica do sistema elétrico (sociedade), valorando a economia de energia e redução de demanda pelo custo marginal de ampliação do sistema ou tarifa azul (enquanto o custo marginal não estiver disponível), ou tarifa do sistema de bandeiras tarifárias de energia, conforme estabelecido no Módulo 7 dos Procedimentos de Regulação Tarifária (PRORET);
- b) Ótica do consumidor, valorando estas grandezas pelo preço pago pelo consumidor.

Para avaliar a viabilidade econômica do projeto realizado no âmbito do PEE, é considerada a ótica do sistema elétrico, exceto no caso de Fontes Incentivadas, onde se pode tomar como referência o preço efetivamente pago pelo consumidor.

A racionalidade da avaliação de um Projeto de Eficiência Energética feito com recurso advindo do conjunto dos consumidores de energia elétrica consiste em saber se o benefício auferido é maior que aquele que haveria se o recurso tivesse sido empregado na expansão do sistema elétrico.

Assim, considera-se que o benefício anual apurado com a valoração da energia e da demanda reduzidas ao custo unitário marginal de expansão do sistema deve ser no mínimo 25% maior que o custo do projeto. Em outras palavras, a relação custo/benefício do projeto deve ser igual ou inferior a 0,8 (oito décimos). Supõe-se que os 25% adicionais são considerados para fazer frente ao maior risco percebido pela sociedade às ações de Eficiência Energética em relação às de expansão do sistema. Essa margem de segurança segundo a ANEEL pode ser reduzida à medida que as ações de Eficiência Energética vão ganhando credibilidade.

Portanto, o critério principal que norteia a avaliação econômica de viabilidade de um projeto do PEE é que a RCB calculada pela ótica do sistema elétrico e do ponto de vista do PEE seja igual ou inferior a 0,8 (oito décimos). Já a central geradora de um Projeto com Fonte Incentivada é avaliada mediante a ótica do consumidor, conforme o Módulo 6 - Projetos com Fontes Incentivadas.

Se um projeto tiver mais de um uso final (iluminação, refrigeração, dentre outros), cada um desses usos finais deverá ter sua RCB calculada individualmente. Deverá também ser apresentada a RCB global do projeto, consideradas as somas dos custos e benefícios.

3.3.1 Cálculo da Relação Custo-Benefício

A expressão básica para o cálculo da Relação Custo-Benefício RCB de um projeto de Eficiência Energética é apresentada através da expressão (3.1),

$$RCB = \frac{CA_T}{BA_T} \quad (3.1)$$

onde:

- CA_T - custo anualizado total (R\$/ano);
- BA_T - benefício anualizado total (R\$/ano).

Para projetos de Eficiência Energética com adição de fonte incentivada o cálculo da relação custo-benefício é obtido conforme a expressão (3.2),

$$RCB = \frac{CA_T}{BA_{CG} + BA_{EE}} \quad (3.2)$$

onde:

- BA_{CG} - benefício anual da central geradora (R\$/ano);
- BA_{EE} - benefício anual das ações de Eficiência Energética (R\$/ano).

Os custos deverão ser avaliados sobre a ótica do Programa de Eficiência Energética, onde os benefícios são comparados aos custos aportados efetivamente pelo Programa de Eficiência Energética.

3.3.2 Cálculo dos Custos

O cálculo dos Custos Anualizados Total - CA_T segue a metodologia indicada no módulo 7 do PROPEE, conforme é demonstrado a partir das expressões (3.3), (3.4), (3.5) e (3.6),

$$CA_T = \sum_n CA_n \quad (3.3)$$

onde:

- CA_n - custo anualizado de cada n equipamento (R\$/ano);

$$CA_n = CE_n \cdot \frac{CT}{CE_T} \cdot FRC_u \quad (3.4)$$

onde:

- CE_n - custo de cada equipamento (R\$);
- CT - custo total do projeto (R\$);
- CE_T - custo total dos n equipamentos (R\$);
- FRC_u - fator de recuperação do capital para u anos (1/ano);
- u - vida útil dos equipamentos (ano).

$$CE_T = \sum_n CE_n \quad (3.5)$$

$$FRC_u = \frac{i \cdot (1 + i)^u}{(1 + i)^u - 1} \quad (3.6)$$

onde:

- i - taxa de juros (A ANEEL recomenda a taxa de 8% ao ano).

3.3.3 Cálculo dos Benefícios

Os benefícios deverão ser avaliados sobre a ótica do sistema elétrico (sociedade), valorando as economias de energia e redução de demanda pela tarifa do sistema de bandeiras tarifárias de energia. A equação de obtenção dos Benefícios Anualizados Total (R\$/ano) - BA_T é apresentada, conforme a expressão (3.7),

$$BA_T = (EE \cdot CEE) + (RDP \cdot CED) \quad (3.7)$$

onde:

- EE - energia anual economizada (MWh/ano);
- CEE - custo unitário da energia economizada (R\$/MWh);
- RDP - redução de demanda em horário de ponta (kW);
- CED - custo unitário evitado de demanda (R\$/kW/ano).

Para projetos de Eficiência Energética com adição de fonte incentivada os benefícios deverão ser computados separadamente, segundo sua origem, da seguinte forma:

- a) Central geradora: CEE e CED de acordo com o preço final da energia e da demanda pago pelo consumidor, incluindo impostos e encargos;
- b) Eficiência Energética: CEE e CED de acordo com o custo marginal de expansão (quando disponível) ou tarifa horossazonal azul, ou sistema de bandeiras tarifárias de energia, conforme estabelecido no Módulo 7 dos Procedimentos de Regulação Tarifária - PRORET, sem a incidência de impostos ou encargos.

O custo unitário evitado de demanda em R\$/kW/ano - CED e o custo unitário da energia economizada em R\$/MWh - CEE serão calculados, conforme as expressões (3.8) e (3.9),

$$CED = (12 \cdot C_1) + (12 \cdot C_2 \cdot LP) \quad (3.8)$$

onde:

- 12 - meses (Mês/ano);
- C_1 - custo unitário da demanda no horário de ponta (R\$/kW/mês);
- C_2 - custo unitário da demanda no horário fora de ponta (R\$/kW/mês);
- LP - constante de perda de demanda no posto fora de ponta, considerando 1kW de perda de demanda no horário de ponta;

$$CEE = \frac{(C_3 \cdot LE_1) + (C_4 \cdot LE_2) + (C_5 \cdot LE_3) + (C_6 \cdot LE_4)}{LE_1 + LE_2 + LE_3 + LE_4} \quad (3.9)$$

onde:

- C_3 - custo unitário da energia no horário de ponta de períodos secos (R\$/MWh);
- C_4 - custo unitário da energia no horário de ponta de períodos úmidos (R\$/MWh);
- C_5 - custo unitário da energia no horário fora de ponta de períodos secos (R\$/MWh);
- C_6 - custo unitário da energia no horário fora de ponta de períodos úmidos (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;

A Tabela 4 apresenta os coeficientes para $k = 0,15$, já calculado pela ANEEL. Para outros valores de k deve se utilizar o relatório CODI 19-34 (ABRADEE, 1996). A energia e demanda evitadas correspondem a uma redução de perdas no sistema e o benefício “de evitar uma unidade de perdas é numericamente igual ao custo de fornecer uma unidade adicional de carga”. O cálculo se baseia no impacto para o sistema da carga evitada, supondo-se um perfil

de carga típico e caracterizado pelo fator de carga (FC) do segmento elétrico imediatamente a montante daquele considerado ou que sofreu a intervenção, ou ainda, na falta deste, admitir-se-á o médio da distribuidora de energia elétrica dos últimos 12 meses.

Tabela 4: Coeficientes das equações para $k = 0,15$

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

A metodologia de cálculo da energia anual economizada EE em MWh/ano e a redução de demanda em horário de ponta RDP em kW é apresentada na seção 3.3.4 a seguir, onde dois exemplos de usos finais serão considerados: sistema de iluminação e sistema de condicionamento ambiental.

3.3.3.1 Metodologia de Cálculo de EE e RDP aplicada a sistema de iluminação

As ações de Eficiência Energética em sistemas de iluminação artificial cobertas por este item referem-se a:

- a) Substituição de equipamentos: lâmpadas, reatores e luminárias.
- b) Instalação de dispositivos de controle: interruptores, sensores de presença, dimmers, etc.
- c) Maior aproveitamento da iluminação natural com redução da carga da iluminação artificial.

A definição das metas de Energia Economizada *EE* em MWh/ano e de Redução de Demanda na Ponta *RDP* em kW deve ser feita com base na metodologia de cálculo proposto para cada uso final, conforme a Seção 4.2 “Ações de Eficiência Energética” dos Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE).

A valoração das metas deve ser feita de acordo com o Módulo 7 - Cálculo da Viabilidade. A Tabela 5 dispõe as informações necessárias para a metodologia de cálculo e recomenda algumas observações que devem ser seguidas para o correto diagnóstico do sistema, como identificado:

- 0) Agrupar as lâmpadas em sistemas que tenham o mesmo regime de funcionamento e sejam trocadas por um determinado tipo de lâmpada (usar sistemas diferentes para troca diferentes);
- 1) Tipo de lâmpada (incandescente, fluorescente, etc.) e potência nominal;
- 2) Incluir a potência média consumida pelos reatores por cada lâmpada (especificar se são reatores eletromagnéticos ou eletrônicos);
- 3) Quantidade de lâmpadas em cada sistema considerado;
- 4) Potência total instalada;
- 5) Funcionamento médio anual (h/ano);
- 6) Fator de coincidência na ponta;
- 7) Energia consumida (MWh/ano);
- 8) Demanda média na ponta (kW);
- 10 a 18) Mesmas considerações acima. O funcionamento só será diferente se forem instalados dispositivos de controle adicionais. Troca-se o subscrito at (atual) por pr (proposto);
- 21) Redução de demanda na ponta (*RDP*);
- 22) *RDP* em termos percentuais;
- 23) Energia economizada (*EE*);
- 24) *EE* em termos percentuais.

Tabela 5: Sistema de iluminação

SISTEMA ATUAL				
0	Sistema 1	Sistema 2	...	TOTAL
1	Tipo de lâmpada			
2	Potência (lâmpada + reator) (W)	pa_1		
3	Quantidade	qa_1		
4	Potência Instalada (kW)	$Pa_1 = \frac{pa_1 \times qa_1}{1.000}$		
5	Funcionamento (h/ano)	ha_1		
6	FCP (fator de coincidência na ponta)	$FCPa_1 = \frac{Da_1}{Pa_1}$		
7	Energia Consumida (MWh/ano)	$Ea_1 = \frac{Pa_1 \times ha_1}{1.000}$		$Ea = \sum Ea_i$
8	Demanda média na ponta (kW)	Da_1		$Da = \sum Da_i$
SISTEMA PROPOSTO				
10	Sistema 1	Sistema 2	...	TOTAL
11	Tipo de lâmpada			
12	Potência (lâmpadas + reatores) (W)	pp_1		
13	Quantidade	qp_1		
14	Potência Instalada (kW)	$Pp_1 = \frac{pp_1 \times qp_1}{1.000}$		
15	Funcionamento (h/ano)	hp_1		
16	FCP (fator de coincidência na ponta)	$FCPp_1 = \frac{Dp_1}{Pp_1}$		
17	Energia Consumida (MWh/ano)	$Ep_1 = \frac{Pp_1 \times hp_1}{1.000}$		$Ep = \sum Ep_i$
18	Demanda média na ponta (kW)	Dp_1		$Dp = \sum Dp_i$
RESULTADOS ESPERADOS				
20	Sistema 1	Sistema 2	...	TOTAL
21	Redução de Demanda na Ponta (kW)	$RDP_1 = Da_1 - Dp_1$		$RDP = \sum RDP_i$
22	Redução de Demanda na Ponta (%)	$RDP_1\% = \frac{RDP_1}{Da_1}$		$RDP\% = \frac{RDP}{Da}$
23	Energia Economizada (MWh/ano)	$EE_1 = Ea_1 - Ep_1$		$EE = \sum EE_i$
24	Energia Economizada (%)	$EE_1\% = \frac{EE_1}{Ea_1}$		$EE\% = \frac{EE}{Ea}$

A vida útil das lâmpadas em anos e a estimativa do Fator de Coincidência na Ponta (FCP) podem ser obtidas através das expressões (3.10) e (3.11), respectivamente,

$$Vida \text{ útil das lâmpadas (em anos)} = \frac{Vida \text{ útil da lâmpada (em horas)}}{Tempo \text{ de utilização (em horas/ano)}} \quad (3.10)$$

onde:

- *Vida útil da lâmpada (em horas)* é fornecida pelo fabricante;

$$FCP = \frac{nm.nd.nup}{792} \quad (3.11)$$

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.

A Energia Economizada EE em MWh/ano e a Redução de Demanda na Ponta RDP em kW são obtidas através das expressões (3.12) e (3.13), respectivamente,

$$EE = \left[\sum_{\text{Sistema } i} (qa_i \cdot pa_i \cdot ha_i) - \sum_{\text{Sistema } i} (qp_i \cdot pp_i \cdot hp_i) \right] \cdot 10^{-6} \quad (3.12)$$

onde:

- qa_i - número de lâmpadas no sistema i atual;
- pa_i - potência da lâmpada e reator no sistema i atual (W);
- ha_i - tempo de funcionamento do sistema i atual (h/ano);
- qp_i - número de lâmpadas no sistema i proposto;
- pp_i - potência da lâmpada e reator no sistema i proposto (W);
- hp_i - tempo de funcionamento do sistema i proposto (h/ano);

$$RDP = \left[\sum_{\text{Sistema } i} (qa_i \cdot pa_i \cdot FCPa_i) - \sum_{\text{Sistema } i} (qp_i \cdot pp_i \cdot FCPp_i) \right] \cdot 10^{-3} \quad (3.13)$$

onde:

- $FCPa_i$ - fator de coincidência na ponta no sistema i atual;
- $FCPp_i$ - fator de coincidência na ponta no sistema i proposto.

3.3.3.2 Metodologia de Cálculo de *EE* e *RDP* aplicada a sistema de condicionamento ambiental

As ações de Eficiência Energética em sistemas de condicionamento ambiental cobertas por este item referem-se à substituição de equipamentos individuais de janela ou equivalentes.

A definição das metas de Energia Economizada *EE* em MWh/ano e de Redução de Demanda na Ponta *RDP* em kW deve ser feita com base na metodologia de cálculo proposto para cada uso final, conforme a Seção 4.2 “Ações de Eficiência Energética” dos Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (*PROPEE*). A valoração das metas deve ser feita de acordo com o Módulo 7 - Cálculo da Viabilidade. A Tabela 6 dispõe as informações necessárias para a metodologia de cálculo. A metodologia de cálculo proposta recomenda algumas observações que devem ser seguidas para o correto diagnóstico do sistema.

- 0) Agrupar os aparelhos em sistemas que tenham o mesmo regime de funcionamento e sejam trocados por um determinado tipo de ar (usar sistemas diferentes para troca diferentes);
- 1) Agrupar os aparelhos com as mesmas características de instalação e funcionamento e especificar, por tipo: tecnologia (janela, split, self contained, dentre outras); horas de funcionamento. Usar tipos diferentes para troca diferentes (se um tipo de equipamento for trocado por 2 tipos diferentes, considerar tipos diferentes);
- 2) Potência nominal de refrigeração;
- 3) Usar dados do Inmetro de preferência;
- 4) Quantidade de aparelhos do tipo considerado;
- 5) Potência instalada;
- 6) Potência média consumida, considerado o regime de funcionamento do sistema e o perfil de temperatura médio assumido (igual à potência instalada vezes um fator de utilização).
- 7) Funcionamento médio anual;

- 8) Fator de coincidência na ponta: deve refletir os hábitos de uso e temperaturas neste horário;
- 9) Energia consumida anualmente;
- 10) Demanda média na ponta (deve ser estimada em cada caso);
- 11 a 20) Mesmas considerações acima. O funcionamento só será diferente se houver alguma mudança justificada;
- 21) Redução de demanda na ponta (RDP);
- 22) RDP em termos percentuais;
- 23) Energia economizada (EE);
- 24) EE em termos percentuais.

A estimativa do fator de coincidência na ponta é similar ao apresentado no sistema de iluminação, através da expressão (3.11).

A Energia Economizada EE em MWh/ano e a Redução de Demanda na Ponta RDP em kW são obtidas através das expressões (3.14) e (3.15) respectivamente:

$$EE = \left[\sum_{\text{Sistema } i} (qa_i \cdot Pua_i \cdot ha_i - qp_i \cdot Pup_i \cdot hp_i) \right] \cdot 10^{-3} \quad (3.14)$$

onde:

- qa_i - quantidade de aparelhos no sistema i atual;
- Pua_i - potência média do aparelho no sistema i atual (kW);
- ha_i - tempo de funcionamento do sistema i atual (h/ano);
- qp_i - quantidade de aparelhos no sistema i proposto;
- Pup_i - potência média do aparelho no sistema i proposto (kW);
- hp_i - tempo de funcionamento do sistema i proposto (h/ano);

$$RDP = \left[\sum_{\text{Sistema } i} (qa_i \cdot Pua_i \cdot FCPa_i - qp_i \cdot Pup_i \cdot FCPP_i) \right] \quad (3.15)$$

onde:

- $FCPa_i$ - fator de coincidência na ponta no sistema i atual;
- $FCPp_i$ - fator de coincidência na ponta no sistema i proposto.

Tabela 6: Sistema de condicionamento ambiental

SISTEMA ATUAL				
0		Sistema 1	Sistema 2 ...	TOTAL
1	Tipo de equipamento/tecnologia			
2	Potência refrigeração (btu/h)	pa_1		
3	Coefficiente de eficiência energética (W/W)	ca_1		
4	Quantidade	qa_1		
5	Potência Instalada (kW)	$Pa_1 = \frac{pa_1 \times 0,293 \times qa_1}{1.000 \times ca_1}$		
6	Potência média utilizada (kW)	Pua_1		
7	Funcionamento (h/ano)	ha_1		
8	FCP (fator de coincidência na ponta)	$FCPa_1$		
9	Energia Consumida (MWh/ano)	$Ea_1 = \frac{Pua_1 \times ha_1}{1.000}$		$Ea = \sum Ea_i$
10	Demanda média na ponta (kW)	$Da_1 = Pua_1 \times FCPa_1$		$Da = \sum Da_i$
SISTEMA PROPOSTO				
		Sistema 1	Sistema 2 ...	TOTAL
11	Tipo de equipamento/tecnologia			
12	Potência refrigeração (btu/h)	pp_1		
13	Coefficiente de eficiência energética (W/W)	cp_1		
14	Quantidade	qp_1		
15	Potência Instalada (kW)	$Pp_1 = \frac{pp_1 \times 0,293 \times qa_1}{1.000 \times ca_1}$		
16	Potência média utilizada (kW)	Pup_1		
17	Funcionamento (h/ano)	hp_1		
18	FCP (fator de coincidência na ponta)	$FCPp_1$		
19	Energia Consumida (MWh/ano)	$Ea_1 = \frac{Pup_1 \times hp_1}{1.000}$		$Ep = \sum Ep_i$
20	Demanda média na ponta (kW)	$Da_1 = Pup_1 \times FCPp_1$		$Dp = \sum Dp_i$
RESULTADOS ESPERADOS				
		Sistema 1	Sistema 2 ...	TOTAL
21	Redução de Demanda na Ponta (kW)	$RDP_1 = Da_1 - Dp_1$		$RDP = \sum RDP_i$
22	Redução de Demanda na Ponta (%)	$RDP_1\% = \frac{RDP_1}{Da_1}$		$RDP\% = \frac{RDP}{Da}$
23	Energia Economizada (MWh/ano)	$EE_1 = Ea_1 - Ep_1$		$EE = \sum EE_i$
24	Energia Economizada (%)	$EE_1\% = \frac{EE_1}{Ea_1}$		$EE\% = \frac{EE}{Ea}$

3.3.4 Metodologia de Cálculo do Número de Amostras para Medição e Verificação

Técnicas de amostragem poderão ser utilizadas para projetos com trocas de muitos equipamentos. Cuidados deverão ser tomados com a incerteza introduzida, pois a “amostragem cria erros, porque nem todas as unidades em estudo são medidas” (EVO, 2012, p. 100). Recomenda-se seguir os passos preconizados pelo Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance - PIMVP no Anexo B-3 – Amostragem para se determinar o tamanho da amostra:

- a) Selecionar uma população homogênea – dividir a população em subconjuntos homogêneos, por exemplo, agrupando as lâmpadas de mesma potência ou ar-condicionado de mesma capacidade;
- b) Determinar os níveis desejados de precisão e de confiança – sugere-se adotar 10% com 95% de confiança;
- c) Decidir o nível de desagregação – se não houver muitos subconjuntos, adotar o critério acima para cada um; senão, reduzir a precisão almejada (deve-se perseguir 10% como meta geral para a amostragem).
- d) Calcular o tamanho da amostra inicial – deverão ser usados coeficientes de variação - CV típicos. Se este dado não estiver disponível, adotar um CV de 0,5.

O tamanho da amostra inicial será calculado, conforme a expressão (3.16):

$$n_0 = \frac{z^2 \cdot cv^2}{e^2} \quad (3.16)$$

onde:

- n_0 - tamanho inicial da amostra;
- z - valor padrão da distribuição normal (confiabilidade de 95%) = 1,96;
- cv - coeficiente de variação das medidas;
- e - precisão desejada (= 0,1).

Para pequenas populações deverá ser feito um ajuste quanto a estimativa inicial do tamanho da amostra, conforme a expressão (3.17) e adotá-la, se menor que a anterior ($n < n_0$).

$$n = \frac{n_0 \cdot N}{n_0 + N} \quad (3.17)$$

onde:

- n - tamanho reduzido da amostra;
- N - tamanho da população.

3.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA UTILIZANDO MÉTODOS DETERMINÍSTICOS DE ANÁLISE DE INVESTIMENTO (VPL, TIR, TIRM, *PAYBACK*)

A análise de viabilidade de projetos de investimentos utilizando métodos determinísticos é indispensável para minimizar situações adversas no futuro.

Em primeiro lugar um projeto deve ter viabilidade técnica, isto é, pode ser realizado com os procedimentos de engenharia e equipamentos disponíveis; porém, a viabilidade técnica é necessária, mas não é suficiente. É preciso que haja também viabilidade econômica, isto é, o investimento só é viável se remunerar adequadamente o capital investido. Os benefícios devem ser maiores do que os custos (TORRES, O., 2006).

Os métodos determinísticos supõem que variáveis externas não afetarão o fluxo de caixa projetado para um investimento, ou seja, o fluxo de caixa ocorrerá exatamente como previsto. Existem diversos métodos determinísticos que podem ser utilizados para se obter critérios de decisão para a escolha de um projeto, tais como:

- a) Método do Valor Presente Líquido (VPL);
- b) Método da Taxa Interna de Retorno (TIR);
- c) Método da Taxa Interna de Retorno Modificada (TIRM);
- d) Método de tempo de recuperação do investimento (*PAYBACK*).

No estudo de caso deste trabalho, optou-se por utilizar os métodos VPL, TIRM e *PAYBACK*, para a análise do Projeto de Eficiência Energética com Adição de Geração Proveniente de Fonte Incentivada de Energia Elétrica (Geração Fotovoltaica).

Antes de prosseguir com a análise econômica, deve-se fixar a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), que é a expectativa mínima de lucratividade, em termos de taxas de juros, que se espera em um determinado investimento. Para que qualquer investimento seja lucrativo, o investidor (corporativo ou individual) espera receber mais dinheiro do que o capital investido. Em outras palavras, uma justa taxa de retorno do investimento, deve ser realizável. A TMA deve ser mais alta do que a taxa esperada de um banco ou de determinado investimento seguro, que envolva um risco mínimo de investimento. Portanto, a nova proposta deve render, no mínimo, a taxa de juros equivalente às aplicações correntes e de pouco risco (BLANK; TARQUIN, 2008).

Essa taxa é conhecida na literatura por vários outros nomes, como taxa de rendimento mínimo, custo do capital, custo de oportunidade, etc. Há muita discussão na literatura sobre fixação da TMA. Para alguns ela resulta de cálculos matemáticos, e depende só do mercado. Para outros, ela é um parâmetro de decisão, escolhida livremente pelo decisor, levando em conta as informações de que dispõem, seu perfil em face do risco (conservador, moderado ou arrojado), suas necessidades e suas expectativas sobre o futuro (TORRES, O., 2006).

3.4.1 Valor Presente Líquido – VPL

O Valor Presente Líquido (VPL) tem como objetivo avaliar a viabilidade de um projeto de investimento através do cálculo do valor presente de todos os seus fluxos de caixa. Corresponde à diferença entre os valores atualizados das entradas e saídas de dinheiro durante o período de vida útil do projeto, calculados para o ano zero (FREIRE, 2011). O VPL é determinado pela expressão (3.18), (PAMPLONA; MONTEVECHI, 2005).

$$VPL = \sum_{j=0}^n C_j(1+i)^{-j} \quad (3.18)$$

onde:

- C_j - fluxo de caixa do ano j (receitas menos despesas);
- n - vida útil do projeto;
- i - Taxa Mínima de Atratividade (TMA).

Se o valor for positivo ($VPL > 0$), o projeto será economicamente viável porque permite não só cobrir o investimento como gerar a remuneração exigida pelo investidor e ainda excedentes financeiros.

Se o valor for nulo ($VPL = 0$), é o caso limite em que o investidor ainda recebe a remuneração exigida;

Se o valor for negativo ($VPL < 0$), considera-se o projeto economicamente inviável. Apesar de o VPL ser um bom indicador, não deve ser usado isoladamente quando se pretende comparar alternativas de investimento, que podem apresentar o mesmo VPL mas possuírem diferentes custos de investimento e duração (FREIRE, 2011).

3.4.2 *PAYBACK*

O *PAYBACK*, ou período de recuperação do investimento, mede o tempo necessário para reaver o capital investido, considerando-se a mudança de valor do dinheiro no tempo. Quanto maior o *PAYBACK* de um investimento, mais tempo deverá ser necessário para se obter o capital de volta, portanto, maior o seu risco.

Projetos que apresentam um tempo de recuperação pequeno são menos arriscados, pois projeta um período menor de recuperação do capital investido.

Este indicador também pode ser definido como sendo o tempo necessário para que as receitas de exploração compensem os investimentos e os custos do projeto. Não se trata de um critério de rentabilidade como muitas vezes é assumido, tratando-se antes de uma sinalização do risco do projeto. É possível encontrar projetos com menores períodos de recuperação que outros, o que não significa que tenham maior rentabilidade (COSTA, 2013).

O *PAYBACK* deve ser calculado construindo a coluna de saldos dos fluxos de caixa do projeto e verificando-se o VPL acumulado a cada período. Neste caso, deve-se trabalhar com os valores dos fluxos de caixa trazidos para o presente (*PAYBACK* descontado). O momento em que o saldo do projeto se torna positivo corresponde ao *PAYBACK* do investimento. O *PAYBACK* deve ser usado fundamentalmente como índice de risco e não como comparador de projetos, principalmente se está comparando alternativas com tempos de vida diferentes (FREIRE, 2011).

3.4.3 Taxa Interna de Retorno – TIR e Taxa Interna de Retorno Modificada – TIRM

A TIR é um indicador amplamente utilizado na análise de projetos financeiros, encontrando-se diretamente ligado ao VPL. A Taxa Interna de Retorno representa a taxa máxima de rentabilidade do projeto, isto é, é a taxa de juros que, no final do período de vida do projeto, iguala o VPL a zero. Em outras palavras, a TIR é a taxa a que os capitais do projeto são renumerados (COSTA, 2013). A TIR pode ser calculada utilizando-se diferentes valores para a taxa de juros na expressão (3.18) até que se encontre o VPL de valor nulo. No entanto, podem ocorrer fluxos de caixa com mais de uma inversão de sinal, com mais de uma taxa que anula o VPL. Nestes casos, recomenda-se o uso do método da Taxa Interna de Retorno Modificada, a TIRM.

Para a obtenção da TIRM, os fluxos de caixa intermediários negativos são trazidos ao valor presente, com uma taxa de financiamento compatível com as do mercado, enquanto que os fluxos intermediários positivos são levados ao valor futuro no último período do fluxo de caixa, a partir de uma taxa de reinvestimento adequada com as praticadas no mercado. Com todos os valores do fluxo de caixa concentrados no instante zero e no período final, o cálculo da TIRM é feito com a expressão (3.18) para o $VPL = 0$, obtendo-se a expressão (3.19), (FILHO, A., 2008).

$$\sum_{j=0}^n \frac{FCN_j}{(1 + i_f)^j} = \frac{\sum_{j=0}^n FCP_j (1 + i_r)^{n-j}}{(1 + TIRM)^n} \quad (3.19)$$

onde:

- FCP_j - fluxo de caixa positivo no ano j ;
- FCN_j - fluxo de caixa negativo no ano j ;
- i_f - taxa de financiamento dos fluxos de caixa negativos;
- i_r - taxa de refinanciamento dos fluxos de caixa positivos;
- n - vida útil do projeto.

A TIR ou TIRM deve ser comparada com a TMA para a conclusão a respeito da aceitação ou não do projeto. Só devem ser escolhidos projetos que apresentem TIR ou TIRM superior à Taxa Mínima de Atratividade da empresa (PAMPLONA; MONTEVECHI, 2005).

3.5 METODOLOGIA DE CÁLCULO DAS EMISSÕES EVITADAS DE CO₂ EQUIVALENTE

A ideia central do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL, consiste em que um projeto gere, ao ser implantado, um benefício ambiental na forma de um ativo financeiro, transacionável, que corresponde em Reduções Certificadas de Emissões - RCE. Tais projetos devem implicar reduções de emissões adicionais àquelas que ocorreriam na ausência do projeto registrado como MDL, nos termos do Artigo 12 do Protocolo de Quioto (PROTOCOLO DE QUIOTO, 1997).

Além do caráter econômico que foi dada à questão ambiental, o MDL também permitiu a participação voluntária dos países em desenvolvimento na dinâmica de mitigação das mudanças climáticas instaurada pelo Protocolo de Quioto. Assim, a expectativa é que por

intermédio do MDL, os países não incluídos no Anexo I possam, além de contribuir para o esforço global, se desenvolver de forma sustentável.

Qualquer projeto que comprove ter reduzido, sequestrado ou limitado emissões de Gases de Efeito Estufa - GEEs é elegível como atividade de MDL, destacando-se os projetos de melhoria da eficiência no uso final e na oferta de energia; de uso de energia renovável; de substituição de combustíveis; de reduções de emissões de CH₄ e N₂O na agricultura e de CO₂, hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF₆) em processos industriais, dentre outros. Essas atividades de projetos devem envolver um ou mais gases previstos no Anexo A23 do Protocolo de Quioto (PROTOCOLO DE QUIOTO, 1997).

No que tange à redução de emissões e/ou o aumento de remoções de GEEs decorrentes da atividade de projeto, são medidas as emissões evitadas em toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂ eq). Cada tonelada de CO₂ eq reduzida ou removida da atmosfera, devidamente verificada, corresponde a uma unidade de RCE emitida pelo Conselho Executivo do MDL.

Há basicamente dois conceitos no Protocolo de Quioto que fundamentam o princípio do MDL: a adicionalidade e a linha de base adotada. O conceito de adicionalidade, segundo a *United Nations Framework Climate Change Convention* - UNFCCC, é relacionado à atividade de projeto de MDL que reduz as emissões antrópicas de GEEs para níveis inferiores aos que teriam ocorrido na ausência da atividade de projeto de MDL registrada.

Um projeto é considerado adicional quando demonstrar/comprovar em seu escopo que não poderia ser implementado com a ausência de incentivos relacionados ao MDL, incentivos esses que podem ter o viés econômico e/ou tecnológico.

Além disso, para ser adicional o projeto deve promover o desenvolvimento sustentável no país hospedeiro. A Figura 7 elaborada pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) apresenta de forma visual o conceito de adicionalidade.

Já o conceito de linha de base refere-se às emissões antrópicas dos GEEs que ocorreriam na ausência do projeto de MDL, ou seja, pode ser definido como o nível de emissões de GEEs que uma determinada empresa ou país estaria emitindo na atmosfera, caso a atividade de projeto de MDL não tivesse sido implementada. Dessa forma, é um cenário de referência em relação ao qual se pode estimar as reduções de emissões de GEEs efetivamente alcançadas pela atividade de projeto no âmbito do MDL (CGEE, 2010).

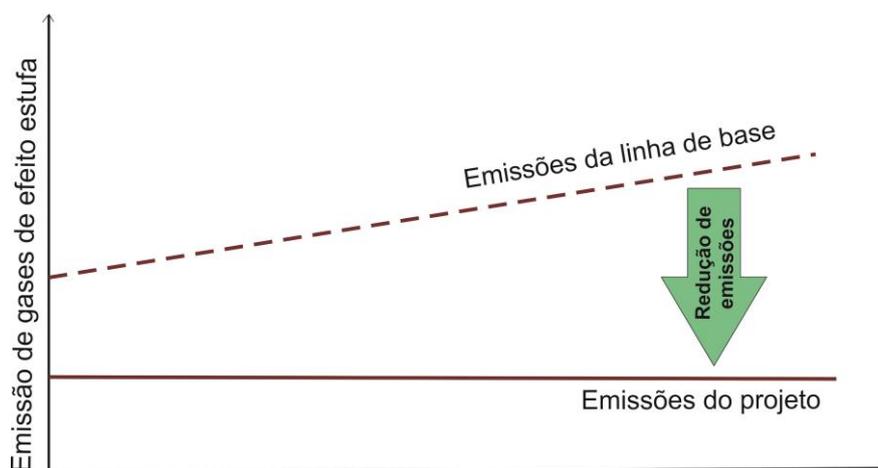


Figura 7: Conceito de adicionalidade

3.5.1 Metodologia AMS-I.D aplicada a projetos envolvendo energias renováveis conectados à rede

A metodologia para a quantificação das emissões evitadas em projetos envolvendo energias renováveis é o primeiro passo a ser observado para qualquer atividade de projeto. É na metodologia que são definidos os parâmetros a serem seguidos para se quantificar as emissões evitadas, como também as adicionalidades. Na Tabela 7 é possível visualizar as principais metodologias do MDL para projetos de grande e pequena escala envolvendo energias renováveis conectados à rede. Dentre essas, a mais utilizada de grande escala no Brasil é a ACM0002. Nas atividades de pequena escala, a mais utilizada é a AMS-I.D (LOPES, 2013).

Com base na metodologia AMS-I.D, o limite do projeto abrange o local geográfico da fonte de geração renovável. A eletricidade produzida por sistema fotovoltaico conectado à rede - SFCR será entregue à rede e substituirá a energia elétrica gerada por outros combustíveis/fontes que emitam gás carbônico. Portanto, de acordo com a metodologia, a extensão espacial do limite do projeto inclui a planta do projeto e todas as usinas conectadas fisicamente ao sistema de energia elétrica ao qual ela está conectada, que no estudo de caso deste trabalho corresponde ao Sistema Interligado Nacional - SIN (LOPES, 2013).

Tabela 7: Lista de metodologias para projetos de MDL que utilizam energia renovável

Segmento	Escala	Número	Descrição da Metodologia Aprovada
Energia Renovável	Grande Escala	ACM0002	Metodologia de linha de base consolidada para a geração de eletricidade conectada à rede a partir de fontes renováveis
		AM0019	Atividades de projeto de energia renovável que substituem parte da produção de eletricidade de uma usina elétrica movida a combustível fóssil que seja a única ou abasteça uma rede, excetuando-se os projetos de biomassa
		AM0026	Metodologia para geração de eletricidade conectada à rede com emissões nulas, a partir de fontes renováveis no Chile ou em países com rede de despacho por ordem de mérito
		AM0072	Substituição de combustíveis fósseis por recursos geotérmicos para aquecimento de interiores
	Pequena Escala	AMS-I.A	Geração de eletricidade pelo usuário
		AMS-I.B.	Energia mecânica para o usuário com ou sem energia mecânica
		AMS-I.C.	Energia térmica para o usuário com ou sem eletricidade
		AMS-I.D.	Geração de eletricidade renovável conectada à rede

No ato da construção de novas plantas de geração pode ocorrer a emissão de carbono, chamados de emissões de projeto. Para a estimativa das emissões evitadas de CO₂ eq com a implantação de sistemas fotovoltaicos considera-se que não há emissões de projeto. Além das emissões de projeto, podem ainda existir emissões decorrentes das fugas, que se referem àquelas resultantes da atividade do projeto (por exemplo, grandes hidroelétricas emitem metano devido à decomposição de matéria orgânica). No entanto, projetos de pequena escala como solar fotovoltaico possuem emissões de fuga nula.

As emissões de CO₂ eq de cada projeto fotovoltaico são calculadas a partir da expressão (3.20), (UNFCCC, 2013):

$$ER_y = BE_y - PE_y - LE_y \quad (3.20)$$

onde:

- ER_y - redução das emissões no ano y (tCO₂ eq/ano);
- BE_y - emissões da linha de base no ano y (tCO₂ eq/ano);
- PE_y - emissões do projeto no ano y (tCO₂ eq/ano), que no caso da energia solar fotovoltaica é zero;

- LE_y - emissões decorrentes das fugas no ano y (tCO₂ eq/ano), que no caso da energia solar fotovoltaica também é zero.

Dessa forma, as emissões de CO₂ eq (ER_y) de cada projeto fotovoltaico será igual às emissões de linha de base (BE_y).

Para o cálculo das emissões de linha de base, é necessário saber a quantidade de energia que será gerada pelo empreendimento e disponibilizada na rede de distribuição, bem como o fator de emissão do SIN, conforme a expressão (3.21), (UNFCCC, 2013).

$$BE_y = EG_{BL,y} \cdot EF_{CO_2,grid,y} \quad (3.21)$$

onde:

- $EG_{BL,y}$ - quantidade líquida de eletricidade fornecida à rede elétrica como resultado da implementação da atividade de projeto de MDL no ano y (MWh);
- $EF_{CO_2,grid,y}$ - fator de emissão de CO₂ eq da rede elétrica no ano y (tCO₂ eq/MWh).

Na fase de concepção do projeto, a quantidade de energia líquida fornecida à rede elétrica, $EG_{BL,y}$, por uma planta fotovoltaica é estimada a partir da avaliação do potencial de geração fotovoltaica. O fator de emissão é uma combinação da margem de operação, que reflete a intensidade das emissões de CO₂ da energia despachada, com a margem de construção, que reflete a intensidade das emissões de CO₂ das últimas usinas construídas. O fator de emissão de CO₂ eq da rede elétrica no ano y , $EF_{CO_2,grid,y}$ é obtido pela expressão (3.22), (UNFCCC, 2013):

$$EF_{CO_2,grid,y} = EF_{grid,MO,y} \cdot w_{MO} + EF_{grid,MC,y} \cdot w_{MC} \quad (3.22)$$

onde:

- $EF_{grid,MO,y}$ - fator de emissão de CO₂ eq da margem de operação no ano y (tCO₂ eq/MWh);
- w_{MO} - ponderação do fator de emissão da margem de operação para novos empreendimentos de energias renováveis;
- $EF_{grid,MC,y}$ - fator de emissão de CO₂ eq da margem de construção no ano y (tCO₂ eq/MWh);

- w_{MC} - ponderação do fator de emissão para margem de construção para novos empreendimentos de energias renováveis.

O Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) a partir de 2008 passou a fornecer os fatores de emissão de CO₂ oficiais para a margem de operação ($EF_{grid,MO,y}$) correspondente a todo o Sistema Nacional Interligado (SIN), com base na análise de dados de despacho. Esta opção leva em conta o custo marginal de operação das usinas na precedência de entrega de eletricidade para a rede, ou seja, pelo mérito de despacho.

O fator de emissão de CO₂ oficial da margem de construção ($EF_{grid,MC,y}$) também é fornecido pelo MCTIC. Os fatores de emissão de CO₂ do SIN podem ser encontrados na página do MCTIC (CGEE, 2010).

Com relação à ponderação dos respectivos fatores de emissão, a “Ferramenta para calcular o fator de emissão de um sistema elétrico” (*Tool to calculate the emission factor for an electricity system*) determina que para os projetos de energia eólica e solar, os pesos padrão sejam os seguintes: $w_{MO}=0,75$ e $w_{MC}=0,25$ (UNFCCC, 2013).

3.5.2 Metodologia AMS-II.C – projetos envolvendo atividades de eficiência energética pelo lado da demanda para tecnologias específicas conectadas à rede

Esta metodologia compreende atividades que incentivem a adoção de equipamentos, lâmpadas, reatores, refrigeradores, motores, ventiladores, condicionadores de ar, eletrodomésticos, dentre outros, eficientes do ponto de vista energético. Essas tecnologias podem substituir os equipamentos existentes ou serem instaladas em novos locais.

As economias de energia agregadas realizadas por um único projeto não podem exceder o equivalente a 60 GWh por ano para as tecnologias elétricas de eficiência energética de uso final. Para as tecnologias de eficiência energética de uso final a base de combustíveis fósseis, o limite é 180 GWh térmicos por ano de entrada de combustível (UNFCCC, 2013).

Caso o equipamento energeticamente eficiente contenha refrigerantes, o refrigerante usado no caso do projeto não deve conter clorofluorcarboneto (CFC). As emissões oriundas dos refrigerantes na linha de base e as decorrentes do projeto implementado devem ser consideradas de acordo com a orientação do Conselho Executivo do MDL (relatório da 34ª reunião). Esta metodologia credita reduções de emissões decorrentes apenas da redução do consumo de eletricidade em razão do uso de equipamentos/aparelhos mais eficientes. O limite do projeto é a localidade física, geográfica, de cada medida adotada.

Se a energia substituída for produzida a base de combustível fóssil, a linha de base da energia será o nível existente de consumo de combustível ou a quantidade de combustível que seria usada pela tecnologia que, de outra forma, seria implementada. A linha de base das emissões é a linha de base da energia multiplicada por um fator de emissão do combustível fóssil substituído. Devem-se usar dados locais ou nacionais confiáveis para o fator de emissão. Os valores padrão do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) devem ser usados apenas quando não houver ou forem difíceis de obter dados específicos do país ou do projeto.

Se a energia substituída for eletricidade, a linha de base das emissões será determinada como o produto do consumo de energia da linha de base dos equipamentos/aparelhos e do fator de emissão da eletricidade substituída, conforme apresentado na expressão (3.23) e (3.24), (UNFCCC, 2013):

$$BE_y = E_{BL_y} \cdot EF_{CO_2,ELEC,y} + Q_{ref,BL} \cdot GWP_{ref,BL} \quad (3.23)$$

$$E_{BL_y} = \sum_i (n_i \cdot p_i \cdot o_i) / (1 - l_y) \quad (3.24)$$

onde:

- BE_y - emissões da linha de base no ano y (tCO₂ eq);
- E_{BL_y} - consumo de energia na linha de base no ano y (kWh);
- $EF_{CO_2,ELEC,y}$ - fator de emissão no ano y calculado de acordo com as disposições da AMS-I.D (tCO₂ eq/MWh);
- $Q_{ref,BL}$ - quantidade média anual de refrigerante usado na linha de base para substituir o refrigerante que vazou (toneladas/ano). Podem ser usados os valores do Capítulo 7: emissões de substitutos fluorados das substâncias que destroem a camada de ozônio, Volume 3, Processos Industriais e Uso de Produtos, Diretrizes de 2006 do IPCC para os Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa;
- $GWP_{ref,BL}$ - potencial de aquecimento global do refrigerante na linha de base (tCO₂ eq/t refrigerante);
- $\sum i$ - soma do grupo de aparelhos “ i ” (por exemplo, lâmpadas incandescentes de 40W, motor de 5hp) substituídos, para os quais os equipamentos energeticamente

eficientes do projeto estejam em funcionamento durante o ano, implementados como parte da atividade do projeto;

- n_i - número de aparelhos do grupo “ i ” (por exemplo, lâmpada incandescente de 40W, motor de 5hp) substituídos, para os quais os equipamentos energeticamente eficientes do projeto estejam em funcionamento durante o ano;
- p_i - potência dos aparelhos do grupo de aparelhos “ i ” na linha de base (por exemplo, lâmpada incandescente de 40W, motor de 5hp). No caso de uma atividade de modernização, “potência” é a média ponderada dos aparelhos substituídos. No caso de novas instalações, “potência” é a média ponderada dos aparelhos no mercado;
- o_i - média anual das horas de operação dos aparelhos do grupo de aparelhos “ i ” na linha de base;
- l_y - média anual das perdas técnicas da rede (transmissão e distribuição) durante o ano y para a rede que atende os locais em que os aparelhos são instalados, expressa como fração. Esse valor não deve abranger perdas não-técnicas, como as perdas comerciais (por exemplo, furtos/roubos). A média anual das perdas técnicas da rede deve ser determinada com o uso de dados recentes, precisos e confiáveis que existam para o país anfitrião. Esse valor pode ser determinado a partir de dados recentes publicados por uma concessionária nacional ou órgão do governo. A confiabilidade dos dados usados (por exemplo, adequabilidade, precisão/incerteza, especialmente a exclusão de perdas não-técnicas da rede) deve ser estabelecida e documentada pelo participante do projeto. O valor padrão de 0,1 deve ser usado para as perdas técnicas anuais médias da rede, caso não haja dados recentes ou os dados não possam ser considerados precisos e confiáveis.

As emissões do projeto consistem em eletricidade e/ou combustível fóssil usado nos equipamentos do projeto, determinadas conforme a expressão (3.25).

$$PE_y = EP_{PJ,y} \cdot EF_{CO_2,y} \quad (3.25)$$

onde:

- PE_y - emissões do projeto no ano y (tCO₂ eq);

- $EP_{PJ,y}$ - consumo de energia na atividade do projeto no ano y . Deve ser determinado *ex-post* com base nos valores monitorados;
- $EF_{CO_2,y}$ - fator de emissão da eletricidade ou da energia térmica na linha de base. As emissões associadas ao consumo de eletricidade da rede devem ser calculadas de acordo com os procedimentos da AMS-I.D. Para o combustível fóssil substituído, devem ser usados dados locais ou nacionais confiáveis para o fator de emissão; os valores padrão do IPCC devem ser usados apenas quando não houver ou forem difíceis de obter dados específicos do país ou do projeto.

O consumo de energia do projeto no caso das atividades de projeto que substituam a eletricidade da rede é determinado conforme expressão (3.26), com o uso dos dados dos equipamentos do projeto.

$$E_{PJ,y} = \sum_i (n_i \cdot p_i \cdot o_i) / (1 - l_y) \quad (3.26)$$

Pode ser observado que o consumo de energia da linha de base no ano y (kWh) na expressão (3.24) é a mesma da expressão (3.26), que corresponde ao consumo de energia com o projeto implementado. Contudo, é dada outra designação a grandeza, de forma que explicita os momentos *ex-ante* e *ex-post*.

As emissões do projeto decorrentes das fugas físicas dos refrigerantes são contabilizadas, conforme a expressão (3.27). Todos os gases de efeito estufa γ devem ser considerados, segundo a orientação do Conselho Executivo do MDL.

$$PE_{ref,y} = Q_{ref,PJ,y} \times GWP_{ref,PJ} \quad (3.27)$$

onde:

- $PE_{ref,y}$ - emissões do projeto decorrentes das fugas físicas de refrigerante do equipamento do projeto no ano y (tCO₂ eq);
- $Q_{ref,PJ,y}$ - quantidade média anual de refrigerante usado no ano y para substituir o refrigerante que vazou no ano y (toneladas/ano). Podem ser usados os valores do Capítulo 7: emissões de substitutos fluorados das substâncias que destroem a camada de ozônio, Volume 3, Processos Industriais e Uso de Produtos, Diretrizes de 2006 do IPCC para os Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa;

- $GWP_{ref,PJ}$ - potencial de aquecimento global do refrigerante que é usado no equipamento do projeto (tCO_2 eq/t refrigerante);

Quanto à metodologia de cálculo da quantidade média anual de refrigerante usado no ano y para substituir o refrigerante que vazou no ano y (toneladas/ano), a mesma é descrita no Capítulo 7: emissões de substitutos fluorados das substâncias que destroem a camada de ozônio, Volume 3, Processos Industriais e Uso de Produtos, Diretrizes de 2006 do IPCC para os Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa, item 7.5 – Refrigeração e Ar Condicionado (IPCC, 2006).

Esta metodologia descreve o conceito dos *tiers* (nível ou camada). Um *tier* representa o nível de complexidade metodológica que é adotada em um inventário de um país. Usualmente, três *tiers* são fornecidos. O *tier 1* é o método básico, *tier 2* intermediário e o *tier 3* com maior nível em termos de complexidade e necessidade de dados. O *tier 1* é recomendado para situações onde não há disponibilidade de fatores de emissão específicos para o país, ou limitações quanto aos dados de atividade. Nestes casos, os guias do IPCC disponibilizam os dados *defaults*, os quais permitem a realização das estimativas. O *tier 2* é recomendado para situações onde existe a disponibilidade de fatores de emissão específicos para as principais condições do país ou região e/ou maior detalhamento para os dados das atividades. O *tier 3*, no caso da Convenção Quadro das Nações Unidas, se refere ao uso de procedimentos metodológicos desenvolvidos especificamente pelo país, o qual pode incluir modelagem e maior detalhamento das medidas dos inventários (IPCC, 2006).

Se a tecnologia de eficiência energética for equipamento transferido de outra atividade, as fugas deverão ser consideradas. Caso a atividade do projeto envolva a substituição de equipamento, e o efeito das fugas decorrentes do uso do equipamento substituído em outra atividade seja desconsiderado, porque o equipamento substituído foi descartado, um monitoramento do descarte do equipamento substituído precisará ser feito por órgão independente. As reduções de emissões alcançadas pela atividade do projeto são calculadas a partir da expressão (3.21) apresentada anteriormente (UNFCCC, 2013).

3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

O principal critério para avaliação da viabilidade econômica de um projeto do PEE é a Relação Custo-Benefício (RCB) que o mesmo proporciona. O benefício considerado é a valoração da energia economizada e da redução da demanda na ponta durante a vida útil do

projeto para o sistema elétrico. Outra possibilidade de análise de viabilidade econômica já bastante consolidada no mercado é a utilização dos métodos do Valor Presente Líquido (VPL); Taxa Interna de Retorno (TIR); Taxa Interna de Retorno Modificada (TIRM) e tempo de recuperação do investimento (*PAYBACK*). Quanto à metodologia de cálculo das emissões evitadas de CO₂ eq para projetos de pequena escala envolvendo energias renováveis conectados à rede é a AMS-I.D. Já a metodologia AMS-II.C é a mais apropriada para projetos envolvendo atividades de eficiência energética pelo lado da demanda para tecnologias específicas conectadas à rede.

4 AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA E RESULTADOS

4.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia descrita no capítulo anterior para elaboração de Projeto de Eficiência Energética no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG) Câmpus Goiânia, conforme os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE) da ANEEL. A ênfase dada é na efficientização dos sistemas de iluminação, condicionamento ambiental e na adição de geração proveniente de fonte incentivada de energia elétrica (geração fotovoltaica). Também são realizadas análises do consumo de energia após as ações de eficiência energética, análise tarifária e análise de recontração de demanda.

Por fim, são apresentados os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia de cálculo de viabilidade econômica utilizando os métodos do Valor Presente Líquido (VPL); Taxa Interna de Retorno Modificada (TIRM) e tempo de recuperação do investimento (*PAYBACK*), bem como a estimativa da emissão evitada de carbono, considerando as metodologias utilizadas pela *United Nations Framework Climate Change Convention* (UNFCCC) para projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) que contemplem atividades de eficiência energética e geração de energia renovável conectada à rede.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DO ESTUDO DE CASO

A elaboração do projeto, enquanto estudo de caso, é aplicada ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG) Câmpus Goiânia, como mostrado na Figura 8, consumidor de energia elétrica enquadrado na classe de consumo “Poder Público”, onde será avaliada a importância e a viabilidade técnica/econômica de ações de combate ao desperdício de energia elétrica e de melhoria da Eficiência Energética de equipamentos, processos e usos finais de energia, bem como avaliar os ganhos energéticos e ambientais através da instalação de sistemas de geração fotovoltaica sobre o telhado deste consumidor.

A estrutura física do IFG Câmpus Goiânia conta com 32.780,43 m² de construção distribuída em oito blocos e áreas comuns, como mostrado nas figuras: Figura 9 (IFG, 2016) e Figura 10 (Pelágio, 2014).

O IFG Câmpus Goiânia conta com salas de aulas; salas para professores; salas administrativas; salas para atendimento aos alunos; laboratórios; salas de informática; Ginásio Poliesportivo; Biblioteca; Teatro; Cinemateca, miniauditórios, Auditório; Miniginásio; Sala de Ginástica; Salas para atendimento médico, odontológico e psicológico dos alunos. Os dados contidos na Tabela 8 exemplificam a dimensão do IFG Câmpus Goiânia.

Tabela 8: Informações gerais – IFG Câmpus Goiânia

Salas de aulas	76
Salas para professores	5
Laboratórios	75
Salas administrativas	45
Outros	14
Consumo médio de energia mensal	70 MWh
Área construída	32.780 m ²



Figura 8: Fachada do IFG Câmpus Goiânia



Figura 9: Edificações que compõem o IFG Câmpus Goiânia

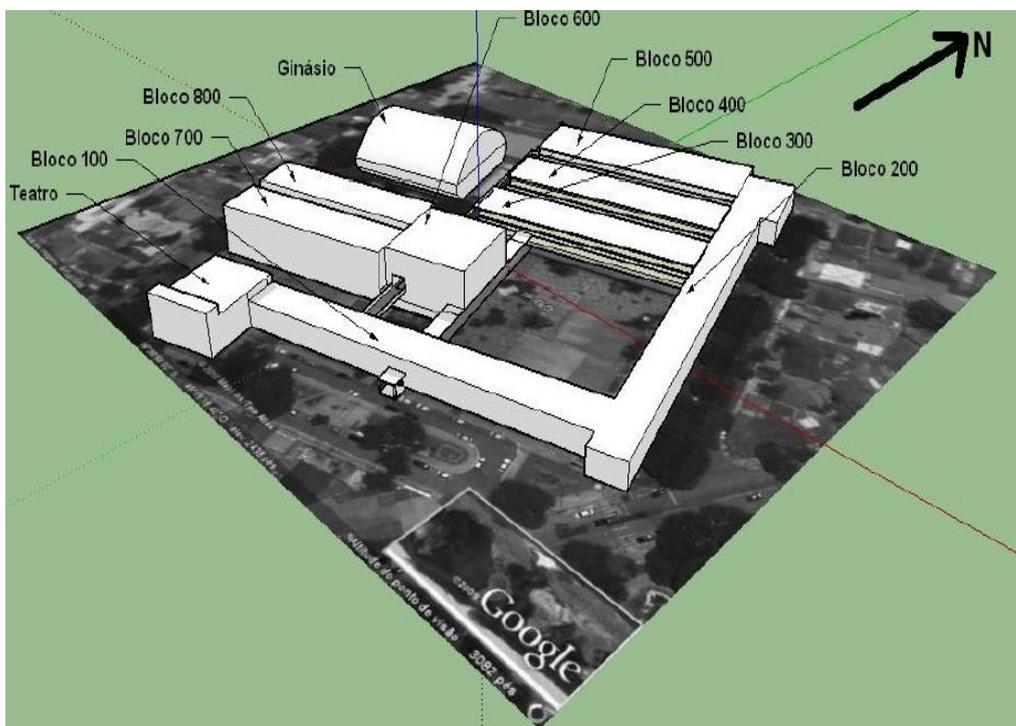


Figura 10: Visão geral tridimensional das edificações do IFG Câmpus Goiânia

4.3 ELABORAÇÃO DO PROJETO

4.3.1 Diagnóstico Energético

A realização de diagnóstico energético envolve um conjunto bastante diversificado de atividades, variáveis conforme a finalidade e o tipo de ocupação da instalação. Dessa forma, são definidas três etapas básicas para o diagnóstico energético do IFG Câmpus Goiânia:

- a) visita preliminar à instalação - visão macroscópica da instalação; planejamento da estratégia de levantamento de dados;
- b) levantamento de dados - obtenção de todos os dados necessários à determinação do potencial de conservação de energia por meio das contas de energia, memória de massa e levantamento de dados por inspeção;
- c) análise e tratamento de dados - conhecimento do perfil de consumo através do consumo global e consumo desagregado em usos finais.

Após visita preliminar e planejamento da estratégia de levantamento de dados, a realização do levantamento dos sistemas de iluminação, condicionamento ambiental e outros sistemas ocorreu no período de 07/05/2015 à 14/05/2015, conforme resultados na Tabela 9.

Tabela 9: Resumo do levantamento de carga dos sistemas de iluminação, ar condicionado e ventiladores IFG-Câmpus Goiânia

Bloco	Quant.de Lâmpadas (Unid.)	Potência Total das Lâmpadas (kW)	Quant.de Ventiladores (Unid.)	Potência Total dos Ventiladores (kW)	Quant. de Aparelhos de Ar Condicionado (Unid.)	Potência Total do Sistema de Ar Condicionado (kW)
Área Comum	1.185	84,65	27	4,82	19	52,83
Bloco 100	1.047	36,76	34	5,58	16	48,45
Bloco 200	1.204	50,30	28	5,57	22	27,28
Bloco 300	837	31,05	32	4,96	33	72,40
Bloco 400	600	23,70	27	4,25	27	45,88
Bloco 500	754	32,44	32	5,02	17	27,78
Bloco 600	264	9,14	2	0,40	31	48,64
Bloco 700	449	18,67	7	1,40	23	32,35
Bloco 800	340	14,28	9	1,71	25	57,28
TOTAL	6.680	300,99	198	33,71	213	412,9

Na Tabela 10 é apresentado o levantamento do sistema de iluminação por tipologia e potência. Para análise são consideradas 6.544 lâmpadas com potencial de substituição por tecnologia mais eficiente, uma vez que algumas luminárias e lâmpadas já são eficientes. Para a estimativa do número de horas por ano de funcionamento do sistema de iluminação, considerou-se que o mesmo funciona 4 horas por turno, totalizando 12 horas por dia. Considerou-se ainda que há aulas no IFG durante 22 dias do mês e 10 meses letivos, totalizando 2.640 horas por ano. Na Tabela 11 e Figura 11 é detalhado o quantitativo de lâmpadas por tipologia e potência.

Tabela 10: Sistema de iluminação por tipologia e potência

Iluminação - Atual (com potencial de efficientização)					
Equipamento	Potência (W)	Qt.	Demanda (kW)	Funcionamento (horas/ano)	Consumo (kWh/ano)
Lâmpada LFC	9	40	0,36	2.640	950,40
Lâmpada LFC	18	94	1,69	2.640	4.466,88
Lâmpada LFC	26	172	4,47	2.640	11.806,08
Lâmp. Incandescente	25	37	0,93	2.640	2.455,20
Lâmp. Incandescente	50	64	3,20	2.640	8.448,00
Lâmp. Incandescente	60	37	2,22	2.640	5.860,80
Lâmp. Fluor. Tub + Reator	17,8	117	2,08	2.640	5.498,06
Lâmp. Fluor. Tub + Reator	25	139	3,48	2.640	9.174,00
Lâmp. Fluor. Tub + Reator	30,8	316	9,73	2.640	25.694,59
Lâmp. Fluor. Tub + Reator	34,8	1.278	44,47	2.640	117.412,42
Lâmp. Fluor. Tub + Reator	49,5	4.250	210,38	2.640	555.390,00
Total	-	6.544	283,01	-	747.145,87

Tabela 11: Tipo de lâmpada e quantidade

Tipo de Lâmpada /Potência (W)	Quantidade Total de Lâmpadas
Fluorescente Compacta	306
9	40
18	94
26	172
Incandescente	138
25	37
50	64
60	37
Fluorescente Tubular	6.100
16	117
20	139
28	316
32	1.278
40	4.250
Total	6.544

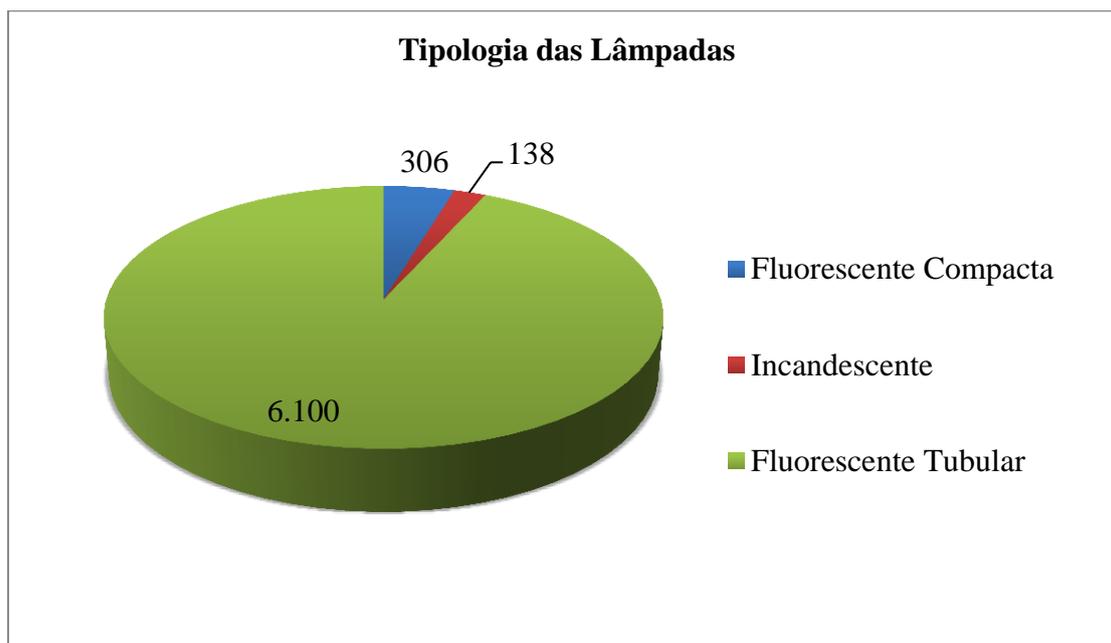


Figura 11: Tipologia das lâmpadas do IFG Câmpus Goiânia

As lâmpadas fluorescentes tubulares de 32W e 40W, que são a maioria dos tipos de tubulares em uso, como podem ser verificadas na Figura 12, são comumente utilizadas em luminárias com capacidade para 2 e 4 lâmpadas, conforme apresentado na Tabela 12.

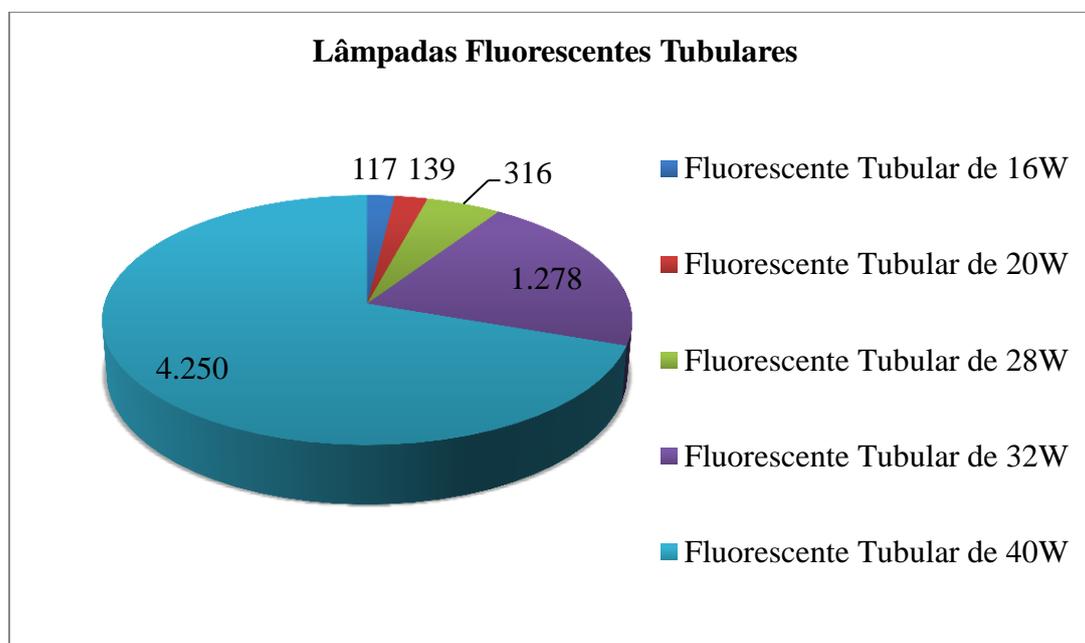


Figura 12: Lâmpadas fluorescentes tubulares por potência e quantidade

Tabela 12: Quantidade de lâmpadas fluorescentes tubulares considerando o número de lâmpadas por luminária

Lâmpada fluorescente tubular de 32W e 40W	
Lâmpadas por luminária	Quantidade total de lâmpadas
1	41
2	3.935
3	102
4	1.240
5	210
Total	5.528

Observa-se um número elevado de luminárias de 4 lâmpadas, tecnologia em desuso há muito tempo, pela sua baixa uniformidade. Também é possível verificar luminárias com 5 lâmpadas, conforme pode ser visualizada pela Figura 13 a seguir:



Figura 13: Luminária com 5 lâmpadas e sem aletas presente no IFG Câmpus Goiânia

A metodologia adotada para efficientização do sistema de iluminação é baseada na substituição tecnológica do conjunto lâmpada e reator, bem como nos resultados do estudo luminotécnico elaborado pela empresa Tecnia Engenharia Ltda, como parte integrante do Projeto de Eficiência Energética da CELG Distribuição no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG) Câmpus Goiânia.

Os sistemas mais modernos conseguem produzir a mesma quantidade de luz utilizando menos energia e isto é conseguido por meio da redução das perdas nos reatores e da redução da potência das lâmpadas. Seguindo esta metodologia é proposta a substituição do sistema antigo de luminárias com lâmpadas fluorescentes tubulares, compactas e incandescentes, pelo sistema novo utilizando lâmpadas LED. Dessa forma, é estabelecida uma tabela de equivalência entre o sistema antigo e o novo, baseado em catálogos de fabricantes e projetos similares executados pela concessionária de energia elétrica do Estado de Goiás - CELG Distribuição. A Tabela 13 resume essa equivalência.

Tabela 13: Tabela de equivalência do sistema de iluminação

Equipamento atual				Equipamento eficiente			
Descrição	Pot. (W)	Qt.	Fluxo Luminoso (lm)	Descrição	Pot. (W)	Qt.	Fluxo Luminoso (lm)
Lâmp. LFC	9	40	531	Led Bulbo	7	77	560
Lâmp. Incandescente	25	37	260				
Lâmp. Incandescente	50	64	650	Led Bulbo	9,5	195	900
Lâmp. Incandescente	60	37	785				
Lâmp. LFC	18	94	1.066				
Lâmp. LFC	26	172	1.800	Led Bulbo	13	172	1.400
Lâmp. Fluor. Tub + Reator	17,8	117	1.050	Led Tubular	11	256	1.000
Lâmp. Fluor. Tub + Reator	25	139	1.060				
Lâmp. Fluor. Tub + Reator	30,8	316	2.500	Led Tubular	18	5.844	2.100
Lâmp. Fluor. Tub + Reator	34,8	1.278	2.600				
Lâmp. Fluor. Tub + Reator	49,5	4.250	2.700				
Total		6.544		Total		6.544	

Através de pesquisa de preços junto aos fabricantes de iluminação LED obtêm-se o valor unitário de cada lâmpada e, por conseguinte, ao valor total do sistema, conforme pode ser observado na Tabela 14.

Tabela 14: Custo da iluminação eficiente

Iluminação Eficiente					
Equipamento	Pot. (W)	Marca	Qt.	Valor unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Lâmpada Led Bulbo	7	Aiha	77	16,90	1.301,30
Lâmpada Led Bulbo	9,5	Intral	195	32,90	6.415,50
Lâmpada Led Bulbo	13	Aiha	172	54,90	9.442,80
Lâmpada Led Tubular	11	Intral	256	35,96	9.205,76
Lâmpada Led Tubular	18	Intral	5.844	52,74	308.212,56
Total		-	6.544	-	R\$ 334.577,92

A equação básica para o cálculo da Relação Custo-Benefício (RCB) de um Projeto de Eficiência Energética foi apresentada através da expressão (3.1), onde o custo são os aportes feitos para a sua realização (do PEE, do consumidor ou de terceiros) e o benefício considerado é a valoração da energia economizada e da redução da demanda na ponta durante a vida útil do projeto para o sistema elétrico. O cálculo dos custos anualizados segue a metodologia descrita no Módulo 7 do PROPEE, conforme demonstrado a partir das expressões (3.3), (3.4), (3.5) e (3.6), tendo como parâmetros as variáveis descritas nas tabelas: Tabela 15 e Tabela 16.

Tabela 15: Custos diretos e indiretos do sistema de iluminação proposto

Custos Diretos					
Descrição		Vida útil (anos)	Qt. (unid)	Preço unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Iluminação					
1	Led Bulbo 7W	9,47	77	16,90	1.301,30
2	Led Bulbo 9,5W	9,47	195	32,90	6.415,50
3	Led Bulbo 13W	9,47	172	54,90	9.442,80
4	Led Tubular 11W	13,26	256	35,96	9.205,76
5	Led Tubular 18W	13,26	5.844	52,74	308.212,56
Sub Total - Custos Diretos (materiais e equipamentos)					334.577,92
Custos Diretos	Própria (Concessionária)				9.621,95
	Consumidor				0,00
	Terceiros (serviço de instalação por ponto de iluminação)		2.915	50,00	145.750,00
	Sub Total - Mão de obra de terceiros				145.750,00
	Sub total - Mão de obra				155.371,95
	Transporte (Concessionária)				1.000,00
	Outros custos diretos				0,00
Sub total - Custos Diretos					490.949,87
Custos Indiretos	Auditoria contábil financeira				0,00
	Descarte de materiais e equipamentos		6.544	1,30	8.481,02
	Medição e verificação		96	42,75	4.104,00
	Outros custos indiretos				0,00
	Sub Total - Custos Indiretos				12.585,02
Sub Total - Iluminação					503.534,89

Tabela 16: Custos anualizados do sistema de iluminação proposto

Custos Anualizados				
Descrição		Vida útil (anos)	FRC	CA (R\$)
Iluminação				
1	Led Bulbo 7W	9,47	0,15459	302,74
2	Led Bulbo 9,5W	9,47	0,15459	1.492,56
3	Led Bulbo 13W	9,47	0,15459	2.196,86
4	Led Tubular 11W	13,26	0,12509	1.733,11
5	Led Tubular 18W	13,26	0,12509	58.025,50
CA_T iluminação				63.750,77

O tamanho da amostra inicial para a medição e verificação é calculado, conforme detalhado no item 3.3.4. A Tabela 17 apresenta os parâmetros utilizados no cálculo.

Tabela 17: Parâmetros para o cálculo da amostra inicial do M&V - sistema de iluminação

Amostragem	
População (N):	6544
Faixa da população (3.201 a 10.000)	-
Amostra - NBR 5426:	80
Nível de Confiabilidade (z):	1,96
Coefficiente de Variação Inicial (cv):	0,5
Nível de Precisão Inicial (e):	0,1
Amostra Inicial (n₀):	96

Os benefícios são avaliados sobre a ótica do sistema elétrico (sociedade), valorando as economias de energia e redução de demanda pela tarifa do sistema de bandeiras tarifárias de energia. A equação de obtenção dos benefícios anualizados é apresentada, conforme a expressão (3.7). O Custo Unitário Evitado de Demanda (CED) e o Custo Unitário da Energia Economizada (CEE) são calculados, conforme as expressões (3.8) e (3.9), tendo como parâmetros as variáveis descritas nas tabelas: Tabela 18 e Tabela 19. O IFG Câmpus Goiânia está enquadrado no segmento horário A4.

Tabela 18: Parâmetros utilizados nos cálculos de CED e CEE

Fator de Carga	0,7		
k	0,15		
LP	0,54760	C ₁	27,160
LE ₁	0,38516	C ₂	9,620
LE ₂	0,26961	C ₃	423,060
LE ₃	2,29381	C ₄	423,060
LE ₄	1,61977	C ₅	288,830
LE ₁₊₂₊₃₊₄	4,56835	C ₆	288,830

Tabela 19: Tarifas de fornecimento: resolução homologatória ANEEL nº 1.858 de 27/02/2015, início da vigência 02/03/2015

TARIFA HORÁRIA						
Segmento Horário Subgrupo	DEMANDA (R\$/kW)		CONSUMO (R\$/kWh)		REATIVO	
	Ponta	Fora de Ponta	Ponta	Fora de Ponta	UFER (R\$/kWh)	DMCR (R\$/kW)
A1 (230kV ou mais)	1,630	1,600	0,405	0,271	0,220	1,600
A2 (88kV a 138 kV)	4,570	2,340	0,409	0,275	0,220	2,340
A3 (69kV)	11,160	3,860	0,415	0,281	0,220	3,860
A3a (30 a 44kV)	27,160	9,620	0,423	0,289	0,220	9,620
A4 (2,3 a 25kV)	27,160	9,620	0,423	0,289	0,220	9,620
AS (Subterrâneo)	36,080	7,670	0,437	0,303	0,220	7,670

A Energia Economizada (EE) em MWh/ano e a Redução de Demanda na Ponta (RDP) em kW são obtidas através das expressões (3.12) e (3.13), respectivamente, do fator de coincidência na ponta (FCP) e tendo como parâmetros as variáveis descritas nas tabelas: Tabela 20, Tabela 21 e Tabela 22.

Tabela 20: Parâmetros para o cálculo da energia economizada e demanda retirada na ponta sistema de iluminação atual

Sistema Atual							
Descrição	Pot.	Qt.	Demanda (kW)	FCP	Demanda na Ponta (kW)	Func. (horas/ano)	Consumo (kWh/ano)
Lâmp. LFC	9	40	0,36	0,356	0,128	2.640	950,40
Lâmp. Incand.	25	37	0,93	0,356	0,329	2.640	2.455,20
	50	64	3,20	0,356	1,139	2.640	8.448,00
	60	37	2,22	0,273	0,605	2.640	5.860,80
Lâmp. LFC	18	94	1,69	0,273	0,461	2.640	4.461,60
	26	172	4,47	0,273	1,219	2.640	11.800,80
Lâmp. Fluor. Tub + Reator	17,8	117	2,0826	0,495	1,031	2.640	5.498,06
	25	139	3,475	0,495	1,720	2.640	9.174,00
	30,8	316	9,7328	0,495	4,818	2.640	25.694,59
	34,8	1.278	44,4744	0,495	22,015	2.640	117.412,42
	49,5	4.250	210,375	0,495	104,136	2.640	555.390,00
Total	-	6.544	283,01	-	137,61	-	747.145,87

Tabela 21: Parâmetros para o cálculo da energia economizada e demanda retirada na ponta sistema de iluminação proposto

Sistema Proposto							
Descrição	Pot.	Qt.	Demanda (kW)	FCP	Demanda na Ponta (kW)	Func. (horas/ano)	Consumo (kWh/ano)
Lâmpada Led Bulbo	7	77	0,54	0,599	0,323	2.640	1.423
Lâmpada Led Bulbo	9,5	195	1,85	0,599	1,110	2.640	4.891
Lâmpada Led Bulbo	13	172	2,24	0,599	1,34	2640	5.903
Lâmpada Led Tubular	11	256	2,82	0,321	0,903	2.640	7.434
Lâmpada Led Tubular	18	5.844	105,19	0,396	41,659	2.640	277.707
Total	-	6.544	112,64	-	45,33	-	297.357,72

Tabela 22: Energia economizada e demanda retirada na ponta do sistema de iluminação

Demanda na Ponta (kW) Sistema Atual	Consumo (kWh/ano) Sistema Atual	Demanda na Ponta (kW) Sistema Proposto	Consumo (kWh/ano) Sistema Proposto	Demanda Retirada na Ponta (kW)	Energia Economizada (MWh/ano)
137,61	747.145,87	45,33	297.357,72	92,28	449,79

A Energia Economizada de 449,79 MWh/ano e a Redução de Demanda na Ponta de 92,28 kW obtidas com a melhoria da eficiência energética do sistema proposto, bem como o custo unitário da energia economizada de 308,07 R\$/MWh e o custo unitário evitado de demanda de 389,13 R\$/kW/ano, obtidos de acordo com o tarifa horária azul, sem a incidência de impostos ou encargos são utilizados para a análise de viabilidade econômica do sistema de iluminação. A Tabela 23 resume estes resultados.

Tabela 23: Análise de viabilidade econômica do sistema de iluminação

Uso Final	EE (MWh/ano)	RDP (kW)	CED (R\$/kW)	CEE (R\$/MWh)	CA (R\$)	BA (R\$)	RCB
Ilum.	449,79	92,28	389,13	308,07	63.750,77	174.475,65	0,37

O resultado da RCB de 0,37 do sistema de iluminação evidencia o potencial de eficiência energética que o sistema oferece. O Custo Anualizado de R\$ 63.750,77 é bem inferior ao Benefício Anualizado de R\$ 174.475,65, sinalizando que vale a pena investir na efficientização do sistema.

Quanto ao sistema de condicionamento ambiental é apresentado na Tabela 24 o levantamento deste sistema por tipologia e potência. Para a estimativa do tempo de funcionamento do sistema de condicionamento ambiental, considera-se 2 horas em média por turno, totalizando 6 horas em média por dia. Extrapolando-se esse valor pelo número de dias do mês (22) e pelo número de meses letivo (10), totalizando 1.320 horas por ano.

Tabela 24: Sistema de condicionamento ambiental por tipologia e potência

Condicionamento Ambiental - Atual (com potencial de efficientização)						
Tipo de equipamento	Potência de Refrigeração (BTU/h)	Pot. (W)	Qt.	Demanda (kW)	Funcionamento (horas/ano)	Consumo (kWh/ano)
Ar cond.de Janela	10.000	1.200	9	10,8	1.320	14.256,00
Ar cond.de Janela	12.000	1.300	25	32,5	1.320	42.900,00
Ar cond.de Janela	18.000	1.800	10	18,0	1.320	23.760,00
Ar cond.de Janela	21.000	2.250	2	4,5	1.320	5.940,00
Ar cond.de Janela	23.000	2.400	2	4,8	1.320	6.336,00
Ar cond.de Janela	30.000	3.155	2	6,3	1.320	8.329,20
Ar cond. Split	7.000	730	2	1,5	1.320	1.927,20
Ar cond. Split	9.000	822	1	0,8	1.320	1.085,04
Ar cond. Split	9.000	824	6	4,9	1.320	6.526,08
Ar cond. Split	9.000	900	3	2,7	1.320	3.564,00
Ar cond. Split	12.000	1.065	1	1,1	1.320	1.405,80
Ar cond. Split	12.000	1.070	5	5,4	1.320	7.062,00
Ar cond. Split	12.000	1.168	1	1,2	1.320	1.541,76
Ar cond. Split	12.000	1.200	10	12,0	1.320	15.840,00
Ar cond. Split	12.000	1.300	50	65,0	1.320	85.800,00
Ar cond. Split	18.000	1.755	1	1,8	1.320	2.316,60
Ar cond. Split	18.000	1.800	9	16,2	1.320	21.384,00
Ar cond. Split	24.000	2.420	1	2,4	1.320	3.194,40
Ar cond. Split	24.000	2.500	48	120,0	1.320	158.400,00
Ar cond. Split	27.000	2.720	1	2,7	1.320	3.590,40
Ar cond. Split	30.000	3.200	2	6,4	1.320	8.448,00
Ar cond. Split	36.000	3.800	1	3,8	1.320	5.016,00
Ar cond. Split	36.000	4.200	19	79,8	1.320	105.336,00
Ar cond. Cassete	36.000	4.200	2	8,4	660	5.544,00
Total		-	213	412,9	-	539.502,48

Os aparelhos de ar condicionado estão instalados majoritariamente nas áreas administrativas e laboratórios da instituição, conforme Tabela 25.

Tabela 25: Quantidade de aparelhos de ar condicionado por ambiente

Ambiente	Quantidade
Área administrativa	95
Laboratório	81
Sala de aula	18
Auditórios	9
Outros	10
Total	213

Já a quantidade de ar condicionados instalados por tecnologia no IFG Câmpus Goiânia pode ser verificada através da Figura 14.

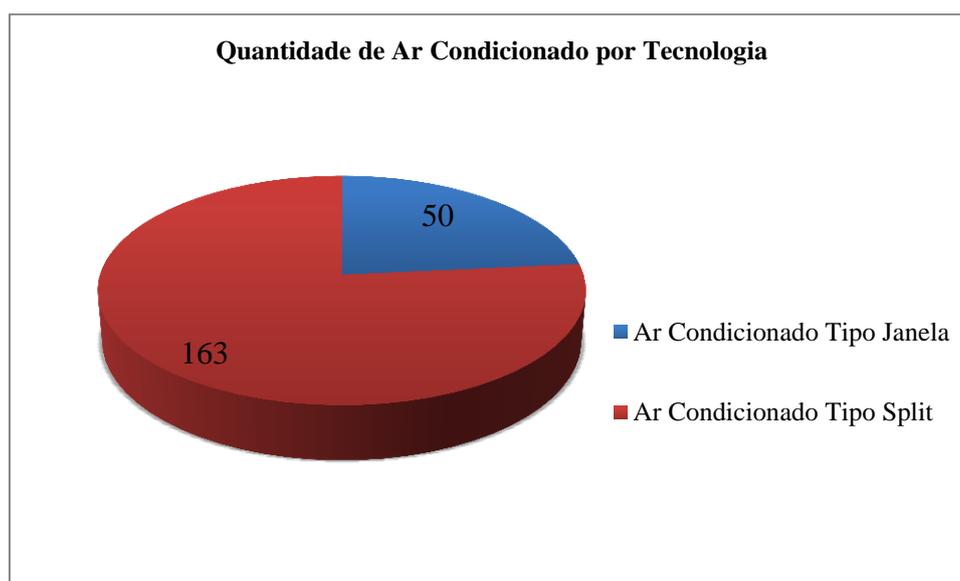


Figura 14: Quantidade de ar condicionados instalados por tecnologia no IFG Câmpus Goiânia

Quanto ao uso dos equipamentos, em grande parte, os aparelhos funcionam somente durante o dia (horário do expediente) nas salas administrativas. A maioria dos laboratórios possui um servidor responsável e o acesso é restrito. Sendo assim, os equipamentos são ligados quando possuem indivíduos presentes no recinto. Foram encontrados ar condicionados tipo janela que funcionam há mais de 10 anos no local, conforme apresentado na Figura 15.



Figura 15: Ar condicionado com mais de 10 anos instalado no IFG Câmpus Goiânia

A metodologia adotada para efficientização do sistema de condicionamento ambiental é baseada na substituição tecnológica. Equipamentos e componentes mais eficientes poderão melhorar as condições de conforto na edificação, ao mesmo tempo em que consumirão menos energia.

Seguindo esta metodologia, é proposta a substituição do sistema antigo de condicionamento ambiental, com ar condicionado de janela e *Split*, pelo sistema novo utilizando ar condicionado *Split Smart Inverter*.

A tecnologia *Inverter* permite consumo menor de energia elétrica. Além da economia com a redução do consumo de eletricidade, os equipamentos fabricados com esta tecnologia utilizam o gás refrigerante ecológico R-410A, que não é nocivo à camada de ozônio, beneficiando dessa forma, o meio ambiente. Os equipamentos dotados de tecnologia *Inverter* são mais eficientes e silenciosos.

Desta forma, é estabelecida uma tabela de equivalência entre o sistema antigo e o novo, baseado em catálogos de fabricantes e projetos similares executados pela concessionária de energia elétrica do Estado de Goiás - CELG Distribuição.

A Tabela 26 resume essa equivalência. Através de pesquisa de preços junto aos fabricantes de ar condicionados chegou-se ao valor unitário de cada equipamento e, por conseguinte ao valor total do sistema, conforme pode ser observado na Tabela 27.

Tabela 26: Tabela de equivalência do sistema de condicionamento ambiental

Equipamento atual					Equipamento eficiente				
Descrição do Ar	Cap. de Refrigeração (BTU/h)	Pot. (W)	Qt.	Dem. (kW)	Descrição	Cap. de Refrigeração (BTU/h)	Pot. (W)	Qt.	Dem. (kW)
Janela	10.000	1.200	9	10,80	Ar cond. Split Smart Inverter	9.000	790	21	16,59
Split	7.000	730	2	1,46					
Split	9.000	822	1	0,82					
Split	9.000	900	3	2,70					
Split	9.000	824	6	4,94					
Janela	12.000	1.300	25	32,50	Ar cond. Split Smart Inverter	12.000	1.080	92	99,36
Split	12.000	1.065	1	1,07					
Split	12.000	1.070	5	5,35					
Split	12.000	1.200	10	12,00					
Split	12.000	1.300	50	65,00					
Split	12.000	1.168	1	1,17					
Janela	18.000	1.800	10	18,00	Ar cond. Split Smart Inverter	18.000	1.514	22	33,31
Janela	21.000	2.150	2	4,30					
Split	18.000	1.755	1	1,76					
Split	18.000	1.800	9	16,20					
Split	24.000	2.420	1	2,42	Ar cond. Split Smart Inverter	24.000	2.130	51	108,63
Janela	23.000	2.400	2	4,80					
Split	24.000	2.500	48	120,00					
Split	27.000	2.720	1	2,72	Ar cond. Split High Wall Inverter	27.000	2.600	5	13,00
Ar cond. Janela	30.000	3.155	2	6,31					
Split	30.000	3.200	2	6,40					
Split	36.000	3.800	1	3,80	Ar cond. Split Smart Inverter	18.000	1.514	40	60,56
Split	36.000	4.200	19	79,80					
Cassete	36.000	4.200	2	8,40	Ar cond. Cassete Inverter	36.000	2.866	2	5,73
Total			213	412,71	Total			233	337,18

Tabela 27: Custo do condicionamento ambiental eficiente

Ar Condicionado Eficiente						
Equipamento	Potência de Refrigeração (BTU/h)	Potência (W)	Marca	Quant.	Valor unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Ar condicionado Split Smart Inverter	9.000	790	Samsung	21	1.568,00	32.928,00
Ar condicionado Split Smart Inverter	12.000	1.080	Samsung	92	1.747,05	160.728,60
Ar condicionado Split Smart Inverter	18.000	1.514	Samsung	62	2.499,00	154.938,00
Ar condicionado Split Smart Inverter	24.000	2.130	Samsung	51	3.348,20	170.758,20
Ar condicionado Split High Wall Inverter	27.000	2.320	Fujitsu	5	5.509,00	27.545,00
Ar condicionado Cassete Inverter	36.000	2.866	Daikin	2	11.146,00	22.292,00
Total			-	233	-	569.189,80

A equação básica para o cálculo da Relação Custo-Benefício (*RCB*) de um Projeto de Eficiência Energética foi apresentada através da expressão (3.1), onde o custo são os aportes feitos para a sua realização (do PEE, do consumidor ou de terceiros) e o benefício considerado é a valoração da energia economizada e da redução da demanda na ponta durante a vida útil do projeto para o sistema elétrico.

O cálculo dos custos anualizados segue a metodologia descrita no Módulo 7 do PROPEE, conforme demonstrado a partir das expressões (3.3), (3.4), (3.5) e (3.6), tendo como parâmetros as variáveis descritas nas tabelas: Tabela 28 e Tabela 29.

Tabela 28: Custos diretos e indiretos do sistema de condicionamento ambiental proposto

Custos Diretos					
Descrição		Vida útil (anos)	Qt. (unid)	Preço unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Ar condicionado					
1	split.inverter.smart.9000.selo A	15	21	1.568,00	32.928,00
2	split.inverter.smart.12000.selo A		92	1.747,05	160.728,60
3	split.inverter.smart.18000.selo A		62	2.499,00	154.938,00
4	split.inverter.smart.24000.selo A		51	3.348,20	170.758,20
5	split.highwall.inverter.27000.selo A		5	5.509,00	27.545,00
6	cassete.inverter.36000.selo A		2	11.146,00	22.292,00
Sub Total - Custos Diretos (materiais e equipamentos)					569.189,80
Custos Diretos	Própria (Concessionária)				14.314,19
	Consumidor				0,00
	Terceiros (Serviço de instalação dos aparelhos de ar condicionado)		233	357,68	83.339,36
	Sub Total - Mão de obra de terceiros				83.339,36
	Sub total - Mão de obra				97.653,55
	Transporte (Concessionária)				1.000,00
	Outros custos diretos				0,00
	Sub total - Custos Diretos				667.843,35
Custos Indiretos	Auditoria contábil financeira				0,00
	Descarte de materiais e equipamentos		213	60,32	12.848,16
	Medição e verificação		68	43,16	2.934,88
	Outros custos indiretos				0,00
	Sub Total - Custos Indiretos				15.783,04
Sub Total – Ar condicionado					683.626,39

Tabela 29: Custos anualizados do sistema de condicionamento ambiental proposto

Custos Anualizados				
Descrição		Vida útil (anos)	FRC	CA (R\$)
Ar condicionado				
1	split.inverter.smart.9000.selo A	15	0,11683	4.620,40
2	split.inverter.smart.12000.selo A			22.553,16
3	split.inverter.smart.18000.selo A			21.740,64
4	split.inverter.smart.24000.selo A			23.960,50
5	split.highwall.inverter.27000.selo A			3.865,06
6	cassete.inverter. 36000.selo A			3.127,97
CA_T condicionamento ambiental				79.867,73

O tamanho da amostra inicial para a medição e verificação é calculado, conforme detalhado no item 3.3.4. A Tabela 30 apresenta os parâmetros utilizados no cálculo.

Tabela 30: Parâmetros para o cálculo da amostra inicial do M&V - sistema de condicionamento ambiental

Amostragem	
População (N):	233
Faixa da população (151 a 280)	-
Amostra - NBR 5426:	13
Nível de Confiabilidade (z):	1,96
Coefficiente de Variação Inicial (cv):	0,5
Nível de Precisão Inicial (e):	0,1
Amostra Inicial (n_0):	96
Amostra Inicial Ajustada (n):	68

O Custo Unitário Evitado de Demanda (CED) e o Custo Unitário da Energia Economizada (CEE) são calculados da mesma forma apresentada no sistema de iluminação, tendo como parâmetros as variáveis descritas nas tabelas: Tabela 18 e Tabela 19. Já a Energia Economizada (EE) em MWh/ano e a Redução de Demanda na Ponta (RDP) em kW do sistema de condicionamento ambiental, são obtidas através das expressões 3.14 e 3.15 apresentadas anteriormente, conforme podem ser verificadas nas tabelas: Tabela 31, Tabela 32 e Tabela 33.

Tabela 31: Parâmetros para o cálculo da energia economizada e demanda retirada na ponta do sistema de condicionamento ambiental atual

Sistema atual								
Descrição do Ar	Cap.de Refrigeração (BTU/h)	Pot.	Qt.	Dem. (kW)	FCP	Dem. Ponta (kW)	Func. (horas/ano)	Consumo (kWh/ano)
Janela	10.000	1.200	9	10,80	0,13	1,38	1.320	14.256,00
Split	7.000	730	2	1,46	0,13	0,19	1.320	1.927,20
Split	9.000	822	1	0,82	0,13	0,11	1.320	1.085,04
Split	9.000	900	3	2,70	0,13	0,35	1.320	3.564,00
Split	9.000	824	6	4,94	0,13	0,63	1.320	6.526,08
Janela	12.000	1.300	25	32,50	0,13	4,17	1.320	42.900,00
Split	12.000	1.065	1	1,07	0,13	0,14	1.320	1.405,80
Split	12.000	1.070	5	5,35	0,13	0,69	1.320	7.062,00
Split	12.000	1.200	10	12,00	0,13	1,54	1.320	15.840,00
Split	12.000	1.300	50	65,00	0,13	8,33	1.320	85.800,00
Split	12.000	1.168	1	1,17	0,13	0,15	1.320	1.541,76
Janela	18.000	1.800	10	18,00	0,13	2,31	1.320	23.760,00
Janela	21.000	2.250	2	4,50	0,13	0,58	1.320	5.940,00
Split	18.000	1.755	1	1,76	0,13	0,23	1.320	2.316,60
Split	18.000	1.800	9	16,20	0,13	2,08	1.320	21.384,00
Split	24.000	2.420	1	2,42	0,13	0,31	1.320	3.194,40
Janela	23.000	2.400	2	4,80	0,13	0,62	1.320	6.336,00
Split	24.000	2.500	48	120,00	0,13	15,38	1.320	158.400,00
Split	27.000	2.720	1	2,72	0,13	0,35	1.320	3.590,40
Janela	30.000	3.155	2	6,31	0,13	0,81	1.320	8.329,20
Split	30.000	3.200	2	6,40	0,13	0,82	1.320	8.448,00
Split	36.000	3.800	1	3,80	0,13	0,49	1.320	5.016,00
Split	36.000	4.200	19	79,80	0,13	10,23	1.320	105.336,00
Cassete	36.000	4.200	2	8,40	0,13	1,08	660	5.544,00
Total	-	-	213	412,91	-	52,94	-	539.502,48

Tabela 32: Parâmetros para o cálculo da energia economizada e demanda retirada na ponta do sistema de condicionamento ambiental proposto

Sistema proposto								
Descrição do Ar	Cap.de Refrigeração (BTU/h)	Pot.	Qt.	Dem. (kW)	FCP	Dem. Ponta (kW)	Func. (horas/ano)	Consumo (kWh/ano)
Split Smart Inverter	900	790	21	16,59	0,13	2,13	1.320	21.898,80
Split Smart Inverter	12.000	1.080	92	99,36	0,13	12,74	1.320	131.155,20
Split Smart Inverter	18.000	1.514	22	33,31	0,13	4,27	1.320	43.966,56
Split Smart Inverter	24.000	2.130	51	108,63	0,13	13,93	1.320	143.391,60
Split High Wall Inverter	27.000	2.600	5	13,00	0,13	1,67	1.320	17.160,00
Split Smart Inverter	18.000	1.514	40	60,56	0,13	7,76	1.320	79.939,20
Cassete Inverter	36.000	2.866	2	5,73	0,13	0,73	660	3.783,12
Total	-	-	233	337,18	-	43,23	-	441.294,48

Tabela 33: Energia economizada e demanda retirada na ponta do sistema de condicionamento ambiental

Demanda na Ponta (kW) Sistema Atual	Consumo (kWh/ano) Sistema Atual	Demanda na Ponta (kW) Sistema Proposto	Consumo (kWh/ano) Sistema Proposto	Demanda Retirada na Ponta (kW)	Energia Economizada (MWh/ano)
52,94	539.502,48	43,23	441.294,48	9,71	98,21

A Energia Economizada de 98,21 MWh/ano e a Redução de Demanda na Ponta de 9,71 kW obtidas com a melhoria da eficiência energética do sistema proposto, bem como o custo unitário da energia economizada de 308,07 R\$/MWh e o custo unitário evitado de demanda de 389,13 R\$/kW/ano, obtidos de acordo com o tarifa horária azul, conforme estabelecido no Módulo 7 dos Procedimentos de Regulação Tarifária - PRORET, sem a incidência de impostos ou encargos são utilizados para a análise de viabilidade econômica do sistema de iluminação. A Tabela 34 resume estes resultados.

Tabela 34: Análise de viabilidade econômica do sistema de condicionamento ambiental

Uso Final	EE (MWh/ano)	RDP (kW)	CED (R\$/kW)	CEE (R\$/MWh)	CA (R\$)	BA (R\$)	RCB
Cond. Ambiental	98,21	9,71	389,13	308,07	79.867,73	34.034,01	2,02

O resultado da RCB de 2,02 do sistema de condicionamento ambiental evidencia um potencial ruim de eficiência energética que o sistema oferece. O Custo Anualizado de R\$ 79.867,73 é bem superior ao Benefício Anualizado de R\$ 34.034,01, sinalizando que é necessário aguardar o resultado da RCB global do projeto pra justificar o investimento neste sistema.

4.3.2 Sistema Fotovoltaico

O IFG Câmpus Goiânia é composto por diversos prédios, sendo os principais os blocos 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 e 800. Foram tombados pelo Patrimônio Histórico o pórtico, o pavilhão com as salas de aula do bloco 100, voltado para a Rua 75, o Teatro do IFG e o pavilhão com as salas de aula do bloco 200, voltado para a Rua 62. As figuras: Figura 16, Figura 17 e Figura 18 mostram uma visão parcial dos blocos principais do IFG câmpus Goiânia com potencial para geração fotovoltaica.

**Figura 16: Blocos com telhado disponível para instalação de sistema fotovoltaico**



Figura 17: Estrutura dos telhados dos blocos 300, 400 e 500



Figura 18: Estrutura dos telhados dos blocos 600, 700 e 800

Os blocos disponíveis para implantação do sistema fotovoltaico possuem ampla área de telhado, como detalhado na Tabela 35. Já o posicionamento dos blocos é indicado na Figura 19.

Tabela 35: Área disponível para implantação do sistema fotovoltaico

Bloco	Largura (m)	Comprimento (m)	Área disponível (m ²)
Bloco 300	16,1	69,0	1.112
Bloco 400	15,9	69,0	1.094
Bloco 500	20,2	67,6	1.363
Bloco 600	28,3	21,6	611
Bloco 700	12,8	55,5	708
Bloco 800	12,9	55,9	722
Total			5.610



Figura 19: Posicionamento dos blocos 300, 400, 500, 600, 700 e 800

A área necessária para instalação de um sistema fotovoltaico depende do tamanho e características do sistema, da forma como eles deverão ser montados nos arranjos, da inclinação sobre uma superfície plana, pois um painel pode fazer sombra sobre o outro, exigindo que eles fiquem afastados, bem com o espaço necessário para os serviços de manutenção, exigindo dessa forma uma área maior do que as dimensões dos painéis.

A partir dos resultados de (Pelágio, 2014), pode ser observada a análise de viabilidade econômica da implantação da usina fotovoltaica no âmbito do PROPEE. A Tabela 36 apresenta as principais características do sistema fotovoltaico proposto.

Tabela 36: Características do sistema fotovoltaico

Tecnologia	m-Si
Fabricante	LG
Modelo	LG255S1C
Área (m ²)	1,60
Coefficiente de temperatura (%/°C)	0,47
Eficiência STC (%) ⁴	16,00
Eficiência NOCT (%) ⁵	14,50
Nº de módulos	1769
Potência (kWp)	451,02
Geração Média Anual (MWh)	790,09

A Tabela 37 apresenta os valores de consumo verificado ao longo do ano de 2015 e a geração de energia prevista.

Tabela 37: Consumo em 2015 e geração fotovoltaica simulada

Mês	Consumo em 2015 (kWh)	Geração fotovoltaica simulada (kWh)
Janeiro	64.477,44	68.458,19
Fevereiro	64.899,00	59.381,23
Março	71.210,52	69.020,82
Abril	69.509,16	76.297,32
Maio	89.155,08	60.814,30
Junho	71.330,76	44.768,98
Julho	70.436,52	55.285,07
Agosto	51.803,64	78.916,67
Setembro	38.112,12	79.089,22
Outubro	45.318,96	76.709,84
Novembro	88.314,12	61.754,42
Dezembro	97.511,04	59.590,54
TOTAL MWh	822.080,00	790.090,00

A geração fotovoltaica prevista de 790.090,00 kWh é bem próxima do consumo total ocorrido em 2015, sinalizando um atendimento de 96% do consumo do IFG Câmpus Goiânia.

⁴ Eficiência STC (%) - eficiência medida dos painéis solares em condições de laboratório (*Standard Testing Conditions*).

⁵ Eficiência NOCT (%) - temperatura que a célula atinge as condições de funcionamento nominais (*Nominal Operating Cell Temperature*)

O cálculo dos custos anualizados segue a metodologia descrita no Módulo 7 do PROPEE, conforme demonstrado a partir das expressões (3.3), (3.4), (3.5) e (3.6), tendo como parâmetros as variáveis descritas na Tabela 34. Será admitido como custo global unitário do investimento do sistema fotovoltaico a ser instalado no IFG Câmpus Goiânia, para fins de análise de viabilidade econômica, a média dos preços de referência levantados no estudo elaborado pelo Instituto Ideal intitulado “O mercado brasileiro de geração distribuída fotovoltaica – Edição 2015”, que é de 6,22 R\$/Wp, conforme pode ser verificado na Figura 20 (Instituto Ideal, 2015).

Segundo esse mesmo estudo, o preço médio das instalações foi aberto para identificar sua composição, verificando que 43% do preço total é relativo aos módulos fotovoltaicos, 24% aos inversores, 17% ao projeto e instalação do sistema e 16% a outros componentes como estrutura física, instalações e proteções elétricas, conforme apresentado na Figura 21.

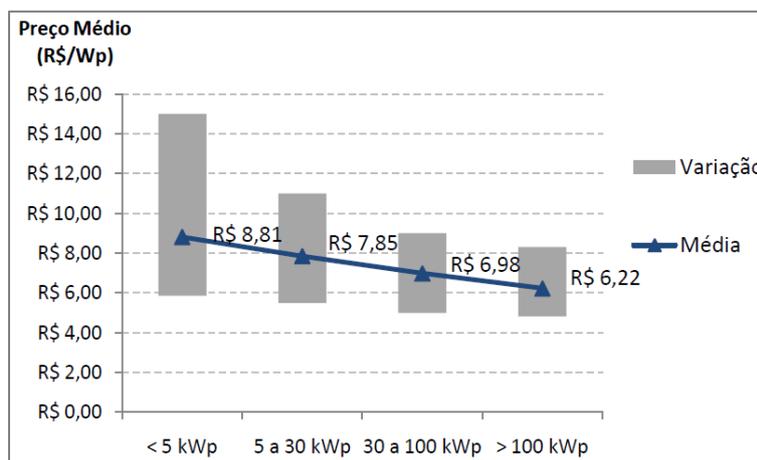


Figura 20: Preço médio dos sistemas fotovoltaicos no Brasil em 2014 por faixa de potência

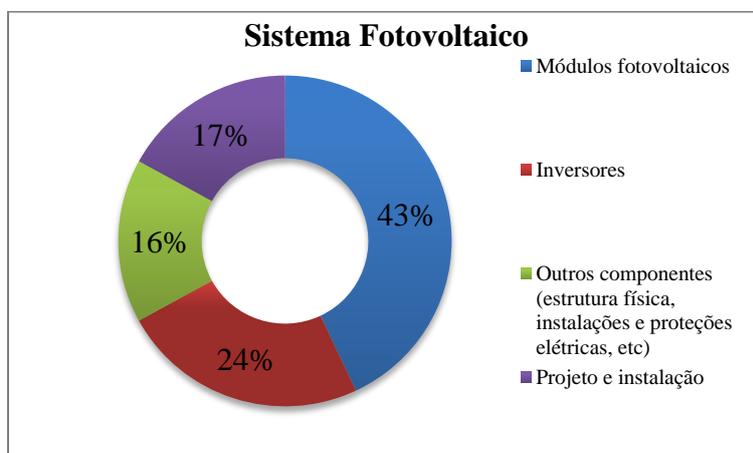


Figura 21: Composição do custo total da instalação de um sistema fotovoltaico

O tamanho da amostra inicial para a medição e verificação é calculado, conforme detalhado no item 3.3.4. A Tabela 38 apresenta os parâmetros utilizados no cálculo.

Tabela 38: Parâmetros para o cálculo da amostra inicial do M&V - sistema fotovoltaico

Amostragem	
População (N):	1790
Faixa da população (1201 a 3200)	-
Amostra - NBR 5426:	50
Nível de Confiabilidade (z):	1,96
Coefficiente de Variação Inicial (cv):	0,5
Nível de Precisão Inicial (e):	0,1
Amostra Inicial (n ₀):	96
Amostra Inicial Ajustada (n):	91

A composição do custo total da instalação do sistema fotovoltaico proposto e seus respectivos custos anualizados podem ser verificados através das tabelas: Tabela 39 e Tabela 40.

Tabela 39: Composição do custo total da instalação de um sistema fotovoltaico

Custos Diretos					
Descrição		Vida útil (anos)	Qt. (unid)	Preço unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Sistema Fotovoltaico					
1	Módulo	20	1.790	691,81	1.206.298,09
2	Inversor	10	1	673.282,66	673.282,66
3	Outros componentes (estrutura física, instalações e proteções elétricas, etc)	20	1	448.855,10	448.855,10
Sub Total - Custos Diretos (materiais e equipamentos)					2.328.435,85
Custos Diretos	Própria (Concessionária)				94.841,71
	Consumidor				0,00
	Terceiros (Serviço de instalação do sistema fotovoltaico)		1	375.666,84	375.666,84
	Sub Total - Mão de obra de terceiros				375.666,84
	Sub total - Mão de obra				470.508,55
	Transporte (Concessionária)				2.000,00
	Outros custos diretos				0,00
Sub total - Custos Diretos				2.800.944,40	
Custos Indiretos	Auditoria contábil financeira				0,00
	Descarte de materiais e equipamentos		-	-	0,00
	Medição e verificação		91	48,35	4.400,00
	Outros custos indiretos				0,00
Sub Total - Custos Indiretos				4.400,00	
Sub Total – Sistema fotovoltaico					2.805.344,40

Tabela 40: Custos anualizados do sistema fotovoltaico proposto

Custos Anualizados				
Descrição		Vida útil (anos)	FRC	CA (R\$)
Sistema fotovoltaico				
1	Módulo	20	0,10185	148.029,07
2	Inversor	10	0,14903	120.890,33
3	Outros componentes (estrutura física, instalações e proteções elétricas, etc)	20	0,10185	55.080,58
CA_T sistema fotovoltaico				323.919,13

O Custo Unitário Evitado de Demanda (CED) e o Custo Unitário da Energia Economizada (CEE) são calculados de acordo com o preço final da energia e da demanda pago pelo consumidor, incluindo impostos e encargos (ICMS 29%, PIS e COFINS isentos), conforme as expressões (3.8) e (3.9), tendo como parâmetros as variáveis descritas nas tabelas: Tabela 18 e Tabela 19.

A Energia Economizada (EE) em MWh/ano é a própria geração média anual da usina fotovoltaica, 790,09 MWh. Já a Redução de Demanda na Ponta (RDP) em kW é nula, pois não há geração de energia elétrica durante o horário de ponta (19h à 21h). A Tabela 41 resume esses resultados do sistema de geração fotovoltaica.

Tabela 41: Análise de viabilidade econômica do sistema de geração fotovoltaica

USO FINAL	EE (MWh/ano)	RDP (kW)	CED (R\$/kW)	CEE (R\$/MWh)	BA (R\$)	CA (R\$)	RCB uso final
Geração Fotovoltaica	790,09	-	89,04	567,75	448.574,43	323.919,13	0,72

O resultado da RCB de 0,72 do sistema de geração fotovoltaica evidencia a potencialidade de Eficiência Energética que o sistema oferece. O Custo Anualizado de R\$ 323.919,13 é bem inferior ao Benefício Anualizado de R\$ 448.574,43, sinalizando que vale a pena investir na geração fotovoltaica.

Como o projeto apresenta mais de um uso final (iluminação e refrigeração), além da geração fotovoltaica, a RCB é calculada individualmente. Todavia, é necessário apresentar a RCB global do projeto, considerando as somas dos custos, benefícios e ponderando cada RCB individual com a energia economizada no respectivo sistema. A Tabela 42 apresenta os resultados da análise de viabilidade econômica do projeto.

Tabela 42: Análise de viabilidade econômica do projeto

USO FINAL	EE (MWh/ano)	RDP (kW)	CED (R\$/kW)	CEE (R\$/MWh)	BA (R\$)	CA (R\$)	RCB uso final	RCB Total
Ilum.	449,79	92,28	389,13	308,07	174.475,65	63.750,77	0,37	0,7
Cond. Amb.	98,21	9,71	389,13	308,07	34.033,12	68.917,35	2,03	
Ger. Fotov.	790,09	-	89,04	567,75	448.574,43	323.919,13	0,72	
Avaliação do projeto pelos parâmetros do PROPEE/ANEEL:					RCB permitida			

O resultado da RCB global do projeto de 0,7 é inferior a 0,8 (oito décimos), portanto o projeto proposto neste trabalho é considerado técnica e economicamente viável no âmbito do Programa de Eficiência Energética da ANEEL.

4.3.3 Consumo de energia do IFG

O consumo de energia do IFG Câmpus Goiânia ocorre pela manhã, tarde e noite. Para os períodos da manhã e tarde o projeto se caracteriza como uma carga bastante interessante para o atendimento com o sistema fotovoltaico, considerando o empréstimo de energia ao sistema elétrico. No período noturno, a existência de um gerador a diesel poderá ser uma combinação interessante para atendimento no horário de ponta, complementando o déficit do sistema solar.

O consumo de energia mensal do IFG Câmpus Goiânia varia significativamente ao longo do ano. O consumo de energia do mês de julho de 2014, por exemplo, foi praticamente um terço em relação ao consumo de energia do mês de dezembro de 2014, conforme demonstra a Figura 22.

Observa-se que o consumo de energia anual do IFG Câmpus Goiânia tem decrescido ao longo dos últimos 3 anos, conforme pode ser constatado na Tabela 43.

Analisando a situação futura de consumo de energia, na qual contempla as ações de eficiência energética propostas pelo projeto de PEE é possível estimar a redução significativa do consumo anual previsto com a implantação do projeto no IFG Câmpus Goiânia, como pode ser verificado através da Tabela 44.

Dessa forma, é apresentada a previsão do consumo da unidade após a implantação das medidas de eficiência energética, conforme pode ser constatada na Tabela 45.

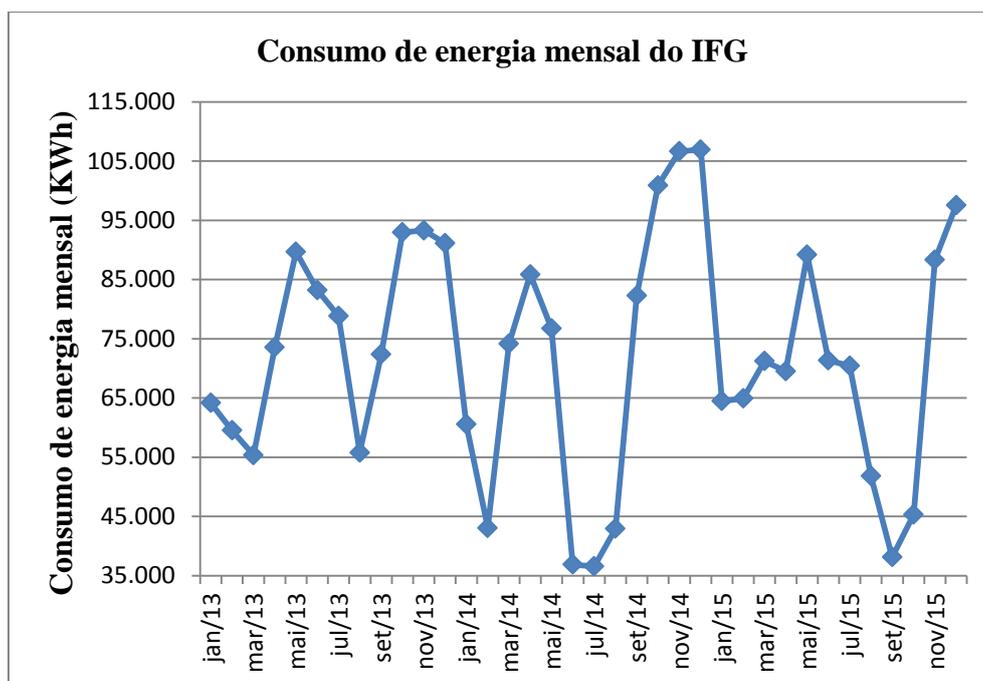


Figura 22: Consumo de energia mensal do IFG Câmpus Goiânia

Tabela 43: Consumo de energia anual do IFG Câmpus Goiânia

Ano	Consumo de energia anual (kWh)
2013	909.782,6
2014	853.400,9
2015	822.078,4

Tabela 44: Redução do consumo de energia anual proporcionada pelas AEE

Uso final	Redução do consumo de energia anual esperado (kWh)
Iluminação	449.790
Ar condicionado	98.210
Total	548.000

Tabela 45: Consumo previsto de energia em 2018

Ano	Consumo de energia anual (kWh)
2015	822.078,40
Economia - AEE	548.000,00
2018	274.078,40

4.3.4 Análise tarifária

O IFG Câmpus Goiânia é atendido na modalidade tarifária verde do grupo A4, conforme pode ser verificado na Tabela 46.

Tabela 46: Caracterização da unidade consumidora

Tipo	Serviço de Fornecimento de Energia Elétrica
Unidade Consumidora	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - IFG Câmpus Goiânia
Instalação número	10142460
Modalidade Tarifária	THS Verde
Classe de Consumo	Poder Público
Subgrupo Tarifário	A4
Demanda Contratada (kW)	350
Nível de Tensão (kV)	13,8
Horário de Ponta	18:00 às 21:00

Através de uma simulação utilizando o histórico do consumo de energia e demanda do IFG Câmpus Goiânia, conforme apresentado nas tabelas: Tabela 47 e Tabela 48 e dos valores vigentes da tarifa de energia e demanda nas duas possíveis modalidades tarifárias, ou seja, verde e azul, conforme tabelas: Tabela 49 e Tabela 50 é possível analisar o valor mensal pago em cada uma delas e dessa forma, verificar qual é a modalidade tarifária mais vantajosa para o consumidor.

Tabela 47 – Leitura de consumo e demanda do IFG Câmpus Goiânia – jul/2015 a jun/2016

PERÍODO	CONSUMO LIDO (kWh)			DEMANDA LIDA (kW)		
	PONTA (P)	FORA DE PONTA (FP)	HORÁRIO RESERVADO (HR)	PONTA (P)	FORA DE PONTA (FP)	HORÁRIO RESERVADO (HR)
jun/16	13706,28	62856	9072	322,56	306,72	84,96
mai/16	13677,12	69660	9288	341,28	352,8	77,76
abr/16	8148,6	49248	8820	283,68	313,92	73,44
mar/16	12046,68	63972	8892	306,72	329,76	115,2
fev/16	8229,96	47484	8568	254,88	300,96	100,8
jan/16	8799,12	52272	8928	312,48	344,16	120,96
dez/15	13847,04	74520	9144	315,36	352,8	135,36
nov/15	11094,12	66528	10692	348,48	397,44	174,24
out/15	3954,96	33048	8316	93,6	178,56	60,48
set/15	3660,12	27072	7380	87,84	146,88	50,4
ago/15	6875,64	36432	8496	213,12	211,68	72
jul/15	11000,52	51012	8424	260,64	234,72	76,32

Tabela 48 – Leitura de consumo e demanda do IFG Câmpus Goiânia – jul/2015 a jun/2016

PERÍODO	UFER LIDA (kVArh)			DMCR LIDA (kVAr)		
	(P)	(FP)	(HR)	(P)	(FP)	(HR)
jun/16	0	0	0	294,48	279	70,92
mai/16	0	0	0	313,56	324,72	69,84
abr/16	0	0	0	260,64	285,48	65,88
mar/16	0	0	0	284,4	299,88	73,44
fev/16	0	0	0	231,48	268,2	67,68
jan/16	0	0	0	282,96	309,6	70,2
dez/15	0	0	0	288,72	314,28	73,08
nov/15	0	0	0	318,6	358,56	87,84
out/15	0	0	0	79,56	161,28	53,28
set/15	0	0	0	78,48	131,76	45,36
ago/15	0	0	0	192,96	194,4	64,8
jul/15	0	0	0	231,12	215,28	67,32

Tabela 49 – Tarifas de energia e demanda - modalidade tarifária azul

AZUL					
TARIFAS	kW P (R\$)	kW FP (R\$)	kWH P (R\$)	kWH FP (R\$)	kWH HR (R\$)
TUSD	28,410000	10,070000	0,083710	0,083710	0,083710
TE	-	-	0,363720	0,229290	0,229290
SOMA TUSD + TE	28,410000	10,070000	0,447430	0,313000	0,313000
TUSD + Impostos	40,014085	14,183099	0,117901	0,117901	0,117901
TE + Impostos	-	-	0,512282	0,322944	0,322944
SOMA TUSD + TE + Impostos	40,014085	14,183099	0,630183	0,440845	0,440845

Os valores mensais pagos nas tarifas verde e azul, considerando a TUSD, TE e impostos podem ser verificados na Tabela 51.

Tabela 50 – Tarifas de energia e demanda - modalidade tarifária verde

VERDE				
TARIFAS	kW (R\$)	kWH P (R\$)	kWH FP (R\$)	kWH HR (R\$)
TUSD	10,070000	0,772190	0,083710	0,083710
TE	-	0,363720	0,229290	0,229290
SOMA TUSD + TE	10,070000	1,135910	0,313000	0,313000
TUSD + Impostos	14,183099	1,087592	0,117901	0,117901
TE + Impostos	-	0,512282	0,322944	0,322944
SOMA TUSD + TE + Impostos	14,183099	1,599873	0,440845	0,440845

Tabela 51 – Valores mensais pagos nas tarifas verde e azul, considerando a TUSD, TE e impostos

RESUMO DA SIMULAÇÃO TARIFÁRIA			
PERÍODO	VERDE (R\$)	AZUL (R\$)	VARIAÇÃO EM RELAÇÃO AO CONTRATO DE FORNECIMENTO
jun/16	62.521,38	63.235,46	1,14%
mai/16	65.929,17	66.671,54	1,13%
abr/16	46.630,84	52.734,16	13,09%
mar/16	60.245,74	62.569,12	3,86%
fev/16	45.783,71	51.808,13	13,16%
jan/16	49.225,46	54.697,97	11,12%
dez/15	68.503,70	69.081,29	0,84%
nov/15	62.816,41	66.063,48	5,17%
out/15	31.601,09	41.770,94	32,18%
set/15	27.752,38	38.208,12	37,68%
ago/15	38.141,82	45.479,51	19,24%
jul/15	51.989,80	55.327,63	6,42%
Total 12 meses	611.141,51	667.647,35	9,25%

Dessa forma, como pode ser constatada acima, a alocação tarifária da unidade consumidora está correta, pois a opção da tarifa azul é mais onerosa que a verde.

4.3.5 Análise de recontração da demanda

A unidade consumidora está enquadrada na modalidade tarifária do grupo A4 verde e a demanda contratada atualmente é 350 kW. Especialmente durante os meses letivos mais quentes do ano, a demanda faturada tem ultrapassado a demanda contratada da unidade, em função do funcionamento intenso dos aparelhos de condicionamento de ar. A Tabela 52 retrata essa situação.

Tabela 52 – Demanda mensal faturada em 2015

Mês	Demanda Faturada (kW)
jan/15	350,0
fev/15	357,1
mar/15	350,0
abr/15	350,0
mai/15	354,2
jun/15	350,0
jul/15	350,0
ago/15	350,0
set/15	350,0
out/15	350,0
nov/15	397,4
dez/15	352,8

A Figura 23 apresenta a curva de demanda da unidade consumidora durante o dia 21 de outubro de 2015, quando a demanda máxima atingiu 397,4 kW. Devido ao calendário de leitura, essa medição foi faturada em novembro de 2015.

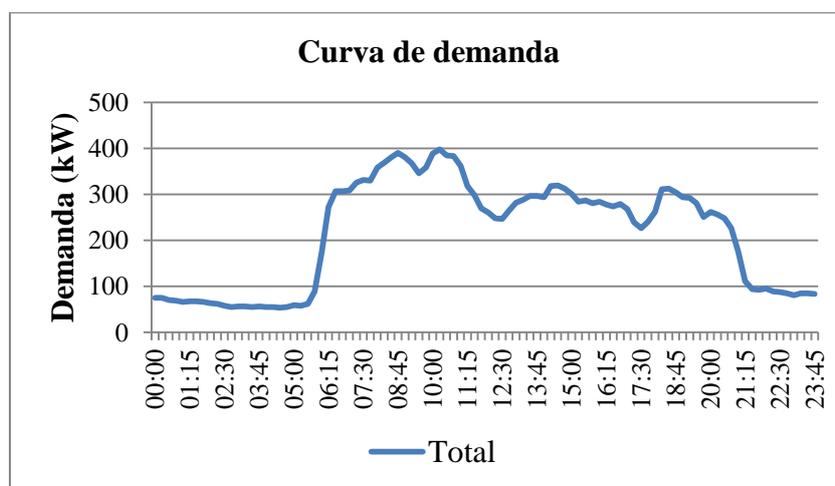


Figura 23: Curva de demanda do dia 21/10/2015 - IFG Câmpus Goiânia

Analisando a situação futura de demanda, na qual contempla as ações de eficiência energética propostas pelo projeto de PEE é possível estimar a redução de demanda contratada no IFG Câmpus Goiânia, como pode ser verificado através da Tabela 53.

Tabela 53 – Redução da demanda com AEE

Carga	Potência Instalada Antes AEE (kW)	Potência Instalada Após AEE (kW)	Redução da Potência Instalada (kW)	Fator de Simultaneidade	Redução de demanda (kW)
Iluminação	283,0	101,7	181,3	0,6	108,8
Ar condicionado	56,1	23,5	32,6	0,6	19,6
Total	339,1	125,2	213,9	-	128,3

Portanto, é esperado que a demanda máxima da unidade não ultrapasse 269,1 kW (397,4 kW – 128,3 kW) após a implantação das AEE.

Considerando a margem de 5% de tolerância de demanda contratada permitida pela legislação do Setor Elétrico Brasileiro (REN 414, 2010), o valor aceitável de demanda sem penalidade seria de 256,2 kW (269,1 kW / 1,05). Por conservadorismo, caso sejam instaladas cargas extras no IFG Câmpus Goiânia, esse valor de 256,2 kW é indicado para ser a demanda contratada após a implantação das AEE, conforme pode ser verificado na Tabela 54.

Tabela 54 – Demanda contratada após AEE

Redução de demanda com AEE (kW)	128,3
Demanda máxima após AEE (kW)	269,1
Demanda contratada atual (kW)	350
Demanda contratada após AEE (kW)	256,2
Redução de demanda contratada após AEE (kW)	93,8

4.3.6 Análise de Viabilidade Econômica pelos Critérios do VPL, TIRM e PAYBACK

Além da análise de viabilidade econômica baseada nas diretrizes estabelecidas pela ANEEL para a sua elaboração, conforme os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética – PROPEE, este estudo de caso também contempla a análise de viabilidade econômica baseada nos métodos determinísticos de análise de investimento. Considera-se para esta análise as características de consumo de energia elétrica do IFG Câmpus Goiânia, a economia de energia com os sistemas de iluminação, condicionamento ambiental e a geração fotovoltaica, o custo de investimento inicial, a definição dos parâmetros de cálculo e a formação do fluxo de caixa.

Para realizar as simulações de fluxo de caixa e obter os indicadores de viabilidade econômica é necessário definir os parâmetros de análise e os fatores específicos que irão afetar a rentabilidade do investimento ao longo de sua vida útil.

Para a formação do fluxo de caixa, as receitas e despesas são contabilizadas anualmente. O tempo de vida do projeto é definido em função da vida útil dos módulos fotovoltaicos, que é de 20 anos, conforme relatado na Tabela 39. Portanto, ao final da vida útil, o valor residual do projeto será igual a zero.

O investimento inicial necessário para a implantação do projeto será de R\$ 3.992.505,68, correspondendo ao somatório dos custos da instalação dos sistemas de iluminação, condicionamento ambiental e geração fotovoltaica, conforme apresentado nas tabelas: Tabela 15, Tabela 28 e Tabela 39. Por se tratar de obra de responsabilidade da administração pública federal, admitiu-se que não serão necessários recursos provenientes de financiamentos bancários, e todo o investimento será realizado por meio de recursos próprios.

A receita auferida pelo projeto será decorrente da economia anual de energia proporcionada pelas Ações de Eficiência Energética e pela geração fotovoltaica, energia essa que deixará de ser adquirida junto à concessionária. Através de simulação utilizando o histórico do consumo de energia e demanda e dos valores vigentes da tarifa de energia e demanda na modalidade tarifária verde do IFG Câmpus Goiânia, conforme apresentado no item 4.3.4 obteve-se o valor anual pago pelo consumidor no valor de R\$ 611.141,51. A simulação a seguir, apresentada através das tabelas: Tabela 55 e Tabela 56 considera o histórico do consumo de energia já deduzido da economia de energia proporcionada pelas Ações de Eficiência Energética, geração fotovoltaica e a nova demanda contratada, conforme descrito no item 4.3.5.

Tabela 55 – Leitura de consumo e demanda considerando as AEE no IFG Câmpus Goiânia – jul/2015 a jun/2016

PERÍODO	CONSUMO LIDO DEDUZIDO DAS AEE (kWh)			DEMANDA LIDA DEDUZIDA DAS AEE (kW)		
	PONTA (P)	FORA DE PONTA (FP)	HORÁRIO RESERVADO (HR)	PONTA (P)	FORA DE PONTA (FP)	HORÁRIO RESERVADO (HR)
jun/16	13.625,50	-	9.025,28	228,76	212,92	-
mai/16	13.596,34	-	9.241,28	247,48	259,00	-
abr/16	8.067,82	-	8.773,28	189,88	220,12	-
mar/16	11.965,90	-	8.845,28	212,92	235,96	21,40
fev/16	8.149,18	-	8.521,28	161,08	207,16	7,00
jan/16	8.718,34	-	8.881,28	218,68	250,36	27,16
dez/15	13.766,26	-	9.097,28	221,56	259,00	41,56
nov/15	11.013,34	-	10.645,28	254,68	303,64	80,44
out/15	3.874,18	-	8.269,28	-	84,76	-
set/15	3.579,34	-	7.333,28	-	53,08	-
ago/15	6.794,86	-	8.449,28	119,32	117,88	-
jul/15	10.919,74	-	8.377,28	166,84	140,92	-

Tabela 56 – Leitura de kVarh e kVar do IFG Câmpus Goiânia – jul/2015 a jun/2016

PERÍODO	UFER LIDA DEDUZIDO DAS AEE (kVarh)			DMCR LIDA DEDUZIDO DAS AEE (kVar)		
	(P)	(FP)	(HR)	(P)	(FP)	(HR)
jun/16	-	-	-	200,68	185,2	-
mai/16	-	-	-	219,76	230,92	-
abr/16	-	-	-	166,84	191,68	-
mar/16	-	-	-	190,6	206,08	-
fev/16	-	-	-	137,68	174,4	-
jan/16	-	-	-	189,16	215,8	-
dez/15	-	-	-	194,92	220,48	-
nov/15	-	-	-	224,8	264,76	-
out/15	-	-	-	-	67,48	-
set/15	-	-	-	-	37,96	-
ago/15	-	-	-	99,16	100,6	-
jul/15	-	-	-	137,32	121,48	-

Os valores vigentes da tarifa de energia são os mesmos apresentados na Tabela 50 e dessa forma, obtém-se o valor anual pago pelo consumidor no valor de R\$ 286.382,13, considerando as Ações de Eficiência Energética, geração fotovoltaica e a nova demanda contratada. Os valores mensais pagos na tarifa verde podem ser verificados na Tabela 57.

Tabela 57 – Valores mensais pagos na tarifa verde, considerando Ações de Eficiência Energética, geração fotovoltaica, nova demanda contratada, TUSD, TE e impostos

PERÍODO	TARIFA VERDE (R\$)
jun/16	30.559,00
mai/16	30.616,12
abr/16	21.290,39
mar/16	27.740,29
fev/16	21.301,65
jan/16	22.413,47
dez/15	30.825,68
nov/15	28.735,28
out/15	14.143,87
set/15	13.203,20
ago/15	19.037,88
jul/15	25.790,94
Total 12 meses	285.657,75

Dessa forma, a receita auferida pelo projeto totalizando R\$ 325.483,76 é decorrente da diferença entre o valor anual da fatura de energia sem o projeto, conforme Tabela 51 e com o projeto, Tabela 57. Ou seja, (R\$ 611.141,51 - R\$ 285.657,75).

Não foi considerada a aplicação de impostos sobre as receitas do projeto, pois o lucro auferido nada mais é que o fluxo de caixa preservado, que deixou de ser transferido do consumidor para a concessionária.

Como os painéis apresentam redução gradativa da eficiência ao longo de sua vida útil, o que irá impactar na geração fotovoltaica, reduzindo a economia de energia e as receitas anuais, é adotada a degradação anual constante de 0,75%, conforme entendimento de Pelágio (2014) e os parâmetros definidos no estudo da ABINEE (PERLOTTI, 2012).

Considerando a política de revisão tarifária estabelecida pela ANEEL e o procedimento adotado por Rüther et al. (2008), é considerado que durante a vida útil do projeto haverá um

reajuste anual das tarifas de energia a uma taxa de 4%. Com isso, haverá também um aumento progressivo do valor economizado a cada ano com as AEE e com a geração fotovoltaica.

Conforme os parâmetros definidos no estudo da ABINEE (PERLOTTI, 2012) é admitido que será dispendido anualmente 1% do custo do investimento inicial com serviços de operação e manutenção, isto é R\$ 39.925,06.

A vida útil dos inversores é de aproximadamente 10 anos (MASTERVOLT, 2015), por isso, é considerado a troca de todos os inversores no décimo ano de operação. O custo dos inversores é de R\$ 673.282,66, conforme apresentado na Tabela 39. A vida útil do sistema de iluminação é de aproximadamente 13 anos, conforme apresentado na Tabela 15. Já a vida útil do sistema de condicionamento ambiental é de aproximadamente 15 anos, conforme apresentado na Tabela 28.

Existem diversos índices de medição da variação de preços que podem ser utilizados como indicadores da inflação. A partir do dia 30 de junho de 1999, o Conselho Monetário Nacional estabeleceu o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), como índice oficial de inflação do Brasil, para o acompanhamento dos objetivos estabelecidos no sistema de metas de inflação pelo Banco Central do Brasil (IPCA, 2016). Desta forma o IPCA será o índice adotado neste estudo para simular o processo inflacionário. Foi estabelecida a taxa de inflação de 10,67% ao ano, correspondente à variação do IPCA registrada para o ano de 2015 (IBGE, 2016). A aplicação da taxa inflacionária foi efetuada sobre os custos com operação e manutenção e custos de reposição dos inversores. Em relação às receitas provenientes da economia de energia considerou-se que os efeitos da inflação já estão inclusos na taxa de reajuste tarifário.

A Taxa Mínima de Atratividade - TMA foi escolhida com base na taxa média de retorno preconizada pelo BNDES para investimentos em infraestrutura, especialmente empreendimentos energéticos, que é a Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP). Conforme pode ser verificado na Tabela 58, o último valor da TJLP divulgado para o trimestre de abril a junho de 2016 foi de 7,5%, a qual será adotada como a TMA deste projeto (IBGE, 2016).

Tabela 58 – Taxa de juros de longo prazo – TJLP

MÊS/ANO	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Outubro a Dezembro	6,0%	5,5%	5,0%	5,0%	7,0%	-
Julho a Setembro	6,0%	5,5%	5,0%	5,0%	6,5%	-
Abril a Junho	6,0%	6,0%	5,0%	5,0%	6,0%	7,5%
Janeiro a Março	6,0%	6,0%	5,0%	5,0%	5,5%	7,5%

Os indicadores de desempenho econômico utilizados para avaliar este projeto são: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno Modificada (TIRM) e Período de Recuperação de Capital (Payback). A TIRM foi utilizada em razão das trocas dos inversores, sistema de iluminação e condicionamento ambiental causarem inversão de sinal do fluxo de caixa ao longo da vida útil do projeto. Para calcular a TIRM do projeto foi assumido que a taxa de financiamento para os fluxos de caixa negativos será igual à TJLP, que é de 7,5%. Já os fluxos de caixa positivos serão reinvestidos à taxa do Certificado de Depósito Bancário (CDB), que no acumulado dos últimos 12 meses, em maio de 2016 ficou em 12,40% (VALOR ECONÔMICO, 2016).

A Tabela 59 apresenta os principais componentes e parâmetros que irão compor ou influenciar a elaboração do fluxo de caixa e o cálculo dos indicadores econômicos.

Tabela 59 – Parâmetros para elaboração do fluxo de caixa

DADOS REFERENTES ÀS DESPESAS	
Investimento inicial	R\$ 3.992.505,68
Fonte do Investimento	Recursos Próprios
Custos de operação e manutenção	R\$ 39.925,06 por ano
Tributação sobre lucro	Não há
Troca dos inversores	10º ano
Troca do Sistema de Condicionamento Ambiental	15º ano
Troca do Sistema de Iluminação	10º e 13º anos
Custo dos inversores no ano zero	R\$ 673.282,66
Custo do Sistema de Condicionamento Ambiental no ano zero	R\$ 683.626,39
Custo do Sistema de Iluminação no ano zero	R\$ 503.534,89
DADOS REFERENTES ÀS RECEITAS	
Economia com energia no primeiro ano	R\$ 325.483,76
Taxa de reajuste tarifário	4% por ano
Perda de eficiência dos módulos	- 0,75% por ano
Nova demanda contratada	256 kW
Receita oriunda dos créditos de carbono	Desconsiderada
PARÂMETROS PARA CÁLCULO DOS INDICADORES ECONÔMICOS	
Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	7,50%
Vida útil do projeto	20 anos
Valor residual	0
Taxa de financiamento (cálculo da TIRM)	7,50%
Taxa de reinvestimento (cálculo da TIRM)	12,40%
Inflação	10,67%

A Figura 24 e as tabelas: Tabela 60, Tabela 61, Tabela 62, Tabela 63 e Tabela 64 apresentam o fluxo caixa do investimento elaborado a partir dos parâmetros e considerações resumidos na Tabela 59.

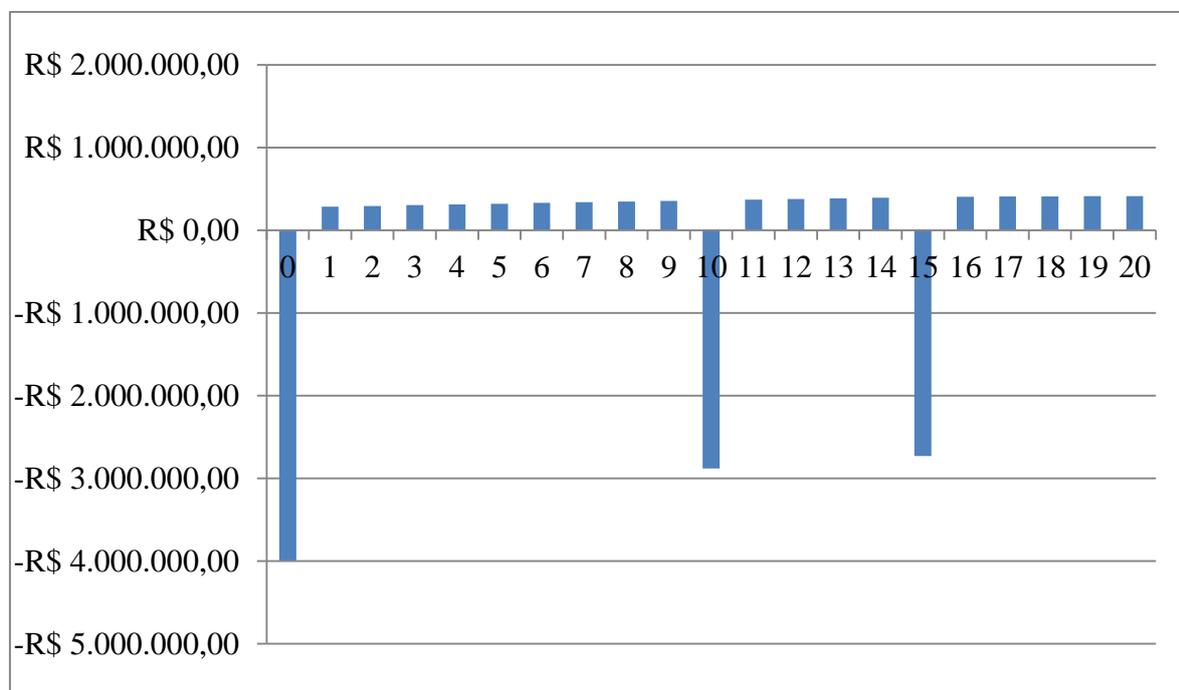


Figura 24: Fluxo de caixa - IFG Câmpus Goiânia

Tabela 60 – Fluxo de caixa estratificado IFG Câmpus Goiânia (ano 0 ao 4º)

R\$	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4
ENTRADAS DE CAIXA					
(+) Economia de energia		325.483,76	338.503,11	352.043,23	366.124,96
SAÍDAS DE CAIXA					
(-) Implantação do Sistema	3.992.505,68				
(-) Custos com O&M		39.925,06	44.185,06	48.899,61	54.117,19
(-) Troca dos Inversores					
(-) Troca do Sistema de Iluminação					
(-) Troca do Sistema de Cond. Ambiental					
(=) FLUXO DE CAIXA	-3.992.505,68	285.558,70	294.318,05	303.143,63	312.007,77

Tabela 61 – Fluxo de caixa estratificado IFG Câmpus Goiânia (ano 5 ao 9º)

R\$	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9
ENTRADAS DE CAIXA					
(+) Economia de energia	380.769,96	396.000,76	411.840,79	428.314,42	445.447,00
SAÍDAS DE CAIXA					
(-) Implantação do Sistema					
(-) Custos com O&M	59.891,50	66.281,92	73.354,20	81.181,10	89.843,12
(-) Troca dos Inversores					
(-) Troca do Sistema de Iluminação					
(-) Troca do Sistema de Cond. Ambiental					
(=) FLUXO DE CAIXA	320.878,46	329.718,84	338.486,59	347.133,33	355.603,88

Tabela 62 – Fluxo de caixa estratificado IFG Câmpus Goiânia (ano 10 ao 14º)

R\$	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13	Ano 14
ENTRADAS DE CAIXA					
(+) Economia de energia	463.264,88	481.795,48	501.067,29	521.109,99	541.954,39
SAÍDAS DE CAIXA					
(-) Implantação do Sistema					
(-) Custos com O&M	99.429,38	110.038,50	121.779,60	134.773,49	149.153,82
(-) Troca dos Inversores	1.855.651,98				
(-) Troca do Sistema de Iluminação	1.387.805,70				
(-) Troca do Sistema de Cond. Ambiental					
(=) FLUXO DE CAIXA	-2.879.622,18	371.756,98	379.287,69	386.336,50	392.800,57

Tabela 63 – Fluxo de caixa estratificado IFG Câmpus Goiânia (ano 15 ao 19º)

R\$	Ano 15	Ano 16	Ano 17	Ano 18	Ano 19
ENTRADAS DE CAIXA					
(+) Economia de energia	563.632,56	586.177,86	609.624,98	634.009,98	659.370,38
SAÍDAS DE CAIXA					
(-) Implantação do Sistema					
(-) Custos com O&M	165.068,53	182.681,34	202.173,44	223.745,35	247.618,98
(-) Troca dos Inversores					
(-) Troca do Sistema de Iluminação					
(-) Troca do Sistema de Cond. Ambiental	3.128.005,22				
(=) FLUXO DE CAIXA	-2.729.441,18	403.496,52	407.451,54	410.264,63	411.751,40

Tabela 64 – Fluxo de caixa estratificado IFG Câmpus Goiânia (ano 20)

R\$	Ano 20
ENTRADAS DE CAIXA	
(+) Economia de energia	685.745,19
SAÍDAS DE CAIXA	
(-) Implantação do Sistema	
(-) Custos com O&M	274.039,92
(-) Troca dos Inversores	
(-) Troca do Sistema de Iluminação	
(-) Troca do Sistema de Cond. Ambiental	
(=) FLUXO DE CAIXA	411.705,27

Na Tabela 65 são apresentados os indicadores de desempenho obtidos para o fluxo de caixa do investimento. Os valores foram calculados conforme definido no item 3.4.

Tabela 65 – Critérios econômicos de decisão

Método de Análise	Valor Obtido
VPL	-R\$ 3.113.491,53
TIRM	6,77%
<i>PAYBACK</i>	Não ocorre ao longo da vida útil

O VPL calculado indica um prejuízo de R\$ 3.113.491,53 ao final da vida útil do projeto. A TIRM calculada de 6,77% é menor que TMA do projeto (7,5%), sendo um indicador também desfavorável. Considerando que ao final do vigésimo ano os sistemas de iluminação e fotovoltaico irão necessitar de novos investimentos para reforma ou substituição completa, não é possível obter o PAYBACK deste fluxo de caixa, ou seja, o capital investido não é recuperado ao longo da vida útil do projeto. Dessa forma, considerando os critérios do VPL, TIRM e o PAYBACK, o projeto não apresenta viabilidade econômica. Todavia, da mesma forma que os projetos de PEE permitem a avaliação econômica individualizada para cada sistema, uma alternativa em busca da viabilidade pelos critérios do VPL, TIRM e o PAYBACK, seria a composição do fluxo de caixa com os sistemas que apresentassem maior retorno econômico.

Quanto ao critério da Relação Custo-Benefício (RCB) calculada pela ótica do sistema elétrico e do ponto de vista do PEE, que norteia a avaliação econômica de viabilidade de um projeto regulado pela ANEEL, o projeto proposto neste trabalho, considerando a efficientização do sistema de iluminação, condicionamento ambiental e adição de fonte incentivada de energia (geração fotovoltaica) é considerado viável.

Tendo em vista que a regulamentação dos Programas de Eficiência Energética das concessionárias tem pouco mais de 15 anos, é possível uma evolução do critério de viabilidade econômica da RCB que contemple ou compatibilize com os métodos de viabilidade já consolidados no mercado.

4.3.7 Análise das emissões evitadas de CO₂ eq

A partir dos resultados do Projeto de Eficiência Energética com Adição de Geração Proveniente de Fonte Incentivada de Energia Elétrica (Geração Fotovoltaica) no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - IFG – Câmpus Goiânia, observadas as diretrizes estabelecidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, partiu-se para a estimativa da emissão evitada de carbono, considerando as metodologias utilizadas pela United Nations Framework Climate Change Convention - UNFCCC para projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL que contemplem atividades de eficiência energética e geração de energia renovável conectada à rede.

A seleção da metodologia depende das características gerais do projeto e do sistema ao qual ele irá fazer parte. Para o caso do projeto desenvolvido nesta pesquisa, duas metodologias são utilizadas para a estimativa das emissões evitadas de CO₂ eq, uma vez que o referido projeto contempla atividades de eficiência energética pelo lado da demanda para tecnologias específicas conectadas à rede e geração de energia renovável também conectada à rede.

Dessa forma, as metodologias AMS-I.D, “geração de energia renovável conectada à rede” que trata de unidades de geração de energia renovável e AMS-II.C que compreende “atividades que incentivem a adoção de equipamentos, lâmpadas, reatores, refrigeradores, motores, ventiladores, condicionadores de ar, eletrodomésticos, etc., eficientes do ponto de vista energético” são as mais adequadas para a quantificação das emissões evitadas de CO₂ eq do projeto proposto.

4.3.7.1 Geração fotovoltaica conectada à rede - metodologia AMS-I.D

O sistema fotovoltaico projetado para o IFG Câmpus Goiânia será conectado à rede e, portanto, ao Sistema Interligado Nacional - SIN. Portanto, irá promover a redução de emissões a partir daquelas observadas com o uso da energia hidráulica (especialmente referente aos reservatórios das usinas hidroelétricas) e de combustíveis fósseis (queima em usinas termelétricas).

O projeto aqui avaliado é de pequena escala e a análise das metodologias utilizadas indicou que a mais adequada para as condições do projeto é a AMS-I.D “Geração de energia renovável conectada à rede”, conforme detalhamento apresentado no item 3.5.1, através das expressões (3.20), (3.21) e (3.22). No que se refere às margens de construção (MC) e margem de operação (MO), os cálculos foram feitos a partir dos dados de 2014, pois o MCTI ainda não havia divulgado os dados de 2015 na data deste levantamento. A Tabela 66 apresenta a MC e MO disponibilizadas pelo MCTIC (MCTIC, 2016).

Tabela 66: Dados da MC e MO referente ao ano 2014

Margem de construção - fator de emissão médio anual (tCO ₂ eq/MWh) (MC)											
0,2963											
Margem de operação - fator de emissão médio mensal (tCO ₂ eq/MWh) (MO)											
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0,6155	0,5989	0,5699	0,5772	0,5605	0,5678	0,5674	0,5862	0,5994	0,5901	0,5885	0,5825
Média anual da margem de operação = 0,5837 (tCO ₂ eq/MWh) (MO)											

A partir da expressão (3.22) e dos valores de ponderação dos respectivos fatores de emissão da MC ($EF_{grid,MC,y}$) e da MO ($EF_{grid,MO,y}$) em 2014 pôde-se obter o fator de emissões do SIN no ano de 2014. A Tabela 67 sintetiza os parâmetros utilizados e o fator de emissão do SIN encontrado.

Tabela 67: Parâmetros e estimativa do fator de emissão do SIN no cenário 2014

Cenário 2014	Fatores	Fonte dos Fatores
Margem de construção (tCO ₂ eq/MWh) ($EF_{grid,MC,y}$)	0,2963	Tabela 64
Ponderação do fator de emissão da margem da construção (w_{MC})	0,25	(UNFCCC,2013)
Margem de operação (tCO ₂ eq/MWh) ($EF_{grid,MO,y}$)	0,5837	Tabela 64
Ponderação do fator de emissão da margem da operação (w_{MO})	0,75	(UNFCCC,2013)
Fator de emissão (tCO ₂ eq/MWh)	0,5119	expressão (3.21)

A Tabela 68 apresenta as emissões de linha de base para o sistema fotovoltaico do IFG Câmpus Goiânia, calculadas com os dados das tabelas: Tabela 67 e Tabela 36, a partir da expressão (3.21).

Tabela 68: Resultado das emissões evitadas do sistema fotovoltaico (451,02 kWp) - cenário 2014

Energia Elétrica MWh/ano (Geração Prevista)	Potência kWp	Emissões de linha de base (tCO ₂ eq/ano)
790,09	451,02	404,44

Vale lembrar que as emissões de linha de base correspondem às emissões evitadas com a energia gerada pelo respectivo projeto (BE_{2014}). Uma vez que não há emissão de projeto e nem emissão fugitiva em sistemas fotovoltaicos, ela é igual à redução das emissões no ano de 2014 (ER_{2014}), de acordo com a expressão (3.20). Assim, no ano de 2014, o sistema fotovoltaico proposto teria evitado emissão de 404,44 tCO₂ eq.

4.3.7.2 Ações de eficiência energética em sistemas de iluminação e condicionamento ambiental - metodologia AMS-II.C

As ações de eficiência energética proposta para o IFG Câmpus Goiânia contemplam os sistemas de iluminação e condicionamento ambiental que utilizam a rede de energia elétrica, portanto, conectados ao Sistema Interligado Nacional (SIN). Essas ações irão promover a redução de emissões a partir daquelas observadas com o uso da energia hidráulica (especialmente referente aos reservatórios das usinas hidroelétricas) e de combustíveis fósseis (queima em usinas termelétricas).

O projeto aqui avaliado é de pequena escala e a análise das metodologias utilizadas indicou que a mais adequada para as condições do projeto é a AMS-II.C que compreende “atividades que incentivem a adoção de equipamentos mais eficientes do ponto de vista energético”, conforme detalhamento apresentado no item 3.5.2.

No que se refere às margens de construção (MC) ($EF_{grid,MC,2014}$) e margem de operação (MO) ($EF_{grid,MO,2014}$) e seus respectivos valores de ponderação (w_{MC}) e (w_{MO}) que subsidiaram o cálculo do fator de emissões ($EF_{CO_2,ELEC,Y}$) do SIN no ano de 2014 são os mesmos apresentados na Tabela 66 e disponibilizados pelo MCTIC (MCTIC, 2016).

A linha de base das emissões será determinada como o produto do consumo de energia da linha de base dos equipamentos/aparelhos e do fator de emissão da eletricidade substituída, conforme apresentado na expressão (3.23) e (3.24).

As emissões do projeto decorrentes das fugas físicas de refrigerante do sistema de condicionamento ambiental no ano y ($PE_{ref,y}$) em tCO₂ eq são contabilizadas. Todos os gases de efeito estufa, devem ser considerados, segundo a orientação do Conselho Executivo do MDL. Para o estudo de caso deste trabalho foi considerada a metodologia de cálculo *tier 1* e nos parâmetros técnicos fornecidos em catálogos pelos fabricantes de ar condicionados.

Dessa forma, $PE_{ref,y}$ é calculado conforme a expressão (3.27). As tabelas: Tabela 69 e Tabela 70 sintetizam os parâmetros utilizados no cálculo das emissões do projeto decorrentes das fugas físicas de refrigerante.

O acréscimo das emissões decorrentes das fugas físicas de refrigerante do novo sistema de condicionamento ambiental, se deve a proposta de se substituir 20 equipamento de ar condicionado Split com capacidade de refrigeração de 36.000 BTU/h por 40 equipamentos de ar condicionado Split Smart Inverter com capacidade de refrigeração de 18.000 BTU/h, o que será compensado pela redução das emissões decorrente da economia de energia que o sistema proposto propicia.

A Tabela 71 apresenta as emissões de linha de base para os sistemas de iluminação e condicionamento ambiental do IFG Câmpus Goiânia, calculadas com os dados das tabelas: Tabela 22, Tabela 33, Tabela 67 e Tabela 69, a partir da expressão (3.23).

A Tabela 72 apresenta as emissões do projeto para os sistemas de iluminação e condicionamento ambiental do IFG Câmpus Goiânia, calculadas com os dados das tabelas: Tabela 22, Tabela 33, Tabela 67 e Tabela 70, a partir da expressão (3.25).

Como os equipamentos substituídos serão descartados, conforme legislação do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, o efeito das fugas decorrentes do uso dos equipamentos substituídos em outra atividade será desconsiderado.

A Tabela 73 apresenta a redução das emissões no ano de 2014 (ER_{2014}) para os sistemas de iluminação e condicionamento ambiental do IFG Câmpus Goiânia, calculadas com os dados das tabelas: Tabela 71 e Tabela 72, a partir da expressão (3.20).

O valor percentual de 9,77 de perdas técnicas apresentado nas tabelas: Tabela 71 e Tabela 72 é referente à média anual das perdas técnicas da rede de transmissão e distribuição da concessionária de energia do estado de Goiás – CELG Distribuição no ano de 2015.

Tabela 69: Emissões do projeto decorrentes das fugas físicas de refrigerante – sistema atual

Condicionamento Ambiental - Atual								
Tipo de Ar Cond.	Marca	Potência de Refrigeração (BTU/h)	Qt.	Tipo de gás	GWP	Carga de gás (g) por unidade	Carga de gás (kg) por tipo de aparelho	CO ₂ eq (kg)
Split	ELGIN	36.000	1	R-22	1700	2450	2,45	4165
Split	HITACHI	36.000	19	R-410A	1975	2800	53,2	105070
Cassete	ELGIN	36.000	2	R-22	1700	2400	4,8	8160
Janela	SPRINGER	30.000	2	R-22	1700	1200	2,4	4080
Split	CARRIER	30.000	2	R-22	1700	1200	2,4	4080
Split	HITACHI	27.000	1	R-410A	1975	1800	1,8	3555
Split	ELGIN	24.000	1	R-22	1700	1750	1,75	2975
Split	GREE	24.000	48	R-410A	1975	2050	98,4	194340
Janela	SPRINGER	23.000	2	R-22	1700	1130	2,26	3842
Janela	SPRINGER	21.000	2	R-22	1700	1130	2,26	3842
Janela	SPRINGER	18.000	10	R-22	1700	690	6,9	11730
Split	CARRIER	18.000	1	R-22	1700	780	0,78	1326
Split	GREE	18.000	9	R-22	1700	1150	10,35	17595
Janela	SPRINGER	12.000	25	R-22	1700	770	19,25	32725
Split	HITACHI	12.000	1	R-410A	1975	700	0,7	1382,5
Split	ELGIN	12.000	5	R-22	1700	800	4	6800
Split	CARRIER	12.000	10	R-22	1700	770	7,7	13090
Split	GREE	12.000	50	R-22	1700	950	47,5	80750
Split	CARRIER	12.000	1	R-22	1700	650	0,65	1105
Janela	SPRINGER	10.000	9	R-22	1700	700	6,3	10710
Split	GREE	9.000	1	R-22	1700	700	0,7	1190
Split	ELGIN	9.000	3	R-22	1700	580	1,74	2958
Split	HITACHI	9.000	6	R-410A	1975	550	3,3	6517,5
Split	GREE	7.000	2	R-22	1700	680	1,36	2312
Total			213	Total de tCO₂ eq				524,3

Tabela 70: Emissões do projeto decorrentes das fugas físicas de refrigerante – sistema proposto

Condicionamento Ambiental - Proposto								
Tipo de Ar Cond.	Marca	Potência de Refrigeração (BTU/h)	Qt.	Tipo de gás	GWP	Carga de gás (g) por unidade	Carga de gás (Kg) por tipo de aparelho	CO ₂ eq (kg)
Split Smart Inverter	Samsung	9.000	21	R-410A	1975	800	16,8	33180
Split Smart Inverter	Samsung	12.000	92	R-410A	1975	850	78,2	154445
Split Smart Inverter	Samsung	18.000	62	R-410A	1975	1450	89,9	177553
Split Smart Inverter	Samsung	24.000	51	R-410A	1975	1450	73,95	146051
Split High Wall Inverter	Fujitsu	27.000	5	R-410A	1975	1450	7,25	14318,8
Cassete Inverter	Daikin	36.000	2	R-410A	1975	3350	6,7	13232,5
Total			233	Total de tCO₂ eq				538,78

Tabela 71: Emissões de linha de base dos sistemas de iluminação e condicionamento ambiental IFG Câmpus Goiânia

Sistema	Consumo de energia de linha de base (MWh/ano)	Perdas técnicas (%)	Fator de emissão (tCO ₂ eq/MWh)	Emissões decorrentes das fugas físicas de refrigerante (tCO ₂ eq)	Emissões de linha de base (tCO ₂ eq/ano)
	(1)	(2)	(3)	(4)	[(1)/(2)]x(3)+ (4)
Ilum.	747,15	9,77	0,5119	-	423,88
Cond. Ambiental	539,50			524,30	830,37
Total	1.286,65			524,30	1.254,25

Tabela 72: Emissões do projeto dos sistemas de iluminação e condicionamento ambiental IFG Câmpus Goiânia

Sistema	Consumo de energia após AEE (MWh/ano) (1)	Perdas técnicas (%) (2)	Fator de emissão (tCO ₂ eq/MWh) (3)	Emissões decorrentes das fugas físicas de refrigerante (tCO ₂ eq) (4)	Emissões do projeto (tCO ₂ eq/ano) [(1)/(2)]x(3)+ (4)
Ilum.	297,36	9,77	0,5119	-	168,70
Cond. Ambiental	441,29			538,78	789,14
Total	738,65			538,78	957,84

Tabela 73: Redução das emissões dos sistemas de iluminação e condicionamento ambiental IFG Câmpus Goiânia

Sistema	BE_y Emissões de linha de base (tCO ₂ eq/ano)	PE_y Emissões do projeto no ano y (tCO ₂ eq/ano)	LE_y Emissões decorrentes das fugas no ano y (tCO ₂ eq/ano)	ER_y Redução das emissões no ano y (tCO ₂ eq/ano)
Ilum.	423,88	168,70	-	255,18
Cond. Ambiental	830,37	789,14	-	41,24
Total	1.254,25	957,84	-	296,42

Assim, no ano de 2014 o as ações propostas de eficiência energética nos sistemas de iluminação e condicionamento ambiental teriam evitado a emissão de 296,42 tCO₂ eq, caso já estivesse em operação. Considerando todo o projeto, ou seja, as ações propostas de eficiência energética nos sistemas de iluminação, condicionamento ambiental e o sistema fotovoltaico teriam evitado no ano de 2014 a emissão de 700,86 tCO₂ eq, conforme pode ser verificado na Tabela 74.

Tabela 74: Redução das emissões considerando todo o projeto no IFG Câmpus Goiânia

Sistema	ER_y Redução das emissões no ano y (tCO ₂ eq/ano)
Iluminação	255,18
Condicionamento Ambiental	41,24
Fotovoltaico	404,44
Total	700,86

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

A elaboração do projeto de Eficiência Energética com adição de geração proveniente de fonte incentivada de energia elétrica (geração fotovoltaica), enquanto estudo de caso, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG) Câmpus Goiânia, conforme os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE) da ANEEL, constatou viabilidade técnica e econômica.

Além da análise de viabilidade econômica baseada nas diretrizes estabelecidas pela ANEEL para a sua elaboração, este estudo de caso também contempla a análise de viabilidade econômica baseada nos métodos determinísticos de análise de investimento.

Também são realizadas análises do consumo de energia após as ações de eficiência energética, análise tarifária, análise de reconstrução de demanda.

Por fim, é realizada a análise das emissões evitadas de carbono, considerando as metodologias utilizadas pela *United Nations Framework Climate Change Convention* (UNFCCC) para projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL que contemplem atividades de eficiência energética e geração de energia renovável conectada à rede.

5 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos de Eficiência Energética e Geração Distribuída no âmbito do Setor Elétrico Brasileiro permitem importantes reflexões sobre o tema, pois a análise da eficiência no uso da energia elétrica como um importante vetor no atendimento da demanda contribui para a segurança energética, para a modicidade tarifária, para a competitividade da economia e para a redução das emissões de gases de efeito estufa.

De grande contribuição são também as dúvidas e dificuldades que surgem ao longo do processo de pesquisa, dada a necessidade da busca por informações e soluções.

No Capítulo 2 são apresentadas as conclusões a respeito do quadro geral elaborado por esta pesquisa, quanto à aplicação dos Programas de Eficiência Energética, bem como as perspectivas de inserção da Geração Distribuída através das fontes alternativas e sustentáveis de energia no Brasil, sendo possível a proposição de novos caminhos que assegurem o êxito destes programas, sejam eles através de mudanças de leis, alteração de procedimentos ou modificações metodológicas.

A elaboração do projeto, enquanto estudo de caso, aplicada ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG) Câmpus Goiânia, possibilitou que fosse avaliada a importância e a viabilidade técnica/econômica de ações de combate ao desperdício de energia elétrica e de melhoria da Eficiência Energética de equipamentos, processos e usos finais de energia, além dos ganhos energéticos e ambientais através da instalação de sistemas de geração fotovoltaica sobre o telhado deste consumidor.

Constata-se potencial de eficientização energética nos sistemas de iluminação e condicionamento ambiental. Para o sistema de iluminação é proposta a substituição do sistema antigo de luminárias com lâmpadas fluorescentes tubulares, compactas e incandescentes, pelo sistema novo utilizando lâmpadas LED, o que resulta em uma Relação Custo-Benefício (RCB) de 0,37.

Para o sistema de condicionamento ambiental é proposta a substituição do sistema antigo com ar condicionado de Janela e *Split*, pelo sistema novo utilizando ar condicionado *Split Smart Inverter*, o que resulta em uma Relação Custo-Benefício (RCB) de 2,02. Mesmo tendo apresentado uma RCB superior a 0,8, a eficientização do sistema de condicionamento ambiental poderá ser realizada por conta da RCB global do projeto.

Para a implantação da usina fotovoltaica é considerado um sistema com Potência de 451,02 kWp e Geração Média Anual de 790,09 MWh. Esses dados resultam em uma Relação Custo-Benefício (RCB) de 0,72.

O cálculo da RCB global do projeto, consideradas as somas dos custos e benefícios de todos os sistemas é de 0,70, inferior a 0,8. Portanto, o projeto proposto neste trabalho é considerado viável no âmbito do Programa de Eficiência Energética da ANEEL.

Além da análise de viabilidade econômica baseada nas diretrizes estabelecidas pela ANEEL para a sua elaboração, este estudo de caso também contempla a análise de viabilidade econômica baseada em outros métodos determinísticos de análise de investimento, que não demonstraram viabilidade econômica. Contudo, tendo em vista que a regulamentação dos Programas de Eficiência Energética das concessionárias tem pouco mais de 15 anos, é possível uma evolução do critério de viabilidade econômica da RCB que contemple ou compatibilize com os métodos de viabilidade já consolidados no mercado.

Também foram realizadas análises do consumo de energia após as ações de eficiência energética, análise tarifária, análise de reconstrução de demanda.

Foi realizada a análise das emissões evitadas de carbono, considerando as metodologias utilizadas pela *United Nations Framework Climate Change Convention* (UNFCCC) para projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL que contemplem atividades de eficiência energética e geração de energia renovável conectada à rede.

A principal metodologia do MDL para projetos de pequena escala envolvendo energias renováveis conectados à rede é a AMS-I.D. Já a metodologia AMS-II.C é a mais apropriada para projetos envolvendo atividades de eficiência energética pelo lado da demanda para tecnologias específicas conectadas à rede.

Considerando todo o projeto, ou seja, as ações propostas de eficiência energética nos sistemas de iluminação, condicionamento ambiental e o sistema fotovoltaico teriam evitado no ano de 2014 a emissão de 700,86 tCO₂ eq.

Por fim, conclui-se que a Eficiência Energética e a Geração Distribuída desempenham um papel fundamental para ajudar a enfrentar os desafios relativos ao crescente consumo de energia elétrica no Brasil e mitigar seus impactos, tendo no estudo de caso, aplicado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG) Câmpus Goiânia a possibilidade de se replicar o projeto para outras unidades de ensino e demais instituições públicas.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

De forma a dar seguimento às pesquisas realizadas neste trabalho, ampliando e aprofundando o tema, sugere-se a realização dos seguintes estudos complementares:

- a) Analisar o impacto financeiro dos créditos de energia elétrica adquiridos através do Sistema de Compensação de Energia Elétrica em outros Câmpus do IFG;
- b) Quantificar a demanda ótima de contratação após as Ações de Eficiência Energética propostas;
- c) Analisar o impacto causado pela instalação de cargas não lineares (Led, inversores) no sistema elétrico que abastece o IFG Câmpus Goiânia;
- d) Quantificar as receitas de vendas anuais de RCE, advindas das emissões evitadas de carbono;
- e) Analisar a viabilidade econômica do projeto em condições de risco e incerteza de algumas variáveis, tais como: tarifa de energia, preços dos equipamentos importados, RCE, dentre outros.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Banco de Informações de Geração da Matriz de Energia Elétrica**. Brasília; ANEEL, 2016. Disponível

em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em: abril 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**. Brasília: ANEEL, 2012 c.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa ANEEL nº 556/2013 - Procedimentos do Programa de Eficiência Energética - PROPEE**. Brasília: ANEEL, 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **Revista de Eficiência Energética 1ª edição**. Brasília: ANEEL, 2013. Disponível em: <http://ww.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/revista_pee_ago_01.pdf>. Acesso em: out. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. Brasília: ANEEL, 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/pt/programa-eficiencia-energetica>>. Acesso em: out. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa ANEEL nº 687/2015**. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Brasília, 24 nov. 2015. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: jan. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa ANEEL nº 63/2004**. Aprova procedimentos para regular a imposição de penalidades aos concessionários, permissionários, autorizados e demais agentes de instalações e serviços de energia elétrica, bem como às entidades responsáveis pela operação do sistema, pela comercialização de energia elétrica e pela gestão de recursos provenientes de encargos setoriais. Brasília, 12 maio 2004. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2004063.pdf>>. Acesso em: out. 2015.

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: abril 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa ANEEL nº 300/2008**. Estabelece critérios para aplicação de recursos em Programas de Eficiência Energética, e dá outras providências. Brasília, 12 fevereiro 2008. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2008300.pdf>>. Acesso em: out. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa ANEEL nº 414/2010**. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. Brasília, 9 setembro 2010. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2010414.pdf>>. Acesso em: abril 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA - **Método para Determinação, “Análise e Otimização das Perdas Técnicas em Sistemas de Distribuição”**. Documento Técnico ABRADDEE-19.34. Rio de Janeiro, 1996.

BLANK, L.; TARQUIN, A. **Engenharia econômica**. 6. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2008, 756 p.

BRASIL. Portaria nº 538 de 15 de dezembro de 2015. Cria o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica - ProGD. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 dez. 2015.

BRASIL. Decreto nº 4.059 de 19 de dezembro de 2001. Define os procedimentos e as responsabilidades para o estabelecimento dos indicadores e dos níveis de eficiência energética e também instituiu o Comitê Gestor de Indicadores e de Níveis de Eficiência Energética – CGIEE. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 20 dez. 2001.

BRASIL. Lei nº 12.212 de 20 de janeiro de 2010. Dispõe sobre a Tarifa Social de Energia Elétrica e altera as Leis nºs 9.991, de 24 de julho de 2000. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 21 jan. 2010.

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.

BRASIL. Decreto nº 5.163 de 30 de julho de 2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorgas de concessões e autorizações de geração. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 4 ago. 2004.

BRASIL. Lei nº 13.280 de 3 de maio de 2016. Altera a Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, para disciplinar a aplicação dos recursos destinados a programas de eficiência energética. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 3 maio 2016.

BRASIL. Lei nº 10.295 de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 out. 2001.

CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. PROCEL. **Resultados do PROCEL 2014, ano base 2013**. Rio de Janeiro 2014. Disponível em: www.procelinfo.com.br. Acesso em: jan. 2015.

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. **Guia para Eficiência Energética nas Edificações Públicas**. Rio de Janeiro 2015.

CGEE. **Manual de Capacitação: mudança climática e projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo**. Ed. rev. e atual. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.

COSTA, Márcio José Apolinário. **A minigeração fotovoltaica em edifícios escolares - Um caso de estudo**. 2013. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energias) - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2013.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - **Nota Técnica DEA 07/13: Avaliação da Eficiência Energética e Geração Distribuída para os próximos 10 anos (2013-2022)**, Rio de Janeiro, RJ, Brasil 2013.

EVO – EFFICIENCY VALUATION ORGANIZATION. Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance – **Conceitos e Opções para a Determinação de Economias de Energia e de Água - vol. 1** - EVO 10000 – 1:2012 (Br). Sofia: EVO, 2012.

FILHO, A. C. S. S. **Taxa interna de retorno modificada**: proposta de implementação automatizada para cálculo em projetos não-periódicos, não necessariamente convencionais. 2008. 163 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Administração) – Faculdade de Economia e Finanças IBMEC, Rio de Janeiro, 2008.

FREIRE, R. N. **Análise de viabilidade de projectos de minigeração fotovoltaica**. 2011. 76 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores Major Energia) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2011.

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: 21 maio 2016.

IDEAL. Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas para a América Latina . **O mercado brasileiro de geração distribuída fotovoltaica – Edição 2015**. Florianópolis 2015.

IFG. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. Disponível em: <http://www.ifg.edu.br/>. Acesso em: 06 abr. 2016.

INSTITUTO ACENDE BRASIL. **Incentivos e barreiras à geração distribuída**. Disponível em: <<http://www.jogodopoder.com/blog/economia/energia-as-barreiras-e-os-entraves-na-geracao-distribuicao/#ixzz3VaU4hLCK>>. Acesso em: out 2015.

IPCA. **Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA)**. Portal Brasileiro de Dados Abertos. Disponível em: <http://dados.gov.br/dataset/indice-nacional-de-precos-ao-consumidor-amplo-ipca>. Acesso em: 21 maio 2016.

IPCC, 2006. **Chapter 7 “emissions of fluorinated substitutes for ozone depleting substances”** - Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Industrial Processes and ProductUse. Disponível em: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/3_Volume3/V3_7_Ch7_ODS_Substitutes.pdf

KITTA EITLER; VANIA LINS. **Revelando a energia : 1.ed – volumes 1 e 2**. Rio de Janeiro: FUNDAÇÃO ROBERTO MARINHO, 2012.

LOPES, D. G. **Análise de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo: estudo de caso dos projetos da chamada estratégica nº 13 da ANEEL**. 2013. 216 f. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos) – Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

MASTERVOLT. **Lifespan of Solar inverters. MASTERVOLT**. Disponível em: <http://www.mastervolt.com/news/lifespan-of-solar-inverters/>. Acesso em: 15 fev. 2016.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES. **Arquivos dos Fatores de Emissão**. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/354444.html#ancora>. Acesso em: 13 jun. 2016.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: MME, 2008 - b.

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

PAMPLONA, E. O.; MONTEVECHI, J. A. **Engenharia Econômica II**. 2005. Disponível em <http://www.iepg.unifei.edu.br/edson/download.htm#EE>. Acesso em: 8 jun. 2016.

PELÁGIO, P. **Estudo de viabilidade técnico-econômica para implantação de sistema de painéis fotovoltaicos no Campus Goiânia do IFG**. 2014. 123 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia 2014.

PERLOTTI, E. et al. **Proposta para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**: Estudo do grupo setorial de sistemas fotovoltaicos da ABINEE. 2012.

PROTOCOLO DE QUIOTO, 1997. Disponível em: http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/Protocolo_Quito.pdf. Acesso em: 05 mar. 2015.

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.

TORRES, O. F. **Fundamentos da engenharia econômica e da análise econômica de projetos**. São Paulo: Thomsom Learning, 2006

UNFCCC,U.N. **CDM Methodology Booklet**. Disponível em:<http://cdm.unfccc.int/methodologies/index.html>. Acesso em: 08 de maio de 2016.

VALOR ECONÔMICO. **Indicadores de Mercado**. Disponível em <http://www.valor.com.br/valor-data/indices-financeiros/indicadores-de-mercado#evolucao-das-aplicacoes-financeiras>. Acesso em: 21 maio 2016.

VILELA, P. R. **Racionamento: história e consequências**. Brasília, DF: [s.n.], 2001.

TRABALHOS PUBLICADOS EM ANAIS DE EVENTOS

A. F. Ferreira (1,2), J. L. Domingos (1), T. P. Sousa (2), M. L. S. Miguel (2), P. H. Franco (2), E. G. Domingues (1), A. J. Alves (1), W. P. Calixto (1). **Energy Efficiency and Distributed Generation: Case Study**. International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'16), Madrid, Spain, May 2016. Renewable Energy and Power Quality Journal (RE&PQJ) - ISSN 2172-038 X, No.14 May 2016.

Pedro H. F. Moraes, Alana S. Magalhaes, Adriano F. Ferreira, Aylton J. Alves, Wesley P. Calixto, Joao R. B. Paiva. **Synchronous Compensation versus Capacitive Compensation for Reactive Power in Industrial Systems Subjected to Harmonic Distortion**. 2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), Florence, Italy, June 2016.

MENITA, Bruno G.; DOMINGOS, José L.; DOMINGUES, Elder G; ALVES, Aylton J.; CALIXTO, Wesley P.; GARCIA, Agenor G. P.; DE FARIA, Adriano F.; MIGUEL, Marcio S. L. **Measurement and Verification in Energy Efficiency Projects involving Solar Water Heating Systems in Homes of Low-Income Families – Case Studies**. IEEE Chilecon 2015, Santiago, Chile, October 2015.