



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS (UFG)
ESCOLA DE ENGENHARIA ELÉTRICA, MECÂNICA E DE COMPUTAÇÃO (EMC)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM ENGENHARIA
ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO (PPGEEC)

ADRIANO FERREIRA DE FARIA

**Análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental de um
projeto de eficiência energética associado com geração distribuída**

GOIÂNIA
2022



UFG

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA ELÉTRICA, MECÂNICA E DE COMPUTAÇÃO

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

[] Dissertação [X] Tese

2. Nome completo do autor

Adriano Ferreira de Faria

3. Título do trabalho

“Análise de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental de um Projeto de Eficiência Energética Associado com Geração Distribuída”

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento [X] SIM [] NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Bernardo Pinheiro De Alvarenga, Professor do Magistério Superior**, em 29/04/2022, às 08:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **ADRIANO FERREIRA DE FARIA, Discente**, em 29/04/2022, às 12:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2864087** e o código CRC **041ABB76**.

Referência: Processo nº 23070.015926/2022-95

SEI nº 2864087

ADRIANO FERREIRA DE FARIA

Análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental de um projeto de eficiência energética associado com geração distribuída

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Elétrica e de Computação, da Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação, da Universidade Federal de Goiás (UFG), como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica e de Computação.

Área de concentração: Engenharia Elétrica.
Linha de pesquisa: Sistemas Eletro-Eletrônicos.

Orientador: Professor Doutor Bernardo Pinheiro de Alvarenga.

Coorientador: Professor Doutor Enes Gonçalves Marra.

GOIÂNIA
2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Faria, Adriano Ferreira de

Análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental de um projeto de eficiência energética associado com geração distribuída [manuscrito] / Adriano Ferreira de Faria. - 2022.

110 f.

Orientador: Prof. Dr. Bernardo Pinheiro de Alvarenga; co orientador Dr. Enes Gonçalves Marra.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação (EMC), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação, Goiânia, 2022.

Bibliografia.

Inclui siglas, abreviaturas, símbolos, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Programa de Eficiência Energética. 2. Geração Distribuída. 3. Sistemas Fotovoltaicos. 4. Sustentabilidade. 5. Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. I. Alvarenga, Bernardo Pinheiro de , orient. II. Título.

CDU 621.3



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

ESCOLA DE ENGENHARIA ELÉTRICA, MECÂNICA E DE COMPUTAÇÃO

ATA DE DEFESA DE TESE

Ata Nº 03 da sessão de Defesa de Tese de **Adriano Ferreira de Faria** que confere o título de Doutor em **Engenharia Elétrica e de Computação**, na área de concentração em **Engenharia Elétrica**.

Aos **vinte e cinco dias do mês de abril do ano de dois mil e vinte e dois**, a partir das **13h30min**, realizou-se a sessão pública de Defesa de Tese intitulada “**Análise de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental de um Projeto de Eficiência Energética Associado com Geração Distribuída**”. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor **Bernardo Pinheiro de Alvarenga (EMC/UFG)**, com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor **Fernando Nunes Belchior (FCT/UFG)**, membro titular externo; Professor Doutor **Ghunter Paulo Viajante (IFG/Itumbiara)**, membro titular externo, Professor Doutor **José Luis Domingos (IFG/Goiânia)**, membro titular externo, e Professor Doutor **Enes Gonçalves Marra (EMC/UFG)**, membro titular interno; **cuja participação ocorreu através de videoconferência**. Durante a arguição os membros da banca **não fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Tese tendo sido o candidato **aprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor Bernardo Pinheiro de Alvarenga, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos vinte e cinco dias do mês de abril do ano de dois mil e vinte e dois.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Bernardo Pinheiro De Alvarenga, Professor do Magistério Superior**, em 25/04/2022, às 16:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **GHUNTER PAULO VIAJANTE, Usuário Externo**, em 25/04/2022, às 16:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOSÉ LUIS DOMINGOS, Usuário Externo**, em 25/04/2022, às 17:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fernando Nunes Belchior, Professor do Magistério Superior**, em 25/04/2022, às 17:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº](#)



Documento assinado eletronicamente por **ADRIANO FERREIRA DE FARIA, Discente**, em 26/04/2022, às 11:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Enes Goncalves Marra, Professor do Magistério Superior**, em 26/04/2022, às 14:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2846181** e o código CRC **EC10E149**.

Referência: Processo nº 23070.015926/2022-95

SEI nº 2846181

Dedico esta tese à minha esposa Fabyola, companheira de jornada e minha maior inspiradora nessa busca pelo conhecimento. Aos meus filhos Daniel e Giovana, que me possibilitado vivenciar um amor incondicional.

À minha mãe Dercília pelo exemplo de amor e autoridade moral.

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar a Deus pelas bênçãos e amparo recebidos e por ter iluminado de maneira especial os meus pensamentos e atitudes.

À minha esposa Fabyola e aos meus filhos Daniel e Giovana, por vivenciarem comigo a experiência mais gratificante e extraordinária da vida; a vivência em família. 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, solidariedade e honestidade.

Ao orientador, Professor Dr. Bernardo Pinheiro de Alvarenga, e ao coorientador Professor Dr. Enes Gonçalves Marra, por abrirem as portas do doutorado e por conduzirem a pesquisa de forma que os melhores resultados fossem alcançados.

A todos os professores membros do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Federal de Goiás, que ministraram as disciplinas, apresentando os conhecimentos necessários para a pesquisa.

Ao Professor Dr. Thyago Carvalho Marques da Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação da Universidade Federal de Goiás, pelo incentivo, motivação e ânimo no cumprimento das etapas mais difíceis dessa jornada acadêmica.

Aos colegas da Pós-Graduação, pela vivência acadêmica e fraterna no decorrer do curso.

Ao secretário da Pós-Graduação, João Antônio dos Reis, por sua prontidão e simpatia no atendimento às solicitações apresentadas no decorrer do curso.

Aos professores Dr. José Luis Domingos e Dr. Ghunter Paulo Viajante do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás, pelo apoio e parceria na coordenação

e execução do Projeto Prioritário de Eficiência Energética e Estratégico de Pesquisa & Desenvolvimento nº 01/2016 – “Eficiência Energética e Minigeração em Instituições Públicas de Educação Superior”. Suas contribuições foram relevantes e significativas na análise do estudo de caso e resultado final desta pesquisa.

Ao Professor Dr. Fernando Belchior da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Goiás pelas sábias contribuições ao trabalho de pesquisa.

Ao amigo Gerley Lemos, companheiro de jornada e exemplo de otimismo e confiança na providência Divina.

Aos amigos e ex-colegas da Companhia Energética de Brasília, Wanderlon Carvalho, Paulo Roberto Vilela, Maria Helena Bastos e Fernando Figueredo. Seus ensinamentos, conselhos e principalmente exemplos, me deram o direcionamento que precisava na carreira profissional e na vida.

Aos amigos da Enel, em especial à Diretoria de Sustentabilidade, por cumprirem com excelência, profissionalismo e paixão os compromissos assumidos com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da ONU.

Aos amigos da área de Sustentabilidade e Eficiência Energética da Enel Distribuição Goiás, João Alexandre, Jessé Lima, Marcos Vinícius, Eduarda Neves, Luiza Meireles, Kelly Carneiro, Licia Borges, Pamella Carolina, Luiza Brito, Talita Nunes, Ilca Alves e Márcia Rocha pelo trabalho em equipe, amizade e carinho.

Por fim, aos colegas do denominado “Grupo do Almoço”, Edneitler Camilo, Gilberto Amaral, Lúcio Marcos, Márcio Leonel, Fabrício Melo, Cleiton Alves, Rodrigo Flávio e Estêvão Luiz (In memoriam), pelos momentos de descontração e amizade.

“Ninguém há que, depois de ter acendido uma candeia, a cubra com um vaso, ou a ponha debaixo da cama; põe-na sobre o candeeiro, a fim de que os que entrem vejam a luz; porque não há nada oculto que não venha a ser revelado e nada escondido que não venha a ser conhecido e trazido à luz”.

(S. Lucas, 8:16 e 17.),

Versículos do livro de Lucas (Bíblia).

Resumo

FARIA, A.F. **Análise de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental de um Projeto de Eficiência Energética Associado com Geração Distribuída**. Goiânia, 2022. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Elétrica e de Computação, Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação, Universidade Federal de Goiás.

A ênfase dada neste trabalho é na elaboração de um projeto de sustentabilidade realizado em 11 (onze) Câmpus do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG), combinando ações de eficiência energética e geração distribuída para otimizar o consumo de energia por meio do *retrofit* do sistema de iluminação, instalação de sistema de geração fotovoltaica, monitoramento energético, e capacitação e treinamento de professores, alunos e funcionários, observadas as diretrizes estabelecidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) no âmbito da Chamada de Projeto Prioritário de Eficiência Energética e Estratégico de Pesquisa & Desenvolvimento nº 01/2016 – “Eficiência Energética e Minigeração em Instituições Públicas de Educação Superior”. No sistema de iluminação, 18.377 lâmpadas ineficientes foram substituídas por lâmpadas com tecnologia mais eficiente, com economia de energia de 867,9 MWh/ano e redução de demanda na ponta de 309,6 kW. O sistema de geração proposto teve como objetivo a instalação de 3.076 módulos fotovoltaicos nos telhados dos prédios selecionados dos Câmpus, totalizando 1 MWp de potência instalada com média anual de geração de energia de 1.736,9 MWh/ano. O investimento total do projeto foi de R\$ 7.335.682,11 e a relação custo-benefício global do projeto foi de 0,68, resultando em uma economia anual de aproximadamente R\$ 1.073.194,08, o que representa 58% de redução nas contas de energia da instituição. O projeto proposto neste trabalho foi considerado técnica e economicamente viável no âmbito do Programa de Eficiência Energética da ANEEL. Também foi 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, resultando em uma emissão evitada de 983,36 tCO₂ eq.

Palavras-chave

Programa de Eficiência Energética, Geração Distribuída, Sistemas Fotovoltaicos, Sustentabilidade, Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

Abstract

FARIA, A.F. **Technical, Economic and Environmental Feasibility Analysis of an Energy Efficiency Project Associated with Distributed Generation**. Goiânia, 2022. PhD. Thesis. Graduate Program in Electrical and Computer Engineering, School of Electrical, Mechanical and Computer Engineering, Federal University of Goiás.

This study focused on developing a sustainability project carried out in 11 Federal Institute of Education, Science, and Technology of Goiás (IFG) campuses, combining energy efficiency and distributed generation actions to optimize energy consumption by through the retrofit of the lighting system, installation of a photovoltaic generation system, energy monitoring, and qualification and training of teachers, students and employees, in compliance with the guidelines established by the National Electric Energy Agency (ANEEL) within the scope of the Public Call for Priority Projects for EE and Strategic R&D nº 01/2016 – “Energy Efficiency and Mini Generation in Public Institutions of Higher Education”. In the lighting system, 18,377 inefficient lamps were replaced by lamps with more efficient technology, with an energy saving of 867.9 MWh/year and a peak demand reduction of 309.6 kW. The proposed generation system aimed to install 3076 PV modules on the rooftops of selected campus buildings, totaling 1 MWp of installed power with an average annual power generation of 1736.9 MWh/year. The total project investment was USD 1,348,768.50 and the global cost–benefit ratio of the project was 0.68, which will result in annual savings of approximately USD 197,321.85. This corresponded to a 58% reduction in energy bills. The project proposed in this work was considered technically and economically viable within the scope of the Brazilian Energy. The estimate of avoided carbon emissions is also carried out, considering the methodologies used by the United Nations Framework Climate Change Convention (UNFCCC) for Clean Development Mechanism (CDM) projects that include energy efficiency activities and grid-connected renewable energy generation, resulting in an avoided emission of 983.36 tCO₂ eq.

Keywords

Energy Efficiency Program, Distributed Generation, Photovoltaic Systems, Sustainability, Clean Development Mechanism.

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Sistema de Compensação de Energia Elétrica.....	16
Figura 2.2 - Número de Conexões por Fonte	17
Figura 2.3 - Potência Instalada por Fonte em kW	17
Figura 2.4 - Número de Conexões por Unidade da Federação - UF	18
Figura 2.5 - Contribuição Setorial para os Ganhos de Eficiência Energética ¹ no Ano 2029	23
Figura 2.6 - Contribuição Setorial para os Ganhos de Eficiência Elétrica Ano 2029	24
Figura 2.7 - Contribuição Setorial para os Ganhos de Eficiência Energética Total	25
Figura 2.8 - Contribuição Setorial para os Ganhos de Eficiência Energética Elétrica ...	25
Figura 2.9 - Setor Industrial: Consumo Específico de Energia	26
Figura 2.10 - Setor Residencial: Consumo Médio por Equipamento	28
Figura 2.11 - Consumo Evitado de Energia Elétrica nas Residências	29
Figura 2.12 - Consumo de Energia Elétrica nas Residências (TWh)	29
Figura 2.13 - Setor de Serviços: Consumo de Energia e Conservação de Energia	30
Figura 2.14 - Setor de Serviços: Consumo de Energia elétrica e Eficiência Elétrica.....	31
Figura 2.15 - Setor Comercial: Consumo de Energia elétrica (kWh/m²).....	32
Figura 2.16 - Setor Agropecuário: Consumo de Energia elétrica (kWh/m²)	32
Figura 2.17 - Projeção da Capacidade Instalada da Micro e Minigeração Distribuída ..	34
Figura 2.18 - Energia e Potência por Fonte em 2029 na Trajetória de Referência.....	35
Figura 3.1 - Módulos do PROPEE.....	40
Figura 3.2 - Etapas dos Projetos do PEE.....	41
Figura 3.3 - Conceito de Adicionalidade	55
Figura 4.1 - Localização dos Câmpus do IFG no Estado de Goiás	65
Figura 4.2 - Tipologia das Lâmpadas dos Câmpus Contemplados do IFG.....	70
Figura 4.3 - Luminária Fluorescente Tubular de 32 W com 2 Lâmpadas Presente nos Câmpus do IFG.....	70
Figura 4.4 - Sistema de Iluminação Eficiente Instalado	78
Figura 4.5 - Lâmpadas e Reatores para Descarte	78
Figura 4.6 – Simulação da Geração Mensal de Energia em MWh – Câmpus Águas Lindas	81
Figura 4.7 - Simulação da Geração Mensal de Energia em MWh – Câmpus Anápolis .	81

Figura 4.8 - Simulação da Geração Mensal de Energia em MWh – Câmpus Aparecida de Goiânia	82
Figura 4.9 - Simulação da Geração Mensal de Energia em MWh – Câmpus Cidade de Goiás	82
Figura 4.10 - Simulação da Geração Mensal de Energia em MWh – Câmpus Formosa	83
Figura 4.11 - Simulação da Geração Mensal de Energia em MWh – Câmpus Inhumas	83
Figura 4.12 - Simulação da Geração Mensal de Energia em MWh – Câmpus Itumbiara	84
Figura 4.13 - Simulação da Geração Mensal de Energia em MWh – Câmpus Jataí	84
Figura 4.14 - Simulação da Geração Mensal de Energia em MWh – Câmpus Luziânia	85
Figura 4.15 - Simulação da Geração Mensal de Energia em MWh – Câmpus Uruaçu..	85
Figura 4.16 - Simulação da Geração Mensal de Energia em MWh – Câmpus Valparaíso	86
Figura 4.17 - Sistema Fotovoltaico – Câmpus Itumbiara	89
Figura 4.18 - Sistema Fotovoltaico – Câmpus Aparecida de Goiânia.....	89
Figura 4.19 - Sistema de Monitoramento Câmpus do IFG	90
Figura 4.20 – Exemplo de Tela do Sistema de Monitoramento Energético	91
Figura 4.21 - Geração Mensal de Energia Medida no Ano de 2021 em MWh Câmpus Águas Lindas	91
Figura 4.22 - Árvore Solar Instalada no Câmpus Itumbiara	93
Figura 4.23 - Árvore Solar com Iluminação LED Instalada no Câmpus Itumbiara	93

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Lista de Projetos Aprovados e Aprovados com Recomendações no Âmbito da Chamada de Projeto Prioritário de EE e Estratégico de P&D nº 01/2016.....	21
Tabela 3.1 - Quadro Geral de Tipologias e Características de Projetos do PEE.....	38
Tabela 3.2 - Coeficientes das Equações para $k = 0,15$	49
Tabela 3.3 - Sistema de Iluminação.....	50
Tabela 3.4 - Lista de Metodologias para Projetos de MDL que Utilizam Energia Renovável.....	56
Tabela 4.1 - Dados de Consumo, Demanda e Gastos Médio de Energia nos Câmpus do IFG em 2016.....	66
Tabela 4.2 - Informações Gerais do Consumidor.....	68
Tabela 4.3 - Câmpus Contemplados.....	68
Tabela 4.4 - Sistema de Iluminação por Tipologia e Potência.....	69
Tabela 4.5 - Equivalência do Sistema de Iluminação.....	71
Tabela 4.6 - Custo da Iluminação Eficiente.....	72
Tabela 4.7 - Custos Diretos e Indiretos do Sistema de Iluminação Proposto.....	73
Tabela 4.8 - Custos Anualizados do Sistema de Iluminação Proposto.....	74
Tabela 4.9 - Parâmetros Utilizados nos Cálculos de <i>CED</i> e <i>CEE</i>	74
Tabela 4.10 - Tarifas de Fornecimento: Resolução Homologatória ANEEL nº 2160 de 18/10/2016.....	75
Tabela 4.11 - Parâmetros para o Cálculo <i>EE</i> e <i>RDP</i> do Sistema de Iluminação Atual ..	75
Tabela 4.12 - Parâmetros para o Cálculo da <i>EE</i> e <i>RDP</i> do Sistema de Iluminação Proposto	76
Tabela 4.13 - Energia Economizada e Demanda Retirada na Ponta do Sistema de Iluminação.....	77
Tabela 4.14 - Análise de Viabilidade Econômica do Sistema de Iluminação.....	77
Tabela 4.15 - Potência Instalada dos Sistemas Fotovoltaicos em kWp em cada Câmpus do IFG	80
Tabela 4.16 - Características do Sistema Fotovoltaico.....	80
Tabela 4.17 - Geração Prevista Anual por Câmpus e Total Geral do Projeto.....	86
Tabela 4.18 - Composição do Custo Total da Instalação do Sistema Fotovoltaico	87
Tabela 4.19 - Custos Anualizados do Sistema Fotovoltaico Proposto	88

Tabela 4.20 - Análise de Viabilidade Econômica do Sistema de Geração Fotovoltaica	88
Tabela 4.21 - Resumo das Principais Informações do Projeto.....	94
Tabela 4.22 - Análise de Viabilidade Econômica Global do Projeto	95
Tabela 4.23 - Dados da MC e MO Referente ao Ano de 2020	96
Tabela 4.24 - Parâmetros e Estimativa do Fator de Emissão do SIN no Cenário 2020..	97
Tabela 4.25 - Resultado das Emissões Evitadas do Sistema Fotovoltaico - Cenário 2020	97
Tabela 4.26 - Emissões de Linha de Base do Sistema de Iluminação - Cenário 2020...	98
Tabela 4.27 - Emissões do Projeto do Sistema de Iluminação - Cenário 2020.....	99
Tabela 4.28 - Redução das Emissões do Sistema de Iluminação - Cenário 2020	99
Tabela 4.29 - Redução Total das Emissões - Cenário 2020.....	99

Lista de Abreviaturas e Símbolos

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
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
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)
BEN	Balanço Energético Nacional
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)
CED	Custo Unitário Evitado de Demanda (R\$/kW)
CEE	Custo Unitário da Energia Economizada (R\$/MWh)
CE_n	Custo de Cada Equipamento (R\$)
CE_T	Custo Total em Equipamentos (R\$)
CH_4	Metano
CO_2	Dióxido de Carbono
CT	Custo Total do Projeto (R\$)
cv	Coeficiente de Variação das Medidas
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CGIEE	Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética
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
e	Precisão Desejada (= 0,1)
$E_{BL,y}$	Consumo de Energia na Linha de Base no Ano y (kWh)
EE	Energia Economizada (MWh/ano)
EE	Eficiência Energética
$EF_{CO_2,ELEC,y}$	Fator de Emissão no Ano y Calculado de Acordo com as Disposições da AMS-I.D (tCO ₂ eq/MWh)
$EF_{CO_2,y}$	Fator de Emissão da Energia elétrica ou da Energia Térmica na Linha de Base
$EP_{PJ,y}$	Consumo de Energia na Atividade do Projeto no Ano y

$EF_{CO_2,grid,y}$	Fator de Emissão de CO ₂ eq da Rede Elétrica no Ano y (tCO ₂ eq/MWh)
$EF_{grid,BM,y}$	Fator de Emissão de CO ₂ eq da Margem de Construção no ano y (tCO ₂ eq/MWh)
$EF_{grid,OM,y}$	Fator de Emissão de CO ₂ eq da Margem de Operação no ano y (tCO ₂ eq/MWh)
$EG_{PJ,y}$	Quantidade Líquida de Energia elétrica Fornecida à Rede Elétrica como Resultado da Implementação da Atividade de Projeto de MDL no Ano y (MWh)
ER_y	Redução das Emissões no Ano y (tCO ₂ eq/ano)
ELETROBRAS	Centrais Elétricas Brasileiras S/A
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENEL GOIÁS	Enel Distribuição Goiás
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ESCO	Empresas de Conservação de Energia
EVO	<i>Efficiency Valuation Organization</i>
EXCEN	Centro de Excelência em Eficiência Energética
FC	Fator de Carga
FCP	Fator de Coincidência na Ponta
$FCPa_i$	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
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
$GWP_{ref,BL}$	Potencial de Aquecimento Global do Refrigerante na Linha de Base (tCO ₂ eq/t refrigerante)

$GWP_{ref,PJ}$	Potencial de Aquecimento Global do Refrigerante que é Usado no Equipamento do Projeto (tCO ₂ eq/t refrigerante)
GWP_{CH_4}	Potencial de Aquecimento Global do Metano Comparado ao Dióxido de Carbono
ha_i	Tempo de Funcionamento do Sistema i Atual (h/ano)
hp_i	Tempo de Funcionamento do Sistema i Proposto (h/ano)
HFCs	Hidrofluorcarbonos
j	Taxa de Juro
IFG	Instituto Federal de Goiás
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
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
LP	Constante de Perda de Demanda no Posto Fora de Ponta, considerando 1kW de Perda de Demanda no Horário de Ponta
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
LE_y	Emissões Decorrentes das Fugas no Ano y (tCO ₂ eq/ano)
LED	Diodo Emissor de Luz

M&V	Medição e Verificação
MAPA	Ministério da Agricultura, Abastecimento e Pecuária
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, da Indústria e do Comércio Exterior
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
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
MMGD	Micro e Minigeração Distribuída
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)
nm	Número de Meses, ao Longo do Ano, de Utilização em Horário de Ponta (≤ 12 meses)
nup	Número de Horas de Utilização em Horário de Ponta (≤ 3 horas)
N_2O	Óxido Nitroso
n_i	Número de Aparelhos do Grupo " i "
o_i	Média Anual das Horas de Operação dos Aparelhos do Grupo de Aparelhos " i " na Linha de Base
ONS	Operador Nacional do Sistema
pa_i	Potência da Lâmpada e Reator no Sistema i Atual (W)
pp_i	Potência da Lâmpada e Reator no Sistema i Proposto (W)

$PE_{ref,y}$	Emissões do Projeto Decorrentes das Fugas Físicas de Refrigerante do Equipamento do Projeto no Ano y (tCO ₂ eq)
PE_y	Emissões do Projeto no Ano y (tCO ₂ eq/ano)
$PE_{ref,y}$	Emissões do Projeto por Fugas Físicas de Refrigerante do Equipamento no Ano y (tCO ₂ eq/y)
p_i	Potência dos Aparelhos do Grupo de Aparelhos “ i ” na Linha de Base
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PDE	Plano Decenal de Energia
PEE	Programa de Eficiência Energética
PETROBRÁS	Petróleo Brasileiro S.A.
PFCs	Perfluorcarbonos
PIMVP	Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance
PNE2030	Plano Nacional de Energia
PNEf	Plano Nacional de Eficiência Energética
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
ProGD	Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica
PROPEE	Procedimento do Programa de Eficiência Energética
PRORET	Procedimentos de Regulação Tarifária
qa_i	Número de Lâmpadas no Sistema i Atual
qp_i	Número de Lâmpadas no Sistema i Proposto
$Q_{ref,PJ,y}$	Quantidade Média Anual de Refrigerante Usado no Ano y para Substituir o Refrigerante que Vazou no Ano y (toneladas/ano)

$Q_{ref,BL}$	Quantidade Média Anual de Refrigerante Usado na Linha de Base para Substituir o Refrigerante que Vazou (toneladas/ano)
RCB	Relação Custo x Benefício
RDP	Redução de Demanda em Horário de Ponta (kW)
RCE	Reduções Certificadas de Emissões
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e Custódia
SF_6	Hexafluoreto de Enxofre
SFCR	Sistema fotovoltaico conectado à rede
SGPEE	Sistema de Gestão do Programa de Eficiência Energética
SPE/MME	Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético
SPG/MME	Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis
SIN	Sistema Interligado Nacional
Tep	Corresponde à Energia que se Pode Obter a partir de uma Tonelada de Petróleo Padrão
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
u	Vida Útil dos Equipamentos (ano)
UNFCCC	<i>United Nations Framework Climate Change Convention</i>
UNIFEI	Universidade Federal de Itajubá
w_{BM}	Ponderação do Fator de Emissão para Margem de Construção Para Novos Empreendimentos de Energias Renováveis
w_{OM}	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

Sumário

CAPÍTULO 1.....	1
Introdução.....	1
CAPÍTULO 2.....	7
Eficiência Energética e Geração Distribuída no Atendimento à Demanda de Energia Elétrica.....	7
2.1 Uma Questão de Bom Senso.....	7
2.2 Eficiência Energética e Geração Distribuída no Planejamento Energético Brasileiro	22
2.3 Considerações Finais do Capítulo.....	35
CAPÍTULO 3.....	36
Metodologia de Análise.....	36
3.1 Os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética - PROPEE	36
3.1.1 Viabilidade Econômica do Projeto	43
3.1.2 Cálculo da Relação Custo-Benefício	45
3.1.3 Cálculo dos Custos.....	46
3.1.4 Cálculo dos Benefícios	46
3.1.5 Cálculo de <i>EE</i> e <i>RDP</i> - Sistema de Iluminação.....	49
3.1.6 Cálculo do Número de Amostras para Medição e Verificação.....	52
3.2 Cálculo das Emissões Evitadas de CO ₂ Equivalente.....	54
3.2.1 Metodologia AMS-I.D Aplicada a Projetos Envolvendo Energias Renováveis Conectadas à Rede	55
3.2.2 Metodologia AMS-II.C Aplicada a Projetos Envolvendo Atividades de Eficiência Energética pelo Lado da Demanda para Tecnologias Específicas Conectadas à Rede	59
3.3 Considerações Finais do Capítulo.....	63
CAPÍTULO 4.....	64
Avaliação da Metodologia e Resultados.....	64
4.1 Estudo de Caso	64
4.1.1 Elaboração do Projeto – Diagnóstico Energético	66
4.1.2 Descrição Geral das Instalações	67
4.1.3 Oportunidade de Eficientização do Uso de Energia Elétrica.....	68
4.1.4 Sistema de Iluminação.....	69
4.1.5 Descarte dos Equipamentos Substituídos.....	77
4.1.6 Geração Distribuída - Sistema Fotovoltaico.....	79

4.1.7	Sistema de Monitoramento dos Sistemas Fotovoltaicos	89
4.1.8	Ações de Sensibilização para o uso Eficiente e Seguro da Energia Elétrica	92
4.1.9	Análise Econômica Global do Projeto	94
4.2	Análise das Emissões Evitadas de CO ₂ eq	95
4.2.1	Geração Fotovoltaica Conectada à Rede - Metodologia AMS-I.D.....	96
4.2.2	Ações de Eficiência Energética em Sistema de Iluminação - Metodologia AMS-II.C	97
4.2.3	Redução das Emissões do Projeto	99
4.3	Considerações Finais do Capítulo.....	100
CAPÍTULO 5.....		101
Conclusão e Considerações Finais		101
Trabalhos Publicados		103
Recomendações para Trabalhos Futuros		104
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		105

Capítulo 1

Introdução

Já não é de agora que a questão energética tem ocupado um espaço de destaque nas discussões sobre meio ambiente e em uma visão mais ampliada na sustentabilidade. Atender às demandas de energia requer a adoção de estratégias de curto, médio e longo prazo. Essas estratégias devem ser devidamente planejadas para democratizar o acesso à energia, a custos sociais razoáveis e na sua forma mais conveniente, respeitando os princípios do desenvolvimento sustentável (E.P. Silva, 2005).

A humanidade precisa mudar sua interação com o planeta visto que o atual ritmo de consumo é insustentável e torna imprescindível a implementação de alternativas que permitam o desenvolvimento com equilíbrio garantindo o atendimento das necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades de energia (RESEARCHER, J. et al, 2017).

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.

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 a demanda de energia.

O setor elétrico brasileiro, fortemente dependente das hidrelétricas (58%) e das térmicas (24,3%), conforme dados do Banco de Informações de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL disponibilizados em setembro de 2021 (ANEEL, 2021), cujo cenário atual de baixa dos reservatórios e consequentemente acionamento sistemático das usinas termelétricas movidas a óleo combustível, carvão mineral 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.

Para o atendimento da demanda de energia a rede elétrica é estendida até onde a relação custo-benefício justifique sua instalação. Os responsáveis pela provisão do serviço ficam à espera de atingir um nível de consumo que justifique os grandes investimentos. Além disso, limitantes de caráter geográfico e ambiental (ilhas, florestas, montanhas, áreas de conservação ambiental, reservas extrativistas, etc.) impossibilitam a extensão da rede elétrica em alguns casos, tornando ainda menos atrativo esse perfil de atendimento. A geração local utilizando tecnologias alternativas, como pequenas quedas, a eólica, biomassa ou solar-fotovoltaica, constituem opções técnicas factíveis que carregam os mesmos problemas de viabilidade econômica e muitas vezes de gestão futura (Brasil, IICA, 2011).

Recentes incrementos nos custos da energia elétrica e a descontinuidade no serviço prestado pelas concessionárias são fatores limitantes de desenvolvimento, devido a entraves na geração e distribuição deste insumo, resultando em grandes perdas.

Segundo (FARIA, 2016) 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.

De acordo com Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) publicado pelo Ministério de Minas e Energia - MME, EE “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).

Já 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, sendo 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.

Nesse sentido, qualquer ação que vise a implantação de um sistema de uso eficiente de energia, seja em instalações residenciais, comerciais, industriais ou públicas, deve necessariamente envolver a elaboração de um projeto de EE. Esse tipo de projeto consiste em um conjunto de procedimentos, estudos e atitudes que visam reduzir ou eliminar o desperdício no consumo de energia, mantendo ou mesmo aumentando a competitividade do mercado consumidor.

Dessa forma, a EE proporciona múltiplos benefícios para segurança energética, modalidade tarifária, postergação de investimentos em geração de energia elétrica, maior competitividade e produtividade, geração de empregos, mais bem-estar para a população, menores gastos com saúde pública e redução dos impactos ambientais (PHILIPPI JR, 2016).

No Brasil, diversas iniciativas de eficiência energética vêm sendo implementadas há mais de 30 anos. Destacam-se o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET) e em destaque o Programa de Eficiência Energética (PEE), criado a partir da Lei nº 9.991 de 24 de julho de 2000 que regulamenta a obrigatoriedade de investimentos de empresas concessionárias e permissionárias distribuidoras de energia elétrica no Brasil em Eficiência Energética. Este investimento foi definido em 0,5% da receita operacional líquida de tais empresas (BRASIL, 2000).

Vale destacar, que o país tem caminhado na direção de incentivar a expansão 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.

De acordo com o Centro de Excelência em Eficiência Energética (EXCEN) da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), os avanços em Eficiência Energética no país surgiram como resposta a problemas conjunturais, o que impossibilita um melhor planejamento. Passadas as crises, esses programas são relegados ou até mesmos esquecidos. 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).

Considerando o exposto, este trabalho visa avaliar, através de um estudo de caso aplicado em 11 (onze) Câmpus do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG), se ações integradas e sinérgicas entre EE e GD são inovadoras e técnica e economicamente viáveis.

A metodologia de análise a ser desenvolvida poderá ser utilizada como ferramenta de apoio a tomada de decisão para outros consumidores de energia elétrica 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 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, através da elaboração de um projeto de sustentabilidade realizado em 11 (onze) Câmpus do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG), combinando ações de eficiência energética e geração distribuída para otimizar o consumo de energia por meio do *retrofit* do sistema de iluminação, instalação de sistema de geração fotovoltaica, monitoramento energético, e capacitação e treinamento de professores, alunos e funcionários. Todas essas ações com foco no uso eficiente da energia elétrica, observadas as diretrizes estabelecidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) no âmbito da Chamada de Projeto Prioritário de Eficiência Energética e Estratégico de Pesquisa & Desenvolvimento nº 01/2016 – “Eficiência Energética e Minigeração em

Instituições Públicas de Educação Superior”. Já os objetivos específicos consistem em:

- elaborar um projeto de Eficiência Energética com Adição de Geração Proveniente de Fonte Incentivada de Energia Elétrica (geração fotovoltaica) em 11 (onze) Câmpus do IFG, observadas as diretrizes estabelecidas pela ANEEL para a sua elaboração, conforme Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE);
- quantificar a Economia de Energia (EE) em MWh/ano e a redução de demanda na ponta (RDP) em kW;
- quantificar o Benefício Anualizado Total (BA_T) em R\$/ano; Custo Anualizado Total (CA_T) em R\$/ano e Relação Custo-Benefício (RCB);
- quantificar as emissões evitadas de CO₂ equivalente com o projeto de eficiência energética e geração distribuída, 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.

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

- 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;
- 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;
- O Capítulo 3 descreve as metodologias utilizadas para se atingir os objetivos do trabalho;
- 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;

- 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;
- Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas nesta tese.

Capítulo 2

Eficiência Energética e Geração Distribuída no Atendimento à Demanda de Energia Elétrica

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.

2.1 Uma Questão de Bom Senso

A dependência da população pela energia elétrica é fortemente evidenciada pelo modo e estilo de vida atual. Fica difícil de imaginar uma ruptura desse modelo. Como disse Nicola Tesla *“O dia em que descobrirmos exatamente o que é a energia elétrica, isso irá marcar um evento provavelmente maior, mais importante que qualquer outro na História da Humanidade. Então, será apenas uma questão de tempo para que o Homem consiga ligar suas máquinas diretamente à própria natureza. Imagine o que está por vir...”*.

De fato, o visionário Tesla previu o quanto a energia elétrica teria papel de destaque na vida cotidiana das pessoas. Todavia, ainda se faz necessário o uso eficiente e racional da energia elétrica, uma vez que 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, eólica, hidráulica, cana de açúcar e madeira) quanto não renovável (petróleo, gás natural, carvão mineral e nuclear).

As Ações de Eficiência Energética (AEE) 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 (CEPEL/2015).

Em 1984, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (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”, (Brasil, 2001). 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.

Já em 1985, um ano depois da criação do PBE, nascia o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), coordenado pelo MME e executado 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 (ELETROBRAS/PROCEL 2014).

Em 17 de outubro de 2001 entrou em vigência a Lei nº 10.295, que 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). No mesmo ano, instituído por meio do Decreto Nº 4.059/2001, foi criado o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE) que 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.

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.

Em 2000 foi determinada a implementação dos Programas de Eficiência Energética das concessionárias de energia, 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). Por essa lei 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.

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). Todavia, em 2016 a destinação de recursos de eficiência energética para consumidores de baixa renda deixou de ser obrigatória com a Lei nº 13.280, de 3 de maio de 2016 (BRASIL, 2016). O programa atua em duas frentes:

- troca e melhoria de equipamentos e instalações; e
- mudanças de hábitos de consumo.

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).

Cinco anos depois foi publicada no Diário Oficial em 05/11/2018 a Resolução Normativa nº 830/2018, que altera os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética - PROPEE, aprovado pela Resolução Normativa nº 556, de 02 de julho de 2013, e aprova a revisão do Submódulo 5.6: Pesquisa e Desenvolvimento - P&D e Eficiência Energética - PEE dos Procedimentos de Regulação Tarifária - PRORET, aprovado pela Resolução Normativa nº 737, de 27 de setembro de 2016 (ANEEL/PROPEE, 2018). As Resoluções Normativas nº

830/2018; nº 892/2020 e nº 920/2021, trouxeram os seguintes aprimoramentos:

- excluir do saldo da conta contábil de eficiência energética os rendimentos provenientes dos contratos de desempenho, dos recursos provisionados para o PROCEL cujo recolhimento ainda não foi autorizado pela ANEEL e os lançamentos relacionados à execução dos projetos em curso para avaliar o cumprimento do saldo da conta do PEE;
- descarte de materiais e equipamentos: Para os projetos de eficiência energética executados no âmbito do PEE, a distribuidora deverá comprovar o descarte dos equipamentos ineficientes trocados por meio de contratos/acordos firmados diretamente com empresas especializadas em descarte ou com os responsáveis pela recepção dos equipamentos substituídos;
- condições para aplicação do recurso do PEE:
 - os projetos devem ser realizados na área de concessão ou permissão da distribuidora local com mercado superior ou igual a 500 GWh/ano; e
 - excepcionalmente, a depender de autorização expressa da ANEEL, será permitido o uso de recursos de PEE em projetos e ações fora da área de concessão;
- Chamada Pública: Os resultados da Chamada Pública deverão ser divulgados na página da internet das distribuidoras;
- Contratos de Desempenho:
 - só poderão ser aplicados recursos do PEE a fundo perdido se o projeto estiver classificado nas tipologias: Poder Público, Serviços Públicos (desde que não haja participação de capital privado), Residencial, Residencial Baixa Renda, Educacionais, Iluminação Pública e/ou Gestão Energética Municipal;
 - o pagamento da parte reembolsável aplicada pelo PEE deverá ser feito sem cobrança de juros, exigindo-se apenas correção monetária;
 - o consumidor reembolsará somente a parte do financiamento relativa à

implantação;

- os itens: custos administrativos e operacionais para viabilização do contrato; custos de pré-diagnóstico e diagnóstico; custos com *Marketing* e divulgação; custos de mão de obra própria da distribuidora; e auditoria não deverão compor a parte reembolsável do Contrato de Desempenho; e
 - para as micro e pequenas empresas, exige-se a recuperação de, no mínimo, 80% da parte do financiamento relativa à implantação.
- Projetos de Geração com Fontes Incentivadas: para projetos com fontes incentivadas, os benefícios devem ser valorados considerando o preço final da energia e da demanda paga pelo consumidor, incluindo impostos e excluindo iluminação pública. A bandeira tarifária considerada será sempre a verde.
 - Equipamentos Eficientes: A revisão do regulamento permitirá que projetos que ofereçam o bônus sejam desenvolvidos para qualquer tipo de equipamento energeticamente mais eficiente (com Selo PROCEL e/ou etiqueta A do Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE).

Enquanto política pública, 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).

Quanto à Geração Distribuída (GD), ela se apresenta como uma possível, e bem próxima, alternativa ao atual modelo de planejamento da expansão do sistema energético brasileiro, podendo ser uma opção de uso mais eficiente de recursos energéticos, econômico-

financeiros e ambientais.

A GD é caracterizada pela instalação de geradores de pequeno porte, normalmente a partir de fontes renováveis ou mesmo utilizando combustíveis fósseis, localizados próximos aos centros de consumo de energia elétrica (ANEEL, 2016). De forma geral, a presença de pequenos geradores próximos às cargas pode proporcionar diversos benefícios para o sistema elétrico, dentre os quais se destacam:

- postergação de investimentos em expansão nos sistemas de distribuição e transmissão;
- baixo impacto ambiental;
- melhoria do nível de tensão da rede no período de maior consumo; e
- diversificação da matriz energética.

Por outro lado, há algumas desvantagens associadas ao aumento da quantidade de pequenos geradores espalhados na rede de distribuição, tais como:

- aumento da complexidade de operação da rede;
- dificuldade na cobrança pelo uso do sistema elétrico; e
- eventual incidência de tributos e a necessidade de alteração dos procedimentos das distribuidoras para operar, controlar e proteger suas redes.

Desde 17 de abril de 2012, quando a ANEEL criou o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade.

No exercício das suas competências legais, a Aneel promoveu a Consulta Pública nº 15/2010 (de 10/09 a 9/11/2010) e a Audiência Pública nº 42/2011 (de 11/08 a 14/10/2011), as quais foram instauradas com o objetivo de debater os dispositivos legais que tratam da conexão de geração distribuída de pequeno porte na rede de distribuição. Como resultado desse processo de consulta e participação pública na regulamentação do setor elétrico, a Resolução Normativa - REN nº 482, de 17/04/2012, estabeleceu as condições gerais para o acesso de micro e

minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, e criou o sistema de compensação de energia elétrica correspondente. O acompanhamento da implantação da REN nº 482/2012, realizado pela ANEEL nos últimos anos, permitiu identificar diversos pontos da regulamentação que necessitavam de aprimoramento. Dessa forma, com o objetivo de reduzir os custos e o tempo para a conexão da micro e minigeração, compatibilizar o Sistema de Compensação de Energia Elétrica com as Condições Gerais de Fornecimento “Resolução Normativa nº 414/2010” (ANEEL, 2010), aumentar o público alvo e melhorar as informações na fatura, a ANEEL realizou a Audiência Pública nº 26/2015 (de 7/5/2015 a 22/6/2015) que culminou com a publicação da Resolução Normativa - REN nº 687/2015, a qual revisou a REN nº 482/2012 e a seção 3.7 do Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST (ANEEL, 2015).

Conforme disposto nesses regulamentos, a micro e a minigeração distribuída consistem na produção de energia elétrica a partir de pequenas centrais geradoras que utilizam fontes renováveis de energia elétrica ou cogeração qualificada, conectadas à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. Para efeitos de diferenciação, a microgeração distribuída refere-se a uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 quilowatts (kW), enquanto a minigeração distribuída diz respeito às centrais geradoras com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 megawatt (MW), para a fonte hídrica, ou 5 MW para as demais fontes. As condições do regulamento são válidas para geradores que utilizem fontes incentivadas de energia: hídrica, solar, biomassa, eólica e cogeração qualificada (ANEEL, 2012b).

Uma importante inovação trazida pela Resolução Normativa nº 482/2012 é o Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Esse sistema permite que a energia excedente gerada pela unidade consumidora com micro ou minigeração seja injetada na rede da distribuidora, a qual funcionará como uma bateria, armazenando esse excedente. Quando a energia injetada na rede for maior que a consumida, o consumidor receberá um crédito em energia (kWh) a ser utilizado para abater o consumo em outro posto tarifário (para consumidores com tarifa horária) ou na fatura dos meses subsequentes. Os créditos de energia gerados continuam válidos por 60 meses.

Há ainda a possibilidade de o consumidor utilizar esses créditos em outras unidades previamente cadastradas dentro da mesma área de concessão e caracterizada como autoconsumo remoto, geração compartilhada ou integrante de empreendimentos de múltiplas

unidades consumidoras (condomínios), em local diferente do ponto de consumo.

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:

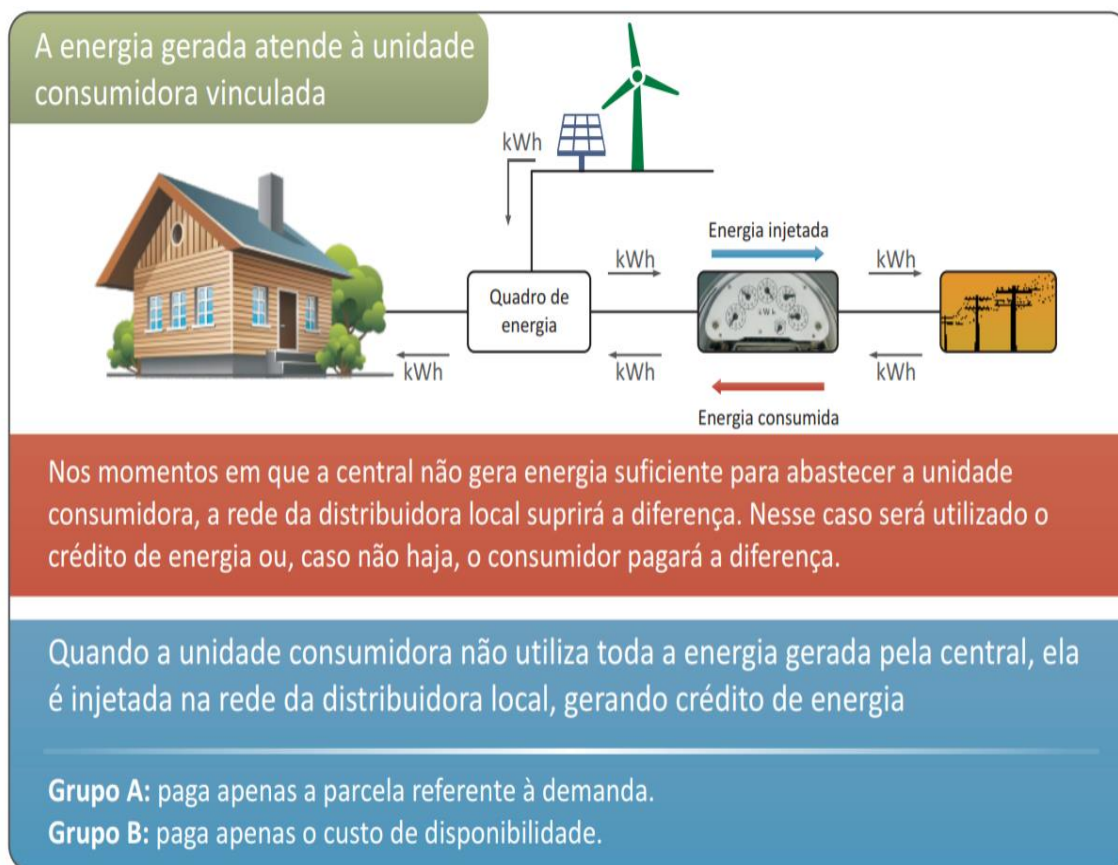
- Geração compartilhada: caracterizada pela reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica, que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada;
- Autoconsumo remoto: caracterizado por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica, incluídas matriz e filial, ou Pessoa Física que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, dentro da mesma área de concessão ou permissão, nas quais a energia excedente será compensada;
- Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras (condomínios): caracterizado 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, com microgeração ou minigeração distribuída, 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.

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.

A Figura 2.1 ilustra o funcionamento do Sistema de Compensação de Energia, conforme

o aperfeiçoamento da REN 482/2012.

Figura 2.1 - Sistema de Compensação de Energia Elétrica

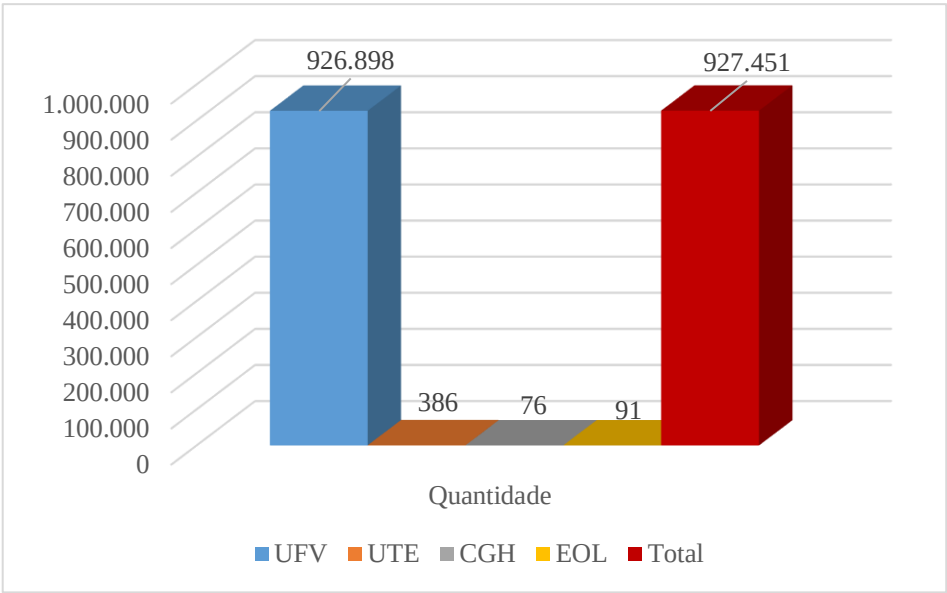


Fonte: ANEEL, 2016.

De acordo com os dados do Banco de Informações de Geração da ANEEL (ANEEL, 2022), a Geração Distribuída superou em março de 2022 a marca de 900.000 adesões de consumidores. Ao todo, são 927.451 conexões no país que representam potência instalada de 10,16 GW. A fonte mais utilizada pelos consumidores é a solar com 926.898 adesões, conforme apresentada na Figura 2.2. A potência instalada desses geradores em quilowatts (kW) pode ser verificada na Figura 2.3. Atualmente, o estado que possui mais micro e minigeradores é São Paulo com 149.188 conexões, seguido de Minas Gerais com 148.994 e Rio Grande do Sul com

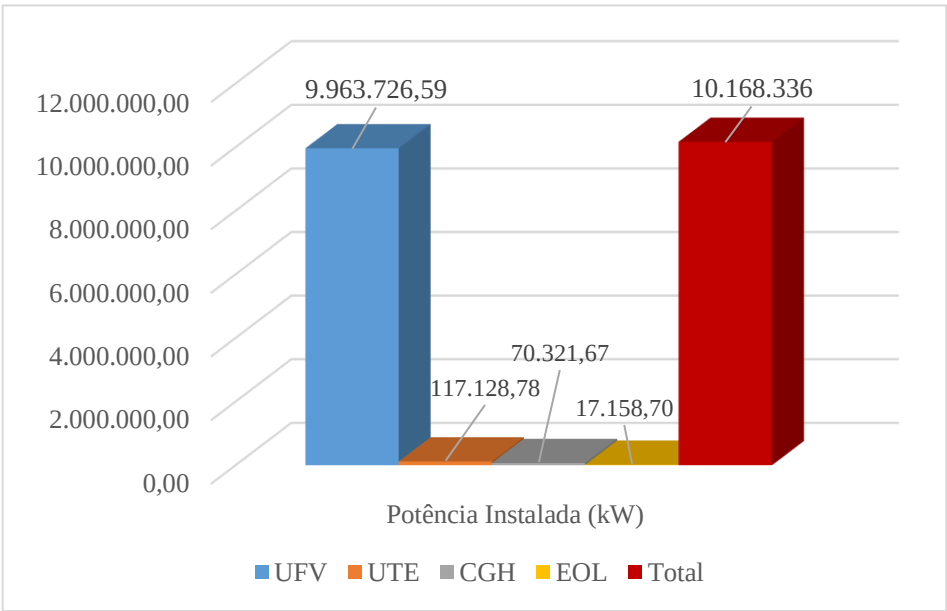
123.132. Em Goiás já são 37.680 conexões, conforme pode ser constatado na Figura 2.4.

Figura 2.2 - Número de Conexões por Fonte

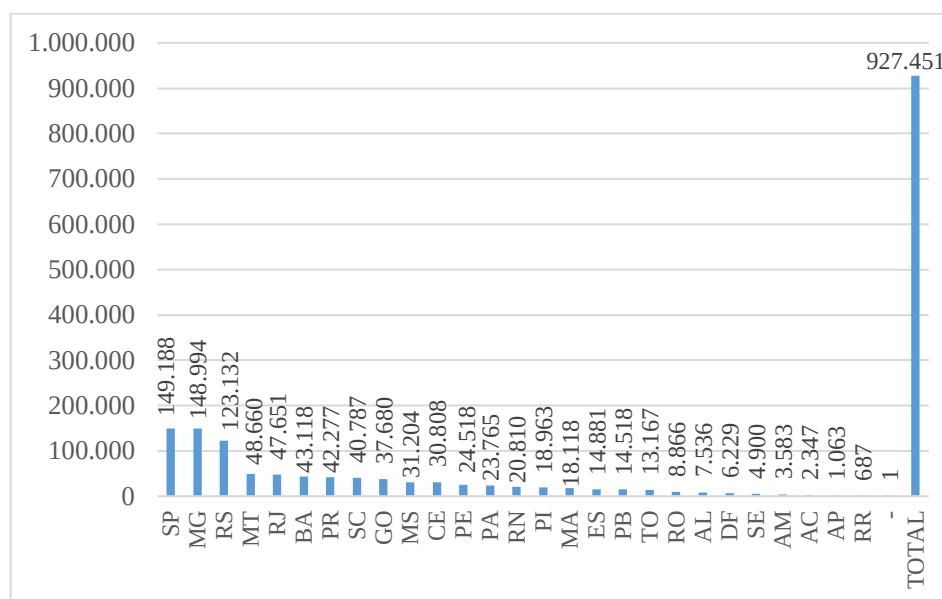


Fonte: ANEEL, 2022.

Figura 2.3 - Potência Instalada por Fonte em kW



Fonte: ANEEL, 2022.

Figura 2.4 - Número de Conexões por Unidade da Federação - UF

Fonte: ANEEL, 2022.

O projeto de lei 5.829 de 2019, sancionado no início de 2022 na Lei 14.300/22, institui o Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída. A lei regulamenta as modalidades de geração, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS). Ela já vinha ganhando o apoio das empresas atuantes no setor de Geração Distribuída por conferir segurança jurídica às atividades até então regulamentadas por resoluções normativas da Aneel.

O Marco Legal determina que consumidores que participam da Geração Distribuída de energia paguem pela Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (Tusd) do “fio B”, que remunera as distribuidoras. Ou seja, os créditos gerados pelos sistemas de GD deixam de ser abatidos sobre essa parcela da conta de energia. O texto isenta, por outro lado, os produtores da Geração Distribuída do pagamento da taxa de disponibilidade. A taxa de disponibilidade, cobrada pela concessionária de energia, é um valor na conta de energia referente à disponibilidade da rede elétrica para o consumidor utilizá-la.

O texto garante a permanência sob as regras atuais até 31 de dezembro de 2045 aos consumidores que já possuem sistema de Geração Distribuída de energia até a publicação da lei. O mesmo vale para quem solicitar a entrada no sistema de Geração Distribuída até doze meses após a publicação da Lei 14.300/22.

Para os novos consumidores, o Marco Legal de Geração Distribuída propõe uma

transição de seis anos. A proposta é que eles comecem a pagar, a partir de 2023, pelo equivalente a 15% dos custos associados às componentes tarifárias relativas à remuneração dos ativos e dos serviços de distribuição e ao custo de operação e manutenção do serviço de distribuição. O percentual vai subindo gradativamente: 15% a partir de 2023; 30% a partir de 2024; 45% a partir de 2025; 60% a partir de 2026; 75% a partir de 2027; e 90% a partir de 2028.

Para as unidades de mini Geração Distribuída acima de 500 kW na modalidade autoconsumo remoto ou na modalidade geração compartilhada, haverá incidência, até 2028, de 100% do custo de distribuição; 40% do custo de transmissão; 100% dos encargos de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética e taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica.

A partir de 2029, essas unidades também estarão sujeitas às regras tarifárias estabelecidas pela Aneel. A agência já vinha conduzindo uma discussão interna sobre a revisão da regulação, quando o tema se tornou objeto de projeto de lei, em 2019. A Aneel ainda deve regular as regras do sistema de compensação de créditos de Geração Distribuída de energia, com determinações do próprio projeto de lei 5.829 de 2019.

Outro fato relevante da política energética nacional quanto a Geração Distribuída foi o lançamento no dia 15 de dezembro de 2015 do Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD) pelo Ministério de Minas e Energia (MME) visando 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). 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.

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:

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

Ainda no âmbito do ProGD, os Ministérios de Minas e Energia e da Educação propuseram projeto específico de instalação de sistemas de geração distribuída baseados em painéis fotovoltaicos associados a ações de eficiência energética para universidades, institutos federais e escolas técnicas federais, com recursos do Programa de Eficiência Energética e Pesquisa & Desenvolvimento das Distribuidoras de energia, conforme regulamentação da Aneel. Dessa forma, por meio da Nota Técnica nº 0053/2016-SPE/ANEEL, de 11/10/2016, registrada sob o número 48547.001005/2016-00, a Superintendência Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética propôs a publicação de Aviso para a Chamada nº 001/2016 do Projeto Prioritário de EE e Estratégico de P&D intitulado “Eficiência Energética e Minigeração em Instituições Públicas de Educação Superior”.

O Aviso que deu publicidade à Chamada foi publicado no Diário Oficial da União, nº 219, Seção 3, página 85, de 16/11/2016. Na ocasião, houve demonstração de interesse na Chamada por parte de 70 (setenta) empresas reguladas. O Despacho ANEEL nº 1.758, de 20 de junho de 2017 apresenta a lista de projetos aprovados e aprovados com recomendações,

conforme ilustrado na

Tabela 2.1 que foram submetidos no âmbito da Chamada de Projeto Prioritário de EE e Estratégico de P&D nº 01/2016.

Tabela 2.1 - Lista de Projetos Aprovados e Aprovados com Recomendações no Âmbito da Chamada de Projeto Prioritário de EE e Estratégico de P&D nº 01/2016.

Empresa	Entidade	Estado	Resultado
ENEL Ceará	UNILAB	Ceará	Aprovado
ENEL Goiás	IFG	Goiás	
RGE Sul	UFSM	Rio Grande do Sul	
CEAL	UFAL	Alagoas	
CEPISA	UFPI	Piauí	
CPFL Pirapitinga	IFSP Boituva	São Paulo	
ELETROACRE	UFAC	Acre	
ENEL Rio	UFF	Rio de Janeiro	
ENEL Goiás	UFG	Goiás	
DME D	UNIFAL	Minas Gerais	
DME D	IF MG Sul	Minas Gerais	
CPFL Paulista	UNICAMP	São Paulo	Aprovado com Recomendação
AES Eletropaulo	IFSP—São Paulo	São Paulo	
COPEL D	UEM	Paraná	
COPEL D	UFPR	Paraná	
COPEL D	UF Londrina	Paraná	
AES Eletropaulo	HU—USP	São Paulo	
AES Eletropaulo	POLITÉCNICA	São Paulo	
CERON	UNIR	Rondônia	
COPEL D	UTFPR Pato	Paraná	
COPEL D	UTFPR Curitiba	Paraná	
AES Eletropaulo	UFABC	São Paulo	

O objetivo dessa iniciativa foi receber propostas de projetos de EE e P&D de forma

conjunta com vistas à:

- troca de equipamentos energeticamente ineficientes por outros mais eficientes;
- mudança de hábito de consumo de professores, alunos e funcionários das Instituições Públicas de Educação Superior;
- implantação de minigeração de energia elétrica nessas instituições;
- redução de suas contas de energia elétrica;
- implementação de nova forma de gestão energética e análise de impacto da inserção dessa geração na rede da concessionária, por meio de ações de pesquisa, desenvolvimento e inovação;
- capacitação técnica e acadêmica e melhoria de infraestrutura laboratorial.

2.2 Eficiência Energética e Geração Distribuída no Planejamento Energético Brasileiro

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) sob as diretrizes e o apoio da equipe da Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético (SPE/MME) e da Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis (SPG/MME) publicou em 2020 o Plano Decenal de Expansão de Energia 2029 (PDE), cujo objetivo primordial é indicar, e não propriamente determinar, as perspectivas, sob a ótica do Governo, da expansão do setor de energia no horizonte de dez anos (2020 – 2029), dentro de uma visão integrada para os diversos energéticos (MME/EPE, 2020).

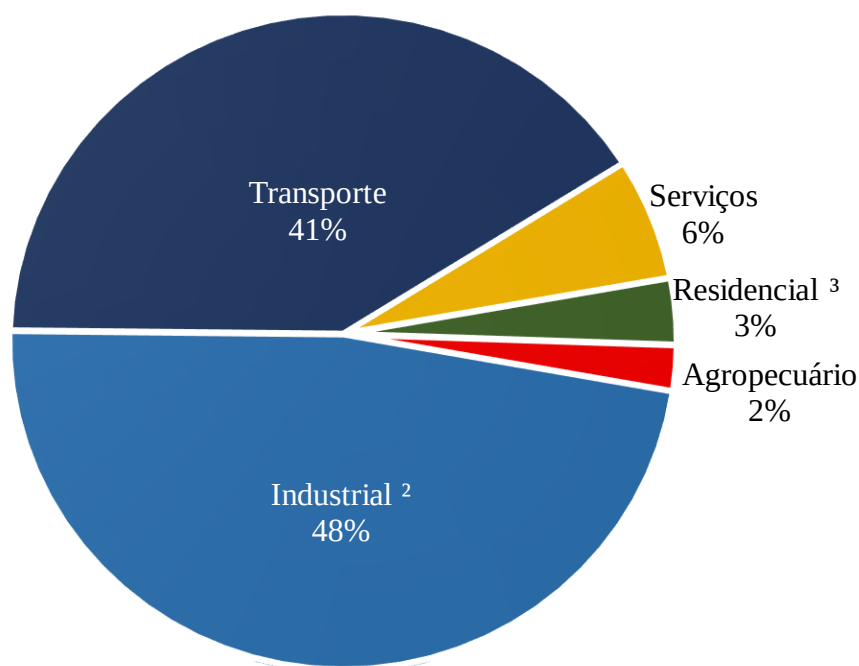
Os estudos do plano subsidiam decisões de política energética e fornecem ao mercado informações que permitem a análise do desenvolvimento do sistema elétrico e das condições de adequabilidade de suprimento sob diferentes cenários futuros possíveis.

No capítulo Eficiência Energética e Recursos Energéticos Distribuídos do PDE 2029 são apresentados os resultados da energia conservada que indicam a diferença entre a projeção do consumo final de energia, incorporando ganhos de eficiência energética, e o consumo de energia que ocorreria caso fossem mantidos os padrões tecnológicos observados no ano base.

Em relação à Micro e a Minigeração Distribuída, ainda que se considerem algumas alterações na regulamentação, como a aplicação de tarifa binômia, a sua expansão será significativa no horizonte até 2029.

Nos estudos do PDE 2029, estima-se que os ganhos de eficiência energética possam contribuir no atendimento de cerca de 21 milhões de tep em 2029, cerca de 8% do consumo final energético brasileiro observado no ano de 2018. Dentre os setores de consumo final, a maior contribuição deve ser observada na indústria e transportes, como pode ser verificado na Figura 2.5. No que tange aos ganhos de eficiência no consumo de energia elétrica, estima-se que atinjam cerca de 40 TWh em 2029 (aproximadamente 5% do consumo total previsto de energia elétrica nesse ano), correspondente à energia elétrica gerada por uma usina hidrelétrica com potência instalada de cerca de 9,5 GW, equivalente à potência da parte brasileira da Usina de Itaipu ou da UHE Xingó, como pode ser verificado na Figura 2.6.

Figura 2.5 - Contribuição Setorial para os Ganhos de Eficiência Energética¹ no Ano 2029



(1) Corresponde ao consumo total de energia elétrica em todos os setores somado ao consumo de combustíveis nos setores industrial, energético, agropecuário, comercial, público e de transportes. Não inclui, portanto, o consumo de combustíveis no setor residencial.

(2) Inclui o setor energético.

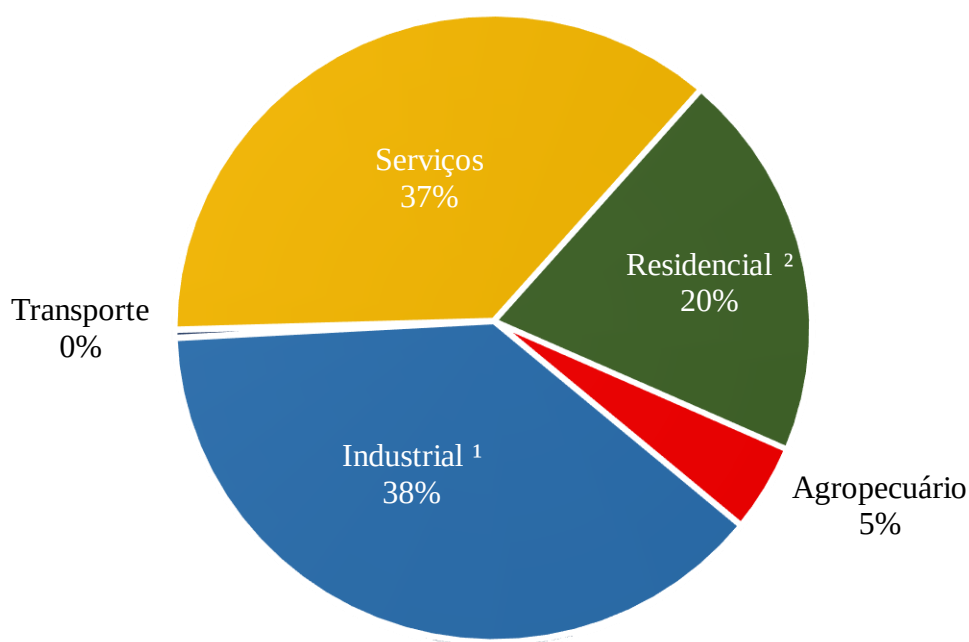
(3) Compreende consumo de energia nos domicílios urbanos e rurais.

Fonte: MME/EPE, 2020.

Ao se avaliarem a contribuição dos ganhos de eficiência energética dentro dos setores de consumo final, por sua vez, totalizam-se ganhos de eficiência energética (energia elétrica e

combustíveis) da ordem de 6% em 2029, sendo os maiores percentuais observados nos setores industrial, transportes e comércio/serviços, como apresentado na Figura 2.7. Sob o ponto de vista da eficiência energética no consumo de energia elétrica, por sua vez, destaca-se o setor de comércio e serviços, conforme Figura 2.8.

Figura 2.6 - Contribuição Setorial para os Ganhos de Eficiência Elétrica Ano 2029



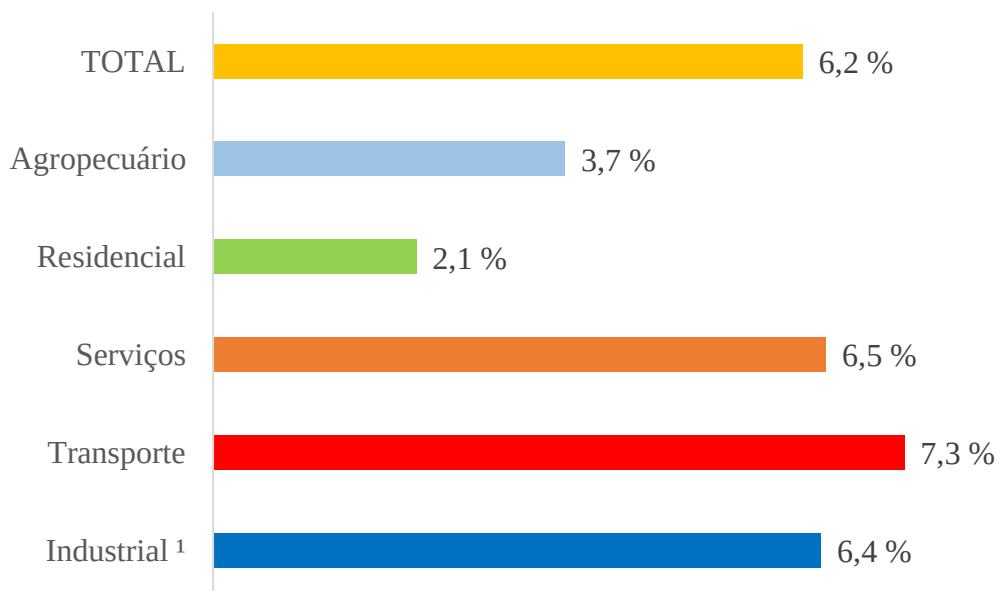
(1) Inclui o setor energético.

Fonte: MME/EPE, 2020.

No horizonte do PDE 2029, estima-se que os ganhos de eficiência energética na indústria brasileira permitam reduzir cerca de 6% de seu consumo energético total em 2029, o que equivale a evitar consumo de aproximadamente 10 milhões de tep, comparável ao consumo total de gás natural para uso térmico observado na indústria em 2018, que foi de 9,2 milhões de tep. Em termos de consumo de energia elétrica, a estimativa é que os ganhos de eficiência energética contribuam na redução de 4,2% em 2029, ou cerca de 15 TWh, volume pouco acima

do consumo observado na indústria de mineração e pelotização em 2018.

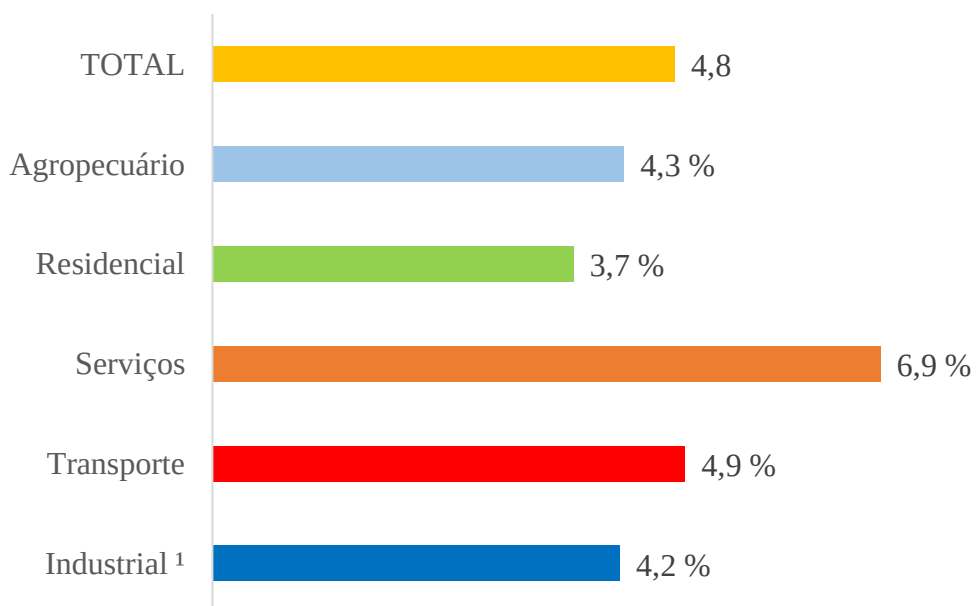
Figura 2.7 - Contribuição Setorial para os Ganhos de Eficiência Energética Total



(1) Inclui a autoprodução.

Fonte: MME/EPE, 2020.

Figura 2.8 - Contribuição Setorial para os Ganhos de Eficiência Energética Elétrica

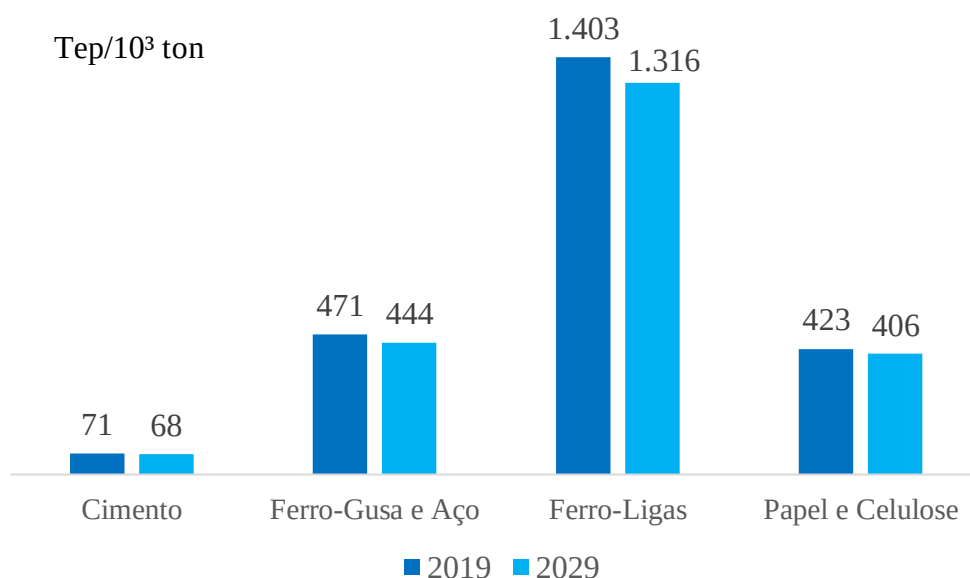


(1) Inclui a autoprodução.

Fonte: MME/EPE, 2020.

Esta contribuição da eficiência energética inclui uma combinação entre mecanismos de políticas existentes incidentes sobre a indústria brasileira, como também ações autônomas das indústrias, ligadas a aspectos como *retrofit* de instalações, novas unidades industriais mais modernas e eficientes energeticamente (*greenfield*) e ações de gestão de uso de energia, entre outros. Na Figura 2.9 é ilustrada a evolução de consumos específicos de segmentos industriais selecionados, com destaque para o segmento de ferro-ligas, que apresenta redução de 12% deste indicador.

Figura 2.9 - Setor Industrial: Consumo Específico de Energia



Fonte: MME/EPE, 2020.

As atividades industriais (extrativa, transformação e centros de transformação de energia, como refinarias, por exemplo) foram responsáveis por quase 43% do consumo total de energia em 2018, segundo dados do Balanço Energético Nacional. Em pesquisa de campo recente financiada com recursos do projeto META apoiado pelo Banco Mundial, sobre potencial de eficiência energética em segmentos industriais energointensivos realizada entre os anos de 2017 e 2018, apurou-se a existência de um potencial da ordem de 5 milhões de tep, fortemente concentrado em aplicações para uso térmico.

No campo das políticas/mecanismos existentes com vistas ao aproveitamento desses

potenciais de eficiência energética na indústria, se podem destacar como principais:

- índices mínimos de motores e transformadores de distribuição;
- etiquetagem de motores, bombas e transformadores de distribuição;
- Programa de Eficiência Energética da ANEEL; e
- PROCEL Indústria.

No que tange ao PEE/ANEEL, desde 2015 foram investidos R\$ 7,6 milhões em 6 projetos na indústria, estimando-se ganhos de eficiência da ordem de 133 GWh/ano (ANEEL, 2019).

No âmbito do PROCEL Indústria, por sua vez, por meio da nova governança instituída pela Lei nº13.280, de 2016, têm-se ampliado a atuação do programa junto ao setor industrial e às micro e pequenas empresas, por meio do Plano de Aplicação de Recursos (PAR), o qual tem viabilizado o apoio a importantes programas. Como exemplos, pode-se mencionar o Programa Aliança, parceria com a CNI e o SENAI/DN, que já obteve, em 2018, economia de 42 GWh/ano com ações de eficiência energética implementadas em quatro indústrias energointensivas, bem como a ampliação do Programa Brasil Mais Produtivo, coordenado pelo Ministério da Economia, criando a componente de Eficiência Energética, a qual deve promover o atendimento a 300 pequenas e médias empresas industriais para a adoção de práticas de eficiência energética em seus processos produtivos. Como novas medidas, planeja-se investir em projetos e programas relacionados a incentivar a adoção de Sistemas de Gestão de Energia (SGE) pelo setor industrial, observados os princípios da Norma ISO 50001 – Sistema de Gestão de Energia.

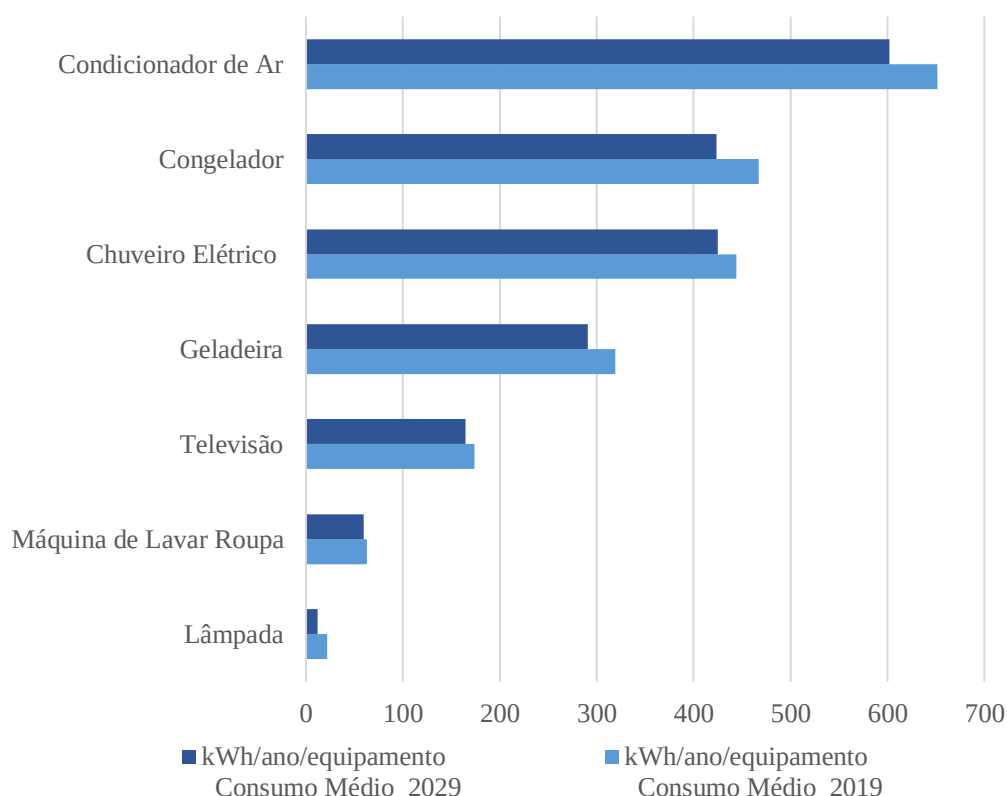
A implementação de tais sistemas é considerada uma das ações-chave para a eficiência energética na indústria. Muitas das medidas identificadas nas revisões energéticas apresentam baixo ou nenhum investimento e resultam na redução dos custos operacionais da empresa, do consumo de energia e das emissões de GEE e em ganhos de produtividade.

O setor de edificações é o maior consumidor final de energia elétrica, responsável por 51% da energia elétrica e 16% da energia total, que considera a energia elétrica e os combustíveis.

Neste PDE, estima-se que o estoque de eletrodomésticos em poder das famílias

aumente, devido principalmente à elevação da renda média e do número de novos domicílios. Os equipamentos novos apresentarão maior eficiência energética, como consequência das regulações e políticas de promoção à eficiência energética, e do desenvolvimento tecnológico induzido pelo mercado. Assim, a introdução de equipamentos novos reduz o consumo médio de energia elétrica do estoque, como mostrado na Figura 2.10 e, conseqüentemente, contribui para a conservação global de energia no setor.

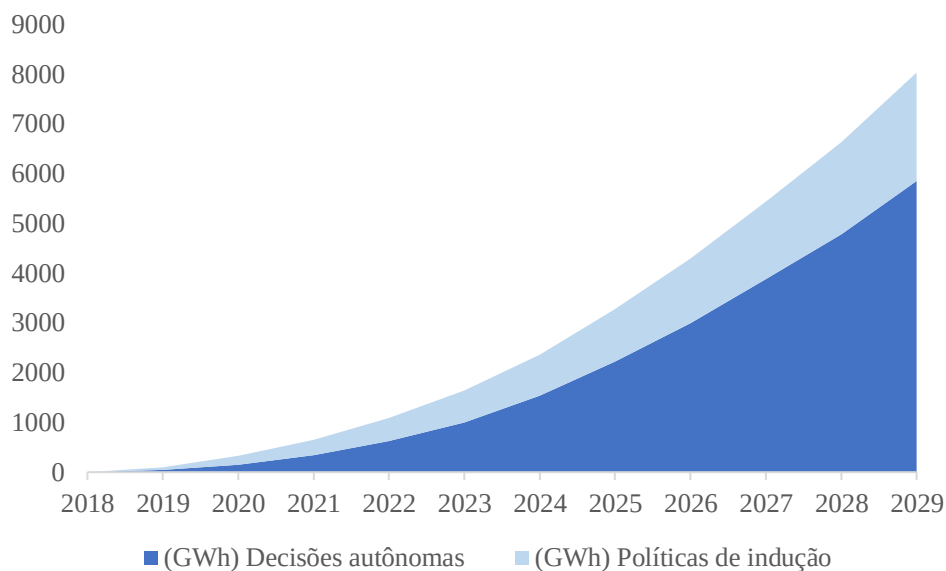
Figura 2.10 - Setor Residencial: Consumo Médio por Equipamento



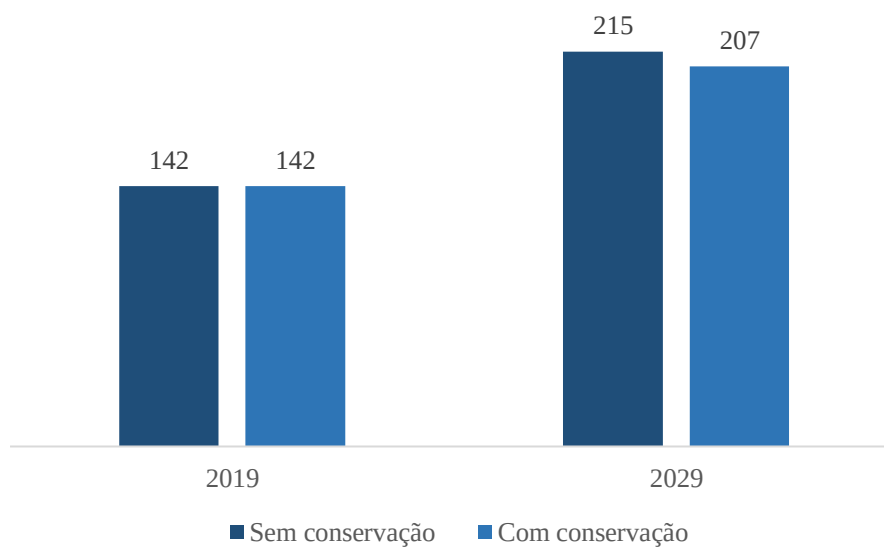
Fonte: MME/EPE, 2020.

Na Figura 2.11 pode-se observar que a maior parte da energia conservada nas residências é o resultado de decisões autônomas dos agentes, decorrente da própria dinâmica e competitividade dos mercados, no caso da indústria, e da análise custo-benefício realizada pelos consumidores ao adquirir um equipamento, por exemplo. Assim, estima-se que a conservação de energia elétrica nas residências possa atingir 8 TWh em 2029, correspondente à 3,7% do consumo total de energia elétrica nas residências no mesmo ano, conforme apresentado na

Figura 2.12.

Figura 2.11 - Consumo Evitado de Energia Elétrica nas Residências

Fonte: MME/EPE, 2020.

Figura 2.12 - Consumo de Energia Elétrica nas Residências (TWh)

Fonte: MME/EPE, 2020.

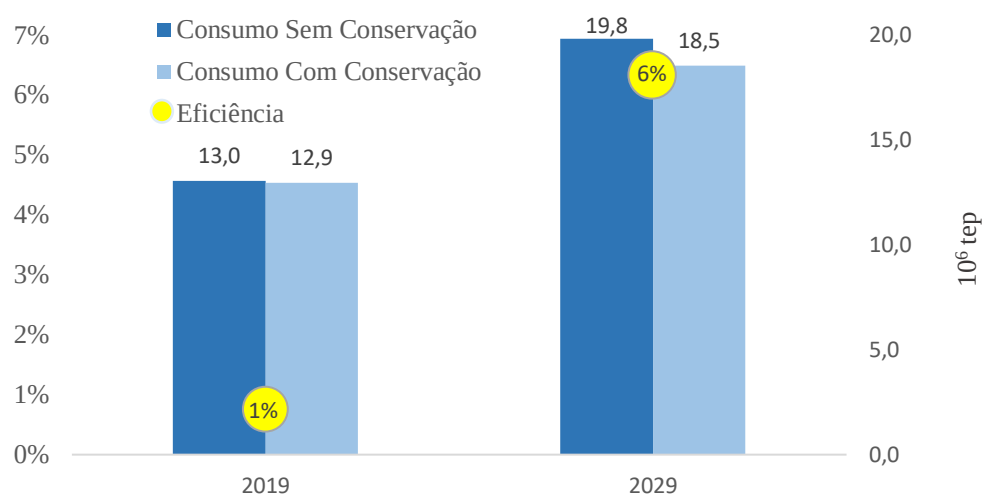
Cabe ressaltar que a revisão dos níveis de eficiência energética da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) do PBE, bem como as implementações de índices mínimos mais ambiciosos, principalmente para os aparelhos de ar-condicionado, cuja demanda nos

próximos anos pode ser elevada, poderiam contribuir para o aumento da eficiência energética do setor.

As edificações comerciais e públicas para efeito da projeção estão inseridas no setor de serviços. A fonte preponderante é a energia elétrica, que concentra mais de 92% da energia total consumida nesse setor, em seguida o GLP com 5% e o gás natural com 1% de participação. A projeção de conservação de energia no setor de serviços considerando, além da energia elétrica, as demais fontes, foi calculada em 6,5% do consumo projetado em 2029, reduzindo o consumo final para aproximadamente 1,2 milhão de tep nesse ano, que equivale a aproximadamente ao consumo do setor de transporte ferroviário no ano de 2018 (EPE 2019).

Para as projeções realizadas, foi possível estimar a energia elétrica conservada no setor de serviços partindo dos ganhos energéticos apurados nas duas últimas edições do Balanço de Energia Útil - BEU (anos bases: 1994 e 2004) e com as políticas vigentes. Na projeção desse PDE foi utilizado o novo modelo de projeção desenvolvido pela EPE que utiliza dados coletados pela pesquisa do setor de serviços para o ano de 2015. A projeção de conservação de energia no setor serviços considerando, além da energia elétrica, as demais fontes, foi calculada em 6% do consumo projetado em 2029, reduzindo o consumo final para aproximadamente 1,2 milhão tep nesse ano, que equivale a aproximadamente ao segmento de ferro ligas no ano de 2018 (BEN 2019), conforme Figura 2.13.

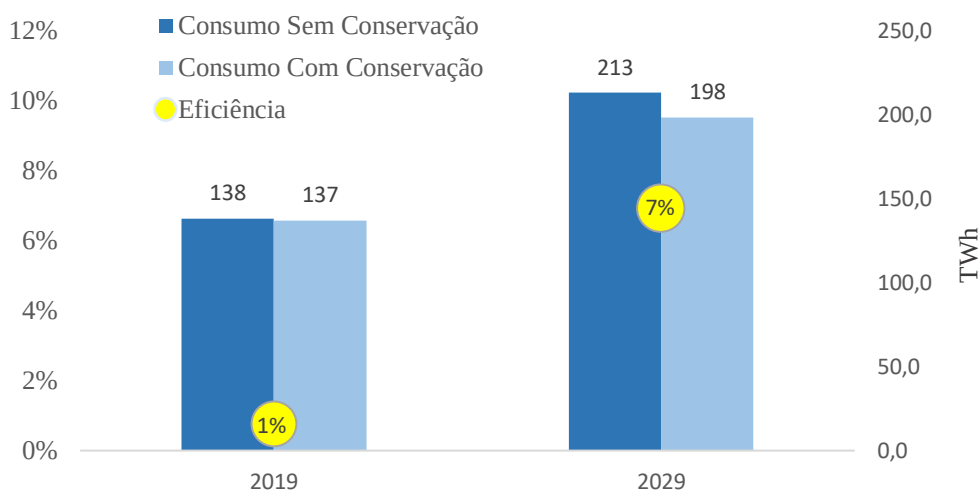
Figura 2.13 - Setor de Serviços: Consumo de Energia e Conservação de Energia



Fonte: MME/EPE, 2020.

A conservação da energia elétrica foi calculada em 7% do consumo projetado em 2029, reduzindo o consumo final em aproximadamente 15 TWh nesse ano, que equivale a 16% do consumo de energia elétrica do setor de serviços ou ao segmento de mineração e pelotização no ano de 2018 (EPE 2019), conforme pode ser constatado na Figura 2.14.

Figura 2.14 - Setor de Serviços: Consumo de Energia Elétrica e Eficiência Elétrica



Fonte: MME/EPE, 2020.

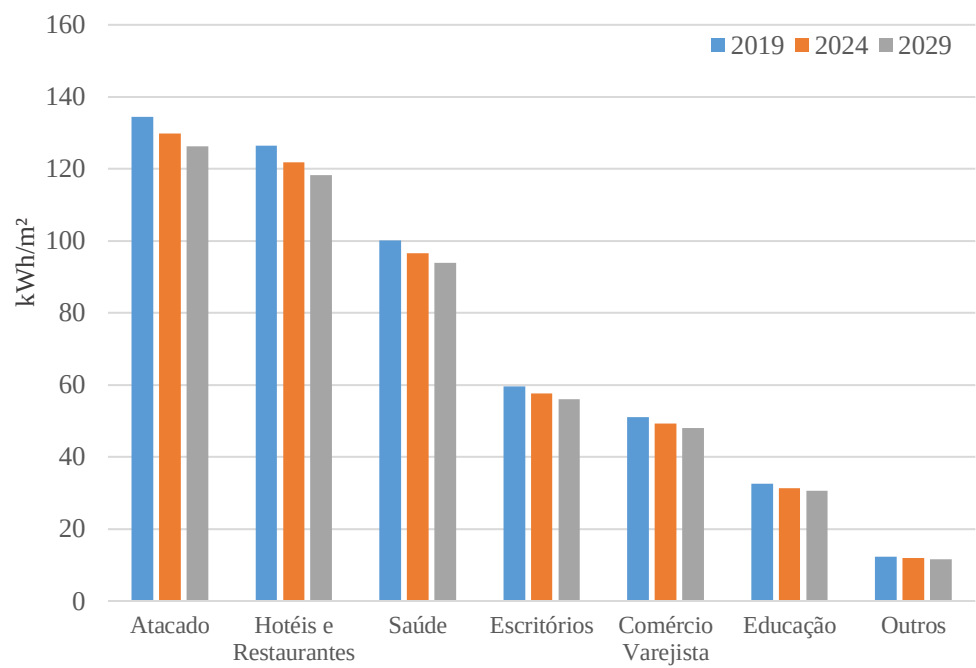
Na Figura 2.15 é apresentada a projeção do indicador de consumo de energia elétrica por m² para os segmentos selecionados para o setor comercial.

No setor agropecuário os ganhos de eficiência energética na evolução da demanda desse setor indicam que os efeitos combinados dos progressos tendenciais e induzidos resultam em um abatimento da demanda setorial de energia em torno de 4% ou 75 mil tep em 2029, conforme

Figura 2.16, sendo que o grande potencial de economia está concentrado no diesel equivalente (óleo diesel e biometano), com 67% e a energia elétrica com 32%. A contribuição da eficiência energética nesse setor está associada à penetração de motores elétricos e nos

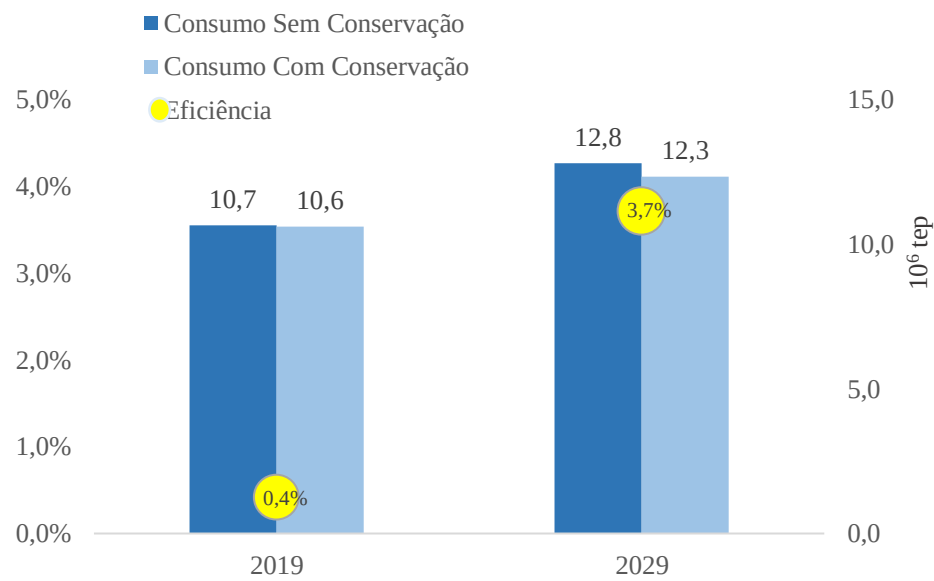
sistemas de bombeamento mais eficientes com a maior participação da irrigação nos cultivos.

Figura 2.15 - Setor Comercial: Consumo de Energia Elétrica (kWh/m²)



Fonte: MME/EPE, 2020.

Figura 2.16 - Setor Agropecuário: Consumo de Energia Elétrica (kWh/m²)



Fonte: MME/EPE, 2020.

O PDE 2029 também estimou a contribuição da micro e minigeração distribuída (MMGD).

A disponibilidade de elevado potencial de fontes renováveis, qualidade dos recursos energéticos nacionais, o alto valor das tarifas de energia elétrica para os consumidores e um modelo de compensação de créditos extremamente favorável, tornou o investimento de geração própria bastante rentável no Brasil. Isso levou não apenas consumidores residenciais, mas também grandes redes varejistas, bancos e indústrias a investirem em sistemas de MMGD, locais e remotos.

No Brasil, há especialmente dois processos de revisão de regulamentação com impactos sobre a MMGD que estão sendo promovidos pela ANEEL. Um deles é o da revisão da REN 482, que trata especialmente do mecanismo de compensação de energia. O outro é sobre o modelo tarifário da baixa tensão, o que afeta todos os consumidores atendidos nessa tensão, mas também tem impactos nos micro e minigeradores.

Na visão da EPE, conforme detalhado na sua contribuição da Audiência Pública nº 001/2019 ANEEL, apesar da importância da revisão da REN 482, esse processo resolve apenas parte do problema de transferência de custos entre os consumidores. A correta cobrança pelo uso da rede dos micro e minigeradores passa pela definição de uma tarifa binômia com medição de demanda para estes consumidores. Portanto, a aplicação da tarifa binômia é um passo importante para a correta sinalização econômica aos micro e minigeradores.

Nesse sentido, as projeções realizadas para o caso de referência do PDE 2029 contemplam as seguintes premissas regulatórias e foram definidas antes de ser sancionada a Lei 14.300 de 2022 que instituiu o Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída e que terá efeitos práticos a partir de 2023:

- novo mecanismo de compensação para MMGD. Para sistemas locais, foi considerado que as parcelas da tarifa FIO A, FIO B e TUSD Encargos não seriam passíveis de compensação. Na visão da EPE, são custos mantidos com a injeção da GD, e, portanto, não deveriam fazer parte da compensação. Para sistemas remotos, foi utilizado o mesmo tratamento dos sistemas locais com a retirada adicional da parcela TUSD Perdas. Por se tratar de sistemas remotos, não se pode afirmar que há uma redução de perdas com a entrada da MMGD. Inclusive, pode haver um aumento nas perdas elétricas. Portanto, é prudente desconsiderar a parcela de perdas

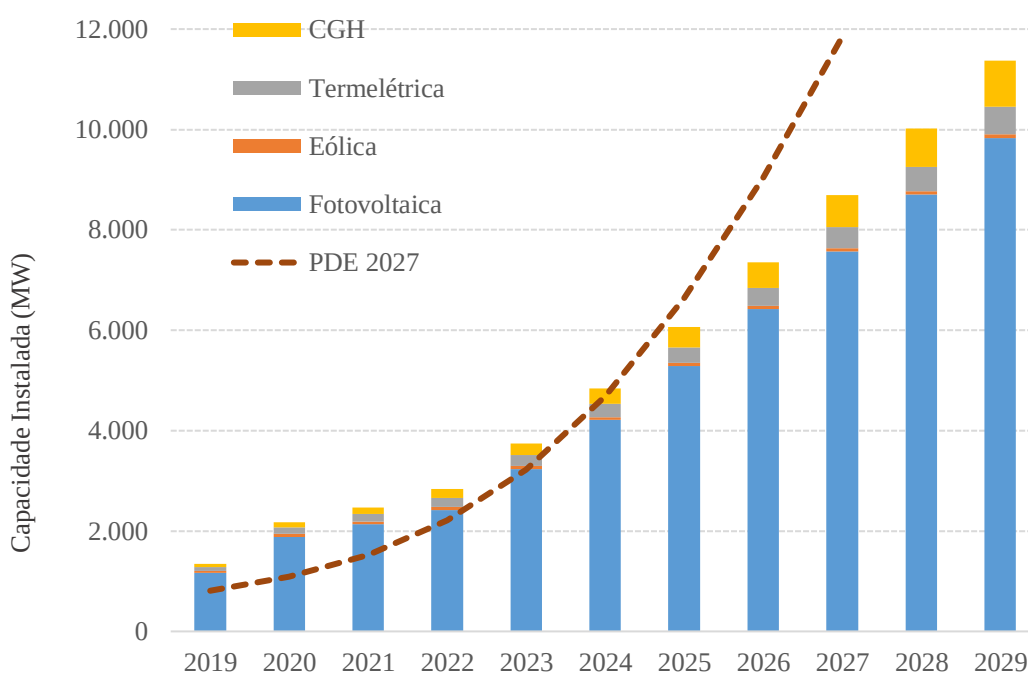
na compensação de sistemas remotos;

- aplicação de tarifa binômia para os novos micro e minigeradores. Foram consideradas as parcelas FIO A e FIO B como componentes que deixariam de ser cobradas volumetricamente, e, portanto, não seriam passíveis de compensação com a MMGD.

Foi utilizado o modelo 4MD para fazer as projeções da MMGD no PDE 2029. É um modelo de Base desenvolvido pela EPE em 2015 e que vem sendo aperfeiçoado e ampliado para incluir mais setores de consumo, fontes e cenários regulatórios. Mais detalhes sobre o 4MD podem ser encontrados em nota técnica específica publicada conjuntamente com o PDE 2029.

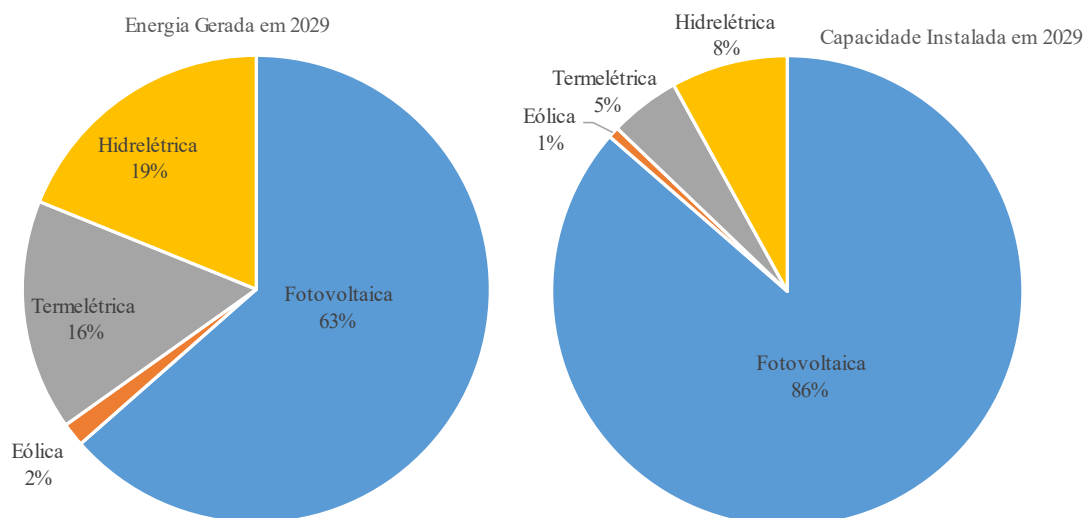
O resultado consolidado da projeção da micro e minigeração distribuída é apresentado na Figura 2.17 e na Figura 2.18.

Figura 2.17 - Projeção da Capacidade Instalada da Micro e Minigeração Distribuída



Fonte: MME/EPE, 2020.

Figura 2.18 - Energia e Potência por Fonte em 2029 na Trajetória de Referência



Fonte: MME/EPE, 2020.

O crescimento nos primeiros anos apresentado no PDE 2029, quando comparado com o PDE 2027, é reflexo da maior velocidade de atuação que o mercado tem se realizado recentemente, sobretudo pela “corrida” antes das possíveis alterações previstas na regulamentação.

2.3 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.

Capítulo 3

Metodologia de Análise

Neste capítulo são descritas as metodologias utilizadas para o desenvolvimento do trabalho proposto, que são baseadas 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.

Enquanto estudo de caso, será elaborado um projeto de sustentabilidade, combinando ações de eficiência energética e geração distribuída para otimizar o consumo de energia, observadas as diretrizes estabelecidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Também 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 “geração de energia renovável conectada à rede”, bem como AMS-II.C, que compreende “atividades que incentivem a adoção de equipamentos eficientes do ponto de vista energético”.

3.1 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, 2018). Definem-se no PROPEE a estrutura e a forma de apresentação dos projetos, as

tipologias, os critérios de avaliação e de fiscalização, bem como os procedimentos para contabilização dos custos e apropriação dos investimentos realizados que podem ser realizados com recursos do Programa de Eficiência Energética (PEE).

O PEE inclui Projetos de Eficiência Energética em todos os setores da economia, classes de consumo e usos finais. Alguns projetos se revestem de características especiais quanto à importância para o desenvolvimento da eficiência energética ou forma de contratação. O PEE também indica a forma prioritária de prospecção de projetos.

A Tabela 3.1 apresenta uma visão geral da estrutura de projetos, indicando as seções onde são detalhados os respectivos procedimentos, conforme descrito a seguir:

- Tipologias - estabelece as diretrizes para os projetos e suas características;
- Ações de Eficiência Energética - estabelece as diretrizes para os projetos por tipo de ação de eficiência energética envolvida: melhoria de instalação e seus usos finais;
- Investimento – recursos necessários para implementação dos projetos de eficiência energética, através da modalidade contrato de desempenho energético ou fundo perdido;
- Prospecção Preferencial - seleção se inicia com uma chamada pública de projetos ou por ação da distribuidora, para se prospectar instalações com potencial para implantação de projetos;
- Características Especiais - projeto que, por sua relevância ou característica não típica, merece atenção especial, tanto da distribuidora quanto do regulador. Os projetos especiais se enquadram, em geral, nas tipologias definidas no Módulo 4 - Tipologias de Projeto e são classificados da seguinte forma:
 - Prioritário - projetos de grande abrangência, cuja finalidade é testar, incentivar ou definir ações de destaque como política pública para incrementar a eficiência energética no país;
 - Grande Relevância - projetos com impacto socioambiental relevante, que apresentem contribuições claras e significativas para a transformação do

mercado de energia elétrica ou que tragam benefícios relevantes além do impacto energético;

- Piloto - projetos promissores, inéditos ou inovadores, incluindo pioneirismo tecnológico e/ou metodológico, buscando experiência para ampliar, posteriormente, sua escala de execução;
- Cooperativo - projetos envolvendo mais de uma distribuidora, buscando economias de escala, complementaridade de competências, aplicação das melhores práticas e melhorias na eficiência e qualidade dos projetos realizados.

Tabela 3.1 - Quadro Geral de Tipologias e Características de Projetos do PEE

Tipologias	Ação de Eficiência Energética (Seção 4.2 - PROPEE)							Características Especiais (Seção 5.1 - PROPEE)				Investimento (Seção 3.1 - PROPEE)		Prospecção Preferencial (Seção 3.2 - PROPEE)
	Melhoria de Instalação	Reciclagem	Treinamento e Capacitação	Bônus	Gestão Energética	Fonte Incentivada	Aquecimento Solar	Prioritário	Grande Relevância	Piloto	Cooperativo	Contrato de Desempenho Energético	Contratação de Fundo Perdido	Chamada Pública de Projetos
Industrial														
Comércio e Serviços													Pos-sível	
Poder Público												Possível		
Serviços Públicos														
Rural													Pos-sível	
Residência	Condo-mínio				Condo-mínio							Possível		
Baixa Renda														
Gestão Energética Municipal														
Iluminação Pública												Possível		
Educacional														
Não há previsão no regulamento							Regra geral				Permitido em casos específicos			

Fonte: ANEEL/PROPEE.

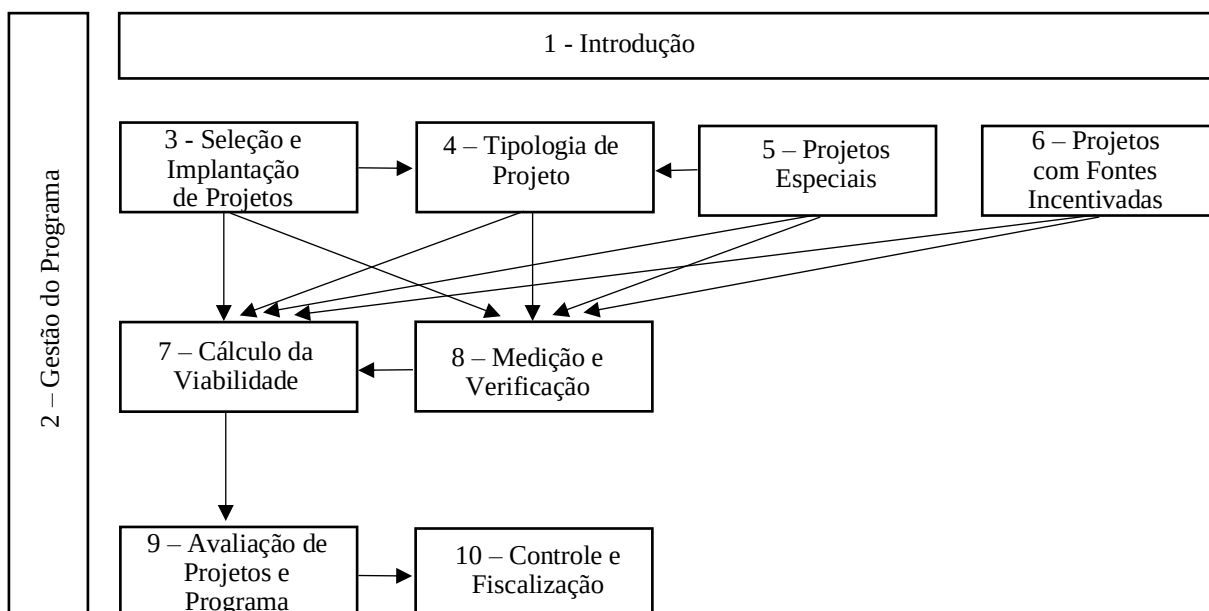
O PROPEE é composto de 10 (dez) módulos, que abrangem os diversos aspectos de projetos e do programa PEE, com múltiplas interligações entre eles, as principais indicadas na

Figura 3.1. Cada módulo do PROPEE é detalhado da seguinte forma:

- O Módulo 1 - Introdução descreve a visão geral do PROPEE e o glossário dos termos usados;
- O Módulo 2 - Gestão do Programa descreve os aspectos gerenciais que permeiam as ações do PEE;
- O Módulo 3 - Seleção e Implantação de Projetos descreve a forma para seleção de projetos do PEE e orienta quanto à forma de implantação junto ao consumidor ou interessado;
- O Módulo 4 - Tipologias de Projeto descreve os tipos de projetos do PEE e suas características principais;
- 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;
- 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;
- 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;
- O Módulo 8 - Medição e Verificação dos Resultados estabelece os procedimentos para uma avaliação confiável dos benefícios energéticos auferidos com os projetos;
- 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;
- 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.

Figura 3.1 - Módulos do PROPEE



Fonte: ANEEL/PROPEE.

Uma característica primordial no planejamento estratégico dos investimentos em Projetos de Eficiência Energética é a priorização 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.

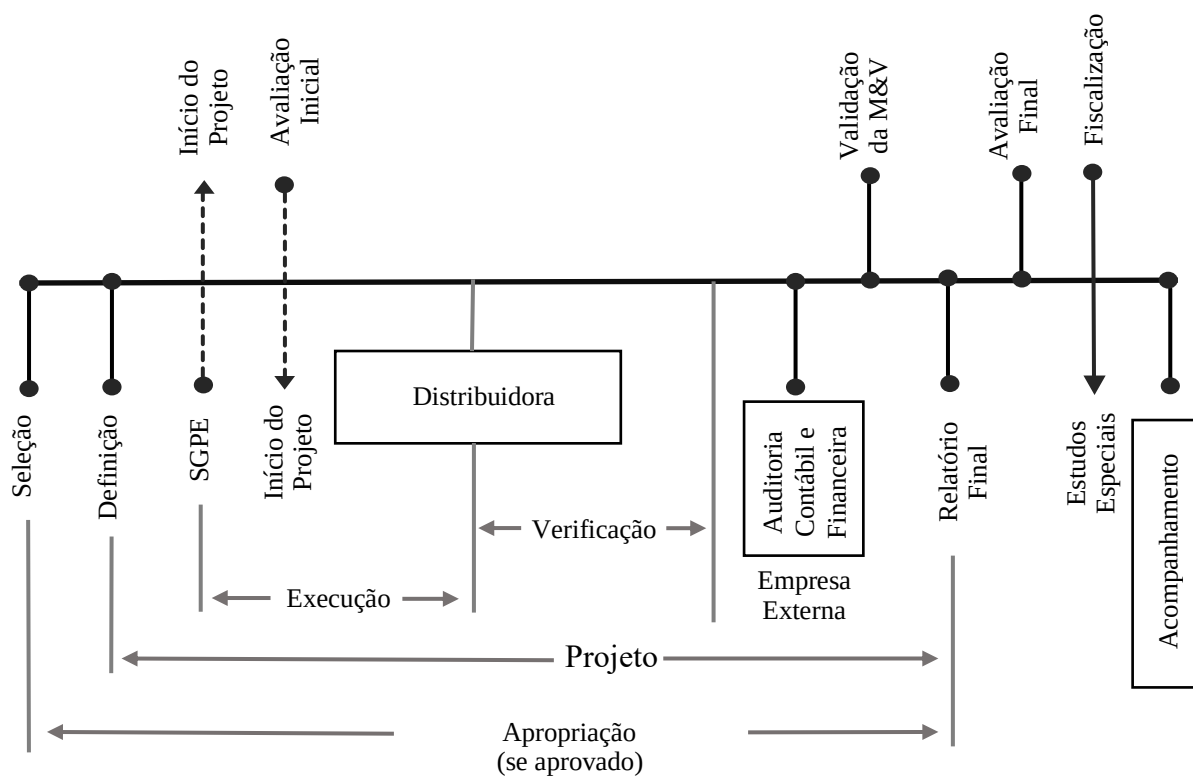
De acordo com a Lei nº 12.305/2010 e o Decreto nº 9.177/2017, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes são obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor.

Portanto, nos projetos de eficiência energética executados no âmbito do PEE, a distribuidora deverá comprovar o descarte dos equipamentos ineficientes trocados por meio de contratos/acordos firmados diretamente com empresas especializadas em descarte ou com os responsáveis pela recepção dos equipamentos substituídos, sejam eles fabricantes, comerciantes, importadores ou distribuidores dos produtos que deverão, de acordo com a regulamentação ambiental, realizar a logística reversa correta desses equipamentos.

Os Programas de Eficiência Energética das Distribuidoras possibilitam investimentos em várias tipologias de projeto, beneficiando públicos diversos, com base no conceito norteador

da sustentabilidade. Cada projeto, em linhas gerais, seguirá as etapas mostradas na Figura 3.2.

Figura 3.2 - Etapas dos Projetos do PEE



Fonte: ANEEL/PROPEE.

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, independentemente 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”;

- Avaliação Inicial - os projetos que necessitarem 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”;
- Execução - elaboração do Plano de M&V e implantação das ações definidas no item “Definição”;
- 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”;
- 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”;
- 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”;
- 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”;
- 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”;

- Fiscalização - realizada pela ANEEL segundo o Módulo 10 - Aspectos Contábeis e Fiscalização. Esta etapa resulta em um produto identificado como “Relatório de Fiscalização”;
- 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.

3.1.1 Viabilidade Econômica do Projeto

O 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 (*EE*) e da Redução da Demanda na Ponta (*RDP*) 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:

- 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;
- 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:

- Ponto de vista do PEE, onde os benefícios são comparados aos custos aportados pelo PEE;
- 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 enfoque de quem avalia, dois tipos de estudos podem ser feitos:

- 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);
- Consumidor, valorando estas grandezas pelo preço pago pelo consumidor.

Para avaliar a viabilidade econômica do projeto realizado no âmbito do PEE, é considerada o enfoque 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 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). No caso dos Contratos de Desempenho Energético, que contemplam compromissos de pagamentos futuros, admite-se *RCB* menor ou igual a 0,9 (nove décimos). Para projetos com Fontes Incentivadas, devido as tarifas e enquadramento

diferenciados, a título de incentivo, admite-se RCB menor ou igual a 1,0 (um).

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.

3.1.2 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 o ponto de vista do Programa de Eficiência Energética, onde os benefícios são comparados aos custos aportados efetivamente pelo

Programa de Eficiência Energética.

3.1.3 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);

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

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).

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

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

onde:

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

3.1.4 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),

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

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:

- Central geradora: CEE e CED de acordo com o preço final da energia e da demanda pago pelo consumidor, incluindo impostos e encargos;
- 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), (3.9).

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

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;

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

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 3.2 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 3.2 - Coeficientes das Equações para $k = 0,15$

Fator de Carga	LP	LE_1	LE_2	LE_3	LE_4
0,30	0,2	0,27	0,19	0,35	0,24
0,35	0,2	0,28	0,19	0,52	0,36
0,40	0,3	0,29	0,20	0,71	0,50
0,45	0,3	0,31	0,21	0,92	0,65
0,50	0,3	0,32	0,22	1,15	0,81
0,55	0,4	0,33	0,23	1,40	0,99
0,60	0,4	0,35	0,24	1,68	1,18
0,65	0,5	0,36	0,25	1,97	1,39
0,70	0,5	0,38	0,26	2,29	1,61

A energia economizada, medida em MWh, e a redução de demanda no horário de ponta (posto tarifário ponta), medida em kW, são os principais indicadores quantitativos para projetos de eficiência energética. 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).

Na seção 3.1.5 a seguir é apresentada como exemplo a metodologia de cálculo dessas grandezas para uso final iluminação. A metodologia de cálculo para os demais usos finais (refrigeração, aquecimento, força motriz, condicionamento ambiental, etc.) e geração de energia por fonte incentivada, é detalhada no Módulo 4 do PROPEE “Tipologias de Projetos”, Seção 4.2 “Ações de Eficiência Energética”.

3.1.5 Cálculo de EE e RDP - Sistema de Iluminação

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

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

A valoração das metas deve ser feita de acordo com o Módulo 7 - Cálculo da

Viabilidade. A Tabela 3.3 dispõe as informações necessárias para a metodologia de cálculo.

Tabela 3.3 - Sistema de Iluminação

SISTEMA ATUAL					
0		Sistema 1		Sistema 2	... Total
1	Tipo de lâmpadas				
2	Potência (lâmpada + reator) (W)	pa_1			
3	Quantidade	qa_1			
4	Potência instalada (kW)	pa_1	$= (pa_1 \times qa_1) / 1000$		
5	Funcionamento (h/ano)	ha_1			
6	Fator de coincidência na ponta	$FCPa_1$	$= Da_1 / pa_1$		
7	Energia consumida (MWh/ano)	Ea_1	$= (pa_1 / ha_1) / 1000$		$Ea = \sum Ea_i$
8	Demanda média na ponta (kW)	Da_1			$Da = \sum Da_i$
SISTEMA PROPOSTO					
10		Sistema 1		Sistema 2	... Total
11	Tipo de lâmpadas				
12	Potência (lâmpada + reator) (W)	pp_1			
13	Quantidade	qp_1			
14	Potência instalada (kW)	pp_1	$= (pp_1 \times qp_1) / 1000$		
15	Funcionamento (h/ano)	hp_1			
16	Fator de coincidência na ponta	$FCPp_1$	$= Dp_1 / pp_1$		
17	Energia consumida (MWh/ano)	Ep_1	$= (pp_1 / hp_1) / 1000$		$Ep = \sum Ep_i$
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 (%)	$RDP_1 \%$	$= RDP_1 / Da_1$		$RDP \% = RDP / Da$
23	Energia economizada (MWh/ano)	EE_1	$= Ea_1 - Ep_1$		$EE = \sum EE_i$
24	Energia economizada (%)	$EE_1 \%$	$= EE_1 / Ea_1$		$EE \% = EE / Ea$

As seguintes orientações devem ser seguidas para o correto diagnóstico do sistema. São elas:

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);

- 0) Tipo de lâmpada (incandescente, fluorescente, etc.) e potência nominal;
- 1) Incluir a potência média consumida pelos reatores por cada lâmpada (especificar se são reatores eletromagnéticos ou eletrônicos);
- 2) Quantidade de lâmpadas em cada sistema considerado;
- 3) Potência total instalada (kW);
- 4) Funcionamento médio anual (h/ano);
- 5) Fator de coincidência na ponta;
- 6) Energia consumida (MWh/ano);
- 7) 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.

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 útil das lâmpadas (em anos)

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

onde:

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

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

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,

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

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);

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

onde:

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

3.1.6 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:

- selecionar uma população homogênea – dividir a população em subconjuntos homogêneos, por exemplo, agrupando as lâmpadas de mesma potência ou ar-condicionado de mesma capacidade;
- determinar os níveis desejados de precisão e de confiança – sugere-se adotar 10% com 95% de confiança;
- 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).
- 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 (3.14):

$$n_0 = \frac{z^2 \times cv^2}{e^2} \quad (3.14)$$

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 (3.15) e adotá-la, se menor que a anterior ($n < n_0$).

$$n = \frac{n_0 \times N}{n_0 + N} \quad (3.15)$$

onde:

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

3.2 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).

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.

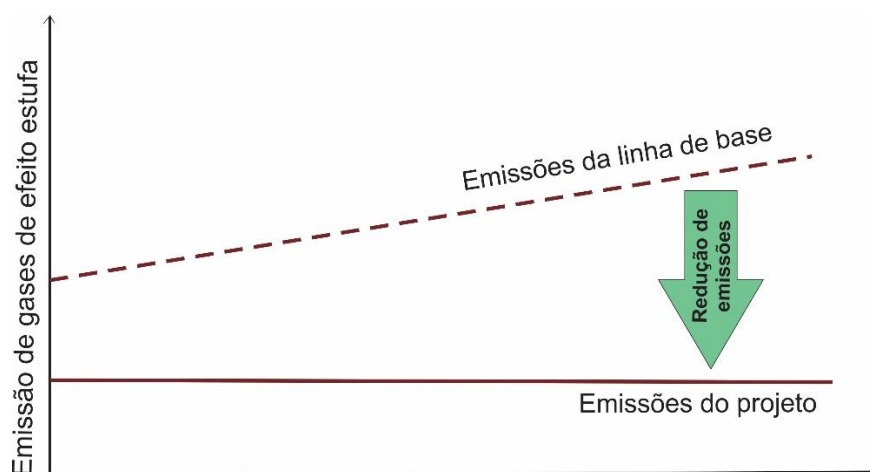
Há basicamente dois conceitos no Protocolo de Quioto que fundamentam o princípio do MDL: a adicionalidade e a linha de base adotada. O conceito de adicionalidade, segundo a *United Nations Framework Climate Change Convention* - UNFCCC, é relacionado à atividade de projeto de MDL que reduz as emissões 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 3.3 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 3.3 - Conceito de Adicionalidade



Fonte: CGEE.

3.2.1 Metodologia AMS-I.D Aplicada a Projetos Envolvendo Energias Renováveis Conectadas 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 3.4 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 energia elétrica produzida por exemplo, 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 3.4 - 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 energia elétrica conectada à rede a partir de fontes renováveis.
		AM0019	Atividades de projeto de energia renovável que substituem parte da produção de energia elétrica 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 energia elétrica 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 energia elétrica 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 energia elétrica.
		AMS-I.D.	Geração de energia elétrica 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 de geração de energia elétrica renovável conectada à rede são calculadas a partir da expressão (3.16), (UNFCCC, 2014):

$$ER_y = BE_y - PE_y - LE_y \quad (3.16)$$

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 (3.17), (UNFCCC, 2014).

$$BE_y = EG_{PJ,y} \times EF_{grid,y} \quad (3.17)$$

onde:

- $EG_{PJ,y}$ - quantidade líquida de energia elétrica fornecida à rede elétrica como resultado da implementação da atividade de projeto de MDL no ano y (MWh);
- $EF_{grid,y}$ - 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, $EG_{PJ,y}$, por uma geração de energia elétrica renovável é estimada a partir da avaliação do potencial de geração. 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 , $EF_{grid,y}$ é obtido pela expressão (3.18), (UNFCCC, 2014):

$$EF_{grid,y} = EF_{grid,OM,y} \times w_{OM} + EF_{grid,BM,y} \times w_{BM} \quad (3.18)$$

onde:

- $EF_{grid,OM,y}$ - fator de emissão de CO₂ eq da margem de operação no ano y (tCO₂ eq/MWh);
- w_{OM} - ponderação do fator de emissão da margem de operação para novos empreendimentos de energias renováveis;
- $EF_{grid,BM,y}$ - fator de emissão de CO₂ eq da margem de construção no ano y (tCO₂ eq/MWh);
- w_{BM} - 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 ($EF_{grid,OM,y}$) 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 energia elétrica para a rede, ou seja, pelo mérito de despacho. O fator de emissão de CO₂ oficial da margem de construção ($EF_{grid,BM,y}$) 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: $w_{OM} = 0,75$ e $w_{BM} = 0,25$ e para as demais gerações de energia elétrica renovável: $w_{OM} = 0,5$ e $w_{BM} = 0,5$ (UNFCCC, 2014).

3.2.2 Metodologia AMS-II.C Aplicada a 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, 2016).

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 energia elétrica 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 energia elétrica, 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 energia elétrica substituída, conforme apresentado na expressão (3.19) e (3.20), (UNFCCC, 2016):

$$BE_y = E_{BL_y} \times EF_{CO_2,ELEC,y} + Q_{ref,BL} \times GWP_{ref,BL} \quad (3.19)$$

$$E_{BL_y} = \sum_i (n_i \times p_i \times o_i) / (1 - l_y) \quad (3.20)$$

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 energia elétrica e/ou combustível fóssil usado nos equipamentos do projeto, determinadas conforme a expressão (3.21).

$$PE_y = EP_{PJ,y} \times EF_{CO2,y} + PE_{ref,y} \quad (3.21)$$

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;
- $EF_{CO2,y}$ - fator de emissão da energia elétrica ou da energia térmica na linha de base. As emissões associadas ao consumo de energia elétrica 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.
- $PE_{ref,y}$ - emissões do projeto por fugas físicas de refrigerante do equipamento no ano y (tCO₂ eq/ y).

O consumo de energia do projeto no caso das atividades de projeto que substituam a energia elétrica da rede é determinado conforme expressão (3.22), com o uso dos dados dos equipamentos do projeto.

$$E_{PJ,y} = \sum_i (n_i \times p_i \times o_i) / (1 - l_y) \quad (3.22)$$

Pode ser observado que o consumo de energia da linha de base no ano y (kWh) na expressão (3.20) é a mesma da expressão (3.22), 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 (3.23). Todos os gases de efeito estufa devem ser considerados, segundo a orientação do Conselho Executivo do MDL.

$$PE_{ref,y} = Q_{ref,PJ,y} \times GWP_{ref,PJ} \quad (3.23)$$

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 (tCO₂ 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.

A redução de emissões alcançada pela atividade do projeto deve ser determinada como a diferença entre as emissões da linha de base e as emissões e vazamentos do projeto, calculadas a partir da expressão (3.24) (UNFCCC, 2016).

$$ER_y = (BE_y - PE_y) - LE_y \quad (3.24)$$

3.3 Considerações Finais do Capítulo

O principal critério para avaliação da viabilidade econômica de um projeto do Programa de Eficiência Energética da Aneel (PEE) é a Relação Custo-Benefício (RCB) que ela 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. 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.

Capítulo 4

Avaliação da Metodologia e Resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia descrita no capítulo anterior para elaboração de um projeto de sustentabilidade implementado em 11 (onze) Câmpus do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG), combinando ações de eficiência energética e geração distribuída. O objetivo é otimizar o consumo de energia por meio do *retrofit* do sistema de iluminação, instalação de sistema de geração fotovoltaica, monitoramento energético, e capacitação e treinamento de professores, alunos e funcionários, todas essas ações com foco no uso eficiente da energia elétrica, observadas as diretrizes estabelecidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Por fim, é apresentada 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.

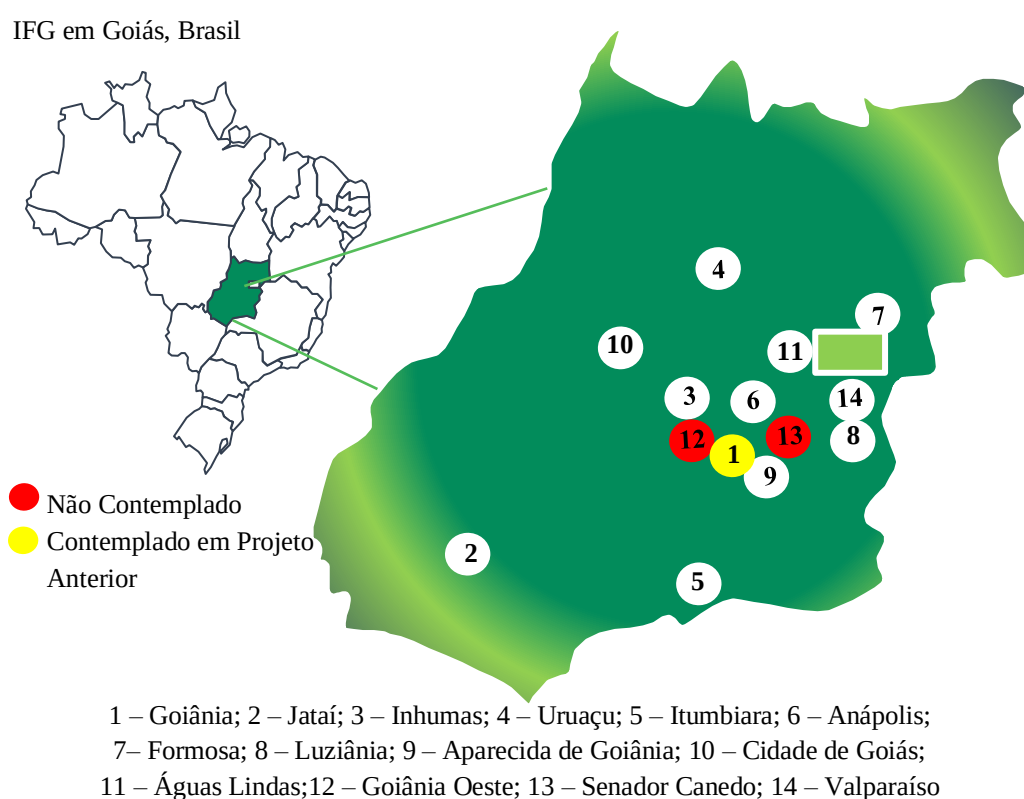
4.1 Estudo de Caso

O projeto do IFG foi um dos projetos aprovados para execução no âmbito da Chamada de Projeto Prioritário de EE e Estratégico de P&D nº 01/2016 – “Eficiência Energética e Minigeração em Instituições Públicas de Educação Superior”.

Atualmente o IFG atende mais de 12 mil alunos nos seus 14 Câmpus em funcionamento: Anápolis, Formosa, Goiânia, Inhumas, Itumbiara, Jataí, Luziânia, Uruaçu, Aparecida de Goiânia, Cidade de Goiás, Águas Lindas, Goiânia Oeste, Senador Canedo e Valparaíso, conforme apresentado na Figura 4.1.

O IFG tem por finalidade formar e qualificar profissionais para os diversos setores da economia, bem como realizar pesquisas e promover o desenvolvimento tecnológico de novos processos, produtos e serviços, em estreita articulação com os setores produtivos e com a sociedade, oferecendo mecanismos para a educação continuada. A instituição oferta desde educação integrada ao ensino médio à pós-graduação. Na educação superior, conta com os cursos de tecnologia, especialmente na área industrial, e os de bacharelado e licenciatura.

Figura 4.1 - Localização dos Câmpus do IFG no Estado de Goiás



Fonte: Elaborada pelo autor.

Em termos de consumo de energia, o IFG consome cerca de 3000 MWh/ano de energia elétrica considerando todos os 14 Câmpus. O custo total com energia elétrica, é da ordem de R\$ 2.200.000,00, o que implica em um montante considerável do orçamento da instituição. A Tabela 4.1 resume os gastos totais com energia elétrica para o ano de 2016.

Tabela 4.1 - Dados de Consumo, Demanda e Gastos Médio de Energia Elétrica nos Câmpus do IFG em 2016

IFG - Câmpus		Demanda Contratada (kW)	Consumo Total (MWh)	Gasto Médio Anual de Energia (R\$)
1	Águas Lindas	-	62,3	64.800,00
2	Anápolis	114	157,0	135.600,00
3	Aparecida de Goiânia	350	369,4	172.800,00
4	Cidade de Goiás	-	40,0	58.000,00
5	Formosa	75	136,0	54.000,00
6	Goiânia	350	906,0	684.000,00
7	Goiânia Oeste	50	83,8	66.000,00
8	Inhumas	90	195,0	126.000,00
9	Itumbiara	250	275,0	240.000,00
10	Jataí - Flamboyant	60	221,8	74.400,00
11	Luziânia	110	166,8	180.000,00
12	Senador Canedo	-	10,0	62.000,00
13	Uruaçu	180	309,2	264.000,00
14	Valparaíso	30	14,1	84.000,00
TOTAL		1609	3006,42	2.175.600,00

4.1.1 Elaboração do Projeto – Diagnóstico Energético

Para elaboração do projeto de eficiência energética, conforme regulamentação da Aneel, é necessário primeiramente à realização de um diagnóstico energético que nada mais é do que um estudo técnico e econômico, elaborado a partir de extenso levantamento de dados e medições de todas as instalações elétricas, a fim de elencar as oportunidades de melhoria da eficiência, redução de custos e consumo de energia.

Segundo (Faria, 2016) 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 dos 11 (onze) Câmpus do IFG contemplados pelo projeto:

- Visita preliminar à instalação - visão macroscópica da instalação; planejamento da estratégia de levantamento de dados;

- 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;
- Análise e tratamento de dados - conhecimento do perfil de consumo através do consumo global e consumo desagrupado em usos finais.

A etapa de visita preliminar ocorreu no final de 2017 em reunião com os representantes do IFG, a fim de esclarecer os detalhes do projeto e definir o planejamento da estratégia de levantamento de dados, a partir da realização do diagnóstico energético de cada unidade consumidora de energia elétrica. Apresenta-se a seguir o levantamento realizado no primeiro semestre de 2018 pela empresa 3E Engenharia, empresa contratada pela Distribuidora de Energia de Goiás (ENEL Goiás) para execução dos serviços de diagnóstico energético e implementação das Ações de Eficiência Energética associadas com Geração Distribuída.

4.1.2 Descrição Geral das Instalações

O IFG é composto por vários Câmpus no estado de Goiás. Cada unidade possui inúmeros prédios. Os Câmpus do IFG são atendidos em 13,8 kV e o sistema tarifário é o Grupo A4 THS Verde, conforme Tabela 4.2. Já na Tabela 4.3, pode ser verificada as informações gerais dos Câmpus contemplados com as Ações de Eficiência Energética propostas neste projeto. Ressalta-se que o Câmpus de Goiânia por já ter sido contemplado anteriormente com projeto de eficiência energética, conforme regulamentação da ANEEL, e os Câmpus Goiânia Oeste e Senador Canedo, que não possuíam sedes próprias na época da definição do escopo, não fazem parte do referido projeto.

O IFG atende a um público estudantil no horário de funcionamento das 07:00hs às 23:00hs de segunda a sexta-feira e aos sábados das 08:00hs às 15:00hs. Nos domingos e feriados ele permanece fechada. Conforme verificado nas contas de energia, o IFG apresenta um alto consumo nos meses letivos caracterizados entre fevereiro a junho e agosto a dezembro. Nos meses de férias, apresenta uma redução considerável no consumo de energia, considerando somente os meses de janeiro e julho.

Tabela 4.2 - Informações Gerais do Consumidor

CNPJ	Modalidade Tarifária	Subgrupo Tarifário	Tensão	Horário de Ponta
10.870.883/0001-44	Verde	A4	13,8 kV	18h às 21h

Tabela 4.3 - Câmpus Contemplados

Câmpus	Demanda Contratada (kW)	Área Disponível (m²)	Coordenada Geográfica
Águas Lindas	-	6000	Latitude: 15°75'Sul Longitude: 48°26'Oeste
Anápolis	114	4855	Latitude: 16°22'Sul Longitude: 48°59'Oeste
Aparecida de Goiânia	350	4420	Latitude: 16°49'Sul Longitude: 49°16'Oeste
Cidade de Goiás	-	6755	Latitude: 15°93'Sul Longitude: 50°15'Oeste
Formosa	75	4998	Latitude: 15° 33' Sul Longitude: 47° 19'
Inhumas	90	1910	Latitude: 16°22' Sul Longitude: 49°30' Oeste
Itumbiara	250	4152	Latitude: 18°26'Sul Longitude: 49°45'Oeste
Jataí	60	5058	Latitude: 17°52' Sul Longitude: 51°44' Oeste
Luziânia	110	5740	Latitude: 16°14'Sul Longitude: 47°57'Oeste
Uruaçu	180	1894	Latitude: 14°30'Sul Longitude: 49°08'Oeste
Valparaíso	30	2097	Latitude: 16°06'Sul Longitude: 47°58'Oeste

4.1.3 Oportunidade de Eficientização do Uso de Energia Elétrica

As medidas identificadas de eficientização do uso de energia elétrica no IFG são:

- Substituição dos sistemas de iluminação existentes por novos modelos mais eficientes;

- Implantação de geração de energia por meio de sistema fotovoltaico.

4.1.4 Sistema de Iluminação

Na Tabela 4.4 é apresentado o levantamento do sistema de iluminação por tipologia e potência.

Tabela 4.4 - Sistema de Iluminação por Tipologia e Potência

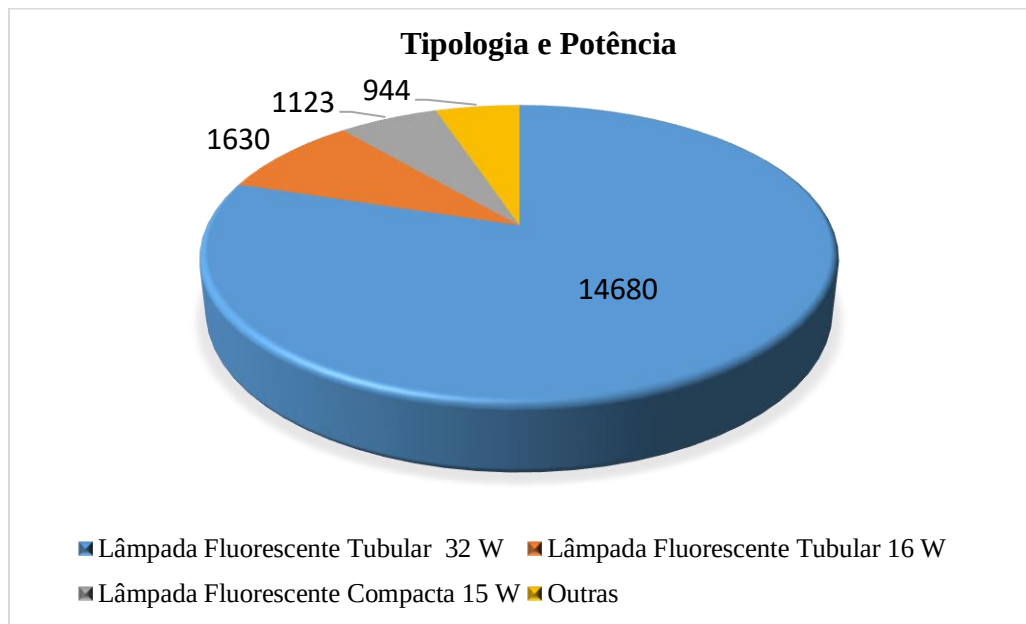
Iluminação - Atual (com potencial de efficientização)					
Equipamento	Potência (W)	Qt. (unidade)	Demanda (kW)	Funcionamento (horas/ano)	Consumo (kWh/ano)
Lâmpada Dicróica	50	187	9,35	2.640	24.684,0
Lâmpada Mista	250	6	1,50	2.640	3.960,0
Lâmpada Mista	400	24	9,60	2.640	25.344,0
Lâmpada Halógena + Reator	122,5	158	19,36	2.640	51.097,2
Lâmpada Vapor de Sódio + Reator	274	197	53,98	2.640	142.501,9
Lâmpada Vapor de Sódio + Reator	432	82	35,42	2.640	93.519,4
Lâmpada Fluorescente Compacta	15	1123	16,85	2.640	44.470,8
Lâmpada Fluorescente Compacta	45	49	2,21	2.640	5.821,2
Lâmpada Fluorescente Compacta	90	92	8,28	2.640	21.859,2
Lâmpada Fluorescente Tubular + Reator	17,5	1.630	28,53	2.640	75.306,0
Lâmpada Fluorescente Tubular + Reator	33,5	14.680	491,78	2.640	1.298.299,2
Lâmpada Fluorescente Compacta	54	1	0,05	2.640	142,6
Refletor Mista	250	93	23,25	2.640	61.380,0
Refletor Vapor Metálico + Reator	432	55	23,76	2.640	62.726,4
Total	-	18.377	723,91	-	1.911.111,84

Para análise são consideradas 18.377 lâmpadas com potencial de substituição por tecnologia mais eficiente. Para a estimativa do número de horas por ano de funcionamento do sistema de iluminação, considerou-se que os Câmpus funcionam 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.

As lâmpadas fluorescentes tubulares de 32W, que são a maioria dos tipos de tubulares em uso, como podem ser verificadas na Figura 4.2, são comumente utilizadas em luminárias com capacidade para 2 lâmpadas, conforme apresentado na Figura 4.3.

Figura 4.2 - Tipologia das Lâmpadas dos Câmpus Contemplados do IFG



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 4.3 - Luminária Fluorescente Tubular de 32 W com 2 Lâmpadas Presente nos Câmpus do IFG



Fonte: Elaborada pelo autor.

A metodologia adotada para efficientização do sistema de iluminação é baseada no avanço tecnológico, uma vez que os sistemas mais modernos conseguem produzir a mesma quantidade de luz utilizando menos energia, bem como a certificação INMETRO e o Selo Procel. Seguindo esta metodologia é proposta a substituição do sistema antigo com lâmpadas ineficientes 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 distribuidora de energia elétrica do Estado de Goiás, Enel. A Tabela 4.5 resume essa equivalência.

Tabela 4.5 - Equivalência do Sistema de Iluminação

Sistema Atual		Sistema Proposto	
Equipamento Existente	Qt. (unidade)	Equipamento Proposto	Qt. (unidade)
Lâmpada Dicroica 50W	187	Lâmpada Dicroica LED 6W	187
Lâmpada Mista 250W	6	Luminária HighBay LED 80W	6
Lâmpada Mista 400W	24	Luminária HighBay LED 150W	24
Lâmpada Halógena 110W	158	Lâmpada Tubular HO LED 40W	158
Lâmpada Vapor de Sódio 250W	197	Luminária IP LED 120W	197
Lâmpada Vapor de Sódio 400W	82	Luminária IP LED 210W	82
Lâmpada Fluorescente Compacta 15W	1123	Lâmpada LED Bulbo 8W	1123
Lâmpada Fluorescente Compacta 45W	49	Lâmpada LED Milho 16W	49
Lâmpada Fluorescente Compacta 90W	92	Lâmpada LED Milho 30W	92
Lâmpada Fluorescente Tubular 16W	1630	Lâmpada LED Tubular 10W	1630
Lâmpada Fluorescente Tubular 32W	14680	Lâmpada LED Tubular 20W	14680
Refletor LFC 54W	1	Refletor LED 30W	1
Refletor Mista 250W	93	Refletor LED 100W	93
Refletor Vapor Metálico 400W	55	Refletor LED 200W	55
Total	18.377	Total	18.377

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 4.6.

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.

Tabela 4.6 - Custo da Iluminação Eficiente

Iluminação Eficiente					
Equipamento	Pot. (W)	Fabricante	Qt. (unidade)	Valor unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Lâmpada Dicróica LED	6	LED VANCE	187	30,10	5.628,70
Luminária HighBay LED	80		6	454,05	2.724,30
Luminária HighBay LED	150		24	717,38	17.217,12
Lâmpadas Tubulares HO	40		158	80,00	12.640,00
Luminárias para Iluminação Pública LED	120		197	1.470,94	289.775,18
Luminárias para Iluminação Pública LED	210		82	2.313,73	189.725,86
Refletores LED	30		1	102,06	102,06
Refletores LED	100		93	631,15	58.696,95
Refletores LED	200		55	920,08	50.604,40
Lâmpadas LED do Tipo Bulbo	8		1123	9,90	11.117,70
Lâmpadas LED do Tipo Milho	16		49	16,00	784,00
Lâmpadas LED do Tipo Milho	30		92	35,00	3.220,00
Lâmpadas Tubulares LED	10		1630	20,18	32.893,40
Lâmpadas Tubulares LED	20		14680	26,76	392.836,80
Acessórios	-		18.377	0,15	2.756,55
Total	-	-	18.377	-	R\$

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 Tabela 4.7 e Tabela 4.8.

Tabela 4.7 - 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	Dicrónica LED de 6W	8,0	187	30,10	5.628,70
2	HighBay LED de 80W	16,0	6	454,05	2.724,30
3	HighBay LED de 150W	16,0	24	717,38	17.217,12
4	HO LED de 40W	8,0	158	80,00	12.640,00
5	IP LED de 120W	16,0	197	1.470,94	289.775,18
6	IP LED de 210W	16,0	82	2.313,73	189.725,86
7	Refletor LED de 30W	16,0	1	102,06	102,06
8	Refletor LED de 100W	16,0	93	631,15	58.696,95
9	Refletor LED de 200W	16,0	55	920,08	50.604,40
10	LED do tipo bulbo de 8W	8,0	1.123	9,90	11.117,70
11	LED do tipo milho de 16W	8,0	49	16,00	784,00
12	LED do tipo milho de 30W	8,0	92	35,00	3.220,00
13	Tubular LED de 10W	8,0	1.630	20,18	32.893,40
14	Tubular LED de 20W	8,0	14.680	26,76	392.836,80
15	Acessórios	20	18.377	0,15	2.756,55
Sub Total - Custos Diretos (materiais e equipamentos)					1.070.723,02
Custos Diretos	Mão de Obra Própria (Concessionária)				30.162,84
	Elaboração do Projeto (pré-diagnóstico e diagnóstico)				59.584,51
	Terceiros (serviço de instalação)		18.377	49,00	900.473,00
	Relatórios Técnicos		12	3.500,00	42.000,00
	ART do Projeto		1	2.500,00	2.500,00
	Sub Total - Mão de obra de terceiros				1.004.557,51
	Sub total - Mão de obra				1.036.379,33
	Transporte (Concessionária)				1.686,94
	Sub total - Custos Diretos				2.107.130,31
Custos Indiretos	Treinamento e capacitação				4.109,07
	Descarte de materiais e		18.377	1,65	30.355,80
	Medição e verificação		-	-	124.740,00
	Marketing (Divulgação)		-	-	4.109,28
	Outros custos indiretos (Container para Guardar Materiais				42.418,00
	Sub Total - Custos Indiretos				205.732,15
Sub Total - Iluminação					2.312.862,45

Tabela 4.8 - Custos Anualizados do Sistema de Iluminação Proposto

Custos Anualizados				
Descrição		Vida útil	FRC	CA (R\$)
Iluminação				
1	Dicróica LED de 6W	9,47	0,1546	1.225,58
2	HighBay LED de 80W	18,94	0,1043	400,13
3	HighBay LED de 150W	18,94	0,1043	2.528,74
4	HO LED de 40W	9,47	0,1546	2.752,21
5	IP LED de 120W	18,94	0,1043	42.560,33
6	IP LED de 210W	18,94	0,1043	27.865,73
7	Refletor LED de 30W	18,94	0,1043	14,99
8	Refletor LED de 100W	18,94	0,1043	8.621,03
9	Refletor LED de 200W	18,94	0,1043	7.432,45
10	LED do tipo bulbo de 8W	9,47	0,1546	2.420,75
11	LED do tipo milho de 16W	9,47	0,1546	170,71
12	LED do tipo milho de 30W	9,47	0,1546	701,12
13	Tubular LED de 10W	9,47	0,1546	7.162,16
14	Tubular LED de 20W	9,47	0,1546	85.535,69
15	Acessórios	20	0,1019	395,46
CA_T iluminação				R\$ 189.787,08

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 Tabela 4.9 e Tabela 4.10.

Tabela 4.9 - 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 4.10 - Tarifas de Fornecimento: Resolução Homologatória ANEEL nº 2160 de 18/10/2016

Modalidade Tarifária A4 (2,3 kV a 25 kV - AT e MT)						
EMPRESA	TUSD (R\$/MWh)		TE (R\$/MWh)		Fator de Carga = 0,7 K = 0,15	
ENEL GO	Ponta	Fora de Ponta	Ponta	Fora de Ponta	CEE (R\$/MWh)	CED (R\$/kW)
	30,08	10,57	377,51	269,95	285,38	430,42

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, e tendo como parâmetros as variáveis descritas nas Tabela 4.11 e Tabela 4.12.

Tabela 4.11 - Parâmetros para o Cálculo *EE* e *RDP* do Sistema de Iluminação Atual

Iluminação - Sistema Atual							
Equipamento	Pot. (W)	Qt. (un)	Demanda (kW)	FCP	Demanda na Ponta (kW)	Func. (horas/ano)	Consumo (kWh/ano)
Dicroica	50	187	9,35	1,00	9,35	2.640	24.684,0
Mista	250	6	1,50	0,33	0,50	2.640	3.960,0
Mista	400	24	9,60	0,33	3,20	2.640	25.344,0
Halógena + Reator	122,5	158	19,36	0,67	12,90	2.640	51.097,2
Vapor de Sódio + Reator	274	197	53,98	0,67	35,99	2.640	142.501,9
Vapor de Sódio + Reator	432	82	35,42	1,00	35,42	2.640	93.519,4
LFC	15	1123	16,85	1,00	16,85	2.640	44.470,8
LFC	45	49	2,21	1,00	2,21	2.640	5.821,2
LFC	90	92	8,28	1,00	8,28	2.640	21.859,2
Tubular + Reator	17,5	1.630	28,53	1,00	28,53	2.640	75.306,0
Tubular + Reator	33,5	14.680	491,78	1,00	491,78	2.640	1.298.299,2
LFC	54	1	0,05	1,00	0,05	2.640	142,6
Refletor Mista	250	93	23,25	1,00	23,25	2.640	61.380,0
Refletor Vapor Metálico + Reator	432	55	23,76	1,00	23,76	2.640	62.726,4
Total	-	18.377	723,91	-	692,06	-	1.911.111,84

Tabela 4.12 - Parâmetros para o Cálculo da EE e RDP do Sistema de Iluminação Proposto

Iluminação - Sistema Proposto							
Equipamento	Pot. (W)	Qt. (un)	Demanda (kW)	FCP	Demanda na Ponta (kW)	Func. (horas/ano)	Consumo (kWh/ano)
Dicróica LED	6	187	1,12	1,00	1,12	2.640	2.962,1
HighBay LED	80	6	0,48	0,33	0,16	2.640	1.267,2
HighBay LED	150	24	3,60	0,33	1,20	2.640	9.504,0
Tubular HO LED	40	158	6,32	0,67	4,21	2.640	16.684,8
IP LED	120	197	23,64	0,67	15,76	2.640	62.409,6
IP LED	210	82	17,22	1,00	17,22	2.640	45.460,8
LED Bulbo	8	1123	8,98	1,00	8,98	2.640	23.717,8
LED Milho	16	49	0,78	1,00	0,78	2.640	2.069,8
LED Milho	30	92	2,76	1,00	2,76	2.640	7.286,4
LED Tubular	10	1.630	16,30	1,00	16,30	2.640	43.032,0
LED Tubular	20	14.680	293,60	1,00	293,60	2.640	775.104,0
Refletor LED	30	1	0,03	1,00	0,03	2.640	79,2
Refletor LED	100	93	9,30	1,00	9,30	2.640	24.552,0
Refletor LED	200	55	11,00	1,00	11,00	2.640	29.040,0
Total	-	18.377	395,14	-	382,43	-	1.043.169,60

A Energia Economizada de 867,94 MWh/ano e a Redução de Demanda na Ponta de 309,63 kW, conforme Tabela 4.13, obtidas com a melhoria da eficiência energética do sistema proposto, bem como o custo unitário da energia economizada de 285,38 R\$/MWh e o custo unitário evitado de demanda de 430,42 R\$/kW/ano, obtidos de acordo com o a modalidade tarifária sem a incidência de impostos ou encargos são utilizados para a análise de viabilidade econômica do sistema de iluminação. A Tabela 4.14 resume estes resultados.

O resultado da RCB de 0,50 do sistema de iluminação evidencia o potencial de eficiência energética que o sistema oferece. O Custo Anualizado de R\$ 189.787,08 é bem inferior ao Benefício Anualizado de R\$ 380.958,83, sinalizando a viabilidade técnica/econômica do sistema eficiente proposto.

Tabela 4.13 - 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)
692,06	1.911.111,84	382,43	1.043.169,60	309,63	867,94

Tabela 4.14 - 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.	867,94	309,63	430,42	285,38	189.787,08	380.958,83	0,50

4.1.5 Descarte dos Equipamentos Substituídos

Os serviços de *retrofit*, conforme exemplificado na Figura 4.4 dos sistemas de iluminação proposto, foram realizados nos 11 Câmpus contemplados durante os anos de 2019 e 2020, gerando um quantitativo significativo de equipamentos que foram retirados de operação, sendo necessário o descarte e seus resíduos destinados e dispostos em cumprimento à legislação ambiental vigente, conforme pode ser constatado na Figura 4.5.

O processo de descontaminação é composto pela etapa de classificação, processamento através de ruptura controlada, descaracterização térmica e destinação ambientalmente correta dos subprodutos e resíduos. As lâmpadas com vapor de mercúrio após o uso foram rompidas por trituração e os componentes segregados em equipamento enclausurado e sob pressão negativa para que não haja fuga de vapor de mercúrio. O vapor de mercúrio, capturado na etapa de ruptura controlada e separação dos componentes, seguiu para o Sistema de Controle de Emissão de Gases composto por filtros de cartucho para a retenção do particulado e filtro de carvão ativado que retém os vapores de mercúrio.

Os soquetes/terminais das lâmpadas e o vidro saem do equipamento descontaminados e prontos para serem comercializados com as indústrias de beneficiamento. O pó de lâmpada contaminado com mercúrio segue para o processo de desmercurização térmica e destilação, onde é aquecido a uma temperatura de aproximadamente 450 °C e vácuo. O mercúrio é extraído com cerca de 99,7% de pureza e o pó de lâmpada sai do processo descontaminado. Como

resultado desse processo tem-se os resíduos e subprodutos: vidro reciclável, terminais de alumínio, pó de lâmpada descontaminado, mercúrio metálico e sucata de reator que são destinados para empresas de reciclagem.

Figura 4.4 - Sistema de Iluminação Eficiente Instalado



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 4.5 - Lâmpadas e Reatores para Descarte



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.1.6 Geração Distribuída - Sistema Fotovoltaico

O Módulo 6 “projetos com fontes incentivadas” dos Procedimentos do Programa de Eficiência Energética – PROPEE da ANEEL aborda os projetos de eficiência energética que incluem a geração de energia elétrica a partir de fonte incentivada de energia para atendimento da unidade consumidora. Entende-se como geração a partir de Fonte Incentivada a central geradora de energia elétrica definida na Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e suas alterações. Também determina que só poderão ser realizados investimentos em geração de energia a partir de fontes incentivadas com recursos do PEE se as ações de eficiência energética economicamente viáveis apuradas em diagnóstico energético nas instalações do consumidor beneficiado, de acordo com o estabelecido no Módulo 7 – Cálculo de Viabilidade, forem ou já tiverem sido implementadas. É o caso deste projeto que contempla ações de eficiência energética em iluminação.

A proposta de instalação de sistema de geração de energia, concomitantemente com as ações de eficiência energética para os Câmpus do IFG, busca assegurar não só a economia de energia, mas também a disseminação desse tipo de tecnologia renovável.

Desde a proposição do projeto, os professores diretamente envolvidos, bem como os gestores do IFG, sugeriram contemplar o máximo possível de Câmpus da rede federal com a instalação de sistemas fotovoltaicos.

Dessa forma, baseado na demanda contratada e na potência instalada total de 1 MWp definida pela distribuidora de energia, foi estabelecido o valor de cada sistema por Câmpus, conforme a Tabela 4.15. Já a Tabela 4.16 apresenta as principais características do sistema fotovoltaico proposto.

A geração de energia foi simulada no *software* PV Syst, baseada nas informações da Tabela 4.16, bem como na insolação mensal média horária em kW/m² para a latitude e longitude das cidades onde estão localizados os Câmpus do IFG e ângulo padrão de 23° de inclinação com a face dos módulos voltados para o norte geográfico. As figuras: Figura 4.6; Figura 4.7; Figura 4.8; Figura 4.9; Figura 4.10; Figura 4.11; Figura 4.12; Figura 4.13; Figura 4.14; Figura 4.15 e Figura 4.16 apresentam a geração mensal de energia prevista em cada Câmpus.

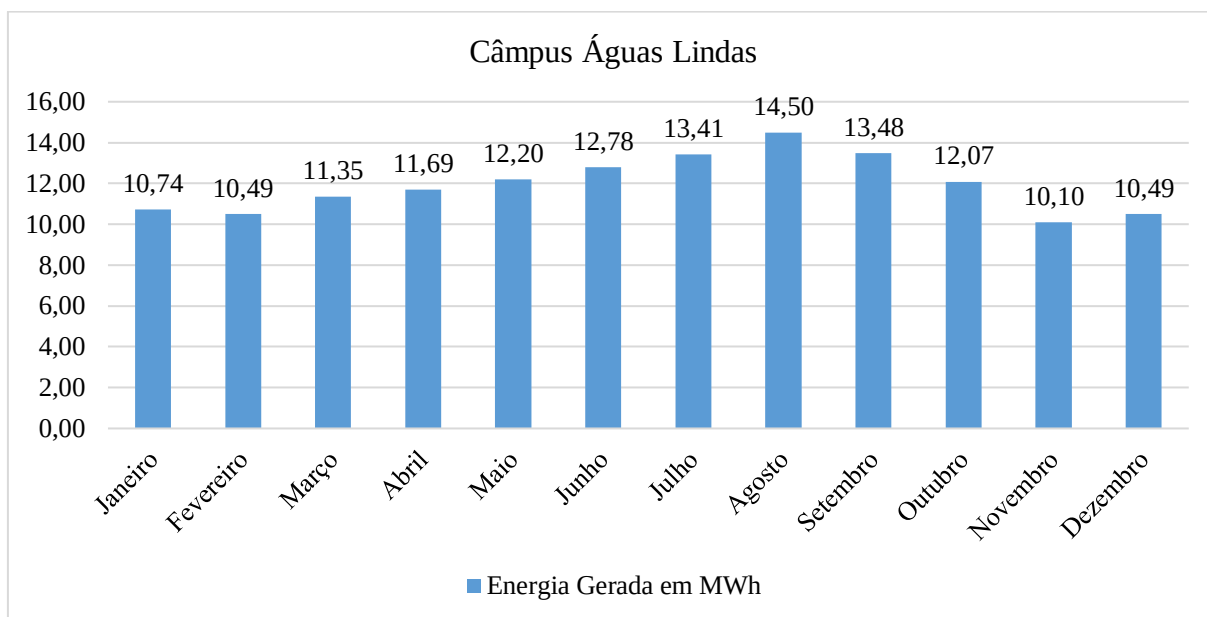
Tabela 4.15 - Potência Instalada dos Sistemas Fotovoltaicos em kWp em cada Câmpus do IFG

Câmpus do IFG		Demanda Contratada	Potência Instalada (kWp)
1	Águas Lindas	-	80
2	Anápolis	100	100
3	Aparecida de Goiânia	110	110
4	Cidade de Goiás	-	30
5	Formosa	75	75
6	Inhumas	90	90
7	Itumbiara	250	180
8	Jataí	90	90
9	Luziânia	110	110
10	Uruaçu	180	90
11	Valparaíso	45	45
TOTAL			1.000

Tabela 4.16 - Características do Sistema Fotovoltaico

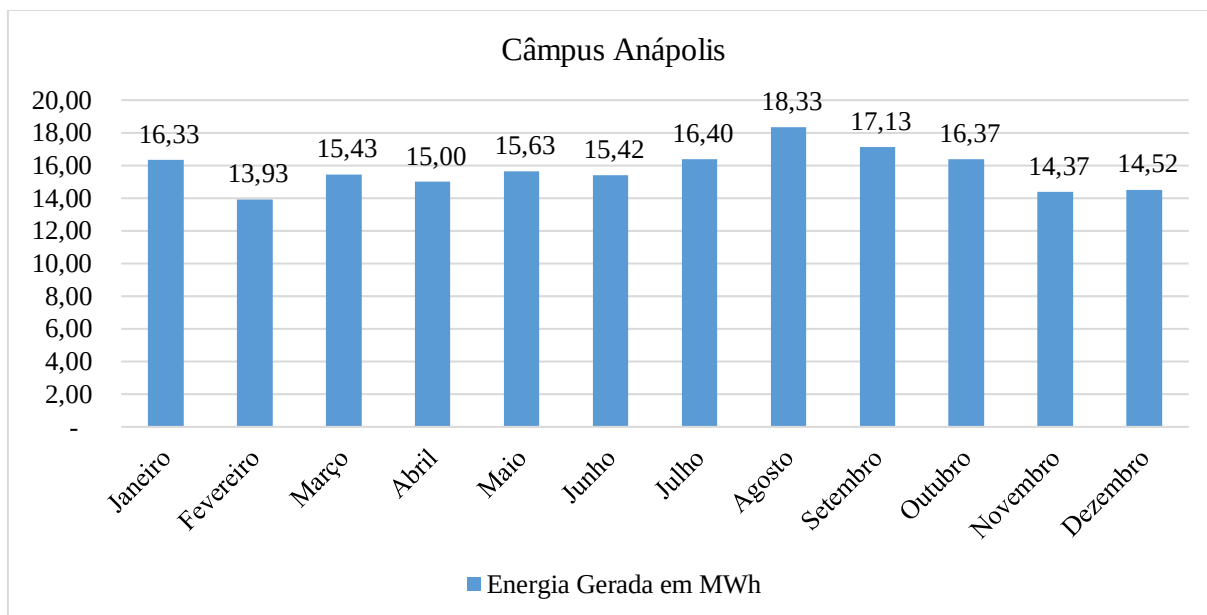
Dados Técnicos	
Tecnologia	Silício Policristalino
Fabricante	GCL SOLAR
Modelo	GCL-P6/72325
Área externa do Módulo (m ²)	1,94
Máxima Potência (Pm)	325 Watts
Tolerância	0 ~ + 5 Watts
Voltagem Máxima do Sistema	1000 Volts
Eficiência do Painei	16,70%
Temperatura Nominal de Operação de	43±2°C
Potência Total (kWp)	1.000
Nº Total de módulos	3.076

Figura 4.6 – Simulação da Geração Mensal de Energia em MWh – Câmpus Águas Lindas

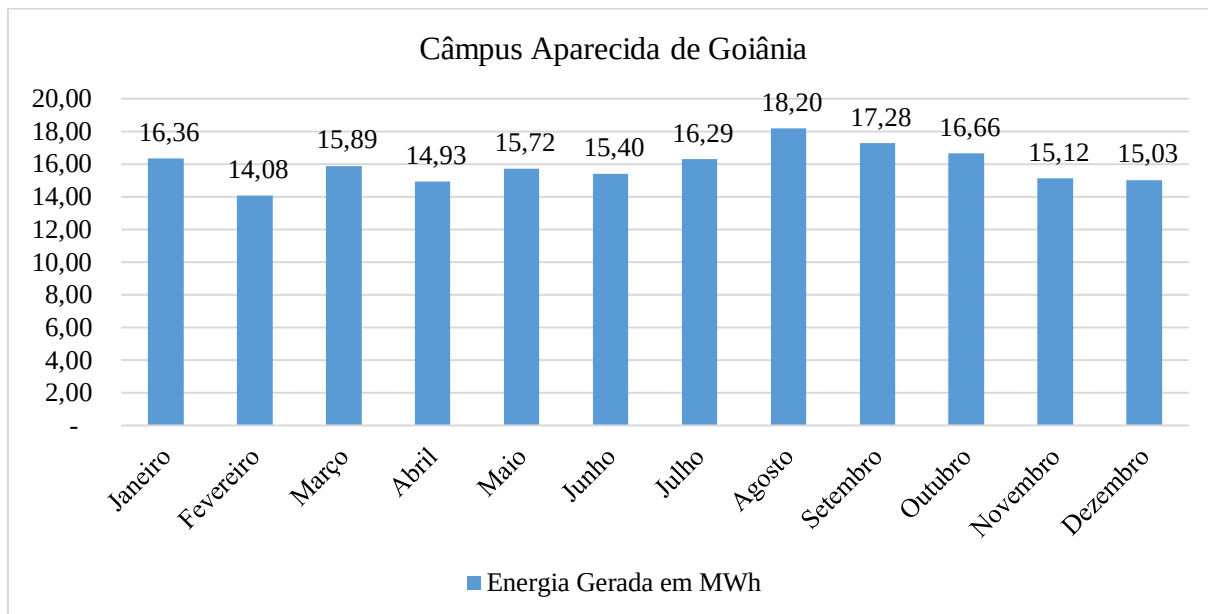


Fonte: Elaborada pelo autor.

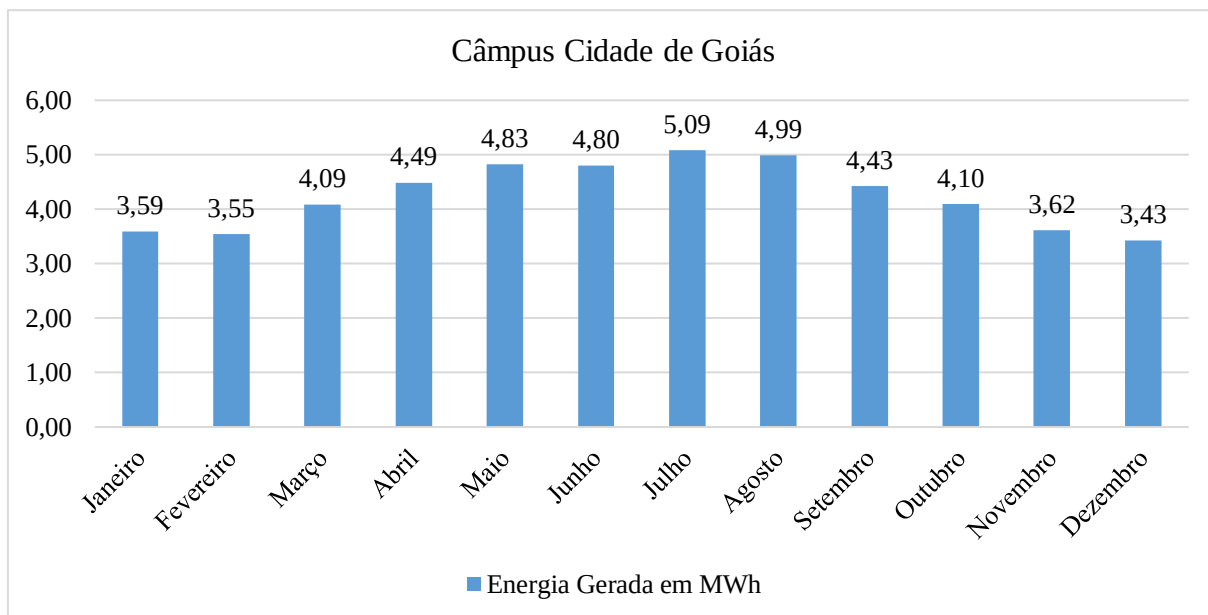
Figura 4.7 - Simulação da Geração Mensal de Energia em MWh – Câmpus Anápolis



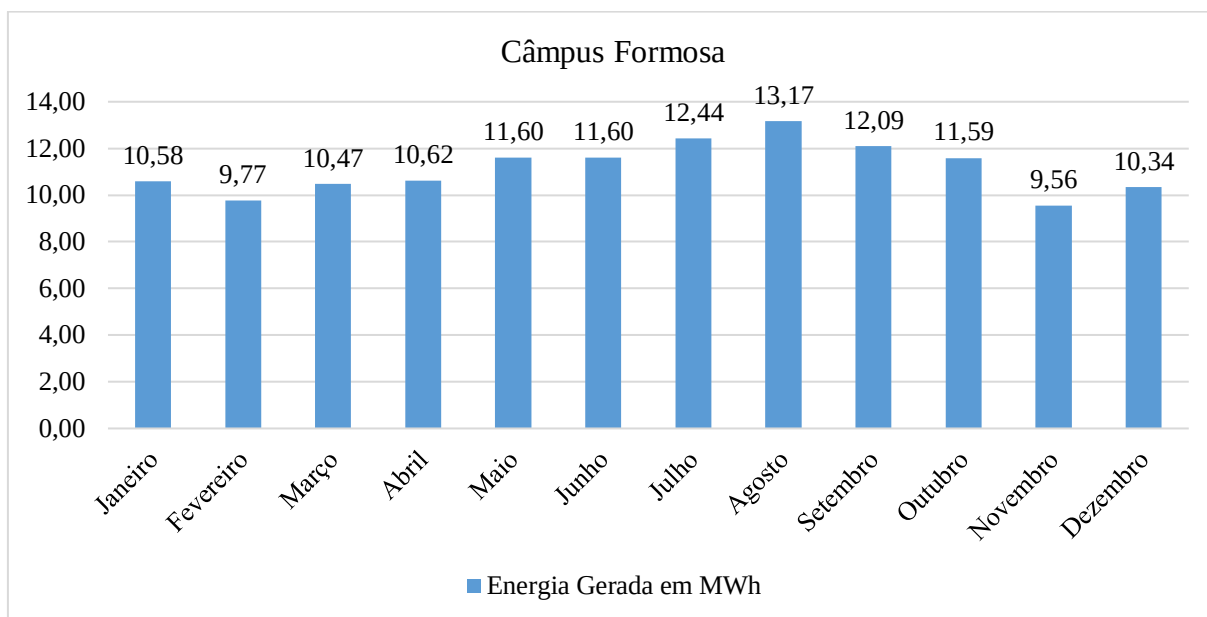
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 4.8 - Simulação da Geração Mensal de Energia em MWh – Câmpus Aparecida de Goiânia

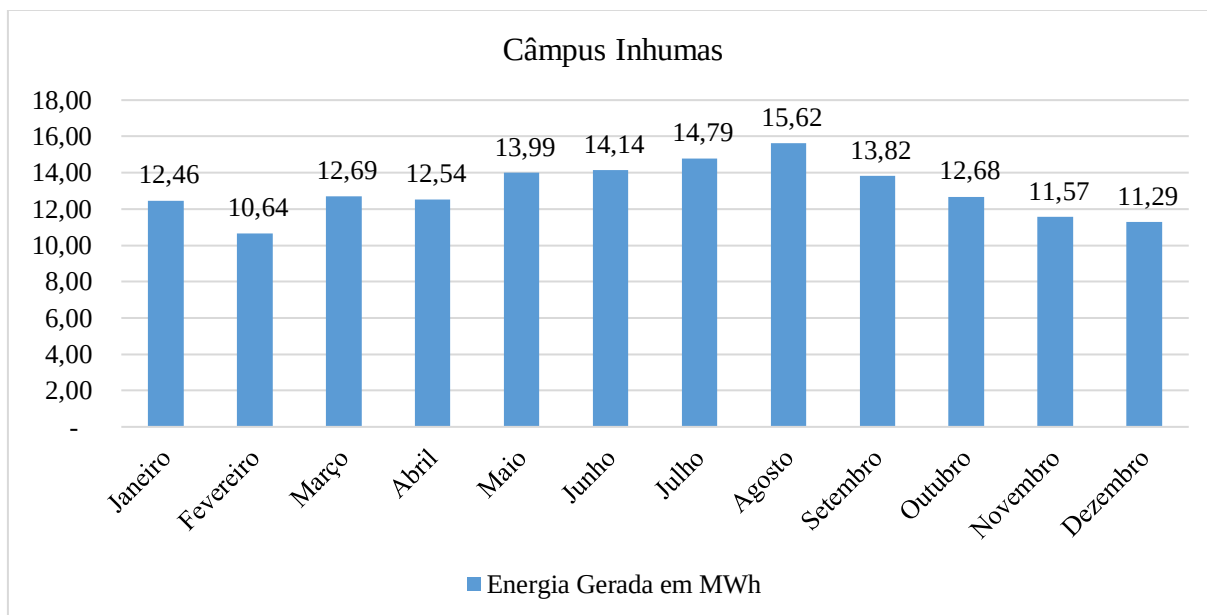
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 4.9 - Simulação da Geração Mensal de Energia em MWh – Câmpus Cidade de Goiás

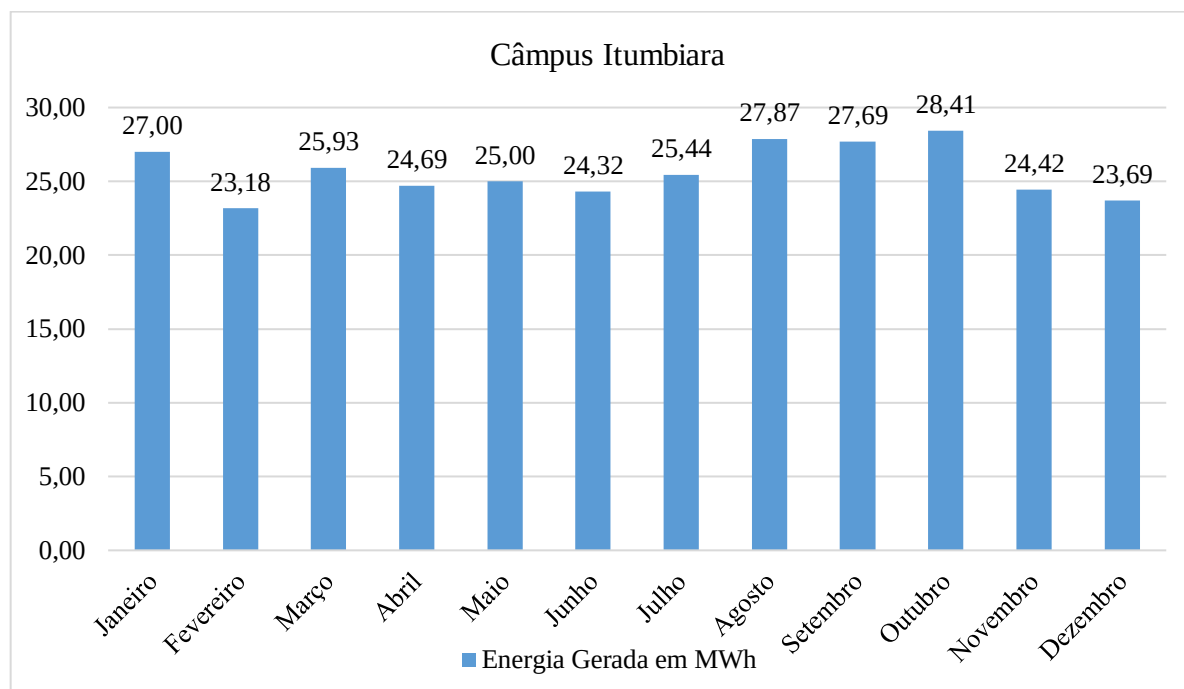
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 4.10 - Simulação da Geração Mensal de Energia em MWh – Câmpus Formosa

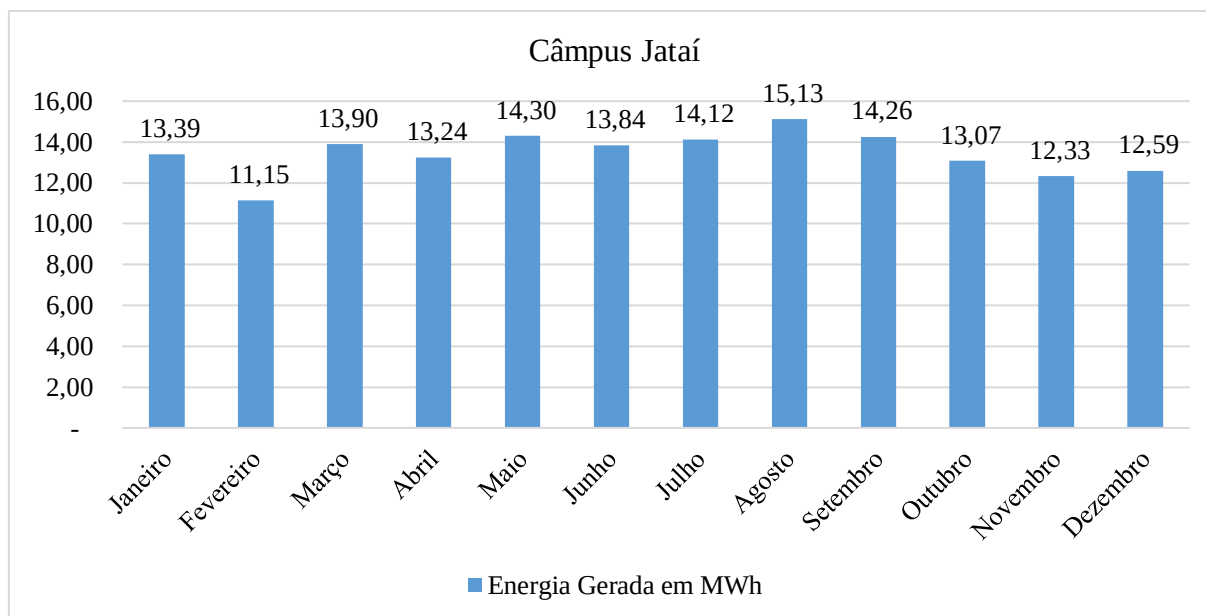
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 4.11 - Simulação da Geração Mensal de Energia em MWh – Câmpus Inhumas

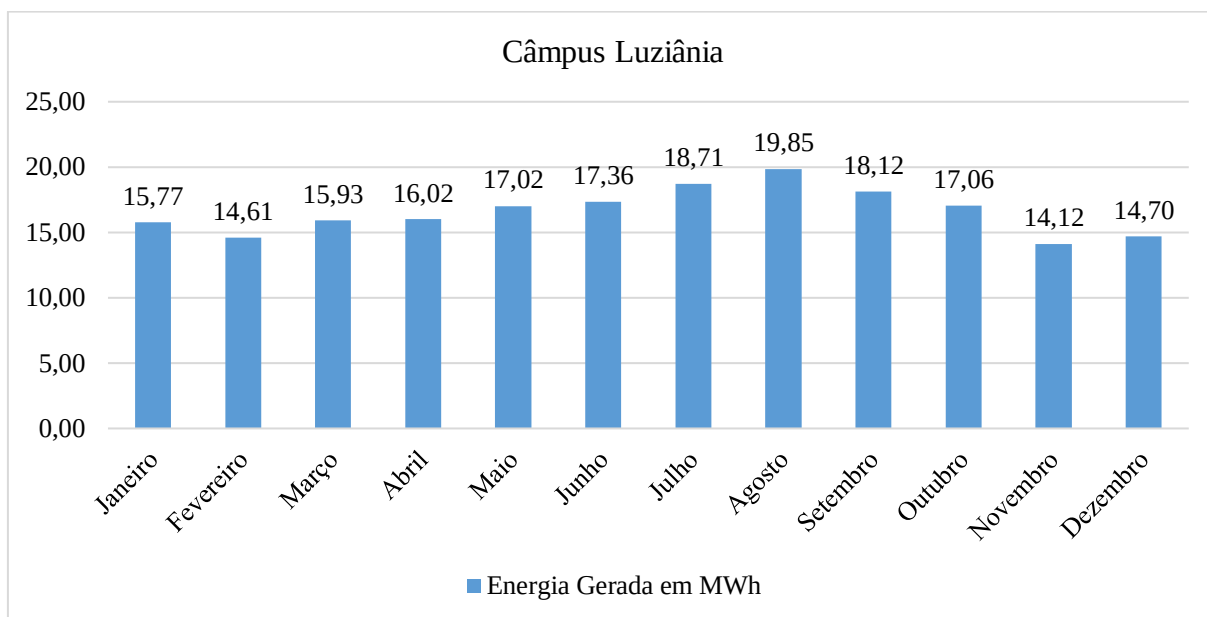
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 4.12 - Simulação da Geração Mensal de Energia em MWh – Câmpus Itumbiara

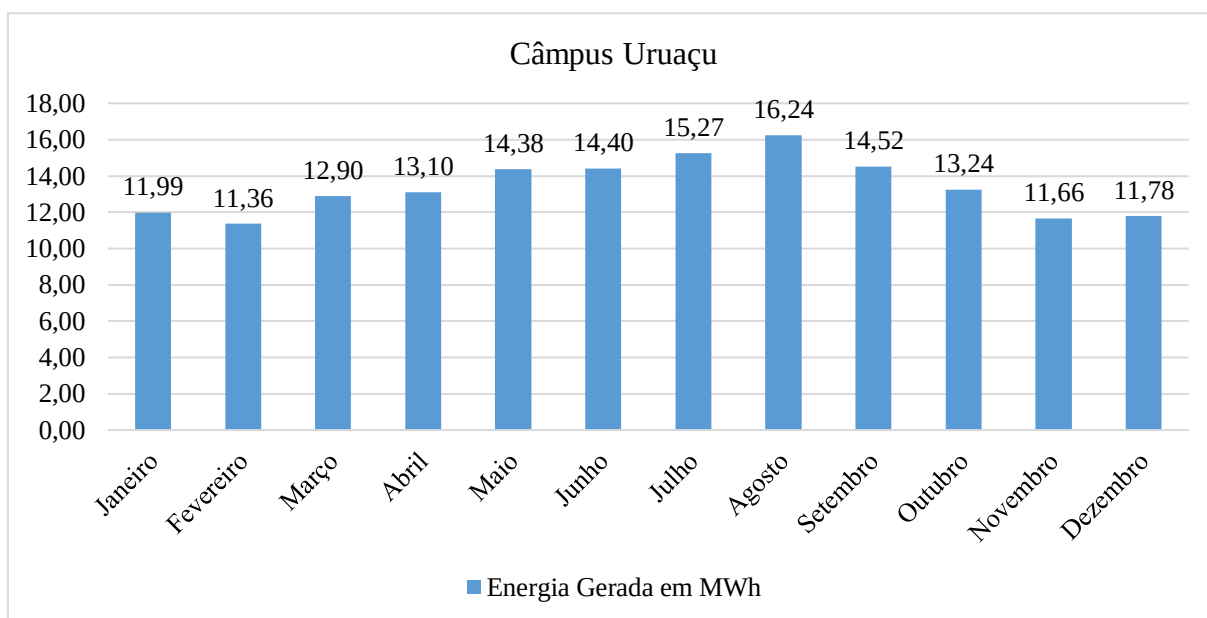
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 4.13 - Simulação da Geração Mensal de Energia em MWh – Câmpus Jataí

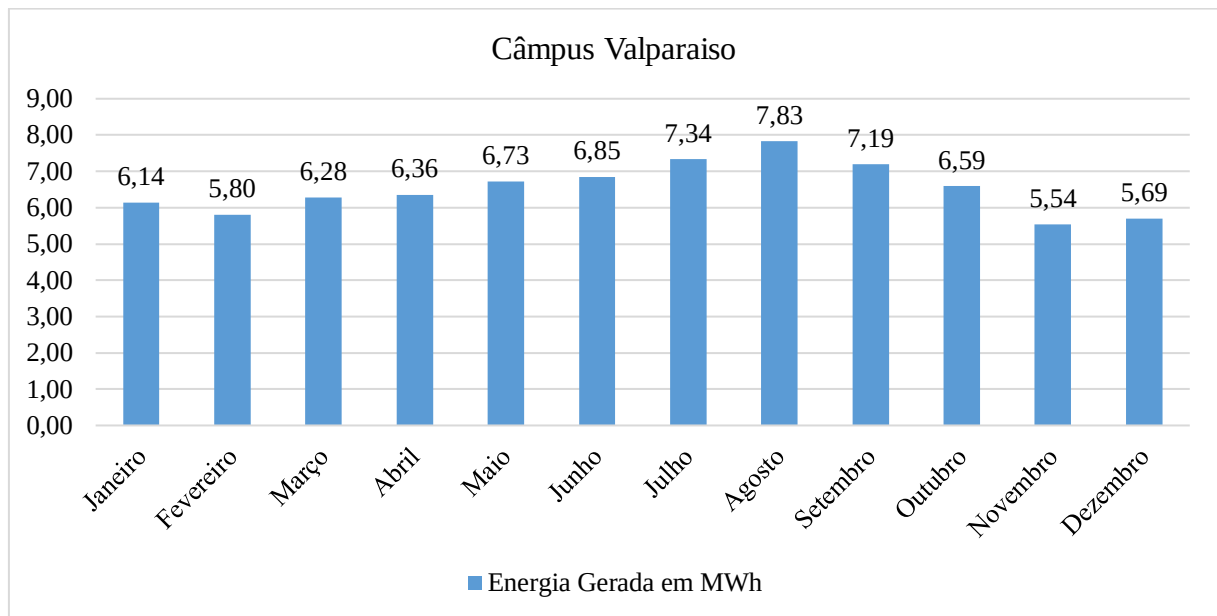
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 4.14 - Simulação da Geração Mensal de Energia em MWh – Câmpus Luziânia

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 4.15 - Simulação da Geração Mensal de Energia em MWh – Câmpus Uruaçu

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 4.16 - Simulação da Geração Mensal de Energia em MWh – Câmpus Valparaíso

Fonte: Elaborada pelo autor.

A geração prevista anual por Câmpus e total geral do projeto podem ser verificadas na Tabela 4.17.

Tabela 4.17 - Geração Prevista Anual por Câmpus e Total Geral do Projeto

Câmpus	Geração Média Prevista MWh/ano
Águas Lindas	143,30
Anápolis	188,88
Cidade de Goiás	51,00
Inhumas	156,24
Itumbiara	307,64
Jataí	161,33
Luziânia	199,27
Uruaçu	160,83
Valparaíso	78,33
Aparecida	156,24
Formosa	133,84
Total	1.736,90

Dimensionado todo sistema fotovoltaico, 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 4.16. A composição do custo total da instalação do sistema fotovoltaico proposto e seus respectivos

custos anualizados podem ser verificados através das tabelas: Tabela 4.18 e Tabela 4.19.

Tabela 4.18 - Composição do Custo Total da Instalação do Sistema Fotovoltaico

Custos Diretos					
Descrição		Vida útil (anos)	Qt. (unid)	Preço unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Sistema Fotovoltaico					
1	Kit Sistema Fotovoltaico 1MWp	25	1	3.745.126,76	3.745.126,76
2	Árvore Solar (Estrutura Metálica, Módulos Fotovoltaicos, inversor, Iluminação decorativa)	20	1	130.000,00	130.000,00
3	Sistema de Monitoramento	20	1	260.898,70	260.898,70
4	Acessórios	20	1	4.500,00	4.500,00
Sub Total - Custos Diretos (materiais e equipamentos)					R\$ 4.140.525,46
Custos Diretos	Própria (Concessionária)		1	116.640,81	116.640,81
	Elaboração do Projeto (pré-diagnóstico e diagnóstico)		1	230.415,49	230.415,49
	Terceiros (Serviço de instalação)		1	1.363.500,00	1.363.500,00
	Projeto Executivo		1	46.777,47	46.777,47
	ART de Execução dos serviços		1	2.706,73	2.706,73
	Montagem e Comissionamento		1	85.185,59	85.185,59
	Reforço na Estrutura Metálica		1	280.364,00	280.364,00
	Sub Total - Mão de obra de terceiros				645.449,29
	Sub total - Mão de obra				R\$ 762.090,09
	Transporte (Concessionária)		1	6.523,46	6.523,46
	Outros custos diretos		-	-	-
	Sub total - Custos Diretos				R\$ 4.909.139,01
Custos Indiretos	Auditoria contábil financeira		-	-	-
	Marketing (Divulgação)		1,00	15.890,72	15.890,72
	Treinamento e capacitação		1,00	15.889,93	15.889,93
	Descarte de materiais e equipamentos		-	-	-
	Medição e verificação		1,00	81.900,00	81.900,00
	Outros custos indiretos		-	-	-
	Sub Total - Custos Indiretos				R\$ 113.680,65
Sub Total – Sistema fotovoltaico					R\$ 5.022.819,66

Tabela 4.19 - Custos Anualizados do Sistema Fotovoltaico Proposto

Custos Anualizados				
Descrição		Vida útil (anos)	FRC	CA (R\$)
Sistema fotovoltaico				
1	Kit Sistema Fotovoltaico 1MWp	25	0,09368	R\$ 494.165,93
2	Árvore Solar (Estrutura Metálica, Módulos Fotovoltaicos, inversor, Iluminação decorativa)	20	0,10185	R\$ 18.650,00
3	Sistema de Monitoramento	20	0,10185	R\$ 37.428,93
4	Acessórios	20	0,10185	R\$ 645,58
CA_T sistema fotovoltaico				R\$ 550.890,44

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, PIS e COFINS), conforme as expressões (3.8) e (3.9), tendo como parâmetros as variáveis descritas nas tabelas: Tabela 4.16 e Tabela 4.17.

A Energia Economizada (*EE*) em MWh/ano é a própria geração média anual da usina fotovoltaica, ou seja, 1.736,90 MWh, conforme pôde ser verificada na Tabela 4.17. 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 4.20 resume a análise de viabilidade econômica do sistema de geração fotovoltaica.

O resultado da *RCB* de 0,77 do sistema fotovoltaico evidencia o potencial de eficiência energética que o sistema oferece. O Custo Anualizado de R\$ 550.890,44 é inferior ao Benefício Anualizado de R\$ 715.551,71, sinalizando a viabilidade técnica/econômica do sistema de geração de energia elétrica proposto.

Tabela 4.20 - Análise de Viabilidade Econômica do Sistema de Geração Fotovoltaica

USO FINAL	<i>EE</i> (MWh/ano)	<i>RDP</i> (kW)	<i>CED</i> (R\$/kW)	<i>CEE</i> (R\$/MWh)	<i>BA</i> (R\$)	<i>CA</i> (R\$)	<i>RCB</i>
Geração Fotovoltaica	1.736,90	-	-	411,97	715.551,71	550.890,44	0,77

4.1.7 Sistema de Monitoramento dos Sistemas Fotovoltaicos

Os serviços de instalação, comissionamento e conexão com a rede da distribuidora dos sistemas fotovoltaicos dos 11 Câmpus contemplados pelo projeto, ocorreram durante os anos de 2020 e 2021, conforme retratado nas figuras: Figura 4.17 e Figura 4.18.

Figura 4.17 - Sistema Fotovoltaico – Câmpus Itumbiara



Fonte: IFG.

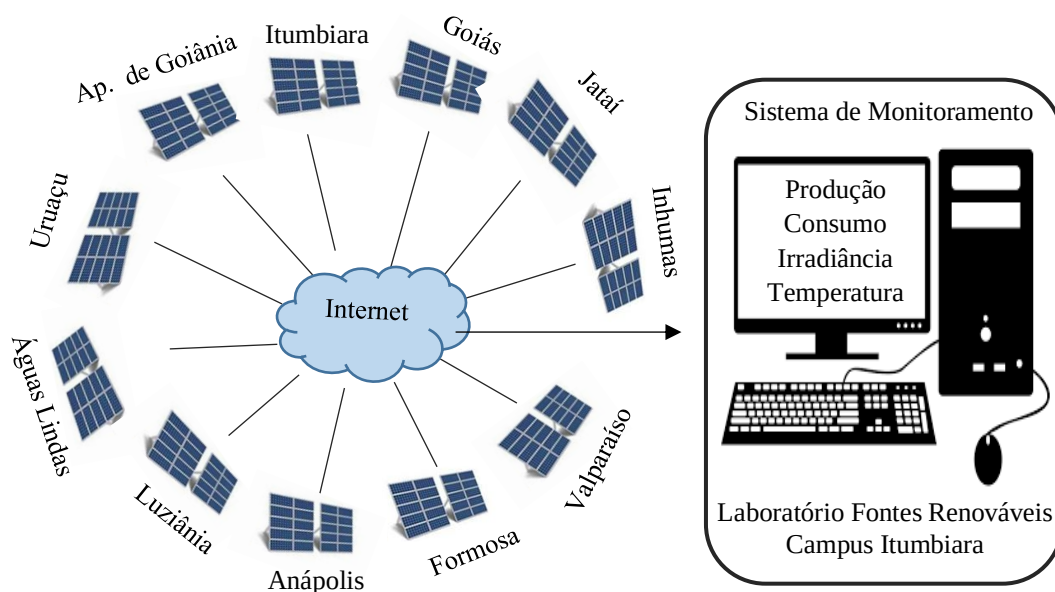
Figura 4.18 - Sistema Fotovoltaico – Câmpus Aparecida de Goiânia



Fonte: IFG.

O sistema de monitoramento dos sistemas fotovoltaicos dos 11 Câmpus do IFG que fazem parte do projeto de eficiência energética e geração distribuída foi concebido no *software Solarview*. Cada Câmpus indicou os professores e demais profissionais que farão uso do sistema e dessa forma, foram disponibilizados login e senha de acesso aos mesmos. A Figura 4.19 ilustra a configuração do sistema de monitoramento desenvolvido para os Câmpus do IFG.

Figura 4.19 - Sistema de Monitoramento Câmpus do IFG

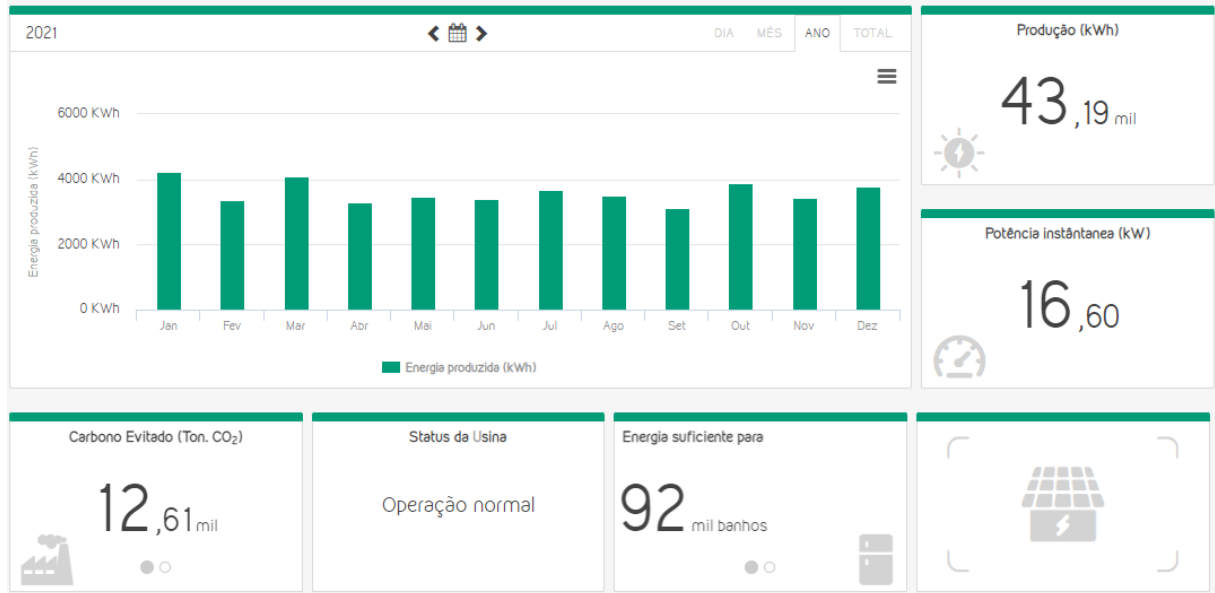


Fonte: IFG.

As informações a serem monitoradas são: usinas instaladas, *status* de funcionamento, potência instalada, potência instantânea, energia gerada por dia, mês e ano, economia de energia em R\$, etc. A Figura 4.20 retrata uma das telas do sistema de monitoramento energético desenvolvido dentro do *software Solarview*. Já na Figura 4.21 verifica-se a geração mensal de energia medida no ano de 2021 em MWh do sistema fotovoltaico do Câmpus Águas Lindas. Ressalta-se que, devido a operação mais recente dos sistemas fotovoltaicos dos Câmpus do IFG,

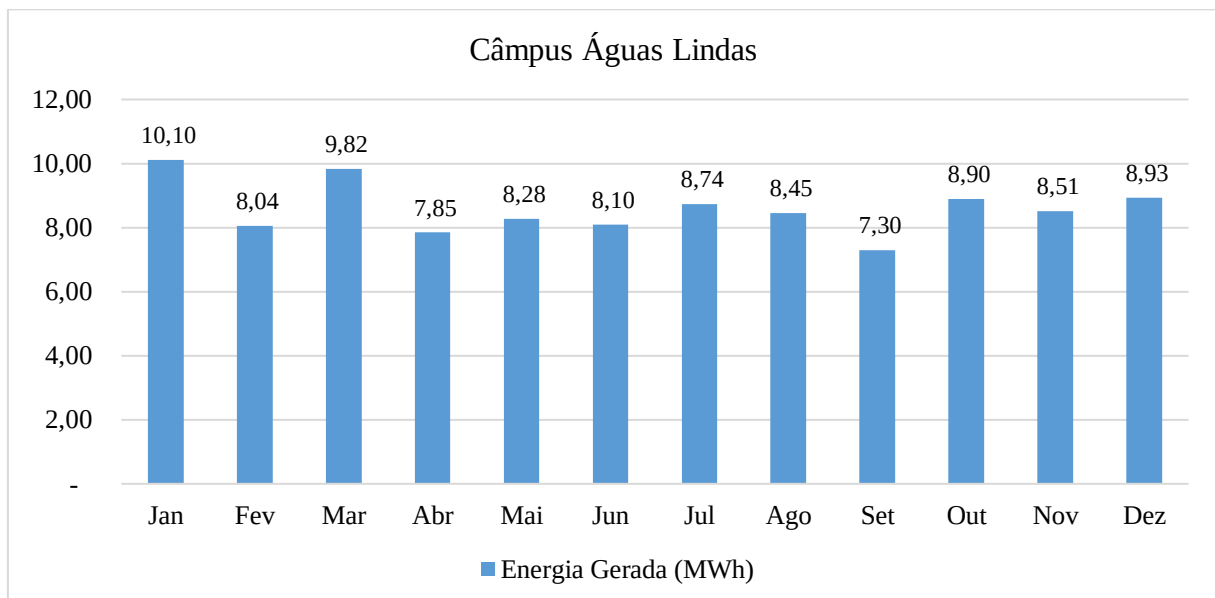
apenas o Câmpus Águas Lindas registrou pelo menos um ciclo de 12 meses de medições.

Figura 4.20 – Exemplo de Tela do Sistema de Monitoramento Energético



Fonte: Software Solarview/IFG.

Figura 4.21 - Geração Mensal de Energia Medida no Ano de 2021 em MWh Câmpus Águas Lindas



Fonte: Software Solarview/IFG.

4.1.8 Ações de Sensibilização para o uso Eficiente e Seguro da Energia Elétrica

O projeto também proporcionou treinamento e capacitação sobre o uso eficiente e seguro da energia elétrica para professores, alunos e funcionários. Foram abordados os seguintes tópicos:

- **Programa de Eficiência Energética:** O que é eficiência energética? O que são os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética? Quais ações foram implementadas no IFG? Quais são os resultados esperados? Quais são os benefícios para a comunidade e o meio ambiente?
- **Operação e Manutenção dos Novos Sistemas:** Como funciona um sistema de iluminação eficiente? Quais são seus componentes? Como podemos operá-lo e mantê-lo? Como funciona uma usina de geração fotovoltaica? Quais são seus componentes? Como podemos operá-lo e mantê-lo? Como funciona o sistema de monitoramento? Como podemos operá-lo e mantê-lo?

Outra ação importante foi a instalação de uma Árvore Solar com o propósito de ser um símbolo, um ícone do projeto, capaz de sensibilizar a comunidade acadêmica e visitantes para as questões mais relevantes da sustentabilidade.

A Árvore Solar foi instalada no Câmpus Itumbiara, conforme pode ser visualizada na Figura 4.22, consiste em estruturas metálicas tubulares, desmontáveis e transportáveis, com dez placas fotovoltaicas emolduradas por pétalas metálicas tubulares e placas perfuradas, para manter trocas de calor e não baixar sua eficiência. Por sua vez as pétalas estão soldadas a caules curvos tubulares que são aparafusados ao corpo ou tronco tubular principal da Árvore Solar. O corpo principal, com duas seções, a superior com 3 metros de comprimento, e a inferior com 6 metros, perfazem um total de 9 metros, de forma que, com a última pétala instalada, e devido a sua inclinação, o conjunto chega a uma altura final de 10,20 metros. Por fim, junto à base, uma estrutura de seção de tronco de cone metálico faz o fechamento e acabamento da Árvore Solar.

Os equipamentos responsáveis pela adequada conexão à rede elétrica, bem como dispositivos de segurança da instalação e demais acessórios, foram instalados em um totem edificado próximo à base da Árvore Solar. No entorno da Árvore Solar, foi instalado um sistema de iluminação noturno em refletores de LED, realçando as características escultóricas e de

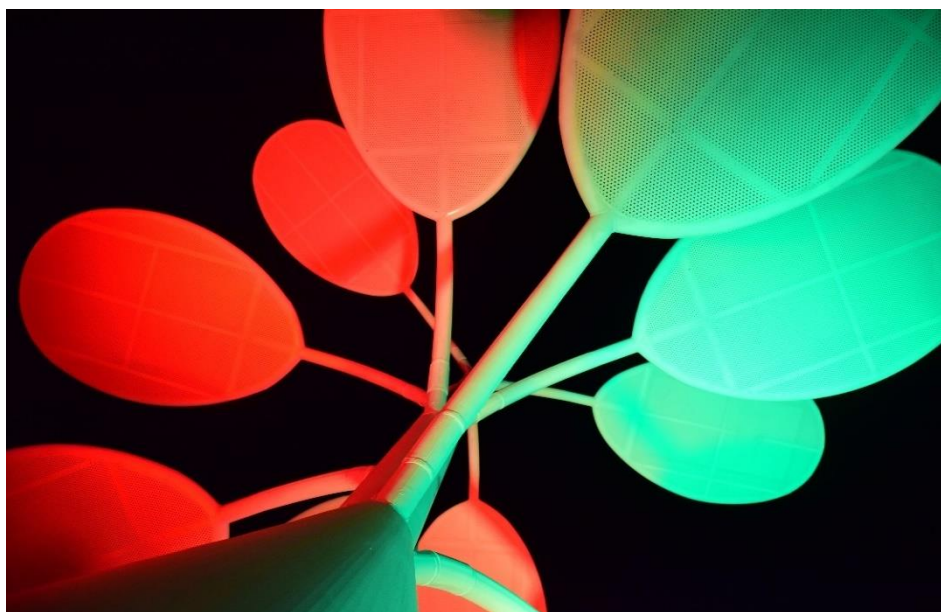
mobiliário urbano, além de divulgar as campanhas de prevenção, tradicionalmente já consolidadas no calendário nacional brasileiro, como o setembro amarelo, outubro rosa e novembro azul, conforme pode ser visualizado na Figura 4.23.

Figura 4.22 - Árvore Solar Instalada no Câmpus Itumbiara



Fonte: IFG.

Figura 4.23 - Árvore Solar com Iluminação LED Instalada no Câmpus Itumbiara



Fonte: Emerson Fagundes (IFG).

4.1.9 Análise Econômica Global do Projeto

Como o projeto apresenta um uso final (iluminação), além da geração, a *RCB* é calculada individualmente. Todavia, é necessário apresentar a *RCB* global do projeto, considerando as somas dos custos e benefícios de todos os sistemas propostos. A Tabela 4.21 resume as principais informações do projeto e a Tabela 4.22 apresenta os resultados da análise global de viabilidade econômica. Por se tratar de um projeto de eficiência energética com adição de fonte incentivada de energia (geração fotovoltaica) o resultado da *RCB* global do projeto de 0,68 é inferior a 1,0 (um). Portanto o projeto proposto neste trabalho é considerado técnica e economicamente viável no âmbito do Programa de Eficiência Energética da ANEEL.

Tabela 4.21 - Resumo das Principais Informações do Projeto

Sistema de Iluminação		Sistema Fotovoltaico	
Quantidade de Equipamentos	18377	Quantidade de Equipamentos	3076
Energia Economizada (MWh/ano)	867,94	Energia Economizada (MWh/ano)	1.736,90
Demanda Retirada na Ponta (kW)	309,63	Demanda Retirada na Ponta (kW)	0
Investimento Total (R\$)	2.312.862,45	Investimento Total (R\$)	5.022.819,66
Investimento em Equipamento (R\$)	1.070.723,02	Investimento em Equipamento (R\$)	4.140.525,46
Mão de Obra Própria Distribuidora (R\$)	30.162,84	Mão de Obra Própria Distribuidora (R\$)	116.640,81
Mão de Obra de Terceiros (R\$)	900.473,00	Mão de Obra de Terceiros (R\$)	1.363.500,00
Transporte - Distribuidora (R\$)	1.686,94	Transporte - Distribuidora (R\$)	6.523,46
Diagnóstico Energético (R\$)	59.584,51	Diagnóstico Energético (R\$)	230.415,49
Marketing (R\$)	4.109,28	Marketing (R\$)	15.890,72
Treinamento (R\$)	4.109,07	Treinamento (R\$)	15.889,93
Descarte (R\$)	30.355,80	Descarte (R\$)	-
M&V (R\$)	124.740,00	M&V (R\$)	81.900,00
CEE (R\$/MWh)	285,38	CEE (R\$/MWh)	411,97
CED (R\$/MWh)	430,42	CED (R\$/MWh)	-
RCB	0,5	RCB	0,77

Economia na Fatura de Energia do IFG de Aproximadamente R\$ 1.073.194,08/ano.

Investimento Total = R\$ 7.335.682,11

Tabela 4.22 - Análise de Viabilidade Econômica Global do Projeto

Uso Final	<i>EE</i> (MWh/ano)	<i>RDP</i> (kW)	<i>BA</i> (R\$)	<i>CA</i> (R\$)	<i>RCB</i> uso final
Iluminação	867,94	309,63	380.958,83	189.787,08	0,50
Geração Fotovoltaica	1.736,90	0,00	715.551,71	550.890,44	0,77
Total	2.604,84	309,63	1.096.510,53	740.677,52	0,68
RCB Global					0,68

4.2 Análise das Emissões Evitadas de CO₂ eq

A partir dos resultados do projeto de sustentabilidade realizado em 11 (onze) Câmpus do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG), combinando ações de eficiência energética e geração distribuída para otimizar o consumo de energia por meio do *retrofit* do sistema de iluminação e instalação de sistema de geração fotovoltaica, 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 metodologia a ser determinada depende das características gerais do projeto e do sistema ao qual ele irá fazer parte. Para o caso do projeto desenvolvido nesta pesquisa, três 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, bem como 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.

4.2.1 Geração Fotovoltaica Conectada à Rede - Metodologia AMS-I.D

Os sistemas fotovoltaicos dos 11 Câmpus do IFG foram conectados à rede e, portanto, ao Sistema Interligado Nacional - SIN. Dessa forma, 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 na seção 3.1.8, através das expressões (3.16), (3.17) e (3.18). No que se refere às margens de construção (MC) e margem de operação (MO), os cálculos foram feitos a partir dos dados de 2020. A Tabela 4.23 apresenta a MC e MO disponibilizadas pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC, 2021).

Tabela 4.23 - Dados da MC e MO Referente ao Ano de 2020

Margem de Construção - Fator de Emissão Médio Anual (tCO₂ eq/MWh) (MC)											
0,0979											
Margem de operação - fator de emissão médio mensal (tCO₂ eq/MWh) (MO)											
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0,5627	0,5258	0,3843	0,2964	0,3575	0,4758	0,3932	0,3994	0,3287	0,5723	0,5401	0,6106
Média Anual da Margem de Operação = 0,4539 (tCO₂ eq/MWh) (MO)											

A partir da expressão (3.18) e dos valores de ponderação dos respectivos fatores de emissão da MC ($EF_{grid,MC,y}$) e da MO ($EF_{grid,MO,y}$) em 2020 pôde-se obter o fator de emissões do SIN no ano de 2020. A Tabela 4.24 sintetiza os parâmetros utilizados e o fator de emissão do SIN encontrado.

Tabela 4.24 - Parâmetros e Estimativa do Fator de Emissão do SIN no Cenário 2020

Cenário 2020	Fatores	Fonte dos Fatores
Margem de construção (tCO ₂ eq/MWh) ($EF_{grid,MC,y}$)	0,0979	Tabela 4.23
Ponderação do fator de emissão da margem da construção (w_{MC})	0,25	(UNFCCC,2014)
Margem de operação (tCO ₂ eq/MWh) ($EF_{grid,MO,y}$)	0,4539	Tabela 4.23
Ponderação do fator de emissão da margem da operação (w_{MO})	0,75	(UNFCCC,2014)
Fator de emissão (tCO₂ eq/MWh)	0,3649	expressão (3.18)

A Tabela 4.25 apresenta as emissões de linha de base para os sistemas fotovoltaicos projetados para atender aos 11 Câmpus do IFG, calculadas com os dados da Tabela 4.24 e Tabela 4.17, a partir da expressão (3.17).

Tabela 4.25 - Resultado das Emissões Evitadas do Sistema Fotovoltaico - Cenário 2020

Geração Prevista de Energia Elétrica MWh/ano	Fator de emissão (tCO₂ eq/MWh)	Emissões de linha de base (tCO₂ eq/ano)
1.736,90	0,3649	633,79

Vale lembrar que as emissões de linha de base correspondem às emissões evitadas com a energia gerada pelo respectivo projeto (BE_{2020}). 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 2020 (ER_{2020}), de acordo com a expressão (3.16). Assim, no ano de 2020, o sistema fotovoltaico proposto evitou a emissão de 633,79 tCO₂ eq.

4.2.2 Ações de Eficiência Energética em Sistema de Iluminação - Metodologia AMS-II.C

As ações de eficiência energética proposta para 11 Câmpus do IFG contemplam os sistemas de iluminação 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 na seção 3.1.9.

No que se refere às margens de construção (MC) ($EF_{grid,MC,2020}$) e margem de operação (MO) ($EF_{grid,MO,2020}$) 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 2020 são os mesmos apresentados na Tabela 4.23 e disponibilizados pelo MCTIC.

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 energia elétrica substituída, conforme apresentado na expressão (3.19) e (3.20).

A Tabela 4.26 apresenta as emissões de linha de base para o sistema de iluminação, calculadas com os dados da Tabela 4.11 e Tabela 4.24, a partir da expressão (3.19) e (3.20).

A Tabela 4.27 apresenta as emissões do projeto para o sistema de iluminação, calculadas com os dados da Tabela 4.12 e Tabela 4.24, a partir da expressão (3.19) e (3.22).

Como os equipamentos substituídos foram 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 4.28 apresenta a redução das emissões no ano de 2020 (ER_{2020}) para os sistemas de iluminação, calculadas com os dados da Tabela 4.26 e Tabela 4.27, a partir da expressão (3.24).

O valor percentual de 9,4 de perdas técnicas apresentado na Tabela 4.26 e Tabela 4.27 é referente à média anual das perdas técnicas da rede de transmissão e distribuição da concessionária de energia do estado de Goiás no ano de 2020.

Tabela 4.26 - Emissões de Linha de Base do Sistema de Iluminação - Cenário 2020

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)
Iluminação	1.911,11	9,4	0,3649	-	769,72

Tabela 4.27 - Emissões do Projeto do Sistema de Iluminação - Cenário 2020

Sistema	Consumo de energia após AEE (MWh/ano)	Perdas técnicas (%)	Fator de emissão (tCO ₂ -eq/MWh)	Emissões Decorrentes das fugas físicas de refrigerante (tCO ₂ -eq)	Emissões do projeto no ano y (tCO ₂ -eq/ano)
Iluminação	1.043,17	9,4	0,3649	-	420,15

Tabela 4.28 - Redução das Emissões do Sistema de Iluminação - Cenário 2020

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)
Iluminação	769,72	420,15	-	349,57

Assim, no ano de 2020, as ações propostas de eficiência energética no sistema de iluminação evitaram a emissão de 349,57 tCO₂ eq.

4.2.3 Redução das Emissões do Projeto

Considerando todo o projeto, ou seja, as ações propostas de eficiência energética no sistema de iluminação, bem como a geração distribuída, através do sistema fotovoltaico, evitaram no ano de 2020 a emissão de 983,36 tCO₂ eq, conforme pode ser verificado na Tabela 4.29.

Tabela 4.29 - Redução Total das Emissões - Cenário 2020

Sistema	ER_y Redução das emissões no ano y (tCO ₂ eq/ano)
Iluminação	349,57
Fotovoltaico	633,79
Total	983,36

4.3 Considerações Finais do Capítulo

A elaboração do projeto de sustentabilidade implementado em 11 (onze) Câmpus do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG), combinando ações de eficiência energética e geração distribuída, com vistas a otimizar o consumo de energia por meio do *retrofit* do sistema de iluminação, instalação de sistema de geração fotovoltaica, monitoramento energético, conforme os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE) da ANEEL, constatou viabilidade técnica e econômica.

Também 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.

Capítulo 5

Conclusão e Considerações Finais

Ao fim deste trabalho é possível constatar que a eficiência no uso da energia elétrica tem uma participação importante 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. É nesse contexto que a Eficiência Energética (EE) e a Geração Distribuída (GD) desempenham um papel estratégico para ajudar a enfrentar os desafios relativos ao crescente consumo de energia elétrica no Brasil e mitigar seus impactos.

Assim, a contribuição deste trabalho, conforme metodologia de análise desenvolvida e aplicada em um estudo de caso, se faz através da criação de um guia técnico orientativo para elaboração de Projeto de Eficiência Energética associado com Geração Distribuída que pode ser realizado com recursos do Programa de Eficiência Energética (PEE) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

A elaboração do projeto, enquanto estudo de caso, aplicado em 11 (onze) Câmpus do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG), combinando Ações de Eficiência Energética e Geração Distribuída, observou as diretrizes estabelecidas pela ANEEL. Ainda, 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.

Os significativos resultados obtidos confirmaram que ações integradas e sinérgicas entre EE e GD são inovadoras e técnica e economicamente viáveis, representando importante referência para projetos semelhantes.

A metodologia adotada para efficientização do sistema de iluminação foi baseada no avanço tecnológico, uma vez que os sistemas mais modernos conseguem produzir a mesma

capacidade de iluminação ou ainda maior utilizando menos energia elétrica. Seguindo esta metodologia foi proposta a substituição do sistema antigo com lâmpadas ineficientes pelo sistema novo utilizando lâmpadas LED, o que resultou em uma favorável Relação Custo-Benefício (*RCB*) de 0,5.

Para a implantação do sistema fotovoltaico foi considerada a potência total de 1 MWp distribuídos em 11 Câmpus do IFG e geração média anual total de 1.736,90 MWh. Esses dados resultaram em uma Relação Custo-Benefício (*RCB*) de 0,77 também favorável, tendo em vista que neste caso poderia atingir o valor limite de 1.

O cálculo da *RCB* global do projeto, consideradas as somas dos custos e benefícios de todos os sistemas, é de 0,68, inferior a 1,0. Portanto, o projeto proposto neste trabalho é considerado técnica e economicamente viável no âmbito do Programa de Eficiência Energética da ANEEL.

Por fim, também 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.

Dessa forma, as metodologias AMS-I.D, “geração de energia renovável conectada à rede” que trata de unidades de geração de energia renovável, bem como AMS-II.C, que compreende “atividades que incentivem a adoção de equipamentos eficientes do ponto de vista energético” são as mais adequadas para a quantificação das emissões evitadas de CO₂ eq do projeto. Considerando todo o projeto, ou seja, as ações propostas de eficiência energética nos sistemas de iluminação, bem como a geração distribuída, através de sistemas fotovoltaicos, evitaram no ano de 2020 a emissão de 983,36 tCO₂ eq.

Por fim, conclui-se que estudos de Eficiência Energética e Geração Distribuída no âmbito do Setor Elétrico Brasileiro permitem importantes reflexões quanto à busca do equilíbrio entre oferta e o consumo de energia, sinalizando que o potencial de economia de energia existente no país deve ser utilizado como um instrumento capaz de compor a estratégia futura de atendimento sustentável à expansão do mercado de energia elétrica.

Trabalhos Publicados

Artigo em Periódico:

Faria, A.; Alvarenga, B.; Lemos, G.; Viajante, G.; Domingos, J.L.; Marra, E. Energy Efficiency and Distributed Generation: **A Case Study Applied in Public Institutions of Higher Education**. Energies 2022, 15, 1217. <https://doi.org/10.3390/en15031>.

Artigo em Congresso:

G. C. Lemos; A. F. Faria; G. P. Viajante; E. G. Domingues; J. L. Domingos; S. B. Silva; O. C. N. Souto; E. J. F. Velloso; J. L. Franca. **Energy Efficiency Project with Actions to Encourage the Rational and Sustainable Use of Electric Energy**. IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2019 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS EUROPE) 2019. 978-1-7281-0653-3/19/\$31.00 ©2019 IEEE.

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 a viabilidade econômica do projeto baseado nos métodos determinísticos de análise de investimento já tradicionalmente consolidados no mercado, como: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Período de Recuperação de Capital (*Payback*);
- b) analisar a viabilidade econômica do projeto em condições de risco e incerteza de algumas variáveis, tais como: tarifa de energia, preços dos equipamentos importados, Reduções Certificadas de Emissões (RCE), dentre outros; e
- c) quantificar as receitas de vendas anuais de RCE, advindas das emissões evitadas de carbono.

Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Banco de Informações de Geração da Matriz de Energia Elétrica. Brasília; ANEEL, 2022. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/>>. Acesso em: abril 2022.

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://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/revista_pee_ago_01.pdf>. Acesso em: out. 2017.

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. 2019.

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. 2019.

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 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa ANEEL nº 493/2012. Estabelece os procedimentos e as condições de fornecimento por meio de Microsistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica – MIGDI ou Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente – SIGFI. Brasília, 5 julho 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012493.pdf>>. Acesso em: jan. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa ANEEL nº 830/2018. Altera os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética – PROPEE, aprovado pela Resolução Normativa nº 556, de 02 de julho de 2013, e aprova a revisão do Submódulo 5.6: Pesquisa e Desenvolvimento– P&D e Eficiência Energética – EE dos Procedimentos de Regulação Tarifária – PRORET, aprovado pela Resolução Normativa nº 737, de 27 de setembro de 2016. Brasília, 23 outubro 2018. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2018830.pdf>>. Acesso em: mar. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Cadernos Temáticos ANEEL Micro e Minigeração Distribuída. Sistema de Compensação de Energia Elétrica 2ª edição. Brasília, maio 2016. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>>. Acesso em: abril 2019.

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 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Chamada nº 001/2016 do Projeto Prioritário de EE e Estratégico de P&D intitulado “Eficiência Energética e Minigeração em

Instituições Públicas de Educação Superior. Brasília, outubro 2016. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/documents/656831/14930433/Priorit%C3%A1rio+e+Estrat%C3%A9gico+%28Edital+final%29/7817f2ab-0f65-42b8-b8d4-e91a2b61239f>>. Acesso em: abril 2017.

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.

BRASIL. Lei nº 14.300 de 6 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 7 jan. 2022.

BRASIL. Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 13 fev. 1998.

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. 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.

ELETROBRAS/ PROCEL. Relatório de resultados do Procel 2014 - ano base 2013. Rio de Janeiro, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Anuário Leite 2019, EMBRAPA, 2019.

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.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - Balanço Energético Nacional (BEN 2018). Rio de Janeiro, RJ, Brasil 2013.

SILVA, E.P, et al. Analysis of hydrogen production from combined photovoltaics, wind energy and secondary hydroelectricity supply in Brazil, *Solar Energy* 78 (5), May 2005, 670-677.

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.

FARIA, A. F. Eficiência Energética e Geração Distribuída: Estudo de Caso Aplicado a Sistema de Iluminação, Condicionamento Ambiental e Adição de Fonte Incentivada de Energia Elétrica. 2016. 140 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia 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. Acesso em: 18 out 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 430/2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 15 agosto de 2019.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES. Arquivos dos Fatores de Emissão. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_despacho.html. Acesso em: 12 fev. 2022.

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.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Plano Decenal de Expansão de Energia 2029 Brasília: MME, 2019.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Balanço Energético Nacional 2018. Rio de Janeiro: MME/EPE, 2018.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Balanço Energético Nacional 2019. Rio de Janeiro: MME/EPE, 2019.

PHILIPPI JR, Arlindo, Energia e Sustentabilidade, Barueri-SP, Manole, 2016.

PROTOCOLO DE QUIOTO, 1997. Disponível em: http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/Protocolo_Quito.pdf. Acesso em: 05 mar. 2018.

UNFCCC,U.N. CDM Methodology Booklet. Disponível em:<http://cdm.unfccc.int/methodologies/index.html>. Acesso em: 08 de novembro de 2019.