



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS

PRÓ-REITORIA DE ENSINO

CÂMPUS JATAÍ

BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

ALLAN CARLOS BARBOSA MORAIS
MICHAEL BELO GUIMARÃES

Eficiência Energética para Instituição pública com foco no IFG câmpus Jataí

Jataí, 2025.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

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

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

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

Identificação da Produção Técnico-Científica

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

Nome Completo do Autor: Allan Carlos Barbosa Moraes

Matrícula: 20171020040096

Título do Trabalho: Eficiência Energética para Instituição Pública com Foco no IFG Campus Jataí

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

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



Documento assinado digitalmente
ALLAN CARLOS BARBOSA MORAIS
Data: 10/12/2025 17:28:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Jataí,
Local

10/12/2025.
Data

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

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

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

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

Identificação da Produção Técnico-Científica

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

Nome Completo do Autor: Michael Belo Guimarães

Matrícula: 20211020040137

Título do Trabalho: Eficiência Energética para Instituição Pública com Foco no IFG Campus Jataí

Autorização - Marque uma das opções

1. (X) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- () O documento está sujeito a registro de patente.
() O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
() Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

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



Documento assinado digitalmente
MICHAEL BELO GUIMARAES
Data: 10/12/2025 17:28:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Jataí,
Local

10/12/2025.
Data

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS

PRÓ-REITORIA DE ENSINO

CÂMPUS JATAÍ

BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

ALLAN CARLOS BARBOSA MORAIS
MICHAEL BELO GUIMARÃES

Eficiência Energética para Instituição pública com foco no IFG campus Jataí

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Silva Pereira

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Semensato

Jataí, 2025.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)

Morais, Allan Carlos Barbosa.

Eficiência energética para instituição pública com foco no IFG campus Jataí [manuscrito] / Allan Carlos Barbosa Moraes; Michael Belo Guimarães.

- Jataí: IFG, Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica, 2025.

/xx; 70 f.; il.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Silva Pereira.

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Semensato.

Bibliografias.

1. Eficiência energética. 2. Diagnóstico energético. 3. Energia solar fotovoltaica. 4. Qualidade de energia. 5. Gestão pública. I. Guimarães, Michael Belo. II. Pereira, Fernando Silva. III. Semensato, Marcelo. IV. IFG, Câmpus Jataí. V. Título.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS JATAÍ

Folha de Aprovação

ALLAN CARLOS BARBOSA MORAIS
MICHAEL BELO GUIMARÃES

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA INSTITUIÇÃO PÚBLICA COM FOCO NO IFG CAMPUS JATAÍ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Jataí, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Monografia defendida e aprovada, em 08 de dezembro de 2025, pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fernando Silva Pereira
Presidente da banca / Orientador
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Câmpus Jataí

Prof. Dr. Marcelo Semensato
Presidente da banca / Coorientador
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Câmpus Jataí

Prof. Dr. José Antônio Lambert
Membro
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Câmpus Jataí

Prof. Me. Jonnathan Vinicius Lopes Silva
Membro
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Câmpus Jataí

Documento assinado eletronicamente por:

- Jose Antonio Lambert, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 10/12/2025 17:42:30.
- Marcelo Semensato, COORDENADOR(A) DE CURSOS - FUC1 - JAT-CCTSE, em 10/12/2025 17:19:52.
- Jonnathan Vinicius Lopes Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 10/12/2025 17:10:16.
- Fernando Silva Pereira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 10/12/2025 17:00:23.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 10/12/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 727328

Código de Autenticação: f021143abe



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Av. Presidente Juscelino Kubitschek,, 775, Residencial Flamboyant, JATAÍ / GO, CEP 75804-714
(64) 3514-9579 (ramal: 9579)

Resumo

Título: Eficiência Energética para Instituição pública com foco no IFG campus Jataí

Autor: Allan Carlos Barbosa Moraes
Michael Belo Guimarães

Orientador: Dr. Fernando Silva Pereira

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Semensato

A eficiência energética no setor público é fundamental para a sustentabilidade econômica e ambiental. O presente trabalho apresenta um diagnóstico energético realizado no Instituto Federal de Goiás (IFG) – Câmpus Jataí, com o objetivo de identificar causas de ineficiência e propor soluções técnicas para a redução de custos e otimização do consumo. A metodologia caracterizou-se como um estudo de caso quantitativo, estruturado em quatro etapas: análise tarifária, medição de grandezas elétricas e qualidade de energia com analisador de rede (Fluke 1738), avaliação do sistema de geração fotovoltaica existente e levantamento de cargas de climatização. Os resultados do diagnóstico revelaram um subdimensionamento da demanda contratada, gerando muitas recorrentes, além de um desequilíbrio acentuado de correntes entre as fases e um déficit de geração solar de aproximadamente 67% para atingir a autossuficiência. Identificou-se também que o sistema de climatização, composto majoritariamente por equipamentos convencionais, é o principal vetor de consumo na ponta. Como conclusão, o estudo recomenda o ajuste da demanda contratada para 107 kW mantendo a tarifa Verde, a substituição do sistema de climatização por tecnologia *inverter*, e a expansão estratégica do sistema fotovoltaico considerando o fator de ajuste tarifário do Grupo A.

Palavras-chave

Eficiência Energética; Diagnóstico Energético; Energia Solar Fotovoltaica; Qualidade de Energia; Gestão Pública.

Abstract

Title: Energy efficiency for a public institution, focusing on the IFG Jataí campus.

Author: Allan Carlos Barbosa Morais
Michael Belo Guimarães

Advisor: Dr. Fernando Silva Pereira

Coadvisor: Prof. Dr. Marcelo Semensato

Energy efficiency in the public sector is fundamental for economic and environmental sustainability. This work presents an energy diagnosis conducted at the Federal Institute of Goiás (IFG) – Jataí Campus, aiming to identify causes of inefficiency and propose technical solutions for cost reduction and consumption optimization. The methodology was characterized as a quantitative case study, structured in four stages: tariff analysis, measurement of electrical quantities and power quality using a power quality analyzer (Fluke 1738), evaluation of the existing photovoltaic generation system, and an inventory of air conditioning loads. The diagnosis results revealed an underestimation of the contracted demand, generating recurring penalties, as well as a marked current imbalance between phases and a solar generation deficit of approximately 67% to achieve self-sufficiency. It was also identified that the air conditioning system, composed mostly of conventional equipment, is the main driver of peak consumption. In conclusion, the study recommends adjusting the contracted demand to 107 kW while maintaining the Green tariff, replacing the air conditioning system with inverter technology, and the strategic expansion of the photovoltaic system considering the tariff adjustment factor for Group A consumers.

Keywords

Energy Efficiency; Energy Diagnosis; Photovoltaic Solar Energy; Power Quality; Public Management.

Lista de Figuras

Figura 1	–	Representação vetorial do Triângulo de Potências.	23
Figura 2	–	Gráfico de Tensão (V) - Semana 1 (08/09 a 15/09).....	42
Figura 3	–	Gráfico de Tensão (V) - Semana 2 (15/09 a 22/09).....	43
Figura 4	–	Gráfico de Corrente (A) - Semana 1.	44
Figura 5	–	Gráfico de Corrente (A) - Semana 2.	45
Figura 6	–	Potência Ativa Instantânea (kW) - Semana 1.	46
Figura 7	–	Potência Ativa Instantânea (kW) - Semana 2.	47
Figura 8	–	Demanda (kW) - Semana 1.	48
Figura 9	–	Demanda (kW) - Semana 2.	48
Figura 10	–	Gráfico de Distorção Harmônica (DHT) - Semana 1.....	49
Figura 11	–	Gráfico de Distorção Harmônica (DHT) - Semana 2.....	50
Figura 12	–	Inspeção aérea do arranjo fotovoltaico.....	52

Lista de Tabelas

Tabela 1	–	Comparativo Detalhado de Tarifas de Consumo: Verde vs. Azul.	37
Tabela 2	–	Comparativo de Tarifas de Demanda e Multas: Verde vs. Azul.	38
Tabela 3	–	Média Anual de Consumo e Demanda (Linha de Base).	39
Tabela 4	–	Comparativo Anual de Custos: Modalidade Verde vs. Azul (Estimativa).	40
Tabela 5	–	Resultado da Simulação: Cenário Atual vs. Otimizado (107 kW).	41
Tabela 6	–	Balanco Anual de Energia Fotovoltaica (Estimativa).	52
Tabela 7	–	Consumo total da unidade	53
Tabela 8	–	Dimensionamento da Geração Necessária para Autossuficiência.	56
Tabela 9	–	Orçamento Estimado para Sistema BESS (Ref. Nov/2025).	58
Tabela 10	–	Viabilidade Financeira: Consumo de Ponta + Eliminação de Multas.	59
Tabela 11	–	Inventário de Aparelhos de Ar Condicionado (Cenário Atual).	60
Tabela 12	–	Simulação de Economia com Substituição Tecnológica (<i>Re-profit</i>).	62

Lista de Símbolos

<i>ABNT</i>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<i>ANEEL</i>	Agência Nacional de Energia Elétrica
<i>BESS</i>	<i>Battery Energy Storage System</i> (Sistema de Armazenamento de Energia em Baterias)
<i>BMS</i>	<i>Battery Management System</i> (Sistema de Gerenciamento de Bateria)
<i>BTU</i>	<i>British Thermal Unit</i> (Unidade Térmica Britânica)
<i>CAT</i>	Categoria
<i>COFINS</i>	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
<i>DHT</i>	Distorção Harmônica Total
<i>DPS</i>	Dispositivo de Proteção contra Surtos
<i>EMS</i>	<i>Energy Management System</i> (Sistema de Gerenciamento de Energia)
<i>EN</i>	Norma Europeia
<i>FA</i>	Fator de Ajuste
<i>FGV</i>	Fundação Getulio Vargas
<i>FP</i>	Fator de Potência
<i>GD</i>	Geração Distribuída
<i>GESE</i>	Grupo de Estudo em Sistemas de Energia
<i>ICMS</i>	Imposto sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestação de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicações
<i>IEEE</i>	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
<i>IFG</i>	Instituto Federal de Goiás
<i>IFSC</i>	Instituto Federal de Santa Catarina
<i>ISO</i>	Organização Internacional de Normalização
<i>MACDE</i>	Metodologia de Avaliação da Contratação de Demanda de Energia
<i>MPPT</i>	<i>Maximum Power Point Tracking</i> (Rastreamento do Ponto de Máxima Potência)
<i>NBR</i>	Norma Brasileira Regulamentadora
<i>NTC</i>	<i>Negative Temperature Coefficient</i> (Coeficiente de Temperatura Negativo)
<i>ODS</i>	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
<i>ONS</i>	Operador Nacional do Sistema Elétrico
<i>PBE</i>	Programa Brasileiro de Etiquetagem
<i>PCS</i>	<i>Power Conversion System</i> (Sistema de Conversão de Potência)
<i>PEE</i>	Programa de Eficiência Energética
<i>PIS</i>	Programa de Integração Social
<i>PROCEL</i>	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

<i>PRODIST</i>	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica
<i>QEE</i>	Qualidade de Energia Elétrica
<i>QGBT</i>	Quadro Geral de Baixa Tensão
<i>RED</i>	Recursos Elétricos Distribuídos
<i>RMS</i>	<i>Root Mean Square</i> (Raiz Média Quadrática)
<i>RTF</i>	<i>Run Time Fraction</i> (Fração de Tempo de Execução)
<i>SEP</i>	Sistema Elétrico de Potência
<i>SIN</i>	Sistema Interligado Nacional
<i>SoC</i>	<i>State of Charge</i> (Estado de Carga)
<i>SoH</i>	<i>State of Health</i> (Estado de Saúde)
<i>TE</i>	Tarifa de Energia
<i>THDV</i>	Distorção Harmônica Total de Tensão
<i>TUSD</i>	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
<i>UAV</i>	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i> (Veículo Aéreo Não Tripulado)
<i>UFER</i>	Unidade para Faturamento da Energia Reativa

Sumário

1	Introdução	13
2	Revisão Bibliográfica	15
2.1	História da Eficiência Energética no Brasil	15
2.2	Fundamentos da Eficiência Energética	16
2.2.1	Gestão, Competitividade e Combate ao Desperdício	16
2.2.2	A Importância do Diagnóstico Energético.....	17
2.3	Análise do Registrador de Energia e Qualidade Elétrica <i>Fluke 1738</i>	18
2.3.1	Especificações Técnicas e Funcionalidades	18
2.3.2	Procedimento de Instalação e Configuração	18
2.3.3	<i>Software</i> de Análise: <i>Fluke Energy Analyze Plus</i>	19
2.4	Qualidade da Energia Elétrica (QEE)	20
2.4.1	Distúrbios de Tensão: <i>Sags</i> , <i>Swells</i> e Transientes	20
2.4.2	Distorção Harmônica	21
2.4.2.1	Origem e os “Vilões” das Harmônicas	21
2.4.2.2	Consequências Técnicas	21
2.4.2.3	A Importância da Medição <i>True RMS</i>	21
2.4.3	Mitigação e Filtros de Harmônicas	22
2.5	Fator de Potência e Compensação de Energia Reativa.....	22
2.5.1	O Triângulo de Potências	22
2.5.2	Causas e Consequências do Baixo Fator de Potência	23
2.5.3	Métodos de Correção (Banco de Capacitores)	24
2.6	A Inter-relação entre o Sistema Elétrico de Potência (SEP) e a Qualidade da Energia	25
2.6.1	Vulnerabilidades do Sistema e Impacto no Consumidor	25
2.6.2	O Ciclo da Eficiência: Do Consumidor para a Rede.....	25
2.6.3	Análise da Tensão	26
2.7	Energia Solar Fotovoltaica	26
2.7.1	Células e Módulos Fotovoltaicos.....	27
2.7.2	O Papel do Inversor Interativo (<i>Grid-Tie</i>)	27
2.7.3	Sistemas Conectados à Rede (<i>On-Grid</i>)	28
2.7.4	Fluxo de Energia e Sistema de Compensação	28
2.8	Sistemas de Armazenamento e Gestão Ativa da Energia	29
2.8.1	Tecnologia BESS (<i>Battery Energy Storage Systems</i>)	29
2.8.1.1	Arquitetura e Funcionamento do Sistema	29
2.8.1.2	Sensoriamento e Monitoramento (BMS).....	30
2.8.2	Estratégias de Operação: <i>Peak Shaving</i> e <i>Energy Shifting</i>	31

2.8.3	Controle de Injeção na Rede	31
3	Metodologia	32
3.1	Fases do Estudo.....	32
3.1.1	Análise das faturas de energia.....	32
3.1.2	Coleta de Dados com Analisador de Rede.....	33
3.1.3	Análise da Geração Fotovoltaica	34
3.1.4	Levantamento de Cargas instaladas (foco em climatização)	35
4	Desenvolvimento	36
4.1	Estudo de Viabilidade Tarifária: Modalidade Verde vs. Azul	36
4.1.1	Definição de Parâmetros e Ferramenta de Simulação	36
4.1.2	Perfil Médio de Consumo e Demanda (Linha de Base).....	39
4.1.3	Resultados da Simulação Anual	39
4.2	Algoritmo de Otimização da Demanda Contratada.....	40
4.2.1	Otimização da Demanda Contratada via <i>Software</i> MACDE.....	40
4.3	Análise e Resultados da Medição de Rede (Fluke).....	41
4.3.1	Análise de Tensão	42
4.3.2	Análise de Corrente	44
4.3.3	Análise de Potência Ativa e Demanda	46
4.3.4	Análise de Distorção Harmônica (DHT)	49
4.4	Análise do Sistema Fotovoltaico e Proposta de Expansão	51
4.4.1	Inspeção Visual e Condições de Instalação	51
4.4.2	Balanco Energético: Geração, Injeção e Autoconsumo	52
4.4.3	Expansão do Sistema de geração fotovoltaica	54
4.4.3.1	Metodologia de Compensação de Créditos e Fator de Ajuste .	54
4.4.3.2	Impacto no Dimensionamento da Expansão	55
4.4.3.3	Cálculo da Geração Necessária (Meta com Fator de Correção)	55
4.5	Estudo de Viabilidade: Sistema BESS para <i>Peak Shaving</i>	57
4.5.1	Dimensionamento e Estratégia de Operação	57
4.5.2	Cálculo da Economia Real e <i>Payback</i>	58
4.6	Levantamento de Cargas e Potencial de Eficiência em Climatização	59
4.6.1	Inventário dos Equipamentos Instalados	59
4.6.2	Metodologia de Estimativa de Potência Média (Fator de Uso)	60
4.6.2.1	Metodologia para Equipamentos não <i>Inverter</i> (Convencionais)	60
4.6.2.2	Metodologia para Equipamentos <i>Inverter</i>	61
4.6.3	Estimativa de Consumo e Custo Atual	61
4.6.4	Cenário de Eficiência: Substituição Tecnológica (<i>Retrofit</i>).....	62
5	Conclusão e Projetos Futuros	64
5.1	Recomendações Técnicas e Contratuais.....	64
5.1.1	Ajuste de Demanda Contratada.....	64
5.1.2	Manutenção da Modalidade Tarifária.....	64
5.1.3	<i>Retrofit</i> do Sistema de Climatização	65
5.1.4	Expansão da Geração Fotovoltaica	65
5.2	Análise de Viabilidade da Correção de Energia Reativa	65
5.3	Sugestões para Trabalhos Futuros	66

Referências 68

Introdução

A crescente demanda por sustentabilidade e a necessidade de uma gestão fiscal responsável têm impulsionado as instituições, especialmente as públicas, a buscarem maior eficiência no uso de seus recursos. Neste cenário, a gestão de energia elétrica emerge como um pilar fundamental, não apenas pela sua representatividade nos custos operacionais, mas também pelo seu impacto ambiental. Instituições de ensino, como o Instituto Federal de Goiás (IFG), possuem um papel duplo: o de gerir seus próprios recursos de forma exemplar e o de formar profissionais conscientes e capacitados para os desafios de um futuro sustentável.

O presente trabalho foca em um desafio específico enfrentado pela Unidade do IFG, Campus Jataí. A instituição registra um consumo de energia elétrica consistentemente superior à demanda contratada junto à concessionária, uma situação que acarreta custos adicionais significativos e multas recorrentes. Uma análise preliminar indica que, apesar de contar com um sistema de geração fotovoltaica, a infraestrutura elétrica existente não está otimizada para uma gestão eficiente da energia, evidenciando um desequilíbrio entre a geração e o consumo e a necessidade de uma intervenção técnica qualificada.

A relevância deste estudo se manifesta em múltiplas dimensões. Do ponto de vista financeiro, a otimização do consumo representa uma economia direta para o orçamento da instituição, liberando recursos que podem ser alocados em suas atividades finalísticas de ensino, pesquisa e extensão. No âmbito ambiental, a redução do consumo e o melhor aproveitamento da energia gerada contribuem para a diminuição da pegada de carbono e para a consolidação de uma cultura de sustentabilidade. Ademais, o projeto alinha-se diretamente com as metas do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 7 da Organização das Nações Unidas, que visa assegurar o acesso à energia acessível, confiável, sustentável e moderna para todos.

Diante do exposto, o objetivo principal deste trabalho é analisar o perfil de consumo de energia da Unidade e propor um conjunto de soluções técnicas para mitigar o consumo excessivo, visando a adequação à demanda contratada

e a maximização da eficiência energética. Para tal, serão analisados os dados históricos de consumo, diagnosticadas as principais causas do problema e avaliadas as tecnologias e estratégias aplicáveis para a sua resolução, consolidando-se como um estudo de caso prático e relevante para a formação de profissionais na área de gestão energética.

Revisão Bibliográfica

Neste capítulo, apresenta-se a fundamentação teórica necessária para o embasamento da pesquisa, situando o estudo no contexto da gestão energética moderna. Inicialmente, abordam-se a evolução histórica e os fundamentos da eficiência energética no Brasil, destacando a importância do diagnóstico técnico e do combate ao desperdício. Na sequência, descrevem-se as especificações do registrador *Fluke 1738* utilizado para a coleta de dados e analisam-se os parâmetros críticos de Qualidade da Energia Elétrica (QEE), com ênfase nas distorções harmônicas e na correção do fator de potência. Por fim, discute-se a integração de fontes renováveis através da energia solar fotovoltaica e o papel emergente dos sistemas de armazenamento de energia (BESS) na flexibilidade operacional e na gestão ativa da demanda.

2.1 História da Eficiência Energética no Brasil

No Brasil, a eficiência energética se consolidou impulsionada tanto por problemas externos, como a crise do petróleo mencionada anteriormente, quanto por crises internas, como o racionamento (apagão) de 2001. Esse cenário forçou a construção de um robusto arcabouço de políticas e programas.

Em 1975, foi realizado o primeiro seminário sobre o tema, sinalizando uma mudança de paradigma. Ao constatarem a dependência de energia importada, o governo e o setor produtivo foram motivados a buscar alternativas, sendo esta a primeira semente da conscientização sobre a importância da gestão dos recursos energéticos nacionais.

A década de 1980 foi bastante significativa com o lançamento do programa Conserve em 1981, com foco na indústria e no desenvolvimento tecnológico. Em 1985, surgiu o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) para coordenar os esforços no setor elétrico, tentando sistematizar ações para a eficiência. Em paralelo, foi criado pelo INMETRO, em 1984, o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Embora não fosse obrigatório inicialmente, serviu como

uma importante propaganda para os produtos, sinalizando ao consumidor aqueles que eram mais eficientes.

O início dos anos 2000 amplificou a necessidade da eficiência energética, expondo a fragilidade do sistema elétrico nacional. Em 2001, uma estiagem prolongada nos reservatórios resultou em uma crise de abastecimento e aumento dos custos de energia. Por consequência, as indústrias viram-se na necessidade de pensar em como economizar e o governo exerceu pressão através de ações governamentais decisivas, como a promulgação da Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, conhecida como a “Lei da Eficiência Energética” (Freire, 2019).

2.2 Fundamentos da Eficiência Energética

A eficiência energética emergiu como uma necessidade imperativa diante desse cenário histórico. Segundo Paiva (2023) e Alves (2023, p. 14), a eficiência tem como objetivo reduzir o desperdício energético, focando no uso racional e sustentável. O resultado é a redução dos custos financeiros e dos impactos ambientais sem o comprometimento dos volumes de produção ou da qualidade do serviço.

É importante destacar que a eficiência energética não reside apenas na adoção de equipamentos modernos, mas também na eliminação de usos desnecessários. Um exemplo citado por Alves (2023) é o projeto arquitetônico que utiliza luz natural e sistemas de ventilação passiva, eliminando a necessidade de iluminação artificial ou climatização mecânica em determinados períodos.

Essas ações podem proporcionar uma redução de consumo significativa sem comprometer o serviço prestado. No Brasil, estima-se que se a demanda for reduzida em 10% até 2030, evita-se a necessidade de construção de novas usinas hidrelétricas. Melhorando a performance energética, pode-se reduzir o consumo em até 30%, beneficiando a sociedade com custos menores e diminuição do efeito estufa (Paiva, 2023; Alves, 2023).

2.2.1 Gestão, Competitividade e Combate ao Desperdício

Complementando a visão de sustentabilidade, Capelli (2007) argumenta que a energia elétrica, muitas vezes tratada como um custo fixo inevitável, deve ser gerida como uma matéria-prima variável. O controle rigoroso desse insumo é determinante para a competitividade econômica e a sustentabilidade operacional de qualquer organização.

Sob a ótica da engenharia e da automação, a eficiência não deve ser confundida com racionamento que implicaria na privação de conforto ou redução

de produtividade mas sim com o uso racional. Capelli (2007, cap. 7) classifica o desperdício, que deve ser combatido, em duas categorias principais:

- Desperdícios Visíveis e Operacionais: Incluem lâmpadas acesas em ambientes vazios, vazamentos em sistemas de ar comprimido, isolamento térmico deficiente e equipamentos ligados sem necessidade (vazios de produção).
- Desperdícios Invisíveis (Técnicos): São mais sutis e exigem análise técnica aprofundada. Envolvem perdas técnicas decorrentes de equipamentos obsoletos, dimensionamento incorreto de condutores, baixo fator de potência, desequilíbrio de fases e calor dissipado por efeito *Joule* em conexões precárias.

A conscientização e a educação da população e dos gestores sobre o uso racional de energia são fundamentais. Diante da previsão de aumento da demanda mundial, a pesquisa em eficiência energética em edifícios ao longo de seu ciclo de vida torna-se de extrema importância (Paiva, 2023).

2.2.2 A Importância do Diagnóstico Energético

Para a implementação de um programa de eficiência eficaz, Capelli (2007, cap. 7) enfatiza a necessidade de um diagnóstico energético preciso, partindo da premissa de que “não se pode gerenciar o que não se mede”.

O diagnóstico consiste em um levantamento detalhado de todas as cargas instaladas, análise do perfil de consumo, verificação das faturas de energia e medição de grandezas elétricas em pontos estratégicos. É nesta etapa que se identifica se o problema da instalação é comportamental (hábitos de uso), tecnológico (equipamentos obsoletos como ar condicionados antigos) ou contratual (inadequação da demanda).

Dentro das ações técnicas, à qualidade da energia, citando especificamente a correção do Fator de Potência e o Gerenciamento de Demanda. O baixo fator de potência e o descontrole da demanda de ponta ocupam a capacidade de transformadores e geram multas onerosas, que podem ser evitadas através de correções técnicas e automatização, validando a importância da instrumentação e medição para a tomada de decisão.

A realização de um diagnóstico energético detalhado alinha-se aos requisitos da norma NBR ISO 50001 (Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2018), que estabelece a Revisão Energética como etapa fundamental para identificar os usos significativos de energia e as oportunidades de melhoria de desempenho.

2.3 Análise do Registrador de Energia e Qualidade Elétrica *Fluke* 1738

Dada a necessidade de precisão no diagnóstico energético apontada anteriormente, torna-se essencial o uso de instrumentos que registrem não apenas o consumo, mas também eventos transitórios. Neste contexto, utiliza-se o analisador *Fluke*, modelo 1738. Este equipamento é projetado para a realização de estudos de carga, levantamentos de energia, análises de harmônicos e eventos de qualidade de energia, como quedas e elevações de tensão (*dips* e *swells*) (Fluke Corporation, 2020).

2.3.1 Especificações Técnicas e Funcionalidades

O *Fluke* 1738 é um dispositivo de alta precisão, classificado com categoria de segurança CAT IV 600 V / CAT III 1000 V, o que garante a segurança necessária para medições diretamente em painéis de entrada de serviço e quadros de distribuição principais.

O instrumento possui quatro canais de entrada de tensão (3 fases + neutro) com capacidade de até 1000 Vrms e quatro canais de entrada de corrente. Para a medição de corrente, foram utilizadas as sondas flexíveis *iFlex* (princípio de *Rogowski*), que permitem a conexão física em barramentos de difícil acesso e suportam correntes de até 6000 A, dependendo do modelo selecionado.

Segundo o manual do fabricante (Fluke Corporation, 2020), o equipamento realiza o registro simultâneo de mais de 500 parâmetros de qualidade de energia, incluindo:

- Grandezas Básicas: Tensão (V), Corrente (A), Frequência (Hz) e sequência de fases.
- Potência e Energia: Potências Ativa (W), Reativa (var) e Aparente (VA), além do consumo de energia (kWh) e Fator de Potência (FP).
- Harmônicos: Espectro harmônico de tensão e corrente até a 50^a ordem e Distorção Harmônica Total (DHT).
- Eventos: Captura de forma de onda para afundamentos e elevações de tensão.

2.3.2 Procedimento de Instalação e Configuração

Para garantir a integridade dos dados coletados, seguiu-se rigorosamente o procedimento de instalação descrito no manual do usuário (Fluke Corporation, 2020):

1. Conexão de Tensão: As pontas de prova de tensão foram conectadas em paralelo aos barramentos das fases (L1, L2, L3), Neutro (N) e Terra (PE) do Quadro geral de baixa tensão (QGBT).
2. Conexão de Corrente: As sondas flexíveis *iFlex* foram instaladas abraçando os condutores de cada fase, observando a seta de orientação de fluxo de corrente (da fonte para a carga) para garantir a polaridade correta da potência.
3. Alimentação: O instrumento foi alimentado diretamente pela tensão de medição (fase-neutro) através de sua fonte de alimentação interna, garantindo autonomia durante todo o período de registro.

Após as conexões físicas, foi utilizada a função de Verificação Inteligente (*Intelligent Measurement Verification*) na tela do equipamento. Esta função analisa as conexões em tempo real e apresenta um diagrama fasorial, permitindo corrigir digitalmente eventuais inversões de fase ou polaridade de sondas sem a necessidade de reabrir o painel elétrico.

A coleta dos dados adquiridos pelo *Fluke* pode ser visualizado pelo equipamento ou pode realizar o *download* dos registros através da porta USB do painel frontal, utilizando um dispositivo de armazenamento (*pen drive*) formatado em FAT32, conforme especificação do fabricante (Fluke Corporation, 2020).

Para o tratamento e análise dos dados brutos, utiliza-se o *software Fluke Energy Analyze Plus*.

2.3.3 *Software de Análise: Fluke Energy Analyze Plus*

O processamento e a interpretação dos dados brutos registrados pelo instrumento foram realizados através do *software* proprietário *Fluke Energy Analyze Plus*. Esta ferramenta é parte integrante da solução de medição, projetada para gerenciar, analisar e documentar os estudos de qualidade de energia e carga (Fluke Corporation, 2020).

O *software* desempenhou três funções críticas na metodologia deste trabalho:

1. Gerenciamento e Consolidação de Dados: O sistema permite o *download* dos arquivos de registro (.fc) diretamente do equipamento ou via unidade USB. Uma funcionalidade essencial utilizada foi a capacidade de concatenar (unir) diferentes sessões de registro em uma única linha do tempo contínua, permitindo a análise integral do período de duas semanas de medição.
2. Análise Gráfica e Estatística: O *software* processa os dados de intervalo (padrão de 15 minutos) para gerar os gráficos de tendência apresentados nos resultados, entretanto pode ser configurável. Ele permite a visualização simultânea de:

- Tensão e Corrente: Perfis RMS por fase e neutro.
 - Potência e Energia: Curvas de demanda ativa (kW), reativa (kvar) e aparente (kVA).
 - Harmônicos: Espectro de barras e tendência da Distorção Harmônica Total (DHT) ao longo do tempo.
3. Relatórios de Conformidade e Exportação: Além da análise visual, a ferramenta possui módulos automatizados para verificar a conformidade da tensão com normas internacionais, como a EN 50160. Para as análises financeiras e simulações de fatura (realizadas posteriormente), utilizou-se a função de exportação de dados, que converte os registros brutos para o formato de planilha eletrônica (.csv/.xlsx), compatível com o *Microsoft Excel*.

2.4 Qualidade da Energia Elétrica (QEE)

A qualidade da energia elétrica tornou-se uma preocupação central em sistemas industriais e prediais modernos. Segundo Capelli (2007, cap. 4), o aumento expressivo de cargas não-lineares (equipamentos eletrônicos, inversores de frequência, computadores) degradou a qualidade da onda senoidal fornecida pela rede, gerando distúrbios que afetam a eficiência e a vida útil dos ativos.

Capelli (2007) classifica os principais problemas de qualidade de energia em duas categorias: os que alteram a amplitude da onda e os que alteram a forma da onda.

2.4.1 Distúrbios de Tensão: *Sags*, *Swells* e Transientes

O autor descreve os distúrbios mais frequentes que impactam a operação contínua dos equipamentos:

- *Sag* (Afundamento de Tensão): É a redução momentânea da tensão RMS (geralmente entre 10% e 90% do valor nominal) com curta duração. É causado frequentemente pela partida de grandes motores ou curtos-circuitos na rede externa.
- *Swell* (Elevação de Tensão): É o oposto do *Sag*, caracterizado pelo aumento momentâneo da tensão. Pode ocorrer devido ao desligamento repentino de grandes cargas ou manobras de bancos de capacitores.
- Transientes e Surtos (*Spikes*): São perturbações de altíssima frequência e curta duração (microsegundos), geralmente causadas por descargas atmosféricas ou chaveamentos na rede. Pode danificar placas eletrônicas instantaneamente se não houver proteção adequada (como DPS).

2.4.2 Distorção Harmônica

Dentre os problemas de qualidade, Capelli (2007) destaca a Distorção Harmônica como um dos mais complexos e prejudiciais em instalações modernas. As harmônicas são componentes senoidais com frequências múltiplas inteiras da frequência fundamental (60 Hz).

2.4.2.1 Origem e os “Vilões” das Harmônicas

As harmônicas são geradas por cargas não-lineares, ou seja, aquelas que consomem corrente de forma não senoidal, mesmo quando alimentadas por uma tensão senoidal. Capelli (2007) lista os principais “vilões” responsáveis por essa poluição:

- Inversores de Frequência: Amplamente usados em ar condicionados e motores industriais;
- Retificadores e Fontes Chaveadas: Presentes em computadores e eletrônicos;
- Lâmpadas de Descarga e LED: Que utilizam reatores eletrônicos.

2.4.2.2 Consequências Técnicas

A presença de harmônicas causa diversos problemas, descritos por Capelli (2007):

1. Sobreaquecimento de Condutores e Transformadores: Devido ao efeito pelicular (*skin effect*), as correntes de alta frequência tendem a circular pela superfície dos condutores, aumentando a resistência efetiva e as perdas por efeito Joule.
2. Sobrecarga do Neutro: Em sistemas trifásicos, as harmônicas triplas (3^a, 9^a, 15^a...) se somam no condutor neutro em vez de se cancelarem, podendo causar sobreaquecimento mesmo com fases equilibradas.
3. Disparos Indevidos de Disjuntores: A distorção da forma de onda pode confundir relés de proteção que não sejam projetados para lidar com altas frequências.

2.4.2.3 A Importância da Medição *True RMS*

Um ponto crucial abordado no capítulo 4 da obra é a limitação dos instrumentos convencionais. Capelli (2007) alerta que multímetros comuns (de resposta média) fornecem leituras erradas na presença de harmônicas. Para um diagnóstico correto, é obrigatório o uso de equipamentos *True RMS* (Valor Eficaz

Verdadeiro), como o analisador de energia utilizado neste trabalho, que são capazes de medir o calor real gerado pela forma de onda distorcida.

2.4.3 Mitigação e Filtros de Harmônicas

Para corrigir os problemas causados pela distorção harmônica, Capelli (2007) apresenta soluções técnicas focadas na “limpeza” da onda elétrica:

- Filtros Passivos: Compostos por associações de indutores e capacitores sintonizados em frequências específicas (ex: filtro para a 5ª harmônica). Eles oferecem um caminho de baixa impedância para drenar a corrente harmônica para a terra, impedindo que ela circule pela rede.
- Filtros Ativos: Soluções mais modernas e sofisticadas que injetam na rede uma corrente de compensação (com fase oposta à da harmônica), cancelando a distorção em tempo real. Embora mais caros, são eficazes para cargas dinâmicas.
- Transformadores Isoladores: Utilizados para confinar as harmônicas em um setor específico da instalação, protegendo equipamentos sensíveis que estejam a montante.

2.5 Fator de Potência e Compensação de Energia Reativa

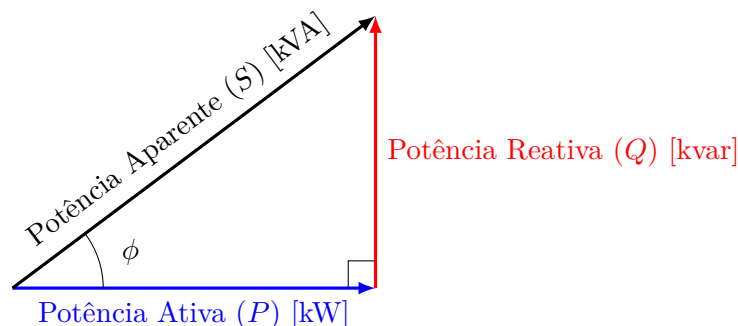
O Fator de Potência (FP) é um dos indicadores mais importantes da eficiência operacional de uma instalação elétrica. Capelli (2007, cap. 3) define o fator de potência como a relação entre a Potência Ativa (a que efetivamente realiza trabalho) e a Potência Aparente (a potência total fornecida pela fonte).

Em sistemas de corrente alternada, nem toda a energia fornecida é convertida em trabalho útil (luz, calor, movimento). Uma parcela é utilizada apenas para criar os campos magnéticos necessários ao funcionamento de equipamentos como motores e transformadores. Esta parcela é denominada Potência Reativa.

2.5.1 O Triângulo de Potências

Capelli (2007) utiliza a analogia do triângulo retângulo para explicar a relação vetorial entre as três grandezas de potência:

Figura 1 – *Representação vetorial do Triângulo de Potências.*



Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Capelli (2007, cap. 3).

- Potência Ativa (P): Medida em Watts (W) ou Quilowatts (kW). Representa a energia convertida em trabalho mecânico, térmico ou luminoso.
- Potência Reativa (Q): Medida em Volt-Ampère Reativo (VAr) ou kVAr. É a energia que oscila entre a fonte e a carga, necessária para a magnetização das bobinas dos motores e transformadores, mas que não produz trabalho efetivo.
- Potência Aparente (S): Medida em Volt-Ampère (VA) ou kVA. É a soma vetorial de P e Q, representando a capacidade total que o sistema elétrico (cabos, transformadores) deve suportar.

O Fator de Potência é, matematicamente, o cosseno do ângulo (ϕ) entre a potência ativa e a aparente:

$$FP = \cos(\phi) = \frac{P \text{ (kW)}}{S \text{ (kVA)}} \quad (1)$$

Um FP igual a 1,0 (unitário) indica que toda a energia fornecida está sendo convertida em trabalho. Valores abaixo de 1,0 indicam a presença de energia reativa ocupando o sistema.

2.5.2 Causas e Consequências do Baixo Fator de Potência

Segundo Capelli (2007), as principais causas de um baixo fator de potência em indústrias e grandes instalações são:

- Motores de indução operando em vazio ou com baixa carga (sobre dimensionados);
- Transformadores operando com baixas cargas;
- Grande quantidade de reatores para lâmpadas de descarga;
- Máquinas de solda e fornos a arco.

As consequências técnicas e financeiras de não corrigir este indicador são severas. O autor destaca:

1. Perdas por Efeito *Joule*: A corrente total necessária para entregar a mesma potência ativa aumenta conforme o FP diminui, aquecendo condutores e gerando desperdício.
2. Quedas de Tensão: O excesso de corrente reativa acentua a queda de tensão nas linhas de distribuição, podendo prejudicar o funcionamento de motores.
3. Subutilização da Capacidade Instalada: Transformadores ficam “cheios” com corrente reativa, impedindo a instalação de novas cargas úteis.
4. Multas Tarifárias: A legislação brasileira (resoluções da ANEEL) exige um FP mínimo de 0,92. Valores inferiores resultam na cobrança de multas por Excedente de Reativos na fatura de energia.
5. Limitação de cargas: Mamede Filho (2013) alerta que a operação com baixo fator de potência reduz a capacidade efetiva dos transformadores de potência, limitando a possibilidade de instalação de novas cargas e aumentando as quedas de tensão nos terminais secundários.

2.5.3 Métodos de Correção (Banco de Capacitores)

Para corrigir o baixo fator de potência, Capelli (2007, cap. 3) prescreve a instalação de Bancos de Capacitores. Os capacitores geram potência reativa capacitiva, que é oposta à potência reativa indutiva dos motores, “anulando” a necessidade de a concessionária fornecer essa energia.

Os métodos de correção citados pelo autor são:

- Correção na Carga (Local): O capacitor é instalado junto ao equipamento (ex: no motor). É a solução técnica ideal, pois alivia toda a rede interna.
- Correção por Grupos: Capacitores instalados em quadros de distribuição setoriais.
- Correção Geral (Centralizada): Um grande banco de capacitores, geralmente automático, instalado na entrada de energia (QGBT). Embora corrija o FP para a concessionária (evitando multas), não alivia os condutores internos da instalação.

2.6 A Inter-relação entre o Sistema Elétrico de Potência (SEP) e a Qualidade da Energia

A compreensão dos problemas de qualidade e eficiência energética dentro de uma instalação consumidora não pode ser dissociada do entendimento do sistema que a alimenta. Conforme detalhado por Capelli (2007, cap. 2), o sistema elétrico é composto por três etapas fundamentais: Geração, Transmissão e Distribuição.

No Brasil, essas etapas estão integradas através do Sistema Interligado Nacional (SIN), uma malha complexa de linhas de transmissão que conecta usinas e consumidores em quase todo o território nacional, gerida pelo Operador Nacional do Sistema (Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), 2025).

2.6.1 Vulnerabilidades do Sistema e Impacto no Consumidor

Embora a interligação aumente a segurança do abastecimento, a vasta extensão territorial do sistema de transmissão e distribuição expõe a energia a diversas interferências antes que ela chegue ao medidor do consumidor.

Capelli (2007) explica que a energia, ao percorrer longas distâncias em linhas de transmissão e redes de distribuição, está sujeita a:

- Impedância da Rede: Quanto maior a distância da subestação, maior a impedância, o que torna a tensão mais suscetível a variações (afundamentos) quando grandes cargas são acionadas na vizinhança.
- Fatores Externos: Descargas atmosféricas, ventos e contato de árvores com a rede geram transientes e interrupções momentâneas que afetam equipamentos sensíveis na ponta do consumidor.
- Perdas Técnicas: Parte da energia gerada é dissipada na forma de calor (Efeito *Joule*) nos próprios cabos e transformadores da concessionária durante o transporte.

Portanto, a qualidade da energia que chega ao quadro geral de uma instituição (como o IFG) é o resultado da qualidade da geração somada a todos os eventos ocorridos no trajeto de distribuição.

2.6.2 O Ciclo da Eficiência: Do Consumidor para a Rede

A relação entre o sistema de distribuição e a eficiência energética é uma via de mão dupla. Se por um lado a rede entrega distúrbios ao consumidor, por outro, as instalações consumidoras "devolvem" problemas à rede.

Capelli (2007) ressalta que o baixo fator de potência e a presença de harmônicas nas instalações industriais e comerciais sobrecarregam o sistema de distribuição. A circulação de correntes reativas e distorcidas nos transformadores da concessionária aumenta as perdas técnicas e limita a capacidade de fornecimento para outros usuários.

Desta forma, a busca pela eficiência energética e pela correção do fator de potência não é apenas uma medida de economia financeira para a instituição, mas uma ação necessária para a estabilidade e a qualidade do sistema elétrico como um todo.

2.6.3 Análise da Tensão

O Desequilíbrio de Tensão é uma anomalia fundamental analisada pela QEE, definida como uma condição em que as três fases de um sistema apresentam valores de tensão em módulo diferentes ou uma defasagem angular diferente de 120° elétricos.

As tensões $V_{\max}$, $V_{\min}$ e V_{RMS} são ferramentas essenciais na medição da qualidade da energia. Conforme identificado em estudos de Qualidade de Energia Elétrica, $V_{\max}$ (o maior módulo da tensão de fase) e $V_{\min}$ (o menor módulo) são métricas essenciais para o cálculo do desequilíbrio. O Método IEEE, por exemplo, utiliza explicitamente $V_{\max}$ e $V_{\min}$ em relação à soma dos módulos das tensões de fase (V_a , V_b , V_c) para expressar o grau de desequilíbrio (Biasotto; Aquino, 2019).

O monitoramento dessas tensões é vital, pois o desequilíbrio tem o potencial de danificar ou reduzir a vida útil de aparelhos (Canesin, 2001; Biasotto; Aquino, 2019). Um desequilíbrio de apenas 2% pode resultar em um aumento de temperatura de 30°C em motores de indução. Se a tensão não estiver balanceada, a máquina elétrica, que é projetada para operar em condições pré-estabelecidas de tensão e corrente, sofrerá perda de eficiência e superaquecimento.

2.7 Energia Solar Fotovoltaica

Diante dos desafios de qualidade e perdas no transporte de energia discutidos na seção anterior, a Geração Distribuída surge como uma alternativa estratégica. Ao gerar energia junto à carga, reduz-se a dependência exclusiva da rede de distribuição. Nesse cenário, a Energia Solar Fotovoltaica destaca-se como a fonte mais acessível para edifícios.

A energia solar fotovoltaica é a conversão direta da luz solar em eletricidade. Segundo Villalva e Gazoli (2015), esse processo ocorre sem partes móveis, ruído ou

poluição, fundamentando-se no efeito fotovoltaico. Este fenômeno físico, observado em materiais semicondutores, consiste no surgimento de uma diferença de potencial elétrico (tensão) nas extremidades de uma estrutura de material semicondutor quando esta absorve luz.

2.7.1 Células e Módulos Fotovoltaicos

A unidade básica de geração é a célula fotovoltaica. Villalva e Gazoli (2015) explicam que a imensa maioria das células comerciais é fabricada a partir do Silício (Si), um elemento semicondutor abundante na crosta terrestre.

Para que o silício gere eletricidade, ele passa por um processo de dopagem:

- Uma camada é dopada com Fósforo (que possui elétrons extras), criando a região tipo-N (Negativa).
- Outra camada é dopada com Boro (que possui lacunas ou falta de elétrons), criando a região tipo-P (Positiva).

A junção desses dois materiais (Junção P-N) cria um campo elétrico interno permanente. Quando a luz atinge a junção, os elétrons excitados são empurrados por esse campo, criando a corrente elétrica contínua (CC).

Como uma única célula produz uma tensão muito baixa (aprox. 0,5 V a 0,6 V), elas são conectadas em série e encapsuladas para formar o Módulo Fotovoltaico (popularmente conhecido como placa solar). O conjunto de módulos interligados forma o arranjo fotovoltaico, capaz de gerar a potência necessária para alimentar edifícios e indústrias.

2.7.2 O Papel do Inversor Interativo (*Grid-Tie*)

Os módulos fotovoltaicos geram Corrente Contínua (CC), enquanto a rede elétrica e a maioria dos equipamentos operam em Corrente Alternada (CA). O equipamento responsável por essa conversão é o Inversor.

Em sistemas conectados à rede (*Grid-Tie*), como o instalado no IFG, o inversor tem funções que vão além da simples conversão de energia. Villalva e Gazoli (2015) destacam que o inversor interativo atua como uma fonte de corrente controlada, sincronizando-se com a tensão e a frequência da rede da concessionária.

As principais funções do inversor listadas pelos autores são:

1. Rastreamento do Ponto de Máxima Potência (MPPT): O inversor ajusta constantemente sua impedância de entrada para extrair a máxima potência possível dos módulos, que varia conforme a irradiação solar e a temperatura ao longo do dia.

2. Sincronismo: Ele monitora a forma de onda da rede elétrica e injeta uma corrente senoidal perfeitamente sincronizada (mesma fase e frequência).
3. Proteção (Anti-ilhamento): Por segurança, o inversor deve desligar-se instantaneamente caso detecte a falta de energia na rede da concessionária, evitando alimentar trechos em manutenção (o que colocaria em risco os técnicos da concessionária).

2.7.3 Sistemas Conectados à Rede (*On-Grid*)

Os sistemas fotovoltaicos são classificados, fundamentalmente, em dois tipos: isolados (*Off-Grid*) e conectados à rede (*On-Grid* ou *Grid-Tie*). O sistema instalado no IFG enquadra-se na categoria *On-Grid*.

Segundo Villalva e Gazoli (2015), a principal característica dos sistemas conectados é que eles operam em paralelo com a rede de distribuição pública. Diferentemente dos sistemas isolados, que necessitam de bancos de baterias para armazenar energia para a noite ou dias nublados, os sistemas *On-Grid* utilizam a própria rede elétrica como um elemento armazenador de energia.

Essa configuração oferece vantagens técnicas e econômicas significativas:

- Redução de Custos: Elimina-se a necessidade de baterias, que são componentes caros, pesados e com vida útil curta.
- Confiabilidade: Se a geração solar for insuficiente ou nula (à noite), a carga é alimentada automaticamente pela concessionária, sem interrupção.
- Manutenção Simplificada: Sem o banco de baterias, a manutenção se resume basicamente à limpeza dos módulos e verificação das conexões.

2.7.4 Fluxo de Energia e Sistema de Compensação

A operação de um sistema conectado à rede baseia-se no fluxo bidirecional de energia. Villalva e Gazoli (2015) descrevem a dinâmica de funcionamento em três cenários possíveis ao longo do dia:

1. Geração = Consumo: Toda a energia gerada pelos módulos é consumida instantaneamente pelas cargas locais. O medidor da concessionária permanece estático.
2. Geração < Consumo: Em dias nublados ou horários de pico de carga, se a geração solar não for suficiente, a falta é suprida instantaneamente pela rede da concessionária. O medidor registra a energia consumida (importada).
3. Geração > Consumo: Nos momentos de alta irradiação e baixo consumo, o excedente de energia não pode ser armazenado localmente. Ele passa pelo medidor de fronteira e é injetado na rede da concessionária.

Este excedente injetado é contabilizado através do Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Embora (Villalva; Gazoli, 2015) descrevam o conceito técnico de “troca” de energia, onde a rede atua como uma espécie de “bateria virtual”, as regras comerciais e tarifárias específicas (como a validade dos créditos e o fator de ajuste para o Grupo A) são regidas pelas normas vigentes da ANEEL, como a Lei 14.300 e a REN 1.000, discutidas no Capítulo 4 deste trabalho.

Tecnicamente, para viabilizar essa operação, é necessária a instalação de um medidor bidirecional pela concessionária, capaz de registrar separadamente a energia consumida (que entra na unidade) e a energia injetada (que sai da unidade).

2.8 Sistemas de Armazenamento e Gestão Ativa da Energia

A modernização do setor elétrico tem impulsionado a adoção dos chamados Recursos Energéticos Distribuídos (RED). Segundo a FGV Energia (2016), este conceito abrange a geração distribuída, a eficiência energética, a resposta da demanda e, fundamentalmente, os sistemas de armazenamento de energia.

A integração dessas tecnologias transforma o consumidor tradicional, que era apenas um agente passivo, em um “prosumidor” (produtor + consumidor) ativo, capaz de gerenciar seu próprio fluxo de energia e interagir com a rede elétrica de forma inteligente.

2.8.1 Tecnologia BESS (*Battery Energy Storage Systems*)

Para viabilizar a gestão ativa da energia, utilizam-se os Sistemas de Armazenamento de Energia em Baterias (BESS). De acordo com Vian *et al.* (2021), o armazenamento introduz uma flexibilidade inédita ao sistema elétrico: a capacidade de desacoplar a geração do consumo.

Enquanto nos sistemas fotovoltaicos tradicionais a energia deve ser consumida ou injetada no exato instante em que há sol, um sistema BESS permite estocar esse recurso eletroquimicamente para uso posterior.

2.8.1.1 Arquitetura e Funcionamento do Sistema

Segundo Vian *et al.* (2021), um sistema BESS moderno é composto por quatro subsistemas principais que operam de forma integrada:

1. O Banco de Baterias (*Rack*): Composto por módulos de células eletroquímicas (predominantemente tecnologia *Íon-Lítio* em aplicações atuais) conectados em série e paralelo para atingir a tensão e capacidade desejadas.
2. Sistema de Conversão de Potência (PCS): É o inversor bidirecional. Sua função é converter a Corrente Alternada (CA) da rede em Corrente Contínua (CC) para carregar as baterias e, no sentido inverso, converter a CC das baterias em CA para injetar na rede ou alimentar as cargas.
3. Sistema de Gerenciamento de Baterias (BMS): É o sistema eletrônico responsável pela segurança e longevidade das células.
4. Sistema de Gerenciamento de Energia (EMS): É o “cérebro” de alto nível que decide quando carregar ou descarregar, baseando-se em horários de ponta, tarifas ou comandos do operador.

2.8.1.2 Sensoriamento e Monitoramento (BMS)

A operação segura das baterias depende de uma rede complexa de sensores monitorados pelo BMS (*Battery Management System*). Vian *et al.* (2021) detalha que este sistema realiza a leitura contínua de grandezas físicas críticas para evitar falhas catastróficas (como a fuga térmica):

- Sensores de Tensão (Célula e *Pack*): O BMS monitora a tensão individual de cada célula (ou conjunto paralelo). Isso é fundamental para o processo de balanceamento, garantindo que nenhuma célula seja sobrecarregada ou descarregada excessivamente.
- Sensores de Temperatura (NTC/Termistores): Distribuídos estrategicamente entre os módulos, monitoram o aquecimento durante a carga/descarga. Se a temperatura ultrapassar os limites seguros, o BMS limita a corrente ou desliga o sistema.
- Sensores de Corrente (*Shunt* ou Efeito *Hall*): Medem com precisão o fluxo de elétrons que entra e sai da bateria.

Através do processamento dos dados destes sensores, o BMS estima duas variáveis indiretas essenciais para a gestão energética: o SoC (*State of Charge*), que indica o percentual de carga disponível (o "nível de combustível"), e o SoH (*State of Health*), que indica a saúde e a vida útil remanescente da bateria.

2.8.2 Estratégias de Operação: *Peak Shaving* e *Energy Shifting*

Para consumidores do Grupo A (como o IFG), que pagam tarifas diferenciadas dependendo do horário, a aplicação econômica do armazenamento é imediata. Vian *et al.* (2021) define duas estratégias operacionais principais para a redução de custos:

1. Deslocamento de Energia (*Energy Shifting*): Consiste em armazenar a energia (seja da rede ou da geração solar) nos horários em que a tarifa é barata (Fora de Ponta) e descarregá-la para alimentar as cargas durante o Horário de Ponta, quando a tarifa é cara. FGV Energia (2016) reforça que essa arbitragem tarifária maximiza o valor da energia gerada pelo próprio consumidor.
2. Corte de Pico (*Peak Shaving*): É uma técnica de controle de demanda. O sistema monitora o consumo da instalação em tempo real. Quando a demanda se aproxima do limite contratado (o que geraria multa por ultrapassagem), as baterias entram em ação, injetando potência para suprir esse pico momentâneo. Isso mantém a curva de carga vista pela concessionária “achatada” e dentro dos limites contratuais (Vian *et al.*, 2021).

2.8.3 Controle de Injeção na Rede

A implementação dessas estratégias depende de inversores inteligentes (híbridos) capazes de realizar o controle do fluxo de potência. Vian *et al.* (2021) explica que esses equipamentos podem ser configurados para priorizar o autoconsumo, garantindo que a energia solar carregue as baterias antes de ser exportada para a rede, ou até mesmo para operar em modo de *backup* (ilha), garantindo o fornecimento de energia para cargas críticas em caso de falha da concessionária.

Metodologia

Este capítulo descreve os procedimentos metodológicos adotados para a realização do estudo de caso no IFG Unidade Jataí. A pesquisa caracteriza-se como quantitativa e exploratória, baseada em levantamento de dados de campo e análise documental. Para atingir os objetivos propostos, a metodologia foi estruturada de forma a correlacionar o perfil de consumo da instituição, a qualidade da energia recebida e o desempenho da geração fotovoltaica existente, utilizando instrumentos de medição de alta precisão.

Fundamentado nos conceitos de Eficiência Energética e Qualidade de Energia discutidos na Revisão Bibliográfica (Capítulo 2), este estudo busca aplicar tais teorias na prática. Enquanto a revisão teórica apontou a importância do diagnóstico e das novas tecnologias (como BESS e Solar), esta etapa metodológica detalha as ferramentas e processos utilizados para auditar a realidade energética do campus.

3.1 Fases do Estudo

O projeto será estruturado em quatro fases sequenciais e interconectadas. A primeira fase consistirá no diagnóstico e estabelecimento da linha de base. O objetivo desta etapa é coletar dados para criar um retrato fiel do cenário energético atual, que servirá como referência para comparações futuras. Este levantamento foi realizado em múltiplas frentes:

3.1.1 Análise das faturas de energia

O ponto de partida do diagnóstico foi uma análise retrospectiva das faturas de energia elétrica da instituição, fornecidas pela concessionária Equatorial Energia via agência virtual (Equatorial Energia Goiás, 2025). O objetivo principal desta análise foi identificar:

- O histórico de consumo de energia ativa (kWh) e reativa (kvarh).
- O valor da demanda contratada e o histórico de demanda medida (kW).

- A incidência e os custos de multas por ultrapassagem de demanda.
- O registro do fator de potência e a ocorrência de multas associadas.

Para obter um panorama anual completo do perfil de consumo, abrangendo as diferentes sazonalidades climáticas, foi realizada a compilação dos dados das faturas de energia do período de 2023 a 2025.

Os dados foram inicialmente organizados em planilhas do *Microsoft Excel* para a identificação dos fatores de maior impacto financeiro. Em seguida, para a simulação e validação das propostas de otimização contratual, utilizou-se o *software* especialista MACDE (Metodologia de Avaliação da Contratação de Demanda de Energia) (Grupo de Estudos em Sistemas de Energia (GESE), 2025). Disponibilizada pelo (Grupo de Estudos em Sistemas de Energia (GESE), 2025) do IFSC, esta ferramenta permitiu comparar cenários entre as modalidades tarifárias e determinar a demanda contratada ideal para a redução de custos.

3.1.2 Coleta de Dados com Analisador de Rede

Após a análise preliminar das faturas (Seção 3.2.1), a segunda etapa da metodologia consistiu na coleta de dados primários em campo para um diagnóstico técnico detalhado.

Para esta tarefa, foi utilizado o analisador de energia e qualidade elétrica Fluke 1738. O equipamento foi configurado para registrar continuamente com leituras feitas de um em um minuto, sendo este o tempo de integração dos valores. Os principais parâmetros da instalação, como tensão (V), corrente (A), potências (ativa, reativa e aparente), fator de potência, distorções harmônicas (DHT).

O analisador foi estrategicamente instalado no Quadro de proteção após o medidor de energia da concessionária (Equatorial). Este posicionamento foi crucial, pois garantiu que todas as cargas elétricas da instituição (incluindo iluminação, tomadas, aparelhos de ar condicionado e a injeção do sistema fotovoltaico) fossem monitoradas, fornecendo uma visão global e precisa do perfil de carga.

Período de Medição a coleta de dados ocorreu por duas semanas, com início em 08 de setembro e término em 22 de setembro de 2025. Este período foi escolhido para permitir a análise de diferentes cenários de operação do campus, incluindo dias úteis de alto consumo e fins de semana com baixa atividade.

Cabe ressaltar que, durante o primeiro dia de monitoramento (08/09), houve uma descontinuidade no registro de dados entre as 08:00h e as 16:16h. Este intervalo deveu-se à limitação da autonomia da bateria interna do equipamento durante a etapa inicial de instalação. Após a configuração definitiva para autoalimentação

diretamente pela tensão da rede monitorada, a coleta de dados prosseguiu de forma ininterrupta e estável pelo restante do período.

Processamento e Análise dos Dados após o período de medição, os dados brutos foram baixados do equipamento. O tratamento e a análise seguiram duas etapas:

1. *Software* do Fabricante: A análise primária, focada nos parâmetros de Qualidade de Energia Elétrica (QEE) como desequilíbrio de tensão, corrente, demanda, potência ativa instantânea e harmônicos foi realizada utilizando o *software* dedicado *Fluke Energy Analyze Plus*.
2. Análise Complementar: Para a elaboração de gráficos de perfil de carga diário, tabulação de picos de demanda e correlação com outros dados, os registros foram exportados e tratados em planilhas do *Microsoft Excel*.

3.1.3 Análise da Geração Fotovoltaica

Para avaliar a contribuição do sistema de geração distribuída existente no balanço energético da unidade, foi realizado um levantamento dos dados de produção dos inversores solares.

- Identificação dos Ativos: O sistema é composto por dois inversores da marca *WEG Huawei SUN2000-36KTL*. A coleta de dados de desempenho é gerenciada por um *datalogger* dedicado da empresa *Solarview*, especializada em sistemas de monitoramento, que disponibiliza as informações em uma plataforma *web*.
- Acesso e Coleta de Dados: No início do estudo, constatou-se que a gestão da instituição não possuía acesso ativo a esta plataforma. Como etapa preliminar, foi necessário restabelecer o acesso junto ao provedor do sistema de monitoramento para viabilizar a extração dos dados históricos de geração.
- Análise dos Dados: Com o acesso à plataforma *Solarview* estabelecido, foram extraídos os dados de geração de energia (kWh). Esta extração permitiu a análise da curva de geração diária e horária, sendo fundamental para a correlação com os picos de demanda registrados pelo Fluke 1738 e para a identificação do *mismatch* (descasamento) entre os perfis de geração e consumo.
- Inspeção Física de Campo (*Hardware*): Complementarmente, foi realizada uma inspeção visual dos módulos fotovoltaicos. Esta inspeção foi conduzida com o auxílio de um drone (UAV) da marca DJI, modelo Mavik 3E. Os objetivos desta vistoria técnica foram:

- Identificar a orientação e inclinação das placas;
- Avaliar o estado de limpeza e a presença de possíveis sombreamentos;

3.1.4 Levantamento de Cargas instaladas (foco em climatização)

A última etapa do diagnóstico de campo consistiu no levantamento das cargas instaladas.

O foco foi direcionado prioritariamente aos aparelhos de ar condicionado, uma vez que, em instituições de ensino, os sistemas de climatização representam a carga de maior relevância e o principal vetor de consumo e demanda de pico. Neste levantamento, foram catalogadas a quantidade total de unidades, a potência máxima (BTUs/kW) de cada equipamento e a sua tecnologia (convencional 'On/Off' ou *Inverter*).

Para validar a premissa de que a climatização era a carga dominante, foi realizada também uma pesquisa de campo em áreas de alto consumo potencial, como a cantina e o restaurante. O objetivo desta inspeção era identificar outros equipamentos de alta potência, como fornos elétricos industriais ou grandes freezers.

Contudo, não foram encontrados equipamentos elétricos desta natureza. Verificou-se que os fornos utilizados nas áreas de preparo de alimentos são alimentados a gás, não impactando, portanto, o consumo de energia elétrica. Esta constatação reforçou a decisão metodológica de centrar a análise de propostas de eficiência (Capítulo 4) nos sistemas de climatização.

Desenvolvimento

Este capítulo apresenta a execução prática do estudo e a análise dos dados coletados. A apresentação dos resultados inicia-se pela análise tarifária, seguida pela análise técnica das medições de rede (Fluke) para caracterização do perfil de carga. Posteriormente, avalia-se o desempenho do sistema fotovoltaico e, por fim, realiza-se o inventário de cargas de climatização para identificar o potencial de eficiência.

4.1 Estudo de Viabilidade Tarifária: Modalidade Verde vs. Azul

Diante do perfil de consumo identificado, caracterizado por uma demanda expressiva e consumo relevante no horário de ponta (devido às aulas noturnas), faz-se necessária uma análise comparativa entre as modalidades tarifárias disponíveis para o subgrupo A4: a Tarifa Verde (modalidade atual) e a Tarifa Azul.

O objetivo desta simulação é verificar se a migração para a Tarifa Azul resultaria em redução dos custos fixos e variáveis da fatura de energia.

4.1.1 Definição de Parâmetros e Ferramenta de Simulação

A diferença fundamental entre as modalidades reside na estruturação das cobranças:

- **Horária Verde:** Possui tarifa única para a demanda de potência (kW) e tarifas diferenciadas para o consumo (kWh), sendo o kWh no horário de ponta significativamente mais oneroso para desestimular o consumo.
- **Horária Azul:** Possui tarifas diferenciadas para a demanda (Demanda na Ponta e Demanda Fora de Ponta) e tarifas de consumo (kWh) mais equilibradas entre os postos tarifários.

Para a realização das simulações e validação da otimização contratual, foi utilizado o *software* MACDE (Metodologia de Avaliação da Contratação de Demanda de Energia).

Os dados de entrada inseridos no *software* foram o histórico de consumo da instituição e os valores tarifários vigentes da Equatorial Energia Goiás (Ref: Nov/2025), detalhados divididos em duas tabelas para melhor visualização Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1 – *Comparativo Detalhado de Tarifas de Consumo: Verde vs. Azul.*

Componente de Consumo	Tarifa Verde (R\$/kWh)	Tarifa Azul (R\$/kWh)
Horário de Ponta		
TUSD	0,41822	0,41822
TE	1,68632	0,09789
<i>Total Ponta</i>	<i>2,10454</i>	<i>0,51611</i>
Horário Fora de Ponta		
TUSD	0,25634	0,25634
TE	0,09789	0,09789
<i>Total Fora de Ponta</i>	<i>0,35423</i>	<i>0,35423</i>

Fonte: Elaborado pelo autor com dados da ANEEL (2025) .

Nota: Os valores não incluem impostos (ICMS/PIS/COFINS).

A análise da Tabela 1 revela uma distinção estrutural entre as duas modalidades. No posto Fora de Ponta, observa-se que os custos são idênticos (R\$ 0,35423/kWh), indicando que, durante o dia, a escolha da modalidade não impacta o custo do consumo volumétrico.

Contudo, a disparidade torna-se evidente no Horário de Ponta. Na Tarifa Verde, o custo total do kWh salta para R\$ 2,10454, impulsionado majoritariamente pela componente TE (Tarifa de Energia), que custa R\$ 1,68632. Este valor elevado é característico da modalidade Verde, projetada para desestimular o consumo no horário crítico através do encarecimento da energia.

Em contrapartida, a Tarifa Azul mantém o custo do kWh na ponta significativamente menor (R\$ 0,51611), com uma TE de apenas R\$ 0,09789. Embora

esta modalidade pareça vantajosa sob a ótica exclusiva do consumo (kWh), é importante ressaltar que essa "energia barata" na ponta é compensada pela exigência de contratação de uma demanda específica e onerosa para este horário, conforme será detalhado na análise de custos fixos a seguir.

Ressalta-se que os valores apresentados na tabela 1 referem-se às tarifas homologadas pela ANEEL, isentas de tributos. Para as simulações de *Payback* deste trabalho, o custo final do kWh foi ajustado contemplando a incidência de 19% de ICMS (alíquota fixa para estado de Goiás) e de PIS/COFINS. Para este último, adotou-se o valor aproximado de 7,06%, obtido através do cálculo da proporção entre o valor do tributo cobrado e o valor total do consumo na fatura mais recente. A variação mensal deste tributo deve-se ao regime não cumulativo estabelecido pelas Leis Federais *n*º 10.637/2002 (Brasil, 2002) e *n*º 10.833/2003 (Brasil, 2003).

Tabela 2 – *Comparativo de Tarifas de Demanda e Multas: Verde vs. Azul.*

Componente	Tarifa Verde (R\$/kW)	Tarifa Azul (R\$/kW)
Demanda na Ponta	27,09	65,45
Demanda Fora de Ponta	27,09	27,09
Multa Ultrapassagem (Ponta)	54,18	130,90
Multa Ultrapassagem (F. Ponta)	54,18	54,18

Fonte: Elaborado pelo autor com dados da ANEEL (2025).

Ao analisar os custos fixos de potência apresentados na Tabela 2, compreende-se a desvantagem financeira da Tarifa Azul para o perfil da instituição. Observa-se que, no posto Fora de Ponta, os valores são idênticos (R\$ 27,09/kW). A diferença está na contratação da Demanda na Ponta.

Enquanto a modalidade Verde permite uma contratação única de demanda (R\$ 27,09/kW) que cobre o uso em qualquer horário, a modalidade Azul exige a contratação específica de demanda para o horário de ponta a um custo de R\$ 65,45/kW um valor aproximadamente 141% superior.

Este agravante reflete-se proporcionalmente nas penalidades. O risco financeiro na modalidade Azul é maior: uma eventual ultrapassagem de demanda no horário de ponta geraria uma multa de R\$ 130,90 por kW excedente, contra R\$ 54,18 na modalidade Verde.

4.1.2 Perfil Médio de Consumo e Demanda (Linha de Base)

Para fundamentar as propostas de melhoria e os cálculos de viabilidade econômica, foi estabelecida uma "Linha de Base" energética.

A Tabela 3 apresenta as médias anuais calculadas com base no histórico de faturas dos últimos 3 anos (2023-2025). Estes valores representam o comportamento típico da instituição e serão utilizados como referência para as simulações de economia.

Tabela 3 – *Média Anual de Consumo e Demanda (Linha de Base).*

Parâmetro	Unidade	Média Anual
Consumo na Ponta (C_{P_med})	kWh	34.444,01
Consumo Fora de Ponta (C_{FP_med})	kWh	132.074,25
Demanda Medida (D_{med})	kW	91,88
Excedente Reativo (UFER)	kvarh	959,91

Fonte: Elaborado pelo autor com base no histórico de faturas.

Estes dados evidenciam que, embora o consumo não compensado na ponta seja menor em volume, ele é crítico financeiramente. Além disso, a média de multas por demanda indica um custo fixo desperdiçado que pode ser mitigado por tecnologias de gerenciamento ativo.

4.1.3 Resultados da Simulação Anual

O processamento dos dados pelo *software* MACDE gerou os cenários de custo total anual para ambas as modalidades. A ferramenta considera não apenas os valores tarifários, mas também sugere a Demanda Contratada Ótima para cada caso, minimizando o custo de multas por ultrapassagem.

A Tabela 4 apresenta o resultado financeiro comparativo obtido através da simulação.

Tabela 4 – *Comparativo Anual de Custos: Modalidade Verde vs. Azul (Estimativa).*

Componente de Custo	Custo Anual (Verde)	Custo Anual (Azul)
Demanda de Potência	R\$ 35.677,44	R\$ 114.097,84
Consumo de Energia	R\$ 163.730,92	R\$ 98.890,52
Custo Total Anual	R\$ 199.408,36	R\$ 212.988,36

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados de jan/2023 a nov/2025.

A análise dos resultados demonstra que a manutenção da Tarifa Verde permanece como a opção mais econômica para a instituição, corroborando a indicação do *software*. Entretanto, a simulação apontou a necessidade de ajustar a demanda contratada dos atuais 80 kW para 107 kW. Este novo valor já contempla uma projeção de aumento de carga de 5%. Apesar do alto custo do kWh na ponta, a penalidade de contratar uma demanda de ponta (exigida na Tarifa Azul) superaria a economia gerada no consumo.

Definida a modalidade tarifária mais vantajosa, torna-se necessário investigar o comportamento real da carga para compreender as causas das ultrapassagens de demanda identificadas. Para tanto, apresentam-se a seguir os resultados das medições de grandezas elétricas (Fluke) realizadas no quadro geral, detalhando os perfis de tensão, corrente e potência da instalação.

4.2 Algoritmo de Otimização da Demanda Contratada

A análise preliminar das faturas indicou que a demanda contratada atual (80 kW) está subdimensionada, resultando em multas frequentes. Por outro lado, contratar uma demanda excessivamente alta geraria um custo fixo desnecessário (pagar por uma disponibilidade não utilizada).

4.2.1 Otimização da Demanda Contratada via *Software* MACDE

A análise preliminar das faturas indicou que a demanda contratada atual (80 kW) está subdimensionada, resultando em multas frequentes por ultrapassagem. Para determinar o ponto de equilíbrio financeiro exato ou seja, o valor de demanda

que minimiza o custo global (Soma da Demanda Fixa + Multas eventuais) utilizou-se novamente a plataforma especialista MACDE (Grupo de Estudos em Sistemas de Energia (GESE), 2025).

A simulação foi realizada inserindo-se na ferramenta os dados históricos de demanda máxima medida referentes às faturas dos últimos três anos (2023 a 2025). O *software* processou automaticamente, aplicando as regras tarifárias vigentes da Equatorial Energia para o Grupo A4.

O resultado do processamento indicou que a Demanda Contratada Ótima para o perfil de carga da instituição é de 107 kW.

É importante ressaltar que este valor não necessariamente elimina todas as ocorrências de ultrapassagem da demanda contratada. Contudo, a análise financeira demonstra que é mais vantajoso absorver eventuais multas residuais do que contratar uma demanda excessivamente alta para cobrir picos isolados.

A Tabela 5 apresenta o comparativo financeiro gerado pela ferramenta entre o cenário atual e o cenário proposto.

Tabela 5 – *Resultado da Simulação: Cenário Atual vs. Otimizado (107 kW).*

Parâmetro	Cenário Atual (80 kW)	Cenário Proposto (107 kW)
Custo Demanda + Multas (Anual)	R\$ 43.783,08	R\$ 37.018,08

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados do *software* MACDE (Grupo de Estudos em Sistemas de Energia (GESE), 2025).

A análise comprova que, mesmo com o aumento do custo fixo e a possibilidade de multas residuais, a elevação da demanda contratada gera uma economia líquida para a instituição. O montante economizado ao evitar as grandes penalidades atuais supera o investimento na disponibilidade adicional de potência.

4.3 Análise e Resultados da Medição de Rede (Fluke)

A principal fonte de dados quantitativos foi a análise de rede realizada no Quadro Geral de Baixa Tensão, conforme descrito na metodologia (Seção 3.2.2). Foi utilizado o Analisador de Energia e Qualidade Elétrica Fluke 1738, configurado para registrar os principais parâmetros de tensão, corrente, potência e distorções harmônicas.

A coleta foi dividida em dois períodos contínuos para abranger diferentes cenários de operação:

1. Primeira Análise: Iniciada em 08 de setembro às 09:48 e finalizada em 15 de setembro às 09:48 (Semana 1).
2. Segunda Análise: Iniciada em 15 de setembro às 10:00 e finalizada em 22 de setembro às 10:00 (Semana 2).

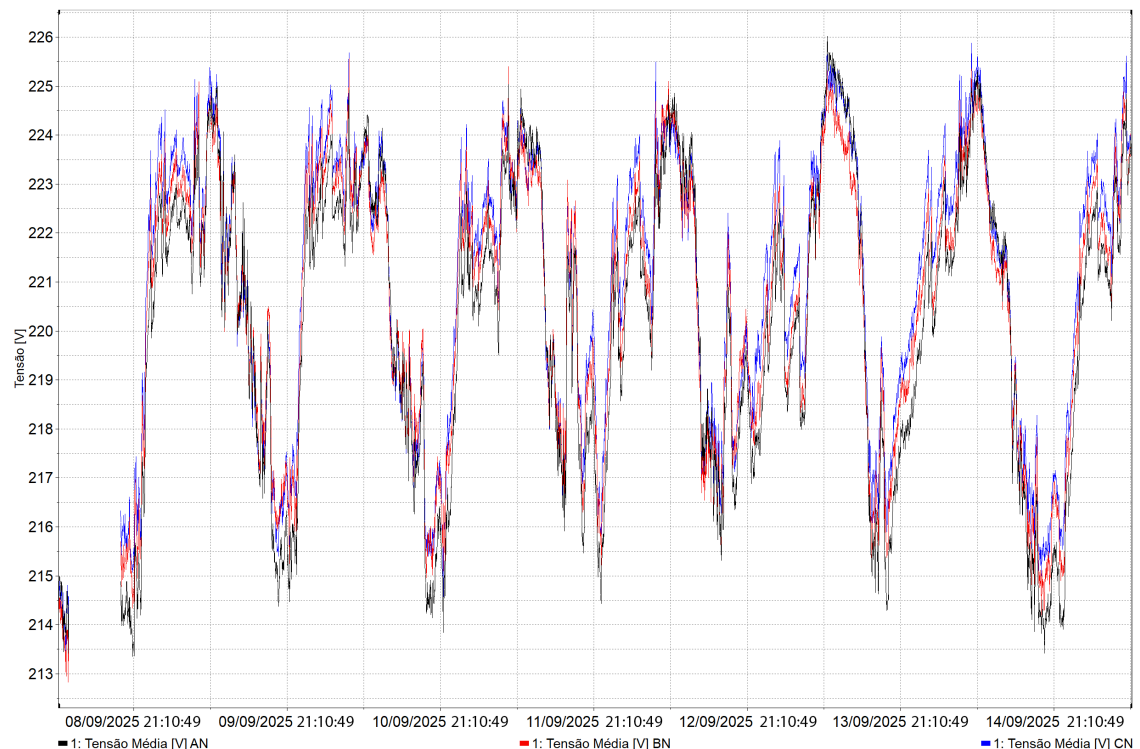
Ressalta-se que, durante o processamento dos dados, identificou-se uma defasagem de 2h47min no relógio interno do analisador em relação ao horário oficial. Para garantir a integridade da análise, todos os registros temporais foram devidamente corrigidos e sincronizados na etapa de tratamento dos dados.

Os dados brutos registrados foram processados com o *software Fluke Energy Analyze Plus*, permitindo a geração dos gráficos de diagnóstico apresentados a seguir.

4.3.1 Análise de Tensão

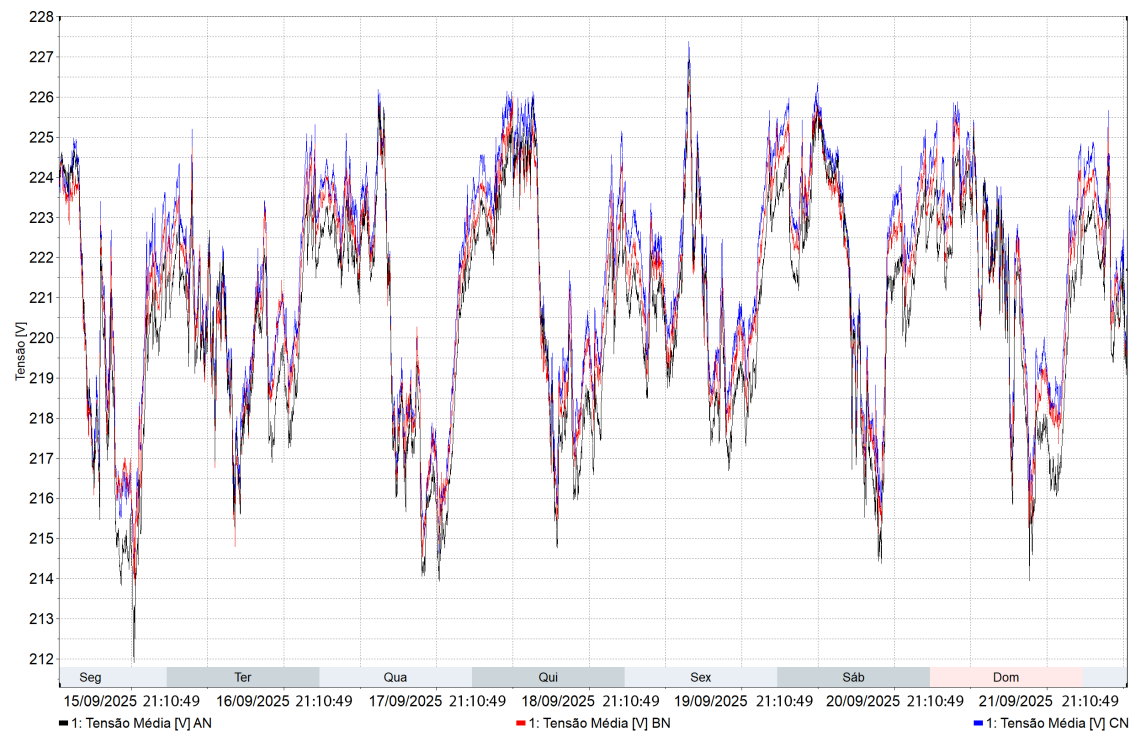
A análise de tensão é fundamental para verificar a conformidade da concessionária e identificar desequilíbrios. As Figuras 2 e 3 apresentam o comportamento da tensão RMS (fase-neutro) ao longo das duas semanas de medição.

Figura 2 – Gráfico de Tensão (V) - Semana 1 (08/09 a 15/09).



Fonte: O autor (2025), via *Fluke Energy Analyze Plus*.

Figura 3 – Gráfico de Tensão (V) - Semana 2 (15/09 a 22/09).



Fonte: O autor (2025), via *Fluke Energy Analyze Plus*.

A análise dos gráficos de tensão (Figuras 2 e 3) demonstra que os níveis de tensão da instalação estão em plena conformidade com as normas vigentes.

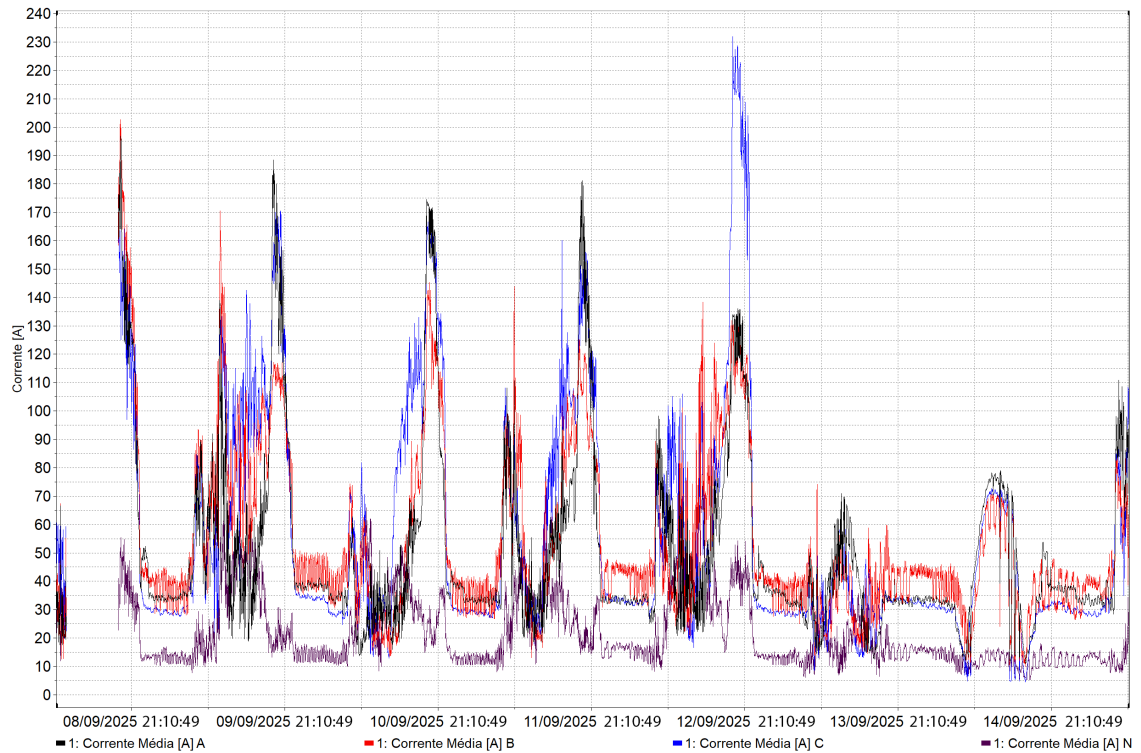
Os valores oscilaram predominantemente entre 210 V e 230 V, mantendo-se integralmente dentro da faixa “Adequada” estabelecida pelo Módulo 8 do PRODIST (Procedimentos de Distribuição) da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2021a), que define os limites entre 201 V e 231 V para a tensão nominal de 220 V.

Adicionalmente, nota-se uma clara correlação inversa entre tensão e carga: as quedas de tensão, que atingem os valores mínimos de 210 V, coincidem precisamente com os horários de pico de consumo da instituição (próximo ao meio-dia), um comportamento técnico esperado devido ao aumento da corrente total.

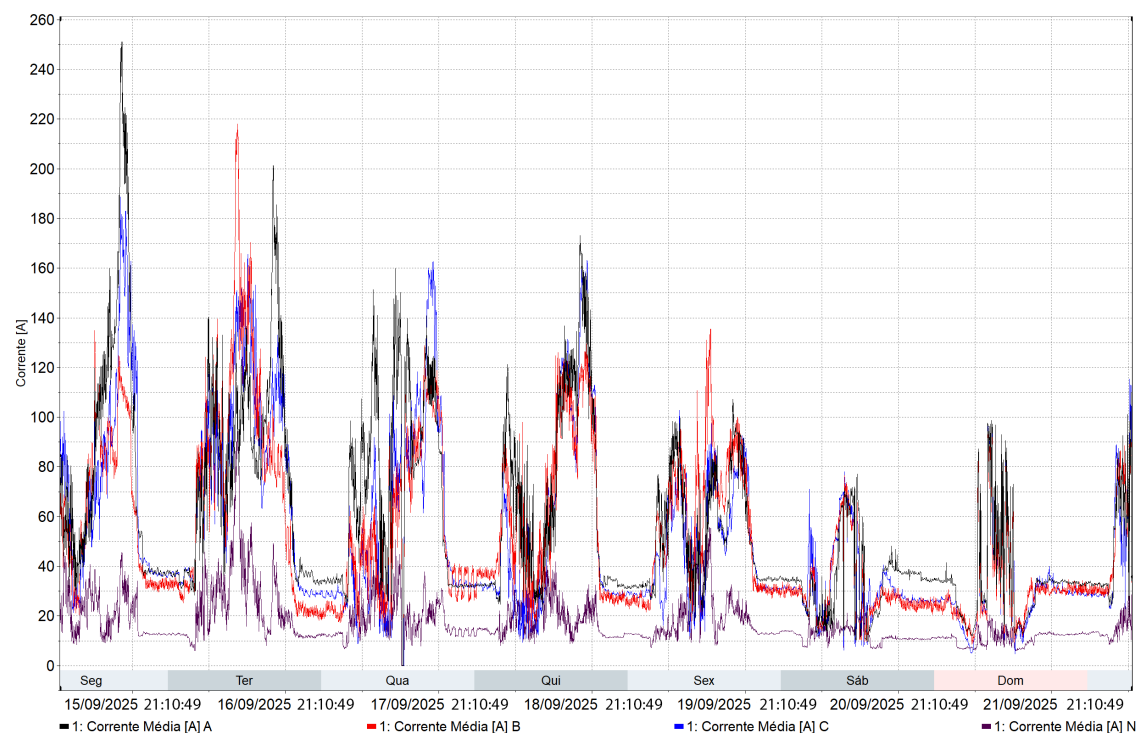
4.3.2 Análise de Corrente

Os gráficos de corrente são essenciais para visualizar o perfil de carga da instalação.

Figura 4 – *Gráfico de Corrente (A) - Semana 1.*



Fonte: O autor (2025), via Fluke *Energy Analyze Plus*.

Figura 5 – Gráfico de Corrente (A) - Semana 2.

Fonte: O autor (2025), via Fluke *Energy Analyze Plus*.

A análise dos gráficos de corrente (Figuras 4 e 5) é crucial, pois ela expõe o perfil de carga real e permite o diagnóstico do balanceamento do sistema.

Os dados evidenciam um claro desequilíbrio de corrente entre as fases. Esta assimetria é visível em diversos pontos ao longo das medições:

- Na Semana 1 (Figura 4), a Fase C se destaca das demais, apresentando valores de corrente notavelmente superiores na sexta-feira.
- Na Semana 2 (Figura 5), o oposto é observado na segunda-feira, onde a Fase B opera significativamente subcarregada (bem menor) em relação às fases A e C.

Esses eventos demonstram que as cargas monofásicas da instituição provavelmente os circuitos de ar condicionado e iluminação estão mal distribuídas entre as fases no quadro geral.

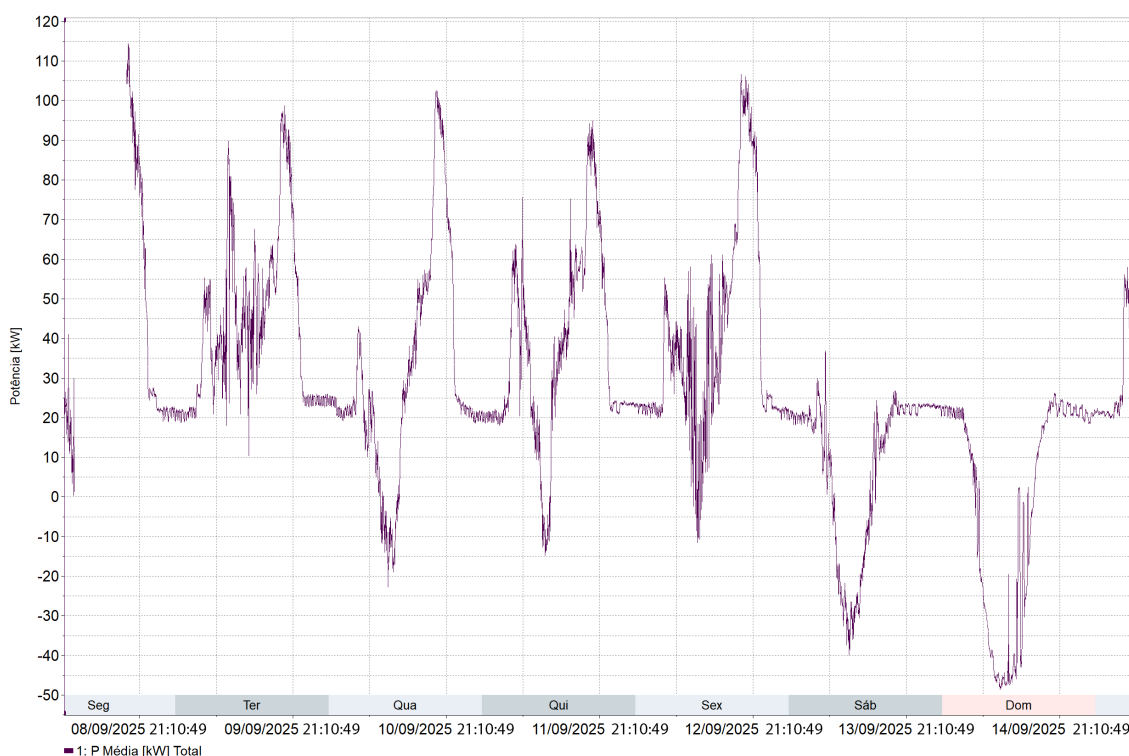
Conforme estabelece Creder (2016), em um sistema trifásico idealmente equilibrado, a soma vetorial das correntes é nula, resultando em corrente zero no condutor neutro. A presença de corrente significativa no neutro, conforme medido, indica não apenas o desequilíbrio, mas gera perdas por efeito *Joule* adicionais e aquecimento indevido dos condutores.

4.3.3 Análise de Potência Ativa e Demanda

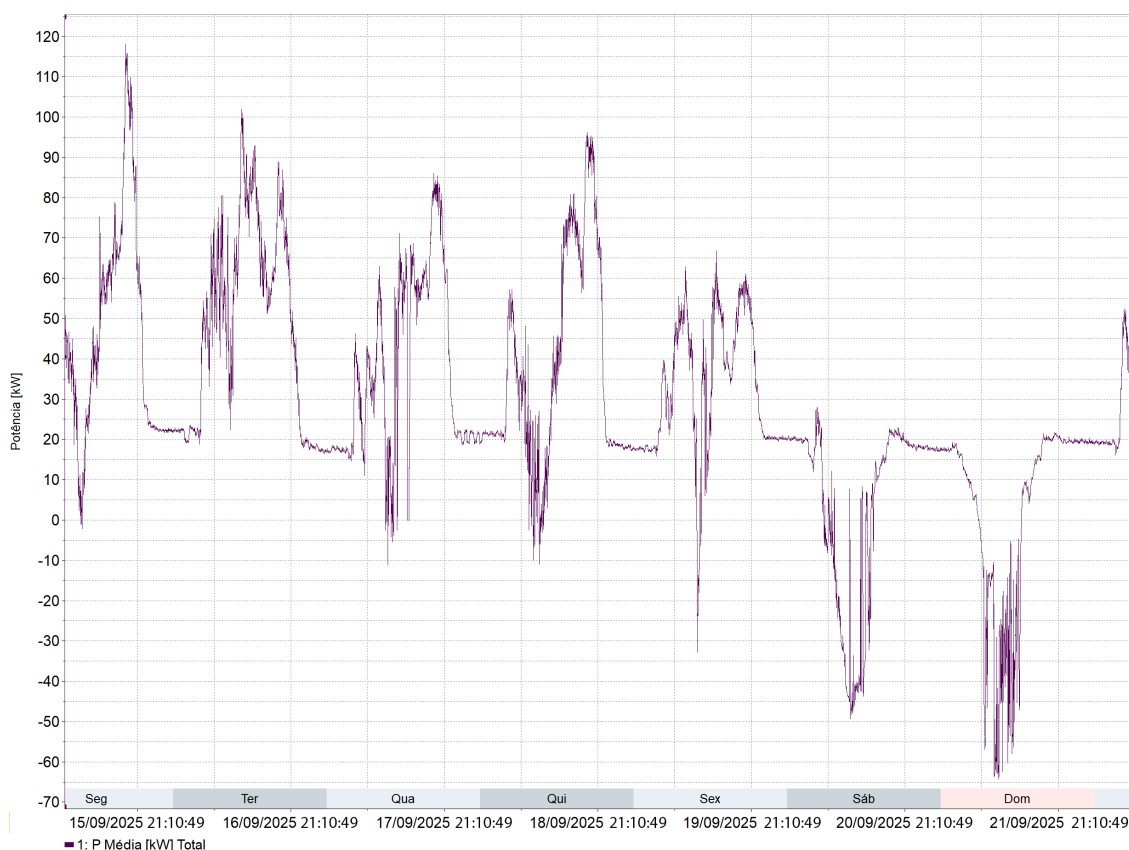
Esta análise é fundamental para a correlação com as multas tarifárias. É necessário distinguir duas grandezas registradas pelo analisador de rede e que regem o faturamento:

- Potência Ativa Média (1 min): O equipamento foi configurado para registrar a média de potência a cada minuto. Este dado, apresentado nos gráficos de potência (Figuras 6 e 7), permite visualizar o comportamento dinâmico da carga, como a entrada e saída de equipamentos e os picos momentâneos de consumo.
- Demanda de Potência (15 min): Para fins de faturamento, a concessionária não considera os picos instantâneos, mas sim a demanda integralizada em intervalos sucessivos de 15 minutos, conforme norma da ANEEL. Os gráficos de demanda (Figuras 8 e 9) simulam exatamente este comportamento do medidor da concessionária, permitindo identificar quais janelas específicas de 15 minutos ultrapassaram o limite contratado de 80 kW.

Figura 6 – Potência Ativa Instantânea (kW) - Semana 1.



Fonte: O autor (2025), via Fluke *Energy Analyze Plus*.

Figura 7 – *Potência Ativa Instantânea (kW) - Semana 2.*

Fonte: O autor (2025), via Fluke *Energy Analyze Plus*.

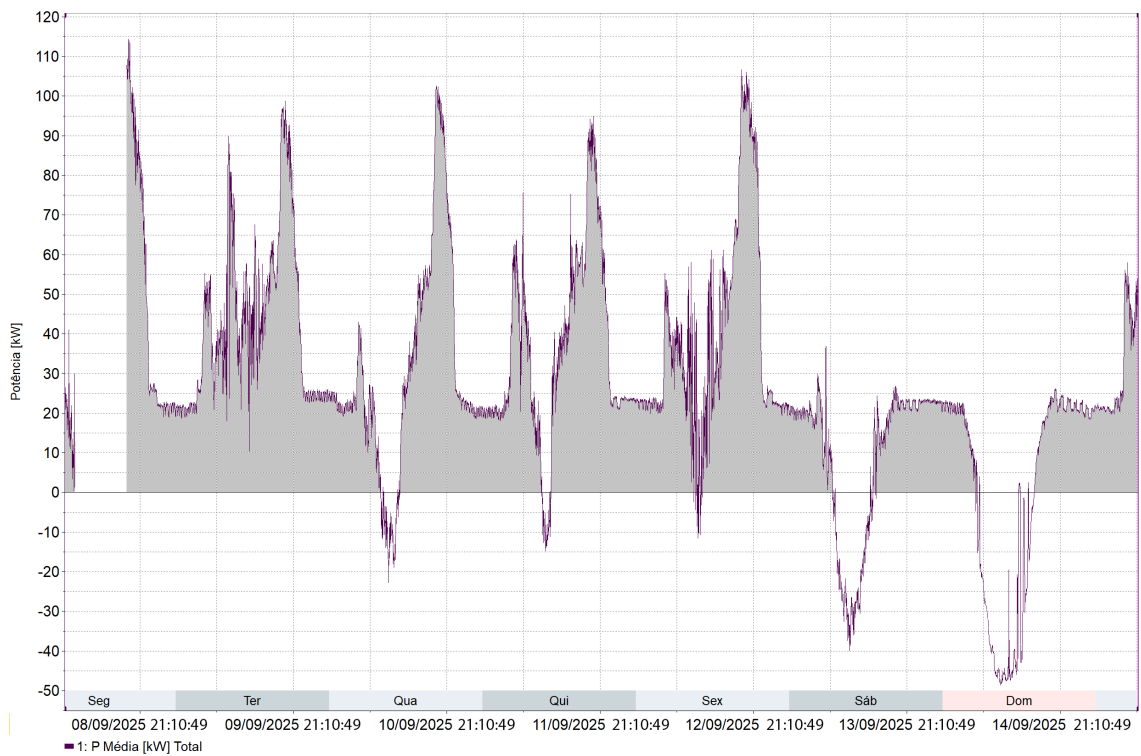
Os gráficos de potência ativa (Figuras 6 e 7) revelam a complexa interação entre o consumo da instituição e a geração fotovoltaica.

Nos períodos da manhã, é nítida a ocorrência de potência negativa, com a curva de potência ficando abaixo de zero. Isso indica momentos em que o sistema solar gera mais energia do que o consumo instantâneo da unidade, resultando na injeção de energia excedente na rede da concessionária (Equatorial).

Contudo, este cenário se inverte após as 12:00h. Com a redução da geração solar (que atinge seu pico ao meio-dia) e o aumento da demanda de carga (climatização), a potência consumida sobe rapidamente, atingindo os valores mais altos em torno das 20:00.

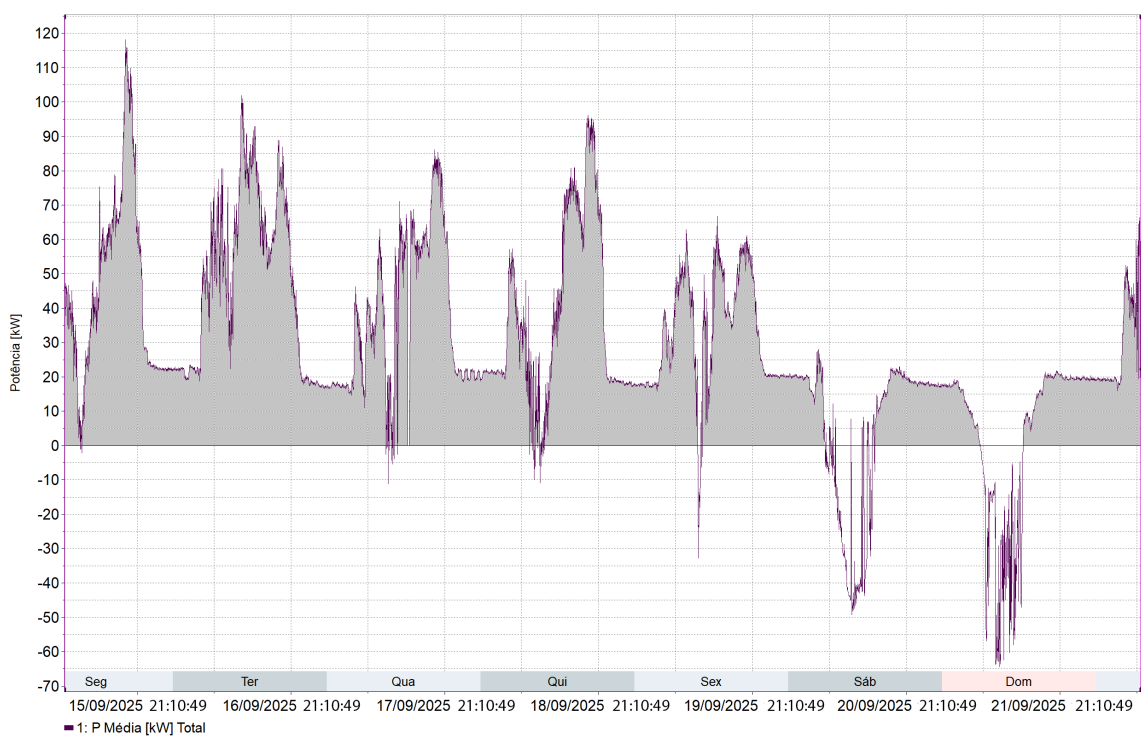
Outro ponto crítico é o consumo noturno. Após o cessar da geração solar (depois das 18:00h), os gráficos ainda registram uma potência consumida considerável. Este consumo é atribuído ao uso de aparelhos de ar condicionado e utilização de iluminação pelas turmas do período noturno. Esta é uma constatação de grande impacto financeiro, pois este consumo ocorre integralmente durante o horário de ponta (ou horário de pico), quando a tarifa de energia (kWh) é significativamente mais cara. (Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2021b)

Figura 8 – Demanda (kW) - Semana 1.



Fonte: O autor (2025), via Fluke *Energy Analyze Plus*.

Figura 9 – Demanda (kW) - Semana 2.



Fonte: O autor (2025), via Fluke *Energy Analyze Plus*.

Os gráficos de demanda (Figuras 8 e 9) que representam a média de potência em intervalos de 15 minutos, conforme faturamento consolidam o diagnóstico.

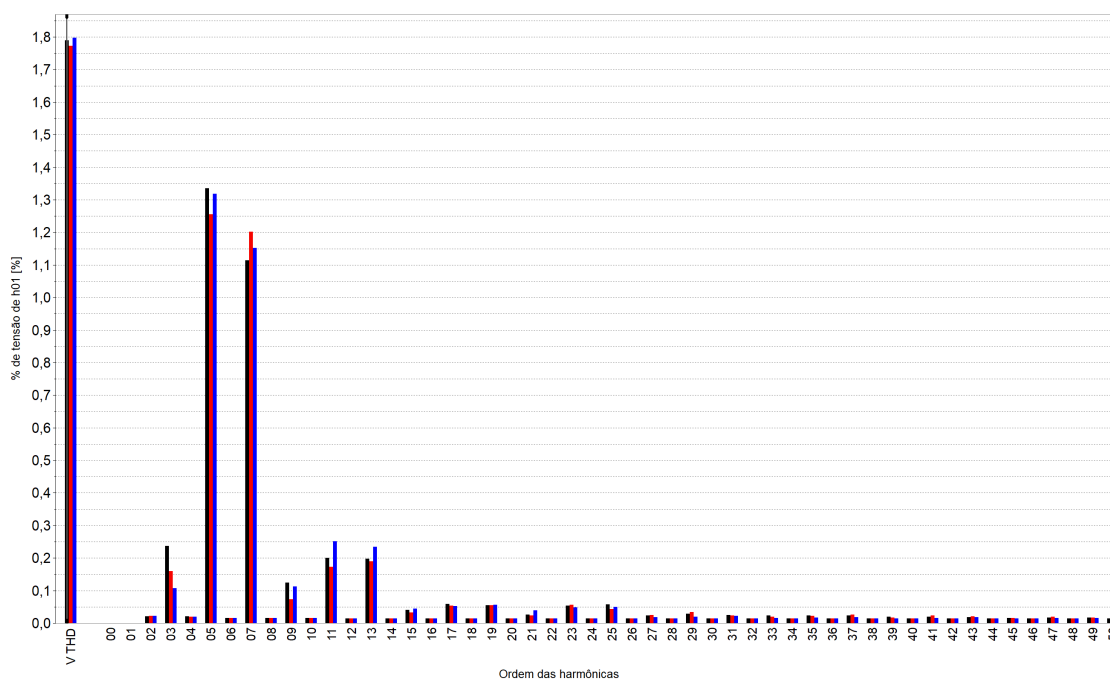
Neles, fica evidente que a demanda registrada ultrapassa o valor contratado (80kW, conforme Seção 4.1) em diversos momentos ao longo dos dias úteis. Essas ultrapassagens são a causa direta das multas identificadas nas faturas e indicam uma necessidade de análise. Este fator deve ser considerado tanto para as propostas de eficiência (visando reduzir o pico de demanda) quanto para um possível ajuste de contrato com a concessionária.

4.3.4 Análise de Distorção Harmônica (DHT)

Finalmente, o analisador foi utilizado para verificar os níveis de Distorção Harmônica Total (DHT), um indicador da "qualidade" da energia. O objetivo era verificar se cargas não-lineares (como computadores, lâmpadas ou os próprios inversores) estivessem causando um impacto negativo na rede.

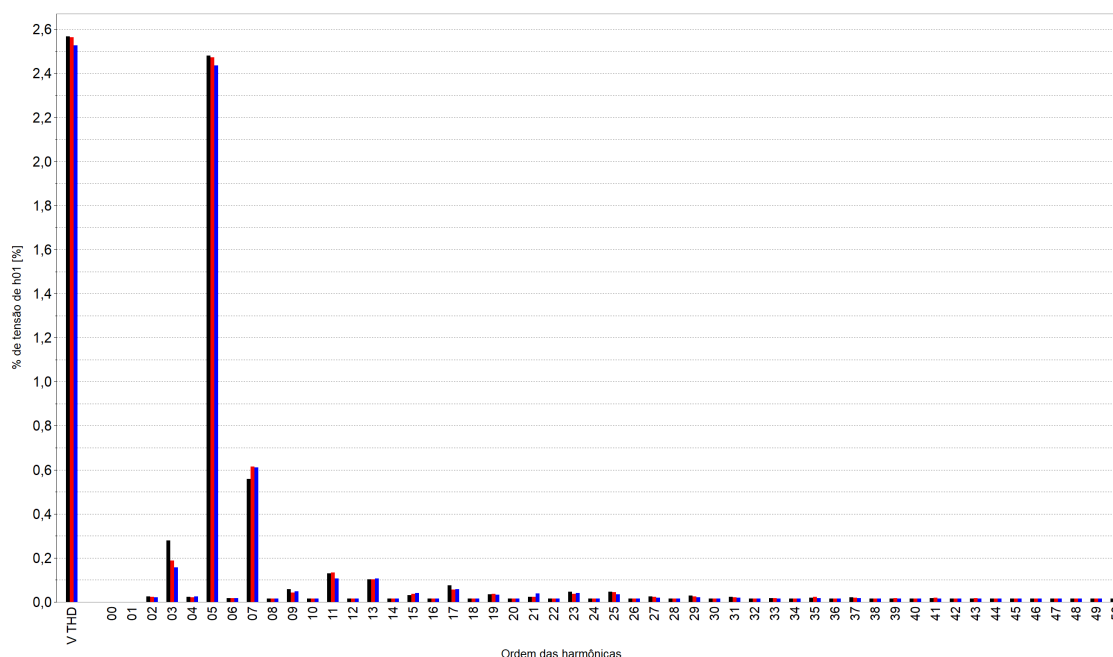
As Figuras 10 e 11 apresentam os níveis de DHT de tensão (THDV) registrados ao longo das duas semanas de medição.

Figura 10 – *Gráfico de Distorção Harmônica (DHT) - Semana 1.*



Fonte: O autor (2025), via Fluke *Energy Analyze Plus*.

Figura 11 – *Gráfico de Distorção Harmônica (DHT) - Semana 2.*



Fonte: O autor (2025), via Fluke *Energy Analyze Plus*.

A análise dos gráficos de DHT demonstra que, embora exista distorção harmônica (natural devido à presença de cargas eletrônicas), os níveis se mantiveram consistentemente dentro dos limites aceitáveis estabelecidos pelo Módulo 8 do PRODIST (Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2021a).

Para tensões nominais iguais ou inferiores a 1 kV, a norma estipula um limite de 10,0% para a Distorção Harmônica Total de Tensão e de 6,5% para as harmônicas ímpares múltiplas de 3. Conforme observado nas medições, os valores registrados na instituição permaneceram abaixo destes patamares de referência, indicando uma boa qualidade da onda de tensão fornecida.

Portanto, conclui-se que a distorção harmônica não é um fator de impacto significativo para os problemas de energia na instituição, eliminando esta hipótese de diagnóstico. O foco do problema reside, comprovadamente, no desequilíbrio de cargas entre fases e no gerenciamento dos picos de demanda. Diante dessa constatação, torna-se fundamental verificar se o atual sistema de geração própria é capaz de mitigar esses picos ou se há um descompasso energético. A seção a seguir aprofunda essa questão analisando o sistema fotovoltaico.

4.4 Análise do Sistema Fotovoltaico e Proposta de Expansão

Com o perfil de carga e demanda devidamente mapeado pelas medições anteriores, observa-se uma interação dinâmica complexa entre o consumo da rede e a geração própria, especialmente nos horários de pico. Diante disso, esta etapa dedica-se a avaliar a real contribuição do sistema fotovoltaico existente no balanço energético e a viabilidade técnica de sua expansão para solucionar o déficit identificado.

Para tanto, a avaliação foi estruturada em três etapas sequenciais: inspeção física dos ativos, análise do balanço energético (geração *versus* consumo) e estudo de viabilidade técnica para ampliação da capacidade instalada.

4.4.1 Inspeção Visual e Condições de Instalação

A primeira etapa consistiu no levantamento das condições físicas dos módulos fotovoltaicos. Utilizando um drone da marca DJI, modelo Mavik 3E, foram capturadas imagens aéreas para verificar a integridade, o nível de sujeidade e a orientação do arranjo.

As imagens, apresentadas na Figura 12, permitiram constatar que:

- **Orientação:** O sistema possui orientação predominante Leste-Oeste, o que favorece a geração distribuída ao longo do dia, embora com pico menor que a orientação Norte.(Villalva; Gazoli, 2015)
- **Estado de Limpeza:** Identificou-se um nível de sujeidade baixo, o que não impacta significativamente a eficiência atual do sistema.
- **Integridade:** Não foram observados danos físicos aparentes nos módulos inspecionados.

Figura 12 – *Inspeção aérea do arranjo fotovoltaico*

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4.2 Balanço Energético: Geração, Injeção e Autoconsumo

Para quantificar a real contribuição do sistema solar, foi realizado o cruzamento de dados entre a Geração Total (extraída da plataforma *Solarview*) e a Injeção na Rede (registrada nas faturas da Equatorial).

Essa análise é essencial para determinar o Autoconsumo (energia gerada e consumida instantaneamente pela carga, que não passa pelo medidor da concessionária), calculado pela Equação 2:

$$E_{\text{autoconsumo}} = E_{\text{gerada}} - E_{\text{injetada}} \quad (2)$$

A Tabela 6 apresenta o consolidado anual dessas grandezas.

Tabela 6 – *Balanço Anual de Energia Fotovoltaica (Estimativa).*

Mês/Ano	Geração Total (kWh)	Injeção na Rede (kWh)	Autoconsumo (kWh)
2023	135.624,05	42.307,9	93.316,15
2024	133.976,7	42.995,16	90.981,54
2025*	111.265,7	31.140,7	80.124,98

*Dados coletados no ano foi dos meses janeiro até novembro.

Fonte: Elaborado pelo autor com dados da *Solarview* e Equatorial.

Para a correta caracterização do perfil de carga da instituição, é fundamental distinguir entre o consumo faturado e o consumo real. Em unidades consumidoras com Geração Distribuída (GD), o medidor da concessionária registra apenas a energia importada da rede elétrica nos momentos em que a geração solar não é suficiente para suprir o consumo instantâneo.

No entanto, o consumo energético real da edificação é superior ao valor registrado na fatura. O Consumo Total da unidade é composto pela soma da energia importada da rede mais o Autoconsumo (a parcela da energia gerada pelo sistema fotovoltaico que é consumida simultaneamente pelas cargas internas, sem transitar pelo medidor de fronteira).

Esta relação de balanço energético é expressa matematicamente pela Equação 3:

$$C_{total} = C_{rede} + E_{autoconsumo} \quad (3)$$

Onde:

C_{total} : Consumo Total Real da unidade (kWh);

C_{rede} : Consumo medido/faturado pela concessionária (kWh);

$E_{autoconsumo}$: Energia solar consumida instantaneamente (kWh).

Tabela 7 – Consumo total da unidade

Mês/Ano	Cons. da rede (kWh)	Auto consumo (kWh)	Total (kWh)
2023	173.724,38	93.316,15	267.040,53
2024	165.715,62	90.981,54	256.697,2
2025*	160.144,8	80.124,98	240.239,78

*Dados coletados no ano foi dos meses janeiro até novembro.

Fonte: Elaborado pelo autor com dados da *Solarview* e *Equatorial*.

A análise demonstra que o sistema fotovoltaico atual supre apenas uma parcela da demanda real da instituição. Para quantificar a efetiva contribuição do autoconsumo no abatimento da carga, calculou-se a representatividade média ponderada (R_{auto}) do período, conforme a Equação 4:

$$R_{auto}(\%) = \left(\frac{\sum E_{autoconsumo}}{\sum C_{total}} \right) \times 100 \quad (4)$$

Onde:

$\sum E_{autoconsumo}$: Somatório do autoconsumo no período (264.422,67 kWh);
 $\sum C_{total}$: Somatório do consumo total da unidade no período (763.977,51 kWh).

Aplicando os valores acumulados dos três anos, verifica-se que o autoconsumo representa aproximadamente 34,61% do consumo de energia total do Campus.

4.4.3 Expansão do Sistema de geração fotovoltaica

Frente ao desequilíbrio energético constatado e visando a otimização dos recursos financeiros da instituição, a ampliação da microgeração distribuída torna-se uma alternativa estratégica para a autossuficiência energética.

Devido à ausência de documentação técnica original (*datasheets*) detalhando a potência nominal (Wp) dos módulos existentes, a simulação da expansão foi baseada no perfil de geração histórico levantado.

4.4.3.1 Metodologia de Compensação de Créditos e Fator de Ajuste

Para o dimensionamento da expansão do sistema, é crucial considerar as regras de compensação de créditos estabelecidas pelo Marco Legal da Geração Distribuída (Lei nº 14.300/2022) e regulamentadas pela Resolução Normativa ANEEL nº 1.000/2021 (REN 1.000).

Diferentemente dos consumidores residenciais (Grupo B), onde a compensação é volumétrica (1 kWh injetado = 1 kWh compensado), para consumidores do Grupo A (como o IFG), a compensação entre postos tarifários distintos deve obedecer ao cálculo de Créditos de Energia Equivalentes.

Como a geração fotovoltaica ocorre predominantemente durante o dia (posto Fora de Ponta), e uma parcela significativa do consumo da instituição ocorre à noite (posto Ponta), a energia injetada não pode ser abatida diretamente na proporção de 1 para 1.

Conforme o Art. 655-O da REN 1.000/2021, deve-se aplicar um Fator de Ajuste baseado na relação entre os valores das tarifas de energia (TE) dos respectivos postos. A equação que rege essa conversão é apresentada na Equação 5:

$$E_{ponta} = E_{injetada(FP)} \times \left(\frac{TE_{FP}}{TE_P} \right) \quad (5)$$

Onde:

E_{ponta} : Crédito efetivo a ser abatido no consumo de Ponta (kWh);
 $E_{injetada(FP)}$: Excedente de energia injetado no Fora de Ponta (kWh);
 TE : Tarifa de Energia para cada posto.

4.4.3.2 Impacto no Dimensionamento da Expansão

Utilizando os valores tarifários vigentes da Equatorial Goiás de acordo com (Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2025), o fator de ajuste para o IFG é calculado como:

$$Fator = \frac{256,34}{418,22} \approx 0,612 \quad (6)$$

Obs.: Valores expressos em MWh, conforme disponibilizado pela ANEEL. Diferentemente da Tabela 1 (que considera o custo total TE + TUSD), os dados aqui apresentados referem-se apenas à parcela TE (Tarifa de Energia), excluindo-se a TUSD (Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição).

Isso significa que cada 1 kWh injetado durante o dia gera um crédito de apenas 0,612 kWh para abater o consumo da noite.

Para equilibrar o consumo no horário de ponta através da geração solar, o sistema não deve ser dimensionado apenas para cobrir o consumo total. Ele precisa ter uma capacidade de geração excedente significativamente maior. Matematicamente, para compensar 1 kWh no horário de ponta, é necessário injetar aproximadamente 1,6 kWh no horário fora de ponta (1/0,612).

Portanto, a proposta de expansão do sistema deve considerar um sobredimensionamento estratégico de cerca de 60% sobre a demanda energética total, a fim de superar a desvalorização do crédito imposta pelo fator de ajuste tarifário.

4.4.3.3 Cálculo da Geração Necessária (Meta com Fator de Correção)

Com o Fator de Ajuste definido na seção anterior ($FA \approx 0,61$), é possível calcular a quantidade real de energia que o sistema fotovoltaico deve gerar para suprir a demanda total da instituição.

A meta de geração anual (G_{meta}) deve ser suficiente para:

1. Abater o consumo no horário Fora de Ponta (compensação 1:1);
2. Gerar excedente suficiente para compensar o consumo no horário de Ponta (compensação 1:0,61).

A formulação matemática para determinar a geração necessária é expressa pela Equação 7:

$$G_{meta} = C_{FP} + \frac{C_P}{FA} - E_{autoconsumo} \quad (7)$$

Onde:

G_{meta} : Geração anual necessária para "zerar" a fatura (kWh);
 C_{FP} : Consumo total anual no horário Fora de Ponta (kWh);

C_P : Consumo total anual no horário de Ponta (kWh);

FA : Fator de Ajuste ($\approx 0,61$);

Considerando o perfil de consumo histórico dos últimos 12 meses e assumindo uma projeção de crescimento de carga de 5%, obtém-se o cenário de dimensionamento detalhado na Tabela 8.

Tabela 8 – *Dimensionamento da Geração Necessária para Autossuficiência.*

Parâmetro	Valor Anual (kWh)
Consumo Fora de Ponta (C_{FP})	157.759,73
Consumo de Ponta (C_P)	42.340,67
Necessidade para cobrir a Ponta ($C_P \div 0,61$)	64.410,94
Necessidade para cobrir Fora Ponta (C_{FP})	157.759,73
Geração Total Necessária (G_{meta})	227.170,67
(-) Geração Atual do Sistema	- 135.722,1
Déficit de Geração (Expansão Necessária)	91.448,57

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise da Tabela 8 revela o impacto severo do consumo no horário de ponta. Para compensar os 42.340,67 kWh consumidos à noite, o sistema precisa gerar 64.410,94 kWh durante o dia.

O resultado final aponta que, para atingir a autossuficiência energética (zerar o consumo da rede), o IFG necessita de uma geração anual total de 227.170,67 kWh.

Comparando com a capacidade atual, identifica-se um déficit de 91.448,57 kWh/ano. Isso significa que o sistema atual precisaria ser expandido em aproximadamente 67% para suprir integralmente a demanda da instituição considerando as regras atuais de compensação.

Considerando o elevado investimento necessário para tal expansão e as limitações impostas pelo fator de ajuste tarifário, a estratégia mais eficiente passa a ser a redução do consumo na ponta, e não apenas a geração de energia. Desta forma, volta-se a atenção para a principal carga da instituição. O tópico 4.5 detalha

o levantamento do sistema de climatização, identificado como o maior responsável pela demanda que o sistema solar tenta compensar.

4.5 Estudo de Viabilidade: Sistema BESS para *Peak Shaving*

Com base na Linha de Base estabelecida na Seção 4.1.1, foi realizado o estudo de viabilidade para a instalação de um Sistema de Armazenamento de Energia (BESS). O orçamento contempla um arranjo fotovoltaico dedicado para carregar as baterias, garantindo autonomia em relação ao sistema existente.

4.5.1 Dimensionamento e Estratégia de Operação

A estratégia de operação adotada para o cálculo foi o suprimento total da ponta combinado com o Corte de Pico (*Peak Shaving*).

O sistema foi dimensionado para:

1. Armazenar energia suficiente para atender a 100% da demanda média de consumo do Horário de Ponta (C_{P_med}), isolando a instituição da rede da concessionária neste período (das 18h às 21h).
2. Atuar como amortecedor de demanda, injetando potência instantânea sempre que a carga ultrapassar o limite contratado, eliminando as multas por ultrapassagem.

Para atender a esta estratégia, o orçamento técnico realizado pela empresa Gazquez Energy (Tabela 9) considerou um banco de baterias com capacidade útil para igualar o consumo na ponta apresentada na Tabela 3.

Tabela 9 – *Orçamento Estimado para Sistema BESS (Ref. Nov/2025).*

PROPOSTA COMERCIAL

NOME PRODUTO	QTD	VL. UNIT.	VL. TOTAL
BESS ALL-IN-ONE SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM BATERIA LFP DE 100KW/211KWh 0.5C 01P220S @380Vca/3P4W+PE REFRIGERAÇÃO LÍQUIDA [BES0100GOT0211A]	1	R\$ 307.732,78	R\$ 307.732,78
EMS Controlador Armazenamento-Solar-Diesel ePowerControl ES Até 250kWh de BESS, 300kW Solar e 01 Gerador Diesel [ELUES0250]	1	R\$ 59.522,87	R\$ 59.522,87
Medidor de energia para ponto de conexão da rede, carga ou gerador com comunicação modbus rtu [ELUMETGAVRTU]	1	R\$ 2.777,23	R\$ 2.777,23
QD PARA ACOMODAÇÃO DE CONTROLADORES E ACESSÓRIOS DO SISTEMA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO DA GERAÇÃO – COM MONTAGEM REALIZADA EM FÁBRICA [GZEQD00220ELUM]	1	R\$ 5.379,25	R\$ 5.379,25
Baterias Para Ups Trilho Din 24V/1,2Ah/29Wh [ELUBAT029]	1	R\$ 2.659,31	R\$ 2.659,31
Ups Trilho Din 24V/60W [ELUUPSU60W]	1	R\$ 889,04	R\$ 889,04
KIT GERADOR FOTOVOLTAICO DE 12kVA/15kWp PARA TELHADO TRIFÁSICO 380/220V [KITBEL12KV15KWA]	1	R\$ 22.158,52	R\$ 22.158,52

VALOR TOTAL DOS PRODUTOS S/FRETE: R\$ 401.119,00

Fonte: Dados fornecidos pela empresa Gazquez Energy (2025).

4.5.2 Cálculo da Economia Real e *Payback*

Diferente de modelos teóricos de arbitragem, este cálculo considera a economia real baseada no histórico da unidade. A Economia anual total ($R\$_{Econ}$) é composta por duas parcelas:

1. **Economia de Consumo (E_{cons}):** O valor que deixa de ser pago pelo consumo na ponta (substituído pela energia solar armazenada).
2. **Economia de Demanda (E_{dem}):** O valor médio das multas anual que deixarão de ser cobradas devido ao controle de pico.

A fórmula utilizada é descrita na Equação 8:

$$R\$_{Econ} = (C_{P_med} \times T_P) + M_{multa_med} \quad (8)$$

Onde:

C_{P_med} : Consumo Médio anual na Ponta da Tabela 3;

T_P : Tarifa de Ponta TE+TUSD+Impostos ICMS 19% e PIS/COFINS 7,07%

Totalizando R\$ 3,4323 por kWh de acordo com a Tabela 1;

M_{multa_med} : Valor médio anual das multas por ultrapassagem.

Aplicando os valores, tem-se a projeção de retorno financeiro detalhada na Tabela 10.

Tabela 10 – *Viabilidade Financeira: Consumo de Ponta + Eliminação de Multas.*

Parâmetro	Valor Anual (R\$)
Economia de Consumo na Ponta (E_{cons})	118.222,18
Economia com Eliminação de Multas (E_{dem})	8.775,27
Economia Total Mensal	126.997,45
Investimento Total	R\$ 401.119,00
Payback Estimado	3,15 anos

Fonte: Elaborado pelo autor.

A inclusão da eliminação das multas no cálculo reduz significativamente o tempo de retorno do investimento. O sistema BESS, ao resolver simultaneamente o problema do custo do kWh caro e da ultrapassagem de demanda, apresenta-se como uma solução técnica eficiente para os gargalos financeiros identificados.

4.6 Levantamento de Cargas e Potencial de Eficiência em Climatização

Conforme identificado na análise de faturas e medições de rede, o sistema de climatização representa a carga de maior impacto na demanda de potência e no consumo de energia da instituição.

Desta forma, foi realizado um levantamento detalhado de todos os condicionadores de ar instalados na unidade, classificando-os por capacidade térmica (BTU/h), potência elétrica (W) e tecnologia de compressão (Convencional ou *Inverter*).

4.6.1 Inventário dos Equipamentos Instalados

O levantamento em campo identificou um total de 59 aparelhos. A Tabela 11 apresenta a distribuição desses equipamentos e suas respectivas potências nominais médias.

Tabela 11 – *Inventário de Aparelhos de Ar Condicionado (Cenário Atual).*

Tecnologia	Capacidade	Qtde.	Pot. Unitária (W)	Pot. Total (kW)
Convencional (<i>On/Off</i>)	9.000 BTU	1	900	900,0
Convencional (<i>On/Off</i>)	12.000 BTU	1	1.096	1.096,0
Convencional (<i>On/Off</i>)	18.000 BTU	12	1.800	21.600,0
Convencional (<i>On/Off</i>)	24.000 BTU	5	2.400	12.000,0
Convencional (<i>On/Off</i>)	36.000 BTU	29	3.500	101.500,0
<i>Inverter</i>	12.000 BTU	10	1.080	10.800,0
<i>Inverter</i>	18.000 BTU	1	1.280	1.280,0
Total Geral		59	-	149.176,0

Fonte: Levantamento realizado pelo autor.

Nota-se que 81% dos equipamentos instalados ainda utilizam a tecnologia convencional, que apresenta altos picos de corrente na partida e menor eficiência energética em regime de cargas parciais.

4.6.2 Metodologia de Estimativa de Potência Média (Fator de Uso)

Para a estimativa do consumo mensal, é necessário considerar que os condicionadores de ar não operam continuamente em sua potência nominal. Estes equipamentos utilizam um sistema de controle termostático que alterna o funcionamento do compressor entre os estados ligado (100% da carga) e desligado (apenas ventilação) para modelos convencionais e os modelos *inverter* alteram a potência mas não desligam para manter a temperatura do ambiente. (Silva; Oliveira; Lima, 2023)

4.6.2.1 Metodologia para Equipamentos não *Inverter* (Convencionais)

Segundo (Silva; Oliveira; Lima, 2023), esse comportamento é descrito pela variável *Run Time Fraction* (RTF), que representa o percentual de tempo em que o sistema realmente opera para atender à carga térmica. O estudo aponta que equipamentos convencionais apresentam uma elevada taxa de ciclagem (liga-desliga), operando em carga plena apenas nos momentos de acionamento do compressor.

Como não houve medição individual de longa duração para cada aparelho (o que determinaria o RTF exato de cada sala), adotou-se para este estudo um Fator de Uso (F_u) médio de 0,70.

Isso implica assumir que, durante o horário de expediente, o compressor dos aparelhos convencionais permanece ligado, em média, 70% do tempo para vencer a carga térmica, permanecendo desligado (ou em ventilação) nos 30% restantes. Desta forma, a Potência Média Estimada (C_{conv}) utilizada nos cálculos é dada por:

$$C_{conv} = P_{nominal} \times F_u \quad (9)$$

4.6.2.2 Metodologia para Equipamentos *Inverter*

Diferentemente dos equipamentos convencionais, os condicionadores de ar com tecnologia *Inverter* operam com rotação variável do compressor. A análise do histograma de *Run Time Fraction* (RTF) apresentada por (Silva; Oliveira; Lima, 2023) demonstra que estes equipamentos permanecem em operação (RTF $\approx 1,0$) durante a quase totalidade do tempo, porém ajustando sua potência para cargas parciais.

Devido à complexidade de estimar a potência média instantânea dessa modulação sem medição dedicada, optou-se por calcular o consumo do Cenário Proposto (*Inverter*) aplicando-se o fator de redução de consumo de 41%, conforme validado pelos resultados experimentais do estudo de referência para a mesma tipologia de uso.

Portanto, o consumo estimado para os novos equipamentos (C_{inv}) é dado por:

$$C_{inv} = C_{conv} \times (1 - 0,41) \quad (10)$$

Onde C_{conv} é o consumo calculado para o cenário convencional (com fator de uso 0,70).

4.6.3 Estimativa de Consumo e Custo Atual

Para estimar o impacto financeiro exclusivo da climatização, foi necessário refinar o cálculo de potência.

Assim, o consumo mensal estimado (C_{mes}) foi calculado considerando a potência instalada, o fator de uso e uma rotina de operação estipulada em 10 horas/dia e 24 dias/mês (dias letivos incluindo sábados), conforme a Equação 11:

$$C_{mes}(kWh) = \frac{(C_{conv} \text{ ou } C_{inv}) \times H_{dia} \times D_{mes}}{1000} \quad (11)$$

Onde:

- C_{conv} : Estimativa de consumo equipamentos convencionais (kWh);
- C_{inv} : Estimativa de consumo equipamentos *inverter* (kWh);
- H_{dia} : Horas de operação diária do equipamento;
- D_{mes} : Dias de operação mensal.

Para o cálculo financeiro, considerou-se a estrutura tarifária horária do Grupo A4. Estimou-se que 30% do consumo ocorre no Horário de Ponta (devido às aulas noturnas) e 70% no Fora de Ponta. Aplicando-se as respectivas tarifas (detalhadas na Seção 4.1) sobre essas parcelas, obtém-se o cenário de custos apresentado na Tabela 12.

4.6.4 Cenário de Eficiência: Substituição Tecnológica (*Retrofit*)

Com o objetivo de reduzir o consumo e, principalmente, a demanda de ponta, simulou-se a substituição integral dos aparelhos convencionais por modelos com tecnologia *Inverter*.

A tecnologia Inverter utiliza um inversor de frequência para modular a velocidade do compressor, ajustando-a à necessidade térmica do ambiente. Segundo estudo recente realizado por (Silva; Oliveira; Lima, 2023), que comparou o desempenho energético de condicionadores em edificações, a substituição de equipamentos *split* convencionais por modelos *inverter* pode proporcionar uma redução no consumo de eletricidade de até 41% ao ano.

Adotando a premissa conservadora de 41% de economia sobre o consumo dos equipamentos convencionais listados no inventário, projeta-se o seguinte cenário de eficiência:

Tabela 12 – Simulação de Economia com Substituição Tecnológica (*Retrofit*).

Parâmetro	Cenário Atual	Cenário Eficiente (100% <i>Inverter</i>)	Redução
Consumo Mensal Estimado	7.943 kWh	4.862 kWh	-38%
Custo Mensal Estimado	R\$ 7.622,00	R\$ 4.666,00	R\$ 2.956,00

Elaborado pelo autor, baseado no fator de economia de (Silva; Oliveira; Lima, 2023).

Análise de Viabilidade:

A simulação indica que a modernização do parque de condicionadores de ar tem

potencial para gerar uma economia mensal de aproximadamente R\$ 2.956. Além da redução direta na fatura (kWh), a tecnologia *Inverter* elimina os picos de corrente de partida, contribuindo significativamente para a redução da demanda máxima medida e aliviando a carga no transformador da instituição.

Ressalta-se que a análise econômica apresentada concentra-se exclusivamente na redução dos custos de energia elétrica. Para fins desta simulação, não foram contabilizadas as despesas relacionadas à manutenção (preventiva ou corretiva) e reposição de peças, tanto para o cenário atual com equipamentos convencionais quanto para o cenário proposto com tecnologia *Inverter*.

Conclusão e Projetos Futuros

O presente estudo cumpriu seu objetivo principal de realizar um diagnóstico energético da Unidade do IFG - Câmpus Jataí. Através da análise das faturas de energia, medições de grandezas elétricas em campo e simulações computacionais, foi possível identificar as causas-raiz das ineficiências e dos custos elevados.

Conclui-se que a instituição enfrenta desafios relacionados ao subdimensionamento da demanda contratada, desequilíbrio de fases no quadro geral e um sistema de climatização com tecnologia defasada. Com base nisso, são apresentadas as seguintes recomendações técnicas e administrativas:

5.1 Recomendações Técnicas e Contratuais

5.1.1 Ajuste de Demanda Contratada

Recomenda-se a alteração imediata do contrato de fornecimento junto à concessionária Equatorial Energia. As simulações demonstraram que a demanda atual de 80 kW é insuficiente para o perfil de carga da unidade, gerando multas recorrentes.

Recomenda-se a alteração imediata do contrato de demanda para 107 kW. Conforme demonstrado pelas simulações, este valor é o ponto ótimo que elimina as multas por ultrapassagem recorrentes e, simultaneamente, oferece uma margem de segurança técnica para acomodar a projeção de crescimento de carga de 5%.

5.1.2 Manutenção da Modalidade Tarifária

Após análise comparativa via *software* MACDE entre as modalidades horárias Verde e Azul, conclui-se que não deve ser realizada alteração na modalidade atual.

Quanto à modalidade tarifária, a análise comparativa realizada via *software* MACDE indicou que a migração para a Tarifa Azul não seria vantajosa financeiramente.

ramente no cenário atual. Recomenda-se, portanto, a manutenção da Tarifa Verde (Grupo A4). Embora a modalidade Azul ofereça um custo de energia (kWh) inferior no horário de ponta, as simulações demonstraram que a obrigatoriedade de contratar uma demanda de potência específica para este horário — a qual possui custo elevado anularia a economia obtida no consumo. Conclui-se, assim, que o perfil de carga da instituição favorece a permanência na estrutura tarifária vigente.

5.1.3 *Retrofit* do Sistema de Climatização

Diante da obsolescência tecnológica dos condicionadores de ar convencionais, recomenda-se a implementação de um projeto de *retrofit* integral do sistema de climatização. Sugere-se que esta modernização seja viabilizada através da submissão de proposta ao Programa de Eficiência Energética (PEE) da concessionária Equatorial Energia, visando a captação de recursos a fundo perdido.

5.1.4 Expansão da Geração Fotovoltaica

Para reduzir a dependência da rede e diminuir o custo elevado do consumo no horário de ponta, indica-se a expansão do sistema fotovoltaico, visando suprir o déficit anual identificado de aproximadamente 91 MWh, considerando o impacto do Fator de Ajuste tarifário. Visto que a geração ocorre no posto fora de ponta e o consumo crítico no horário de ponta, faz-se necessário um sobredimensionamento estratégico para compensar a desvalorização do crédito energético imposta pela regulação vigente.

Contudo, deve-se observar uma restrição contratual crítica: a potência instalada total (soma do sistema existente com a expansão) deve ser limitada ao valor da demanda contratada da unidade, proposta neste estudo em 107 kW. Caso o dimensionamento técnico para atingir a meta de energia exija uma potência de inversão superior a este limite, será necessário realizar um estudo de viabilidade econômica específico para verificar se o custo fixo adicional de elevar a demanda contratada é compensado pelo ganho financeiro da geração excedente.

5.2 Análise de Viabilidade da Correção de Energia Reativa

Embora a revisão bibliográfica e as boas práticas de engenharia recomendem a manutenção de um alto Fator de Potência para evitar perdas técnicas e multas, a

análise financeira específica do cenário do IFG revelou que a instalação de bancos de capacitores não se justifica economicamente no momento.

A análise do histórico de faturamento dos últimos três anos indicou que o custo médio anual com multas por excedente de reativos (UFER) é de R\$ 355,77.

Ao comparar este valor com o custo total anual de energia da instituição (R\$ 199.408,36, conforme apresentado na Tabela 4), verifica-se que a incidência de multas por reativos corresponde a uma fração ínfima de aproximadamente 0,17% dos custos globais.

Considerando que o custo de aquisição, instalação e automação de um banco de capacitores dimensionado para o QGBT demandaria um investimento inicial significativo, a economia gerada (apenas R\$ 29,00 por mês em média) resultaria em um *Payback* extremamente longo, tornando o investimento inviável e financeiramente ineficiente.

Portanto, conclui-se que os recursos disponíveis devem ser integralmente alocados nas propostas de maior impacto (ajuste de demanda e *retrofit* de climatização), sendo desnecessária a tomada de ações corretivas específicas para a energia reativa neste cenário.

5.3 Sugestões para Trabalhos Futuros

Visando a continuidade da pesquisa e o aprimoramento da gestão energética do Câmpus, sugerem-se os seguintes estudos de viabilidade:

1. Armazenamento de Energia (BESS): Estudo de viabilidade técnica e econômica para a instalação de um sistema de baterias (*Battery Energy Storage System*). O objetivo seria armazenar o excedente solar gerado durante o dia para utilizá-lo no horário de ponta (*peak shifting*), evitando o pagamento da tarifa elevada neste horário. Este estudo deve prever uma nova instalação fotovoltaica dedicada, visto que o sistema atual não possui excedente suficiente. Adicionalmente, recomenda-se realizar uma nova simulação de otimização contratual. Como a operação do BESS reduzirá a demanda máxima exigida da rede (achatamento da curva), deve-se recalcular a demanda contratada ótima (que tende a ser menor que os 107 kW propostos atualmente) e reavaliar o comparativo entre as tarifas Verde e Azul. Neste novo cenário de baixo consumo na ponta, a modalidade Azul pode tornar-se financeiramente atrativa.
2. Implementação de Programa de Monitoramento Acadêmico: Criação de um projeto de ensino ou extensão onde discentes realizem o acompanhamento semanal da geração na plataforma de monitoramento. Esta ação tem duplo objetivo: garantir a detecção precoce de falhas no sistema (evitando prejuízos

financeiros por inatividade) e proporcionar uma experiência prática real de operação e manutenção aos alunos.

3. Análise Experimental de Desempenho e Impacto da Manutenção em Sistemas de Climatização: Realização de um estudo de caso prático monitorando o consumo real de equipamentos de ar condicionado das tecnologias Convencional e *Inverter* instalados no campus. Sugere-se a medição de grandezas elétricas em dois cenários distintos:

- (a) Cenário Pré-Manutenção: Medição do consumo com os filtros e serpentinas em estado de saturação (sujeitos), simulando a operação em fim de ciclo de manutenção.
- (b) Cenário Pós-Manutenção: Medição nas mesmas condições de carga térmica após a realização de limpeza profunda e higienização.

O objetivo é quantificar a perda de eficiência energética causada pela sujeira e cruzar esses dados com os custos reais de manutenção (peças, mão de obra e periodicidade) de ambas as tecnologias. Isso permitirá um cálculo de Custo Total de Propriedade mais preciso, validando se a economia de energia do *Inverter* sustenta seus custos de manutenção a longo prazo.

Por fim, este trabalho reitera que a busca pela eficiência energética no serviço público transcende a mera redução de custos operacionais. As intervenções propostas desde o ajuste contratual até a modernização tecnológica alinham o IFG Câmpus Jataí aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), promovendo o uso racional de recursos e a sustentabilidade. A implementação deste diagnóstico não apenas sanará as ineficiências técnicas detectadas, mas servirá como modelo de gestão para outras unidades da rede federal, comprovando que a engenharia aplicada é a ferramenta fundamental para a construção de um campus inteligente e sustentável.

Referências

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST: Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica**. [S.l.: s.n.], 2021. 43, 50

_____. **Resolução Normativa nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021**: Consolida os atos normativos que dispõem sobre as regras de prestação do serviço público de distribuição de energia elétrica. Brasília, DF: [s.n.], 2021. Publicada no D.O.U. de 27/12/2021. 47

_____. **Luz na Tarifa: Bases Tarifárias**. 2025. Ferramenta interativa de consulta de tarifas homologadas. Disponível em: <https://portalrelatorios.aneel.gov.br/luznatarifa/basestarifas#!> Acesso em: 19 nov. 2025. 55

ALVES, Ricardo Luis. **Eficiência Energética em Edificações**. Florianópolis: ENBPar/IFSC, 2023. 141 p. Disponível em: <https://sites.florianopolis.ifsc.edu.br/energif/files/2024/04/EFICIENCIA-ENERGETICA-EM-EDIFICACOES.pdf>. 16

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR ISO 50001: Sistemas de gestão da energia - Requisitos com orientações para uso**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2018. Válida a partir de 21/08/2018. 17

BIASOTTO, Etienne; AQUINO, Gabriel Flores. Trabalho acadêmico / Relatório técnico, **Qualidade da Energia Elétrica: Um Estudo Prático na Unidade II da Universidade Federal da Grande Dourados**. Dourados, MS: [s.n.], 2019. O ano é uma estimativa baseada nas referências citadas no próprio documento. 26

Brasil. **Lei nº 10.637, de 30 de dezembro de 2002**: Dispõe sobre a não-cumulatividade na cobrança da contribuição para os programas de integração social (pis) e de formação do patrimônio do servidor público (pasep). 2002. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/110637.htm. 38

_____. **Lei nº 10.833, de 29 de dezembro de 2003:** Altera a legislação tributária federal e dá outras providências (cofins). 2003. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/110.833.htm. 38

CANESIN, Carlos Alberto. **Qualidade da Energia Elétrica, Eficiência e Racionalização: Desperdício versus Desconhecimento.** Ilha Solteira, SP: [s.n.], Maio 2001. 3 p. Disponível em: <http://www.dee.feis.unesp.br/docentes/canesin/power.html>. 26

CAPELLI, Alexandre. **Energia elétrica para sistemas automáticos da produção.** São Paulo: Érica, 2007. ISBN 9788536501543. 16, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26

CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas.** 16. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. ISBN 9788521630683. 45

Equatorial Energia Goiás. **Página inicial.** Goiânia: [s.n.], 2025. Site institucional. Disponível em: <https://goias.equatorialenergia.com.br/>. Acesso em: 30 nov. 2025. 32

FGV Energia. **Recursos Energéticos Distribuídos.** Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2016. (Cadernos FGV Energia). Disponível em: <https://fgvenergia.fgv.br>. 29, 31

Fluke Corporation. **Fluke 1736/1738 Power Logger Users Manual.** Everett, WA, USA, jan 2020. Revisão 2. 18, 19

FREIRE, Fernando Flávio Leite. **Eficiência Energética: Estudo Comparativo entre Experiências Internacionais.** 50 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) — Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br/protect/protect/leavevmode@ifvmode\kern+.2222em\relax8080/jspui/bitstream/riufcg/19029/1/FERNANDO%20FL%3%81VIO%20LEITE%20FREIRE%20-%20TCC%20ENG.%20EL%3%89TRICA%202019.pdf>. 16

Grupo de Estudos em Sistemas de Energia (GESE). **MACDE: Metodologia de Avaliação da Contratação de Demanda de Energia.** Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), 2025. Software de otimização tarifária. Disponível em: <https://gese.florianopolis.ifsc.edu.br/macde/>. Acesso em: 18 nov. 2025. 33, 41

Mamede Filho, João. **Manual de Equipamentos Elétricos.** 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. ISBN 9788521622503. 24

Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). **O que é o SIN – Sistema Interligado Nacional**. 2025. Institucional. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>. Acesso em: 20 nov. 2025. 25

PAIVA, Nathan Moraes. **Eficiência Energética em Edifícios de Habitação no Brasil: Oportunidades e Desafios**. 107 p. Dissertação (Mestrado em Gestão da Edificação) — Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2023. Disponível em: <https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/30260/1/Nathan%20Paiva.pdf>. 16, 17

SILVA, Wesley Cecilio; OLIVEIRA, Raquel Diniz; LIMA, Frederico Romagnoli Silveira. Análise energética de condicionadores convencionais e inverter em habitações não adaptadas ao clima. **ES Engineering and Science**, v. 12, n. 2, p. 1–21, 2023. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/view/15200>. 60, 61, 62

VIAN Ângelo *et al.* **Armazenamento de Energia: Fundamentos, tecnologia e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2021. Disponível em formato digital. ISBN 9786555061090. 29, 30, 31

VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2015. ISBN 9788536504146. 26, 27, 28, 29, 51