

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS ITUMBIARA
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

CAMILA MACIEL SILVA IRAN

**ANÁLISE TÉCNICA-ECONÔMICA DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA
FOTOVOLTAICA APLICADA AO IFG - CÂMPUS ITUMBIARA: ESTUDO DE
CASO COM OTIMIZAÇÃO CONTRATUAL DE DEMANDA NO GRUPO A4**

ITUMBIARA

2025

**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: Camila Maciel Silva Iran

Matrícula: 20172040070304

Título do Trabalho: Análise Técnica-Econômica da Geração Distribuída Fotovoltaica Aplicada ao IFG-Câmpus Itumbiara: Estudo de Caso com Otimização Contratual de Demanda no Grupo A4.

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 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.

Itumbiara-GO, ____08____/____10____/____2025____.
Local Data

Camila Maciel Silva Iran

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

CAMILA MACIEL SILVA IRAN

**ANÁLISE TÉCNICA-ECONÔMICA DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA
FOTOVOLTAICA APLICADA AO IFG - CÂMPUS ITUMBIARA: ESTUDO DE
CASO COM OTIMIZAÇÃO CONTRATUAL DE DEMANDA NO GRUPO A4**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Câmpus Itumbiara/IFG, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Antônio Arantes de Freitas

Coorientador: Prof. Dr. Ghunter Paulo Viajante

ITUMBIARA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

I65a Iran, Camila Maciel Silva
Análise técnica-econômica da geração distribuída fotovoltaica aplicada ao IFG - Câmpus Itumbiara: estudo de caso com otimização contratual de demanda no grupo a4 / Camila Maciel Silva Iran – Itumbiara, 2025.
p. 61 : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Itumbiara, 2025.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Antônio Arantes de Freitas.

1. Sistema de energia fotovoltaica. 2. Geração distribuída de energia elétrica. 3. Energia - Consumo I. Título. II. Freitas, Marcos Antônio Arantes de. III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

CDD 621.47

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Biblioteca Maria Gabriela Pacheco Pardey / Câmpus Itumbiara
Bibliotecário: Rosiane Gonçalves de Lima CRB1/1684



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

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

Camila Maciel Silva Iran

**ANÁLISE TÉCNICA-ECONÔMICA DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA APLICADA AO IFG - CÂMPUS
ITUMBIARA: ESTUDO DE CASO COM OTIMIZAÇÃO CONTRATUAL DE DEMANDA NO GRUPO A4**

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

Aprovado em 30 de Setembro de 2025.

(Assinado Eletronicamente)

Prof. Dr. Marcos Antônio Arantes de Freitas
Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara
Orientador

(Assinado Eletronicamente).

Prof. Dr. Ghunter Paulo Viajante
Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara
Avaliador

(Assinado Eletronicamente).

Prof. Dr. Victor Régis Bernardeli
Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara
Avaliador

Documento assinado eletronicamente por:

- **Victor Regis Bernardeli**, CHEFE - CD4 - ITU-DAA, em 10/10/2025 08:23:24.
- **Ghunter Paulo Viajante**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 09/10/2025 20:58:48.
- **Marcos Antonio Arantes de Freitas**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 09/10/2025 20:42:50.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 09/10/2025. 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: 702051

Código de Autenticação: 42ae6aa3ed



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Avenida Furnas, nº 55, 55, Bairro Village Imperial, ITUMBIARA / GO, CEP 75524-010
(64) 2103-5604 (ramal: 5604)

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo fazer uma análise técnica e econômica a implantação de um sistema de geração distribuída (GD) fotovoltaica em um consumidor do Grupo A, utilizando como estudo de caso o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Câmpus Itumbiara. O estudo parte da necessidade crescente de modernização da matriz elétrica nacional, buscando soluções sustentáveis e economicamente viáveis para instituições públicas, especialmente no contexto da crescente demanda energética e das recentes mudanças regulatórias promovidas pela Lei nº 14.300/2022. Através de uma abordagem comparativa entre os anos de 2017, período anterior à implantação das usinas solares e 2024, já com os sistemas fotovoltaicos em operação. A metodologia aplicada envolveu a análise integrada dos dados de geração fotovoltaica, da energia injetada na rede (potência reversa) e dos registros de consumo nos quadros gerais de baixa tensão (QGBT), possibilitando a estimativa do consumo real de cada setor do câmpus Itumbiara, incluindo o auditório e os blocos 300, 400 e 500 (superiores e inferiores), possibilitando uma visão detalhada do comportamento energético da instituição. Os resultados obtidos demonstram os benefícios da GD na redução de custos com energia elétrica e também na otimização do uso da infraestrutura elétrica interna e na mitigação dos impactos ambientais. Este estudo contribui para a compreensão da viabilidade técnica e financeira da geração distribuída em consumidores do Grupo A e serve de referência para futuras iniciativas em contextos semelhantes.

Palavras-chaves: Geração distribuída; Energia fotovoltaica; Eficiência; Consumo; Análise comparativa.

ABSTRACT

This work aims to carry out a technical and economic analysis of the implementation of a photovoltaic distributed generation (DG) system for a Group A consumer, using the Federal Institute of Education, Science and Technology of Goiás - Itumbiara Câmpus as a case study. The study arises from the growing need to modernize the national electrical matrix, seeking sustainable and economically viable solutions for public institutions, especially in the context of increasing energy demand and recent regulatory changes brought by Law No. 14.300/2022. A comparative approach was employed between the years 2017, before the installation of the solar plants and 2024, with the photovoltaic systems already in operation. The applied methodology involved an integrated analysis of photovoltaic generation data, the energy injected into the grid (reverse power), and consumption records from the low-voltage general panels (LVDP), allowing the estimation of the actual energy consumption of each sector of the câmpus, including the auditorium and Blocks 300, 400, and 500 (upper and lower levels), thereby providing a detailed view of the institution's energy behavior. The results demonstrate the benefits of DG in reducing electricity costs, as well as in optimizing the use of the internal electrical infrastructure and mitigating environmental impacts. This study contributes to understanding the technical and financial feasibility of distributed generation for Group A consumers and serves as a reference for future initiatives in similar contexts.

Keywords: Distributed generation; Photovoltaic energy; Efficiency; Consumption; Comparative analysis.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
CA - Corrente Alternada
CC - Corrente Contínua
DPS - Dispositivo de Proteção Contra Surtos
EaD - Educação a Distância
FV - Fotovoltaico
GD - Geração Distribuída
IEC - International Electrotechnical Commission (Comissão Eletrotécnica Internacional)
IFG - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
MEC - Ministério da Educação
MPPT - Maximum Power Point Tracker (Seguidor do Ponto de Máxima Potência)
NBR - Norma Brasileira
P&D - Pesquisa e Desenvolvimento
QDG - Quadro de Distribuição Geral
QGBT - Quadro Geral de Baixa Tensão
QGF - Quadro Geral de Força
SCEE - Sistema de Compensação de Energia Elétrica
SETEC - Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
TC - Transformador de Corrente
kW - Quilowatt
kWh - Quilowatt-hora
kWp - Quilowatt-pico

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Representação gráfica do consumo total do câmpus em 2017.....	43
Gráfico 2 - Representação gráfica da demanda total do câmpus em 2017.....	44
Gráfico 3 - Representação gráfica do consumo total do câmpus em 2024.....	47
Gráfico 4 - Representação gráfica da demanda total do câmpus em 2024.....	48
Gráfico 5 - Representação gráfica da demanda contratada e medida do câmpus em 2024.....	54
Gráfico 6 - Representação gráfica do total pago de demanda do câmpus em 2024.....	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Painéis solares fotovoltaicos	13
Figura 2 - Junção P-N típica de uma célula fotovoltaica de silício	14
Figura 3 - Princípio básico de uma célula fotovoltaica	14
Figura 4 - Painel solar monocristalino.....	16
Figura 5 - Painel solar policristalino	17
Figura 6 - Painel solar de filme fino	18
Figura 7 - Painel solar de silício amorfo.....	18
Figura 8 - Painel solar orgânico.....	19
Figura 9 - Geração convencional de energia	20
Figura 10 - Geração distribuída de energia	20
Figura 11 - Aplicação das novas regras da Lei nº 14.300/2022	22
Figura 12 - IFG (Câmpus Itumbiara).....	28
Figura 13 - Sistema fotovoltaico da Licitação 1 de 2017 do IFG – Itumbiara	30
Figura 14 - Árvore solar do IFG – Itumbiara	30
Figura 15 - Construção do sistema fotovoltaico da Licitação 2 em 2021 no IFG – Itumbiara.....	31
Figura 16 - Sistema fotovoltaico do câmpus após o projeto de P&D.....	32
Figura 17 - Características técnicas das usinas fotovoltaicas do IFG – Itumbiara	32
Figura 18 - Fonte de recursos das usinas solares do IFG – Câmpus Itumbiara.....	33
Figura 19 - Sistema dos blocos 200, 300, 400 e 500	33
Figura 20 - Diagrama elétrico unifilar da rede da concessionária ao QGBT	33
Figura 21 - Diagrama elétrico unifilar do solo 01 e bloco 300.....	33
Figura 22 - Diagrama elétrico unifilar dos blocos 400 e 500	33
Figura 23 - Medidor da subestação do câmpus	37
Figura 24 - Medidor utilizado nos blocos do câmpus	37
Figura 25 - Quadros de distribuição e logo abaixo os TCs utilizados nos blocos do câmpus.....	38
Figura 26 - Modelo de barramento Modbus da infraestrutura de medição do câmpus	39
Figura 27 - Computador local utilizado nos blocos do câmpus	39
Figura 28 - Interface do monitor local utilizado para análise dos sistemas de cada bloco.....	40
Figura 29 - Consumo do câmpus registrado no ano de 2017	43
Figura 30 - Demanda do câmpus registrada no ano de 2017.....	44
Figura 31 - Valores de demanda, consumo e tarifas de energia elétrica do câmpus em 2017.....	45
Figura 32 - Custo total de energia elétrica do câmpus em 2017.....	45
Figura 33 - Consumo do câmpus registrado no ano de 2024	47
Figura 34 - Demanda do câmpus registrada no ano de 2024.....	47
Figura 35 - Valores de demanda, consumo e tarifas de energia elétrica do câmpus em 2024.....	48
Figura 36 - Custo total de energia elétrica do câmpus em 2024.....	49
Figura 37 - Resumo geral dos blocos analisados.....	52
Figura 38 - Comparativo energético e econômico entre 2017 e 2024.....	52
Figura 39 - Comparativo entre a demanda medida e demanda contratada de 2024.....	54
Figura 40 - Tarifas de aplicação e base econômica para o Grupo A4 (2,3 a 25kV).....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos subgrupos do Grupo A	24
Tabela 2 - Classificação dos subgrupos do Grupo B.....	24

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Considerações Iniciais.....	11
1.2 Objetivo	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1 Energia Solar Fotovoltaica.....	13
2.1.1 Células Fotovoltaicas	15
2.2 Geração Distribuída	19
2.3 Lei nº 14.300/2022	21
2.4 Tarifação	23
2.5 Unidades Consumidoras	24
2.5 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede	25
2.5.1 Módulos Fotovoltaicos.....	25
2.5.2 Inversores.....	26
2.5.3 Medidor Bidirecional	26
3 ESTUDO DE CASO	27
3.1 Instituto Federal de Goiás (IFG) – Câmpus Itumbiara	27
3.2 Implantação de Ações de Eficiência Energética	29
3.3 Infraestrutura Elétrica e Projeto Executivo	34
3.4 Infraestrutura de Supervisão Energética	36
3.5 Metodologia de Análise Técnico-Energética	40
3.6 Análise de 2017 (Antes da Geração Fotovoltaica).....	42
3.4 Análise de 2024 (Com Sistema Fotovoltaico Implantado).....	46
3.4.1 - Análise Setorial: Consumo Energético em 2024	50
4 PROPOSTA DE REDUÇÃO DA DEMANDA CONTRATADA	54
4.1 Situação Atual.....	55
4.2 Situação Proposta	56
4.3 Comparativo Econômico entre as Situações	57
4.4 Considerações Técnicas	57
5 CONCLUSÃO.....	59
REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

Nas últimas décadas, o setor elétrico brasileiro tem enfrentado desafios cada vez mais complexos, impulsionados por uma crescente demanda por energia, pela necessidade de diversificação da matriz energética e pelas exigências ambientais que pressionam por alternativas mais limpas e sustentáveis. Neste cenário, a geração distribuída (GD), especialmente a partir de fontes renováveis como a energia fotovoltaica, passou a ocupar papel de destaque nas estratégias de modernização do sistema elétrico nacional. Além de representar uma alternativa viável à centralização da geração, a GD promove maior autonomia energética, redução de perdas na transmissão e incentiva o uso racional da energia.

A regulamentação brasileira também tem evoluído nesse sentido. A promulgação da Lei nº 14.300/2022, que estabelece o Marco Legal da Geração Distribuída, trouxe maior segurança jurídica e previsibilidade para investimentos no setor, ao mesmo tempo em que estabelece regras claras para conexão, compensação e tarifação da energia produzida em sistemas descentralizados. No contexto de consumidores do Grupo A — aqueles atendidos em média ou alta tensão — os impactos econômicos da implantação de sistemas fotovoltaicos são ainda mais significativos, considerando a complexidade tarifária e os custos associados à demanda contratada.

Dentro desse panorama, instituições públicas de ensino e pesquisa, como os Institutos Federais, apresentam-se como ambientes propícios para a adoção de tecnologias sustentáveis e inovadoras, tanto por sua demanda energética representativa quanto pelo compromisso com a responsabilidade socioambiental. O Instituto Federal de Goiás – Câmpus Itumbiara, ao adotar a geração fotovoltaica distribuída, torna-se um exemplo concreto da viabilidade técnica e econômica dessa transição energética.

1.2 Objetivo

A presente pesquisa tem como propósito examinar os impactos da adoção de um sistema fotovoltaico de geração distribuída em uma unidade consumidora pertencente ao Grupo A, tendo como referência o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Itumbiara. Ao considerar um panorama antes e depois da instalação das usinas solares, especificamente os anos de 2017 e 2024, o estudo busca compreender de maneira aprofundada como a geração própria de energia influencia o comportamento energético da instituição, tanto em termos técnicos quanto econômicos.

Mais do que uma simples comparação de faturas, o trabalho se dedica à avaliação do desempenho energético setorial do câmpus por meio da análise dos dados de geração fotovoltaica, da energia injetada na rede e dos registros de consumo medidos nos quadros gerais de baixa tensão. Essa abordagem permite estimar, com base em dados reais, o consumo efetivo de áreas específicas. A partir disso, pretende-se identificar de que forma a energia solar tem contribuído para a redução de custos com eletricidade, o aproveitamento mais eficiente da infraestrutura elétrica instalada e o incentivo à sustentabilidade no ambiente institucional.

Ao final, o trabalho busca não apenas oferecer um diagnóstico energético da instituição, mas também fortalecer a compreensão sobre a viabilidade e os benefícios da geração distribuída em contextos públicos e educacionais, com o intuito de fomentar novas políticas e projetos voltados à eficiência e à autonomia energética.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Energia Solar Fotovoltaica

O crescimento da demanda por energia elétrica em todo o mundo, aliado às pressões por uma matriz energética mais limpa, resiliente e ambientalmente responsável, tem incentivado a busca por alternativas sustentáveis às fontes convencionais. Nesse cenário, a energia solar fotovoltaica tem se consolidado como uma das soluções mais promissoras. A Figura 1 apresenta painéis solares fotovoltaicos, que representam de forma prática a tecnologia utilizada para converter a radiação solar em energia elétrica. A radiação solar é uma fonte de energia inesgotável, amplamente disponível em todo o território brasileiro, e seu aproveitamento para a geração elétrica permite reduzir a dependência de combustíveis fósseis e mitigar os impactos das mudanças climáticas.

Figura 1 - Painéis solares fotovoltaicos



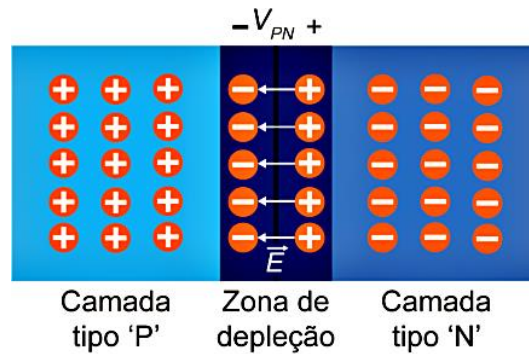
Fonte: Macrosol (2025)

A geração fotovoltaica baseia-se no chamado efeito fotovoltaico, um fenômeno físico que ocorre quando determinados materiais semicondutores, ao serem expostos à luz solar, absorvem a energia dos fótons e liberam elétrons. Esse movimento de elétrons, quando direcionado por meio de um campo elétrico interno à célula, gera uma corrente elétrica contínua. As células solares ou células fotovoltaicas, são os dispositivos responsáveis por essa conversão direta da energia luminosa em energia elétrica, e são compostas, principalmente, por silício.

O silício, por natureza, não possui elétrons livres suficientes para conduzir eletricidade de forma eficiente. Por isso, ele passa por um processo denominado dopagem, que consiste na introdução de elementos químicos que alteram sua estrutura atômica. Quando dopado com

fósforo, o silício adquire excesso de elétrons e passa a ser chamado de silício tipo N. Já a dopagem com boro cria o silício tipo P, caracterizado pela presença de lacunas eletrônicas. Como mostrado na Figura 2, a junção de uma camada de silício tipo N com uma camada de tipo P forma a chamada junção P-N, na qual se estabelece um campo elétrico interno.

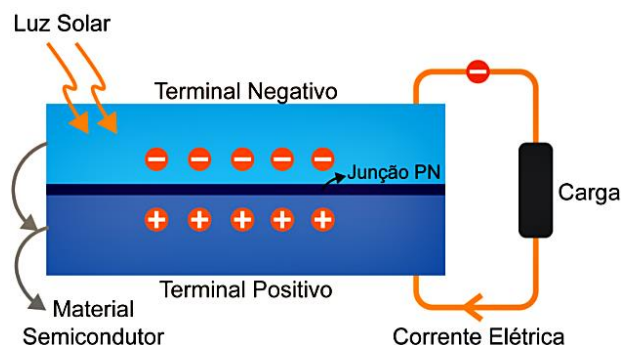
Figura 2 - Junção P-N típica de uma célula fotovoltaica de silício



Fonte: Eletrônica de Potência (2020)

Quando a luz incide sobre essa junção, os fótons fornecem energia aos elétrons da camada P, permitindo que eles se desloquem para a camada N. Esse deslocamento orientado forma um fluxo de corrente elétrica contínua, desde que a célula esteja conectada a um circuito externo. Vale destacar que cada célula, isoladamente, gera uma tensão média entre 0,5 e 0,8 V, e por isso, para alcançar tensões e correntes úteis, as células são organizadas em módulos e arranjos fotovoltaicos. O funcionamento fundamental dessa célula é representado na Figura 3.

Figura 3 - Princípio básico de uma célula fotovoltaica



Fonte: Eletrônica de Potência (2020)

Embora as células fotovoltaicas convertam luz em eletricidade, elas não armazenam energia, funcionando apenas enquanto houver incidência luminosa. Por isso, em sistemas autônomos ou híbridos, faz-se necessário o uso de baterias e controladores de carga para garantir o fornecimento contínuo.

A crescente adoção dessa tecnologia se deve à sua viabilidade ambiental e também à evolução técnica e econômica dos sistemas. A redução gradual dos custos de instalação, o aumento da eficiência dos componentes, os incentivos regulatórios e o amadurecimento do mercado têm tornado a energia solar fotovoltaica uma opção cada vez mais acessível e atrativa. Entre os benefícios, destacam-se a economia nas faturas de energia, a valorização de imóveis, a independência energética, a baixa necessidade de manutenção e a vida útil prolongada dos sistemas que pode superar 25 anos.

Além disso, a aplicação da geração fotovoltaica em sistemas de geração distribuída tem ampliado a autonomia dos consumidores, permitindo que unidades residenciais, comerciais e institucionais se tornem também produtoras da própria energia. Esse modelo descentralizado tem papel fundamental na modernização do setor elétrico, promovendo um sistema mais democrático, eficiente e sustentável.

A base dessa tecnologia está diretamente ligada ao tipo de célula solar utilizada. Cada tipo apresenta características distintas em relação à eficiência, custo de fabricação, durabilidade e aplicação.

2.1.1 Células Fotovoltaicas

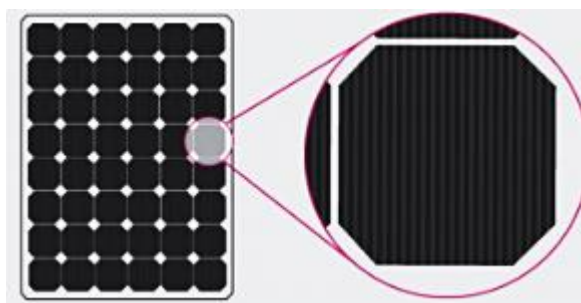
No mercado existem três tecnologias utilizadas na fabricação de células fotovoltaicas classificadas em três gerações de acordo com o material e suas características. A primeira geração é baseada no uso de silício cristalino (c-Si), que pode ser dividido em silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si). Essa tecnologia representa cerca de 85% do mercado devido à sua eficiência, consolidação e confiabilidade. A segunda geração é conhecida como filmes finos, consiste em três tipos principais: silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe). Já a terceira geração, conforme definido pelo IEEE (2014), refere-se a células que possibilitam uma utilização mais eficiente da luz solar em comparação com as células que possuem apenas um único band-gap eletrônico. Em geral, espera-se que a terceira geração seja altamente eficiente, de baixo custo por watt e utilize materiais abundantes e de baixa toxicidade. Além disso, as células orgânicas ou poliméricas estão em fase de pesquisa e desenvolvimento (PINHO; GALDINO, 2014).

2.1.1.1 Células de Silício Monocristalino

O silício monocristalino é amplamente utilizado na fabricação de células fotovoltaicas, representando cerca de 60% do mercado. Observa-se na Figura 4 sua estrutura molecular uniforme, resultante do uso de um único cristal, é ideal para maximizar o efeito fotovoltaico.

Embora os laboratórios tenham alcançado eficiências máximas de cerca de 24%, na prática, o rendimento é reduzido para aproximadamente 15%. A produção de silício monocristalino é cara. A maioria dos módulos fotovoltaicos de silício monocristalino são obtidos a partir de fatias de um único cristal grande imersas em silício fundido. Durante esse processo, o cristal é dopado com pequenas quantidades de boro para formar um semicondutor do tipo "p". Após o corte, impurezas do tipo "n" são introduzidas nas pastilhas por meio da exposição a vapor de fósforo em fornos de alta temperatura, garantindo confiabilidade e eficiência aos produtos. Essas células são produzidas a partir de barras cilíndricas de silício monocristalino fabricadas em fornos especiais e são cortadas em pastilhas finas (com espessura de 0,4 a 0,5 mm) (NASCIMENTO, 2004; ALMEIDA et al., s.d.; CASTRO, 2002).

Figura 4 - Painel solar monocristalino

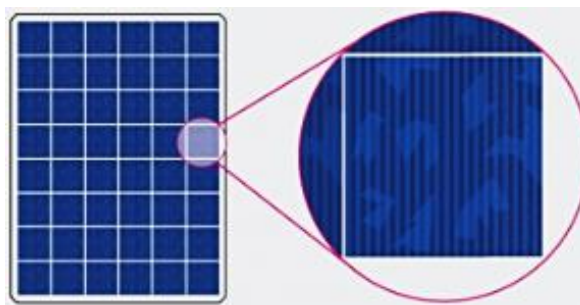


Fonte: NeoSolar (2025)

2.1.1.2 Células de Silício Policristalino

O silício policristalino possui uma participação de mercado de cerca de 30% e é composto por um grande número de pequenos cristais, cada um com a espessura de um fio de cabelo humano. A produção dessas células é feita a partir de blocos de silício obtidos por meio da fusão de silício puro em moldes especiais, então nos moldes o silício resfria lentamente e solidifica-se, resultando em uma estrutura policristalina com superfícies de separação entre os cristais. A Figura 5 evidencia as descontinuidades em sua estrutura molecular que dificultam o movimento dos elétrons e aumentam a ocorrência de recombinação com as lacunas, o que resulta em uma redução na potência de saída. Por esse motivo, as eficiências alcançadas em laboratório e em uso prático não ultrapassam 18% e 12%, respectivamente. No entanto, em função desses fatores, o custo do processo de fabricação das células de silício policristalino é menor do que as das células de silício monocristalino (NASCIMENTO, 2004; CASTRO, 2002).

Figura 5 - Painel solar policristalino



Fonte: NeoSolar (2025)

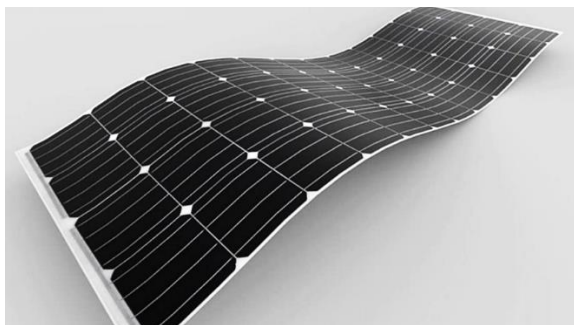
2.1.1.3 Células de Filmes Finos

Essas células são fabricadas utilizando diferentes materiais semicondutores e técnicas de deposição. Por exemplo, são aplicadas camadas finas de materiais como silício e outros sobre uma base que pode ser rígida ou flexível. Um dos materiais mais estudados é o silício amorfo (a-Si). Comparadas a outras tecnologias fotovoltaicas, os filmes finos têm a vantagem de consumir menos matéria-prima e energia em sua fabricação, resultando em um custo bastante reduzido. Além disso, a fabricação é menos complexa, o que facilita processos automatizados e favorece a produção em larga escala.

No entanto, esses filmes convertem fótons em elétrons de forma menos eficiente do que as células de silício monocristalino. O silício amorfo hidrogenado (a-Si:H) é uma tecnologia fotovoltaica em filmes finos, amplamente utilizada em dispositivos como calculadoras, relógios e outros produtos com baixo consumo de energia. Essas células são eficientes sob iluminação artificial, especialmente lâmpadas fluorescentes. Os filmes finos são depositados em substratos de baixo custo, como vidro, aço, aço inoxidável e alguns plásticos. Na Figura 6, pode-se verificar que são painéis solares flexíveis, inquebráveis, leves, semitransparentes e com superfícies curvas foram desenvolvidos e estão ampliando o mercado fotovoltaico devido à sua maior versatilidade.

Outro competidor no mercado fotovoltaico para geração de energia elétrica é o CdTe, também na forma de filmes finos. No futuro próximo, compostos baseados em disseleneto de cobre e índio (CIS) também são considerados concorrentes promissores, principalmente por terem potencial para atingir eficiências relativamente altas. Atualmente, pequenas áreas produzidas em laboratório alcançam eficiências em torno de 18% (NASCIMENTO, 2004; ALMEIDA et al., s.d.; CASTRO, 2002).

Figura 6 - Painel solar de filme fino



Fonte: NeoSolar (2025)

2.1.1.4 Células de Silício Amorfo

Essas células são produzidas a partir do silício amorfo, que não possui uma estrutura cristalina e apresenta defeitos estruturais que inicialmente impediriam sua utilização em células fotovoltaicas já que esses defeitos promovem a recombinação dos pares elétronlacuna, combinado com uma pequena quantidade de hidrogênio por meio do processo de hidrogenização. O silício amorfo absorve a radiação solar de forma mais eficiente do que o silício cristalino, permitindo a deposição de uma fina camada de silício amorfo em substratos como metal, vidro ou plástico. Esse processo de fabricação possui menos custos do que o do silício policristalino.

Os dispositivos solares domésticos feitos com células de silício amorfo, representam cerca de 4% do mercado. Em laboratório, é possível obter eficiências em torno de 13%, mas as propriedades conversoras do material se deterioram na prática, resultando em eficiências em torno de 6%, e as células de silício amorfo disponíveis no mercado têm eficiências entre 8% e 9%.

Assim como mostrado na Figura 7, o silício amorfo tem sido usado em aplicações arquitetônicas, substituindo materiais de cobertura de telhados e fachadas na construção civil devido à sua aparência esteticamente atraente e ao fato de que o custo por metro quadrado representa menos da metade da tecnologia convencional de silício (NASCIMENTO, 2004).

Figura 7- Pannel solar de silicio amorfo



Fonte: HISOUR (2025)

2.1.1.5 Células Orgânicas

As células fotovoltaicas orgânicas ou poliméricas, como mostrado na Figura 8, se baseia no uso de um semicondutor orgânico, que é responsável pela absorção de luz, geração, separação e transporte de cargas. São dispositivos produzidos por meio da combinação de um polímero condutor e um derivado de fulereno. Trata-se de tecnologias recentes, portanto ainda estão em fase de pesquisa, desenvolvimento e testes. Tais células são vistas como uma alternativa potencialmente propícia para a conversão de energia solar a baixo custo (PINHO; GALDINO, 2014).

Figura 8 - Painel solar orgânico



Fonte: NOCTULA (2025)

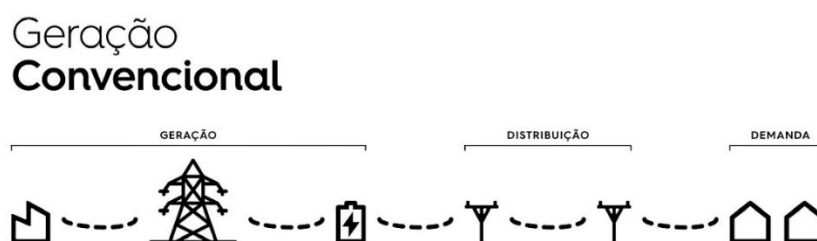
2.2 Geração Distribuída

O modelo tradicional do setor elétrico, caracterizado pela geração centralizada de energia em grandes usinas distantes dos centros de consumo, tem sido gradualmente complementado por uma abordagem mais descentralizada e moderna: a Geração Distribuída (GD). Essa mudança de paradigma está diretamente associada à crescente demanda por fontes renováveis, à busca por eficiência energética e ao desejo de maior autonomia por parte dos

consumidores.

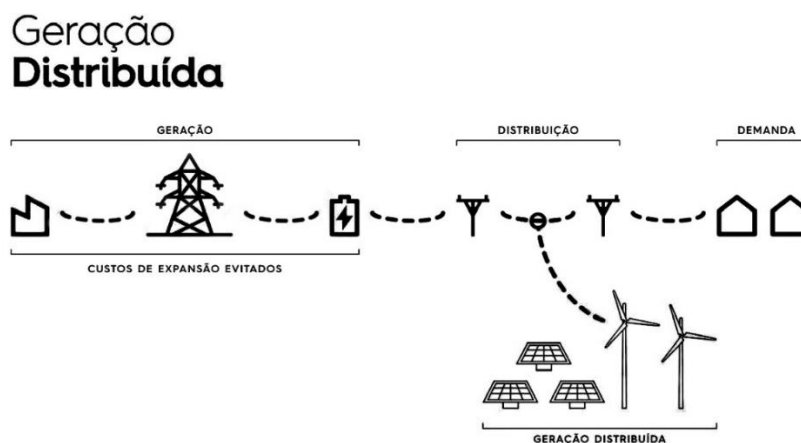
A Geração Distribuída consiste na produção de energia elétrica próxima ao ponto de consumo, geralmente em instalações de pequeno ou médio porte. Diferente do modelo centralizado no qual a eletricidade percorre longas distâncias por linhas de transmissão até chegar ao consumidor final, conforme ilustrado na Figura 9, a GD permite que unidades consumidoras, como indústrias, comércios e até residências e condomínios, gerem parte ou a totalidade da energia que consomem, como representado na Figura 10. Essa proximidade reduz perdas técnicas, melhora a qualidade do fornecimento e fortalece a confiabilidade do sistema.

Figura 9 - Geração convencional de energia



Fonte: Adaptado de Ligy Energia Solar (2023)

Figura 10 - Geração distribuída de energia



Fonte: Adaptado de Ligy Energia Solar (2023)

O processo normalmente se inicia com a instalação de sistemas de geração, como painéis solares fotovoltaicos ou turbinas eólicas de pequeno porte, conectados diretamente à unidade consumidora. Durante os períodos de alta produção, o excedente de energia pode ser injetado na rede elétrica, gerando créditos energéticos que são posteriormente compensados nas faturas. Por outro lado, quando a produção local não é suficiente, a rede convencional supre a diferença, garantindo estabilidade e continuidade no fornecimento.

Esse modelo não apenas permite maior controle sobre os custos energéticos, mas também insere o consumidor em um novo papel: o de “prosumidor”, aquele que consome e também produz energia. Essa mudança promove ganhos econômicos e operacionais, oferecendo flexibilidade e estratégia na gestão da energia, principalmente no contexto do Mercado Livre, que permite a negociação direta entre consumidores e geradores para obtenção de melhores condições comerciais.

Entretanto, apesar dos benefícios evidentes, a implementação da Geração Distribuída envolve desafios relevantes. O custo inicial de aquisição e instalação dos sistemas pode ser elevado, exigindo planejamento financeiro, estrutura adequada e mão de obra especializada. Além disso, é necessário considerar questões relacionadas à manutenção periódica dos equipamentos, como painéis, inversores e sistemas de proteção, fundamentais para assegurar a longevidade e o desempenho do sistema.

Outro aspecto importante está na regulamentação. No Brasil, a GD passou a ser regulada inicialmente pela Resolução Normativa nº 482/2012 da ANEEL, que estabeleceu o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE). Mais recentemente, a Lei nº 14.300/2022 trouxe novos parâmetros, aumentando a previsibilidade e segurança jurídica para os consumidores que optam por esse modelo.

Adicionalmente, a adoção da GD também exige atenção à infraestrutura interna das unidades consumidoras, pois a integração do sistema ao ambiente elétrico preexistente pode demandar adaptações. A viabilidade técnica deve ser avaliada com cuidado, considerando fatores como disponibilidade de espaço, orientação solar, qualidade da rede elétrica local e perfil de consumo.

Apesar dessas barreiras, o avanço tecnológico, os incentivos financeiros e o amadurecimento do mercado têm contribuído para a expansão da Geração Distribuída no país. A GD já se mostra como um dos pilares da transição energética, aliando sustentabilidade, economia e modernização da matriz elétrica. Além de ser uma ferramenta estratégica para o enfrentamento dos desafios energéticos atuais, representa também uma oportunidade para a democratização do acesso à energia limpa e para o fortalecimento da resiliência do sistema elétrico nacional.

2.3 Lei nº 14.300/2022

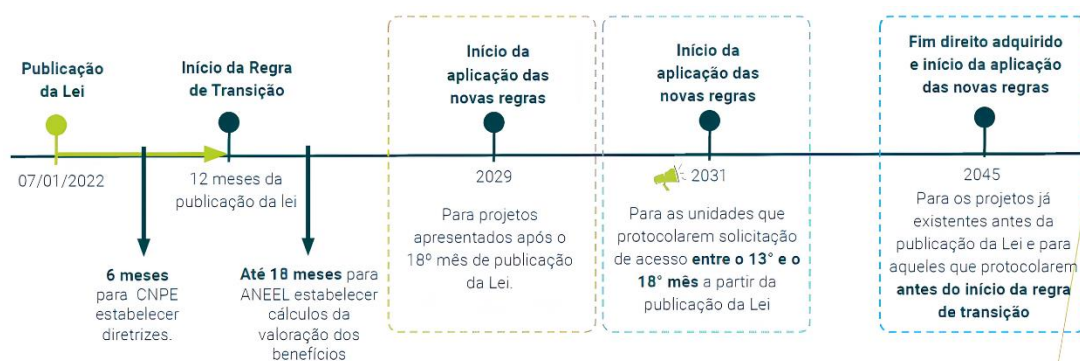
Com a crescente expansão da geração distribuída (GD) no Brasil, especialmente por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, tornou-se necessária uma regulamentação mais robusta e atualizada. Nesse contexto, a Lei nº 14.300/2022, sancionada em 6 de janeiro de

2022, institui o Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída, consolidando diretrizes e regras que buscam equilibrar os interesses dos consumidores-geradores e das distribuidoras de energia elétrica, conforme apresentado na Figura 11.

A nova legislação traz maior segurança jurídica ao setor, ao definir critérios objetivos para a conexão à rede, compensação de energia, prazos e tarifas aplicáveis. Entre os principais pontos da lei, destaca-se a distinção entre microgeração (até 75 kW) e minigeração distribuída (de 75 kW a 5 MW, podendo chegar a 3 MW no caso de fontes despacháveis), bem como o direito dos consumidores-geradores à compensação de créditos de energia, respeitando regras de transição.

A lei preserva os direitos adquiridos dos sistemas de GD instalados até 7 de janeiro de 2023, garantindo a permanência nas regras anteriores até 2045. Para novos sistemas, é estabelecida uma transição gradual na forma como os encargos de uso do sistema de distribuição (TUSD fio B) são cobrados, buscando uma divisão mais justa dos custos entre todos os usuários do sistema elétrico.

Figura 11 - Aplicação das novas regras da Lei nº 14.300/2022



Fonte: Greener (2022)

Outro aspecto relevante é a regulamentação das diferentes modalidades de geração compartilhada, como consórcios, cooperativas e autoconsumo remoto, o que amplia as possibilidades de acesso à GD mesmo por consumidores que não tenham espaço físico disponível para instalação do sistema gerador.

A Lei nº 14.300/2022 também reforça a importância da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) no processo regulatório, encarregando-a de normatizar aspectos técnicos, operacionais e econômicos da GD, em conformidade com os princípios estabelecidos pela legislação.

Portanto, essa lei representa um marco importante na consolidação da GD como uma ferramenta estratégica para a descentralização da matriz energética brasileira, o empoderamento

do consumidor e a modernização do setor elétrico. No contexto do presente trabalho, sua análise é fundamental para compreender a viabilidade técnica e regulatória da geração fotovoltaica distribuída no IFG – Câmpus Itumbiara, especialmente considerando que a unidade pertence ao Grupo A, estando sujeita a regras específicas de tarifação e compensação.

2.4 Tarifação

A fatura de energia elétrica representa o principal instrumento por meio do qual as distribuidoras formalizam a cobrança pelo fornecimento do serviço público de eletricidade. Essa cobrança está fundamentada em um conjunto de normas técnicas, resoluções regulatórias e critérios econômicos, que compõem o chamado sistema tarifário. Esse sistema é regulamentado e fiscalizado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), responsável por assegurar que a prestação do serviço ocorra com qualidade, continuidade e a custos justos tanto para os consumidores quanto para os agentes do setor. Dentre essas normas, destaca-se a Resolução Normativa ANEEL nº 456/2000, que consolida as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica no país.

A formação das tarifas não se limita ao consumo energético propriamente dito, mas envolve múltiplos componentes que refletem a complexidade operacional do setor elétrico. Esses componentes incluem os custos com aquisição da energia, os encargos setoriais, os tributos aplicáveis e os valores necessários para a manutenção e ampliação da infraestrutura de transmissão e distribuição. A tarifa, portanto, precisa ser suficiente para cobrir os custos operacionais eficientes das distribuidoras, remunerar os investimentos realizados no sistema elétrico e garantir a expansão da capacidade instalada para atender a demanda de forma segura e contínua.

Do ponto de vista do consumidor, especialmente aqueles classificados no Grupo A que compreende unidades atendidas em média ou alta tensão, a tarifação se apresenta de forma mais complexa. A estrutura da fatura desses consumidores é composta, geralmente, por duas parcelas principais: a demanda contratada, que corresponde à potência reservada para atender os picos de consumo da unidade, e a energia consumida, medida em quilowatt-hora (kWh) e registrada em diferentes faixas horárias, como os períodos de ponta e fora de ponta. Essa segmentação horária reflete a variação do custo da energia ao longo do dia, promovendo maior racionalidade no uso da rede e incentivando a gestão da carga por parte dos usuários.

Além das parcelas fixas e variáveis, a fatura incorpora outros encargos, como a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), que remunera a distribuidora pelo transporte da energia até as unidades consumidoras, e as bandeiras tarifárias, que ajustam os preços conforme

as condições do sistema de geração nacional. Quando há geração distribuída na unidade consumidora, como no caso de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, a compensação da energia gerada pode reduzir significativamente a parcela correspondente ao consumo. No entanto, a cobrança da demanda contratada e de parte da TUSD continua vigente, conforme estabelecido pela regulação atual.

2.5 Unidades Consumidoras

As unidades consumidoras são classificadas conforme a tensão de fornecimento, que é determinada a partir da carga instalada. Essa classificação é dada por grupos, sendo eles: o Grupo A e o Grupo B (MARQUES; HADDAD; MARTINS, 2006).

O grupo A é o que enquadra todas as unidades consumidoras cujo a tensão de fornecimento é superior ou igual a 2,3 kV, ou as que são atendidas pelo sistema subterrâneo de distribuição em tensão inferior a 2,3 kV (MARQUES; HADDAD; MARTINS, 2006). Esse grupo é subdividido em seis subgrupos, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação dos subgrupos do Grupo A

Subgrupo	Tensão de Fornecimento
A1	≥ 230 kV
A2	88 kV a 138 kV
A3	69 kV
A3a	30 kV a 138 kV
A4	2,3 kV a 25 kV
AS	Subterrâneo

Fonte: Marques, Haddad e Martins (2006).

O grupo B é o que enquadra todas as unidades consumidoras cuja tensão de fornecimento é inferior a 2,3 kV, ou as que são atendidas em tensão superior a 2,3 kV e pelos termos definidos na Resolução ANEEL nº 456. Esse grupo é subdividido nos seguintes subgrupos conforme mostra a Tabela 2 (MARQUES; HADDAD; MARTINS, 2006).

Tabela 2 - Classificação dos subgrupos do Grupo B

Subgrupo	Classe
B1	Residencial
B1	Residencial Baixa Renda
B2	Rural

B2	Cooperativa de Eletrificação Rural
B2	Serviço Público e Irrigação
B3	Demais Classes
B4	Iluminação Pública

Fonte: Marques, Haddad e Martins (2006).

2.5 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede

Um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCCR) é composto essencialmente por dois subsistemas principais: o sistema gerador e o sistema de condicionamento de potência. O sistema gerador é formado pelos módulos fotovoltaicos, que podem ser conectados em série, paralelo ou em arranjos mistos, de modo a atender às exigências de tensão e corrente do projeto. Além dos módulos, esse subsistema inclui os cabos de interligação e a estrutura de suporte mecânico responsável pela fixação e orientação adequada dos painéis solares.

O sistema de condicionamento de potência, por sua vez, é responsável por adaptar a energia gerada para que possa ser injetada com segurança na rede elétrica. Ele é composto por equipamentos como inversores, conversores CC/CA, dispositivos de proteção, seguidores de ponto de máxima potência (MPPT) e sistemas de controle. Entre esses elementos, o inversor desempenha papel central, pois realiza a conversão da corrente contínua (CC) produzida pelos módulos em corrente alternada (CA), compatível com a rede elétrica pública.

Outro componente essencial em sistemas conectados à rede é o medidor bidirecional, que registra tanto a energia consumida da rede quanto a energia excedente injetada nela. Vale ressaltar que, nesse tipo de sistema, não há armazenamento local de energia, ou seja, em caso de interrupção do fornecimento pela concessionária, o sistema fotovoltaico também é desligado por questões de segurança, interrompendo temporariamente o fornecimento para a edificação.

2.5.1 Módulos Fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos são os responsáveis por converter a energia solar em energia elétrica. Eles são constituídos por um arranjo de células fotovoltaicas na qual quantidade em existente é definida dependendo da tensão e da corrente elétrica desejadas. A tensão dos módulos é dada pela quantidade de células conectadas em série, pois soma-se a tensão produzida por cada uma. Já a corrente dos módulos é dada pela quantidade de células conectadas em paralelo, pois nesse caso soma-se as correntes. De forma análoga, a tensão total e a corrente total produzida pelo sistema fotovoltaico são definidas pela quantidade de módulos conectados em série e em paralelo, respectivamente (PINHO; GALDINO, 2014).

2.5.2 Inversores

Os inversores são equipamentos responsáveis por transformar a eletricidade, produzida pelos módulos, de corrente contínua para alternada, de forma que seja possível a sua utilização na edificação. A quantidade de inversores irá depender da sua capacidade e do tamanho do sistema instalado, variando de um até vários inversores (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2024).

2.5.3 Medidor Bidirecional

O medidor bidirecional é o equipamento que irá determinar a quantidade de energia que entra da concessionária para a edificação e também a que é produzida e injetada na rede. Este equipamento é necessário, pois o sistema fotovoltaico produz energia essencialmente nos horários em que há irradiação solar, ou seja, durante o dia, mas nem sempre o padrão de uso da edificação acompanha a produção. Dessa forma, é necessário injetar na rede a energia produzida em excesso, como também, em horários em que a produção, pelo sistema fotovoltaico, é baixa, ou inexistente, a edificação recorre a energia da concessionária para atender a sua demanda (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2024).

3 ESTUDO DE CASO

3.1 Instituto Federal de Goiás (IFG) – Câmpus Itumbiara

O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG) – Câmpus Itumbiara, apresentado na Figura 12, é uma instituição pública de ensino técnico e superior que compõe a Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica. Localizado estrategicamente na região sul do estado de Goiás, o câmpus desempenha um papel fundamental na formação de profissionais qualificados para os setores industrial, agroindustrial e tecnológico, áreas de grande relevância para a economia da cidade e da região.

A criação oficial do câmpus foi autorizada por meio da Portaria nº 693/2008, publicada no Diário Oficial da União em 10 de junho de 2008. Sua instalação ocorreu em 1º de setembro do mesmo ano, e a inauguração oficial foi realizada em 24 de abril de 2009. Ainda em 2008, o câmpus deu início às suas atividades acadêmicas com a primeira seleção de estudantes, oferecendo vagas no curso superior de Licenciatura em Química e nos cursos técnicos subsequentes em Automação Industrial e Eletrotécnica.

Atualmente, o Câmpus Itumbiara do IFG oferece diferentes modalidades de cursos:

- **Técnicos integrados** – em que o aluno cursa, simultaneamente, o ensino médio e uma habilitação técnica como o Técnico em Agroindústria (modalidade EJA), Técnico em Eletrotécnica e Técnico em Química.
- **Técnico subsequente** – habilitação técnica para quem já concluiu o ensino médio como o Técnico em Eletrotécnica.
- **Cursos Superiores de Graduação** – Bacharelado em Engenharia Elétrica, Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação e Licenciatura em Química.
- **Pós-Graduação** – Especialização em ensino de Ciências e Matemática.

O Câmpus Itumbiara, vinculado ao Ministério da Educação (MEC), também oferece cursos de curta duração voltados à qualificação profissional e cursos na modalidade de Educação a Distância (EaD).

Atualmente, o câmpus possui cerca de 600 alunos e conta com uma área total superior a 113 mil m², equipada para proporcionar uma formação profissional e humana de qualidade.

Além disso, o câmpus dispõe de um corpo docente altamente qualificado, em sua maioria formado por mestres e doutores, o que garante a qualidade acadêmica e o reconhecimento positivo dos cursos pelo MEC.

O câmpus é classificado pela Equatorial Goiás como consumidor do Grupo A4 (média tensão), na modalidade Tarifa Horo-Sazonal Verde (THS Verde), com demanda contratada de 250 kW e tensão de fornecimento de 13,8 kV. Trata-se de uma unidade consumidora enquadrada na classe Poder Público – Federal, o que reflete seu perfil institucional como entidade de ensino superior pública.

Desde sua concepção, o IFG – Câmpus Itumbiara foi planejado com um perfil voltado ao setor industrial, com o objetivo de suprir a demanda regional por mão de obra qualificada e fomentar o desenvolvimento tecnológico local. A instituição se destaca pela sua atuação na educação profissional e pelo compromisso com a inovação, pesquisa aplicada e a sustentabilidade.

Figura 12 - IFG (Câmpus Itumbiara)



Fonte - Imagem fornecida pelo IFG – Câmpus Itumbiara (2025).

Sua estrutura física é composta por diversos blocos acadêmicos, laboratórios especializados, unidades administrativas e espaços de convivência, o que resulta em uma demanda energética elevada e constante. Essa realidade motivou a adoção de medidas estruturais voltadas à eficiência energética e ao uso de fontes renováveis, culminando na implantação de um sistema de geração distribuída por meio da energia solar fotovoltaica.

3.2 Implantação de Ações de Eficiência Energética

A implantação das usinas solares no câmpus foi realizada em diferentes etapas, com financiamento proveniente de três fontes distintas: Licitação 1, Licitação 2 e um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). As duas primeiras etapas foram viabilizadas com recursos do Governo Federal, por intermédio da Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC), em um esforço nacional de modernização energética das instituições da Rede Federal. Já o projeto de P&D contou com aporte financeiro da concessionária ENEL, no âmbito de programas de incentivo à inovação e à eficiência energética no setor público.

Com a Licitação 1 realizada em 2017, o IFG – Câmpus Itumbiara iniciou a implantação de um sistema fotovoltaico com capacidade de 70,2 kWp, equivalente ao consumo de aproximadamente 70 residências populares da época. Foram instalados 260 módulos fotovoltaicos policristalinos, conectados à rede elétrica. Além disso, foi instalado também um sistema híbrido no solo com capacidade de 4,14 kWp e uma árvore solar de 2,7 kWp. A execução foi realizada por meio do Pregão Eletrônico nº 01/2017, conforme Ata nº 26/2017.

Como mostrado na Figura 13, o sistema fotovoltaico foi instalado parte nos telhados dos blocos 300, 400 e 500 de sala de aulas, e a outra parte no solo, de forma a facilitar o desenvolvimento de aulas práticas e pesquisas científicas com a participação de alunos, comunidade e pesquisadores. A distribuição dos módulos fotovoltaicos foi realizada da seguinte forma: 80 módulos no bloco 300, 80 módulos no bloco 400, 80 módulos no bloco 500 e 20 módulos instalados diretamente no solo. Além disso, foi implementado um sistema híbrido no solo com 12 módulos e uma árvore solar, apresentada na Figura 14, composta por 10 módulos, ampliando a capacidade de geração de energia renovável do câmpus.

O sistema contou com uma estação meteorológica para o registro de dados de radiação solar, velocidade do vento e temperaturas ambiente e dos módulos fotovoltaicos para subsidiar os estudos que alunos e professores realizaram ao longo do tempo (INSTITUTO FEDERAL DE GOIÁS, 2017).

Figura 13 - Sistema fotovoltaico da Licitação 1 de 2017 do IFG – Itumbiara



Fonte - Setor de Comunicação Social e Eventos – Câmpus Itumbiara (2017)

Figura 14 - Árvore solar do IFG – Itumbiara



Fonte - IFG – Câmpus Itumbiara (2022)

Em 2021, o IFG – Câmpus Itumbiara deu continuidade à expansão da geração de energia solar fotovoltaica por meio da Licitação 2 com a instalação de uma unidade no solo, como pode ser observado na figura 15, composto por 108 módulos e uma capacidade total de 37,26 kWp. O processo licitatório visou a contratação de serviços para a instalação de sistemas fotovoltaicos adicionais, ampliando a capacidade de geração de energia renovável no câmpus, dando continuidade ao esforço nacional de modernização energética das instituições da Rede Federal.

Figura 15 - Construção do sistema fotovoltaico da Licitação 2 em 2021 no IFG – Itumbiara



Fonte - Imagem fornecida pelo IFG – Câmpus Itumbiara (2025).

O IFG – Câmpus Itumbiara também participou de um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) focado em eficiência energética e minigeração solar. Esse projeto foi coordenado pelo professor Ghunter Paulo Viajante e envolveu docentes dos câmpus de Itumbiara, Goiânia e Jataí.

O objetivo desse projeto foi implantar sistemas de micro e minigeração solar fotovoltaica, substituir a iluminação convencional por lâmpadas LED e promover ações educativas voltadas à eficiência energética. Como visto na Figura 16, foram instalados sistemas fotovoltaicos em diversos blocos do câmpus, totalizando 195 módulos no bloco 200, 72 módulos em cada um dos blocos 300, 400 e 500, além de um sistema adicional no solo com 144 módulos. A iniciativa foi financiada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), por meio da Chamada de Projeto Prioritário de Eficiência Energética e Estratégico de P&D nº 001/2016.

Figura 16 - Sistema fotovoltaico do câmpus após o projeto de P&D



Fonte - Imagem fornecida pelo IFG – Câmpus Itumbiara (2022).

A implantação do sistema fotovoltaico no IFG – Câmpus Itumbiara foi realizada de forma estratégica, distribuída por diferentes blocos da instituição, conforme apresentado na Figura 17. O projeto contempla diversas usinas fotovoltaicas instaladas em coberturas e áreas técnicas, com variações na orientação dos módulos e nos componentes utilizados, refletindo a adaptação do sistema às características físicas e estruturais do câmpus.

Figura 17 - Características técnicas das usinas fotovoltaicas do IFG – Itumbiara

IFG - Itumbiara								
	Quant. Módulos	Potência Módulo[Wp]	Total [kWp]	Potencia Inversor [kW]	Azimute [o.]	Inclinação [°]	OBS	Modelo de Inversores
Sistema 01	80	270	21,6	20	50 Oeste	7	Bloco 300	ABB TRIO-20.0-TL-OUTD
Sistema 02	80	270	21,6	20	50 Oeste	7	Bloco 400	Sunny Tripower 20000TL
Sistema 03	80	270	21,6	20	50 Oeste	7	Bloco 500	Sunny Tripower 20000TL
Sistema 04	20	270	5,4	5	Norte	18	Solo 01	Sunny Boy 5000
Sistema 05	144	330	47,52	40	Norte	18	Solo 02	WEG SIW500H - ST040
Sistema 06	72	330	23,76	20	130 Leste	7	Bloco 300	WEG SIW500H - ST020
Sistema 07	72	330	23,76	20	130 Leste	7	Bloco 400	WEG SIW500H - ST020
Sistema 08	72	330	23,76	20	130 Leste	7	Bloco 500	WEG SIW500H - ST020
Sistema 09	99	330	32,67	60	50 Oeste	7	Bloco 200	WEG SIW500H - ST060
	96	330	31,68		130 Leste	7		
Sistema 10	108	345	37,26	30	Norte	18	Solo	WEG SIW500H - ST030
Sistema Híbrido	12	345	4,14	3	Norte	18	Solo	Fronius
Arvore Solar	10	270	2,7	2			Arvores	Fronius
	945		297,45	260				

Fonte - Dados fornecidos pelo IFG – Câmpus Itumbiara (2025).

Os sistemas foram instalados em etapas distintas, como ilustrado na Figura 18, e conforme os recursos provenientes das licitações federais e do projeto de Pesquisa e Desenvolvimento.

Figura 18 - Fonte de recursos das usinas solares do IFG – Câmpus Itumbiara

	Usinas	Local	Quantidade Módulos	Potência Módulo[Wp]	Total [kWp]	Potencia Inversor [kW]
LICITAÇÃO 1	Sistema 01	Bloco 300	80	270	21,6	20
	Sistema 02	Bloco 400	80	270	21,6	20
	Sistema 03	Bloco 500	80	270	21,6	20
	Sistema 04	Solo 01	20	270	5,4	5
P&D - ANEL	Sistema 05	Solo 02	144	330	47,52	40
	Sistema 06	Bloco 300	72	330	23,76	20
	Sistema 07	Bloco 400	72	330	23,76	20
	Sistema 08	Bloco 500	72	330	23,76	20
	Sistema 09	Bloco 200	99	330	32,67	60
			96	330	31,68	
LICITAÇÃO 2	Sistema 10	Solo	108	345	37,26	30
LICITAÇÃO 1	Sistema Híbrido	Solo	12	345	4,14	3
	Arvore Solar	Arvores	10	270	2,7	2
TOTAL			945	4020	297,45	260

Fonte - Dados fornecidos pelo IFG – Câmpus Itumbiara (2025).

A potência instalada total, somando os inversores em operação, ultrapassa 250 kW nos blocos analisados neste trabalho e apresentados na Figura 19. Cada arranjo fotovoltaico é composto por conjuntos de módulos interligados em série e paralelo, conectados a inversores que fazem a conversão da corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), permitindo a integração com o sistema elétrico da instituição.

Figura 19 - Sistema dos blocos 200, 300, 400 e 500



Fonte - Imagem fornecida pelo IFG – Câmpus Itumbiara (2025).

Dentre os blocos analisados neste estudo de caso, sendo eles o auditório, blocos 300, 400 e 500, superiores e inferiores, observa-se uma particularidade no projeto: os sistemas fotovoltaicos foram instalados com diferentes orientações. Parte dos módulos está orientada para o norte, buscando o melhor aproveitamento da irradiação solar no Hemisfério Sul,

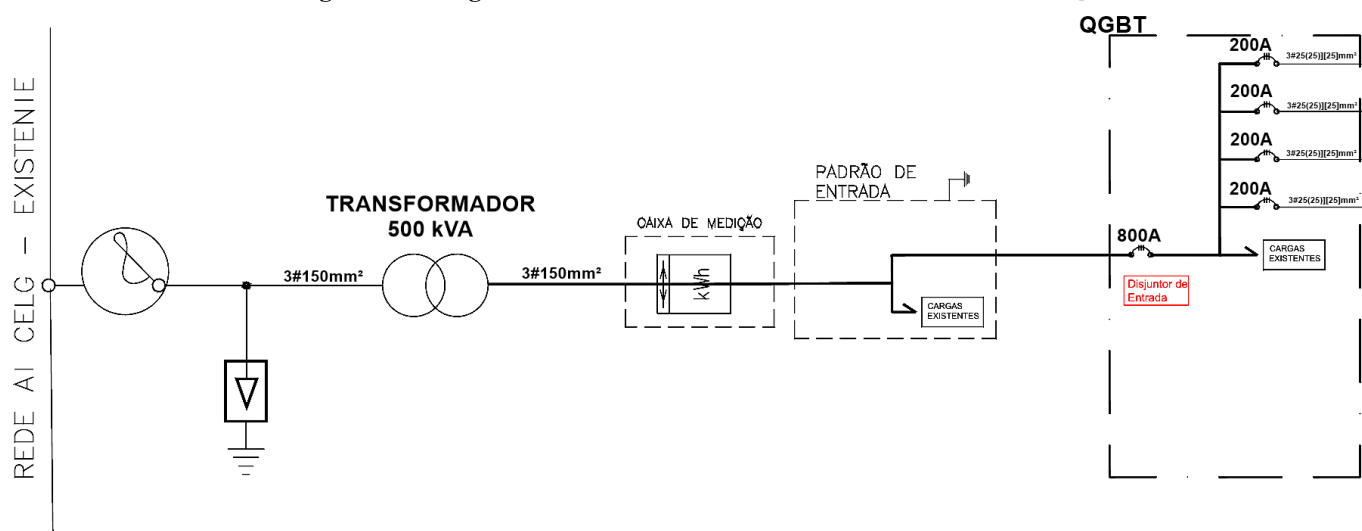
enquanto outros arranjos foram posicionados voltados para o sul, o que foi adotado em situações de limitação de espaço físico ou por razões construtivas.

Com a instalação das usinas fotovoltaicas, o IFG – Câmpus Itumbiara reduziu significativamente seus custos operacionais com energia elétrica e também transformou sua infraestrutura em um verdadeiro laboratório aplicado. O sistema implantado passou a integrar a rotina acadêmica como objeto de estudo, beneficiando diretamente os cursos técnicos e de engenharia, especialmente aqueles voltados às áreas de eletrotécnica, automação e energias renováveis. Essa iniciativa reforça o compromisso institucional com a sustentabilidade e com a formação de profissionais capazes de atuar de forma crítica e inovadora na transição energética do país.

3.3 Infraestrutura Elétrica e Projeto Executivo

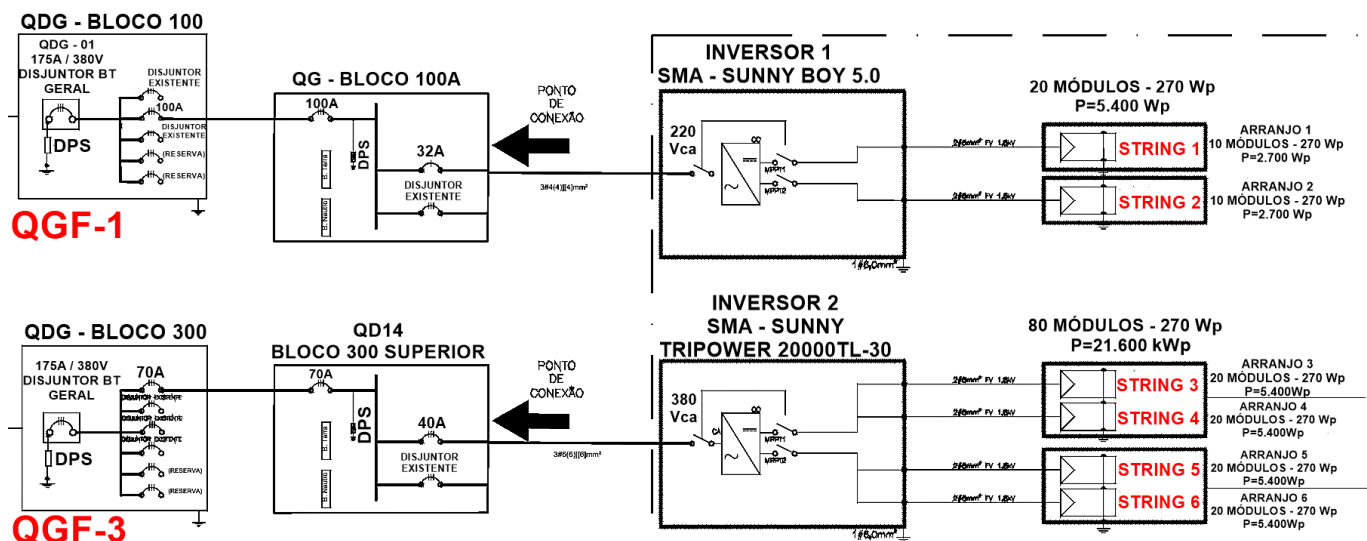
A infraestrutura elétrica do sistema fotovoltaico implantado no IFG – Câmpus Itumbiara é registrada e validada por meio de documentação técnica detalhada, sendo o diagrama elétrico unifilar um dos elementos centrais para o entendimento da arquitetura do sistema. Este documento apresenta uma visão completa e simplificada de toda a estrutura de geração e distribuição da energia, desde os arranjos fotovoltaicos até a interface com a rede elétrica da concessionária, conforme ilustrado no diagrama elétrico unifilar das Figuras 20, 21 e 22.

Figura 20 - Diagrama elétrico unifilar da rede da concessionária ao QGBT



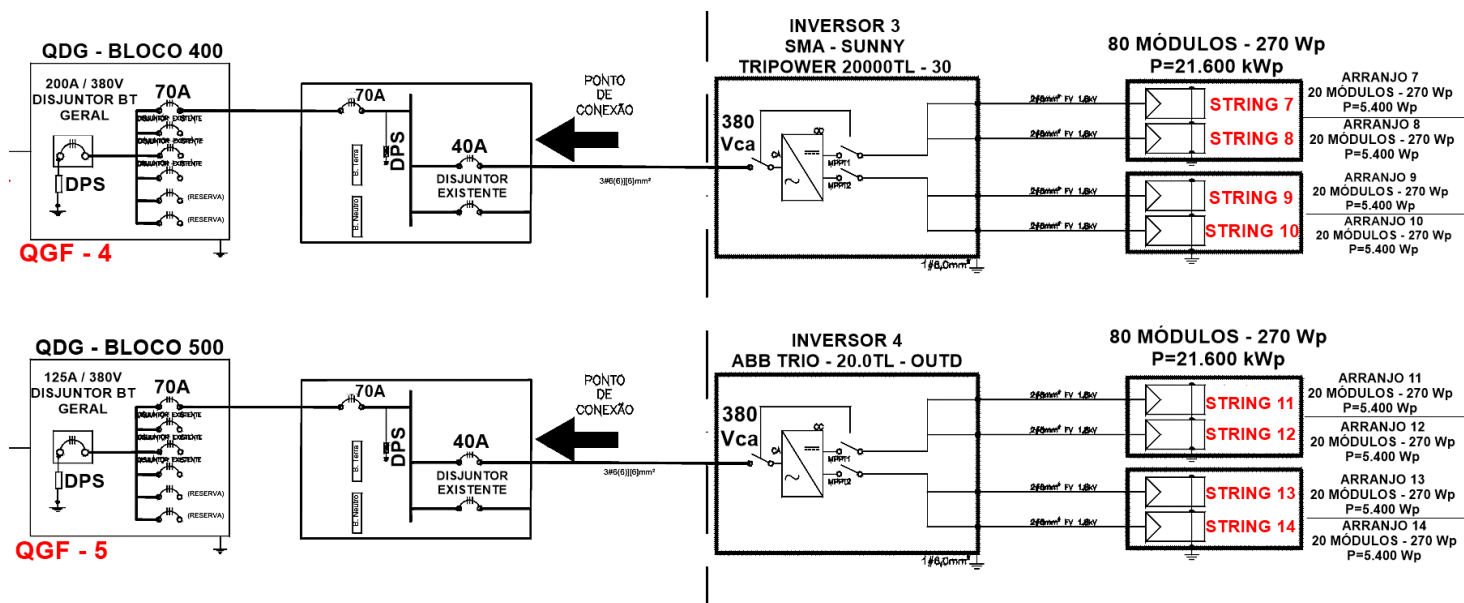
Fonte - Imagem fornecida pelo IFG – Câmpus Itumbiara, adaptada pela autora (2025).

Figura 21 - Diagrama elétrico unifilar do solo 01 e bloco 300



Fonte - Imagem fornecida pelo IFG – Câmpus Itumbiara, adaptada pela autora (2025).

Figura 22 - Diagrama elétrico unifilar dos blocos 400 e 500



Fonte - Imagem fornecida pelo IFG – Câmpus Itumbiara, adaptada pela autora(2025).

O diagrama em questão mostra a integração entre os inversores, os arranjos de módulos divididos em strings, os dispositivos de proteção como disjuntores, DPSs (dispositivos de proteção contra surtos), chaves seccionadoras e os pontos de seccionamento CC e CA. Também estão representados os circuitos de encaminhamento, os quadros de distribuição (QGF, QGBT, QDG, etc.), os transformadores, os medidores e os pontos de conexão com a rede ENEL (atualmente a 13,8 kV).

Cada inversor está associado a múltiplos MPPTs (Maximum Power Point Trackers), o que permite a maximização da geração conforme as condições de irradiância e temperatura. Os módulos são conectados em strings de 18 a 20 unidades, com tensão de circuito aberto em torno de 874V e corrente nominal de 9,24A, evidenciando um projeto dimensionado para alta eficiência e aproveitamento do espaço físico nos blocos.

Além da geração fotovoltaica, o diagrama também mostra a convivência com cargas pré-existentes da unidade consumidora, indicando os pontos de interligação com o sistema interno do câmpus. O sistema de aterramento é devidamente representado, conforme as normas da ABNT, e os quadros são organizados por setor, reforçando a segmentação por blocos que norteia este estudo.

Todos os detalhes construtivos, equipamentos de proteção e medições seguem os critérios das normas ABNT NBR5410, NBR16274 e especificações da ENEL (concessionária da época em que foi feito o projeto), como destacado nas notas do projeto. A documentação também evidencia que o sistema atende aos requisitos de segurança operacional e à norma ABNT NBR IEC 62116 no que se refere à proteção anti-ilhamento.

Este diagrama representa a configuração técnica do sistema instalado e também constitui um instrumento pedagógico valioso, utilizado em aulas práticas, estudos técnicos e análises energéticas. Ele serve como base para a compreensão do comportamento elétrico do sistema fotovoltaico, além de fornecer subsídios para manutenção, expansão futura ou fiscalização por parte da concessionária.

3.4 Infraestrutura de Supervisão Energética

A operação das usinas fotovoltaicas instaladas no IFG – Câmpus Itumbiara vai muito além da geração de energia. O sistema implantado é complementado por uma infraestrutura técnica de supervisão energética, responsável por garantir o monitoramento, o controle e a análise em tempo real do desempenho elétrico de cada setor da instituição. Esse conjunto forma uma arquitetura inteligente de gerenciamento de energia, voltada à eficiência operacional e à aplicação educacional.

Toda a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos é inicialmente encaminhada à subestação geral do câmpus, onde se encontra instalado o medidor principal, observado na Figura 23. Esse equipamento é responsável por registrar o fluxo energético total da unidade, contemplando tanto o consumo da rede pública quanto a energia injetada na mesma pelos

sistemas de geração distribuída. A partir desse ponto central, a energia é redistribuída para os diversos blocos do câmpus.

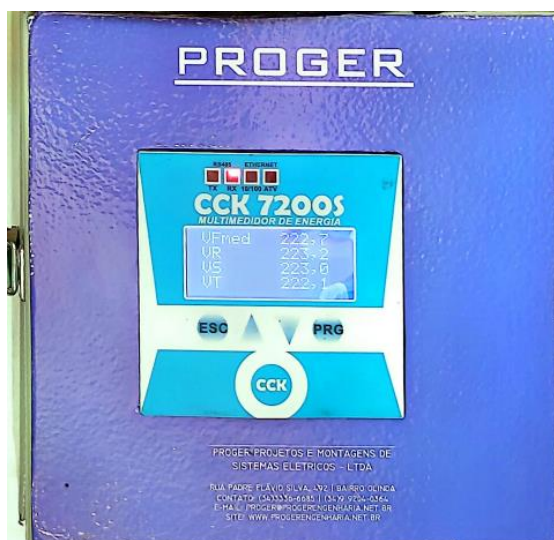
Figura 23 - Medidor da subestação do câmpus



Fonte: Autoria própria.

Cada um dos blocos analisados neste estudo (Auditório, Blocos 300, 400 e 500) em seus níveis superior e inferior, é equipado com um sistema de medição individualizado, apresentado na Figura 24, sendo estes compostos por medidores digitais inteligentes conectados a transformadores de corrente (TCs), observados na Figura 25.

Figura 24 - Medidor utilizado nos blocos do câmpus



Fonte: Autoria própria.

Figura 25 - Quadros de distribuição e logo abaixo os TCs utilizados nos blocos do câmpus

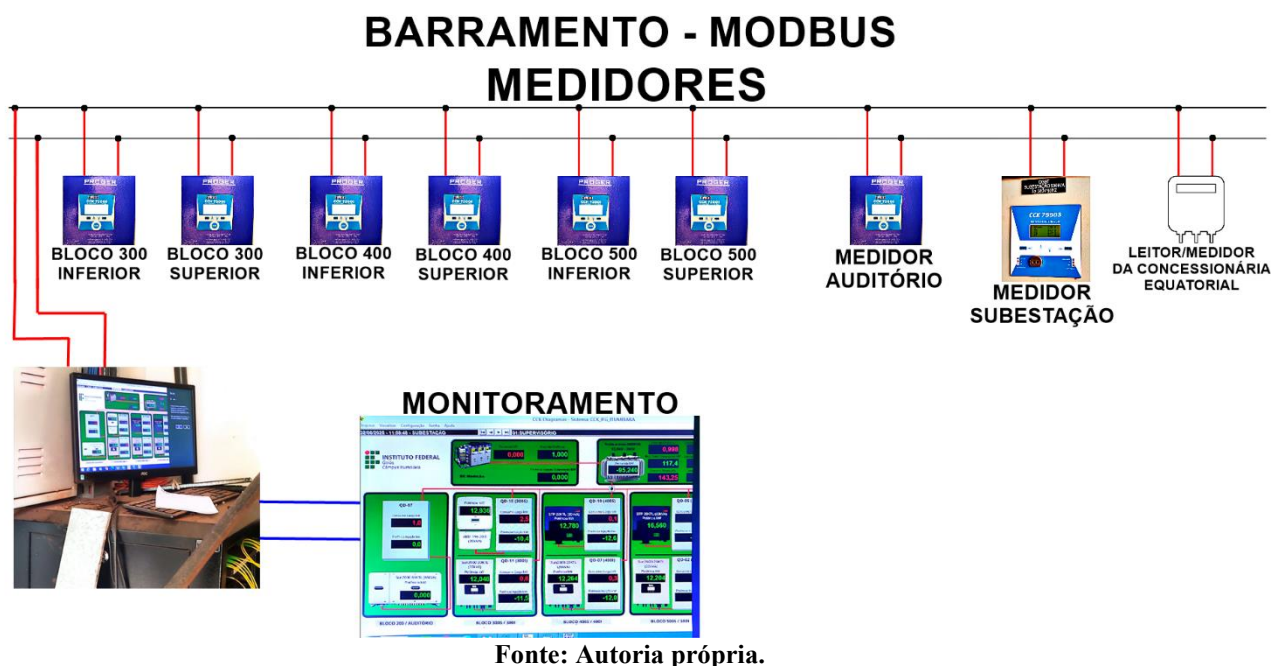


Fonte: Autoria própria.

Os TCs realizam a leitura da corrente elétrica por fase de forma segura e isolada, fornecendo dados detalhados sobre o consumo trifásico de cada setor. Esses medidores, por sua vez, se comunicam diretamente com os inversores fotovoltaicos, permitindo o cruzamento entre geração e demanda elétrica em tempo real.

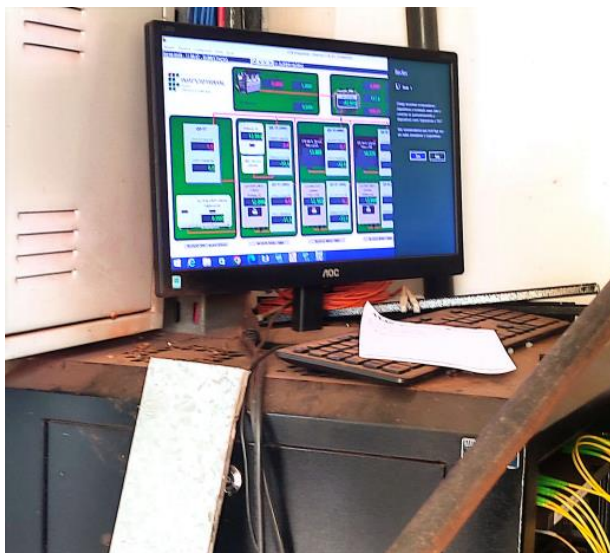
Para integrar essa rede de medição e permitir o gerenciamento centralizado das informações, foi desenvolvido e implementado um barramento de comunicação baseado no protocolo Modbus, conforme apresentado na Figura 26. Essa rede conecta todos os dispositivos de medição distribuídos pelo câmpus, incluindo os medidores dos blocos e o medidor geral da subestação, além do leitor da concessionária. Por meio desse barramento, cada ponto de medição funciona como um nó lógico, identificado individualmente cada setor, entre outros.

Figura 26 - Modelo de barramento Modbus da infraestrutura de medição do câmpus



A comunicação via Modbus RTU ou Modbus TCP/IP ocorre de forma eficiente e padronizada, com cada medidor sendo capaz de coletar e transmitir informações como tensão, corrente por fase, potência ativa, reativa e aparente, além do fator de potência e da energia acumulada. Esses dados são enviados a computadores locais interligados à rede interna do câmpus, que funcionam como estações de monitoramento, como mostrado na Figura 27. A partir dessas estações, é possível visualizar o desempenho energético de cada setor, acessar históricos de consumo, acompanhar o rendimento dos inversores, configurar alarmes e realizar comparações entre blocos distintos.

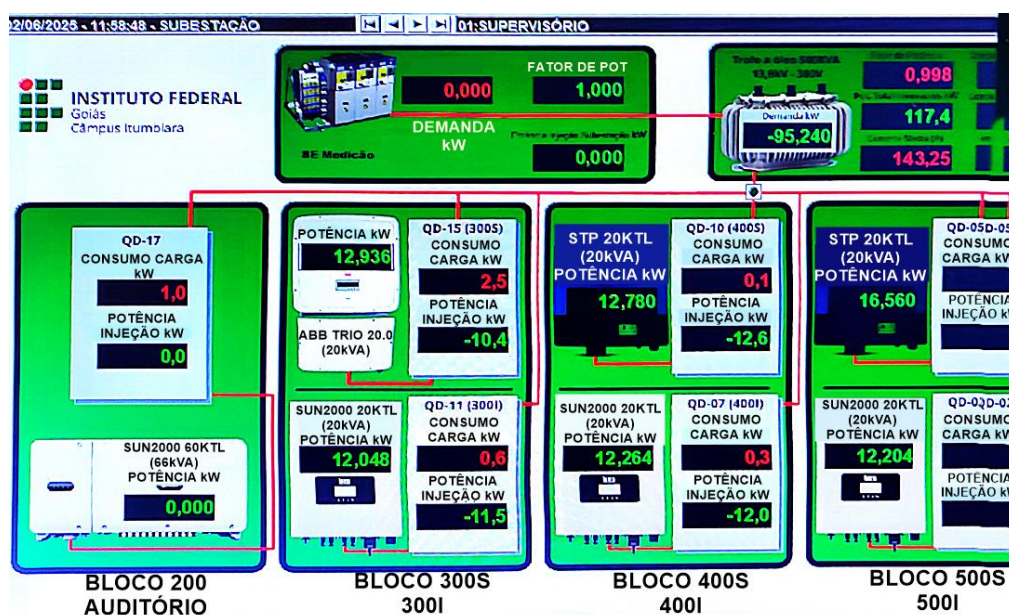
Figura 27 - Computador local utilizado nos blocos do câmpus



Fonte: Autoria própria.

Como se observa na Figura 28, essa infraestrutura permite tanto uma visão global do comportamento energético do câmpus quanto uma análise segmentada e precisa do desempenho de cada sistema fotovoltaico. A utilização do protocolo Modbus, foi fundamental para garantir confiabilidade, escalabilidade e compatibilidade com os equipamentos instalados.

Figura 28 - Interface do monitor local utilizado para análise dos sistemas de cada bloco



Fonte: Autoria própria.

Além dos benefícios técnicos e operacionais, o sistema de supervisão energética também possui forte caráter educacional e científico. A integração entre os medidores, inversores e softwares de análise transforma o câmpus em um verdadeiro laboratório inteligente de energia, no qual discentes e docentes dos cursos técnicos e superiores podem realizar estudos práticos em áreas como eletrotécnica, automação, energias renováveis e eficiência energética. A partir desse sistema integrado, torna-se possível realizar estudos de balanceamento de carga, análise da qualidade de energia, avaliação de curvas de geração e consumo, bem como a detecção de anomalias de funcionamento.

3.5 Metodologia de Análise Técnico-Energética

A presente análise tem como objetivo avaliar o impacto da implantação do sistema de geração distribuída fotovoltaica no IFG – Câmpus Itumbiara, por meio de uma comparação técnica e econômica entre os anos de 2017 (cenário sem geração própria) e 2024 (com os sistemas FV plenamente operacionais). Para isso, foi adotada uma abordagem quantitativa

baseada na coleta, cruzamento e interpretação de dados reais de consumo, geração e tarifação de energia elétrica.

A metodologia adotada envolve inicialmente o levantamento dos dados históricos de faturas de energia elétrica do câmpus, referentes aos anos de 2017 e 2024. Essas faturas permitiram a obtenção de informações como demanda contratada, demanda medida, consumo em kWh, energia injetada, valores tarifários aplicados e encargos adicionais. A comparação direta entre esses dois períodos fornece uma base sólida para mensurar os ganhos financeiros proporcionados pela geração distribuída.

Além da análise global das faturas, este estudo também se aprofunda na avaliação setorializada do consumo energético, por meio da auditoria de setores específicos da instituição: o auditório e os blocos 300, 400 e 500, em seus pavimentos superior e inferior. Para isso, foram utilizados os dados de:

- Geração fotovoltaica (em kWh), obtidos a partir dos monitores locais conectados aos inversores;
- Potência reversa, ou seja, a energia excedente injetada na rede, registrada nos medidores setoriais;
- Consumo no QGBT, que representa a energia efetivamente utilizada localmente, registrada nos quadros de distribuição.

A partir desses três parâmetros, foi possível estimar o consumo real de cada setor por meio da seguinte abordagem:

O consumo foi obtido pela diferença entre a geração local, a energia injetada e o suprimento da rede, de forma a identificar o comportamento energético específico de cada bloco. Essa estratégia permite uma visualização mais precisa dos padrões de uso da energia após a implantação dos sistemas FV, isolando os efeitos da geração local sobre a demanda interna.

Para a análise comparativa entre os anos, os dados foram organizados e tratados em planilhas, com elaboração de gráficos mensais e anuais de consumo, geração, demanda e custo, permitindo não apenas a verificação das variações absolutas, mas também o cálculo de indicadores como:

- Redução percentual de consumo e custo;
- Fator de utilização da geração FV;
- Proporção entre energia injetada e consumida localmente;
- Eficiência do sistema de compensação energética.

Por fim, as análises consideraram também a estrutura tarifária do Grupo A, no qual o câmpus se enquadra, contemplando os períodos ponta e fora de ponta, bem como os custos associados à demanda contratada, bandeiras tarifárias, encargos e tributos. Isso permitiu uma avaliação mais realista do impacto financeiro da geração fotovoltaica, considerando os critérios específicos da tarifação aplicada às unidades consumidoras de média tensão.

3.6 Análise de 2017 (Antes da Geração Fotovoltaica)

O ano de 2017 representa, neste estudo, o cenário-base de consumo energético do IFG – Câmpus Itumbiara, anterior à implantação do sistema de geração distribuída fotovoltaica. Os dados de consumo, demanda e faturamento referentes ao ano de 2017 foram obtidos por meio das faturas mensais emitidas pela CELG Distribuição S.A., concessionária responsável pelo fornecimento de energia elétrica ao câmpus na época. A análise detalhada deste período permite compreender o perfil de consumo da instituição em sua condição convencional de dependência exclusiva da rede elétrica fornecida pela concessionária, possibilitando a posterior comparação com o cenário pós-implantação, em 2024.

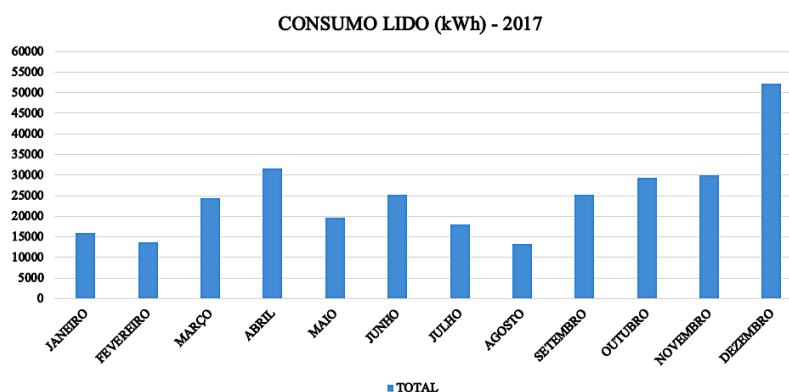
Durante esse ano, o câmpus registrou uma média mensal de consumo de 24.855,35 kWh, com variações mensais típicas de unidades com atividades acadêmicas e laboratoriais regulares. Observa-se na Figura 29 como o consumo foi distribuído entre os períodos tarifários “ponta”, “fora de ponta” e “horário reservado”, com maior concentração no período fora de ponta, refletindo o funcionamento predominante das atividades durante o horário comercial. A média diária de consumo energético foi de aproximadamente 828,51 kWh, considerando todos os setores e blocos da instituição. Na sequência, o Gráfico 1 demonstra o consumo total do câmpus no ano de 2017.

Figura 29 - Consumo do câmpus registrado no ano de 2017

CONSUMO LIDO (kWh) - 2017				
MÊS	PONTA	FORA PONTA	HOR.RES.	TOTAL
JANEIRO	1705,1	11707,2	2440,8	15853,1
FEVEREIRO	1261,22	10152	2246,4	13659,62
MARÇO	3575,44	18295,2	2484	24354,64
ABRIL	5154,19	23911,2	2570,4	31635,79
MAIO	2988,14	14558,4	2138,4	19684,94
JUNHO	3978,93	18619,2	2613,6	25211,73
JULHO	2725,48	12484,8	2808	18018,28
AGOSTO	1649,37	9050,4	2527,2	13226,97
SETEMBRO	4378,53	17928	2894,4	25200,93
OUTUBRO	4628,23	21708	3024	29360,23
NOVEMBRO	4793,25	21643,2	3434,4	29870,85
DEZEMBRO	9311,11	36460,8	6415,2	52187,11

Fonte: Faturas de energia emitidas pela CELG Distribuição S.A. (2017), adaptado pela autora.

Gráfico 1 - Representação gráfica do consumo total do câmpus em 2017



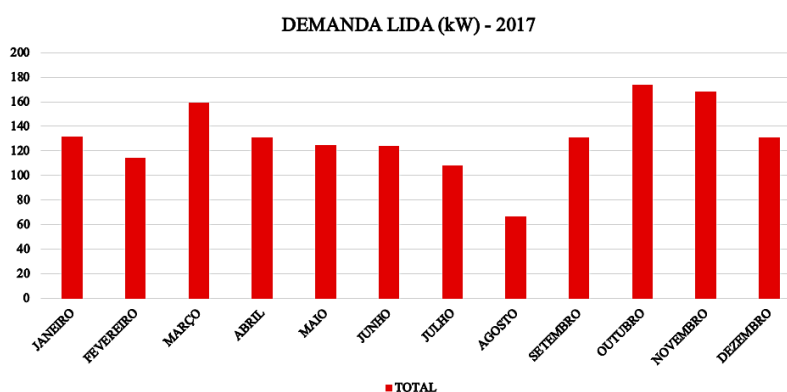
Fonte: Faturas de energia emitidas pela CELG Distribuição S.A. (2017), adaptado pela autora.

Do ponto de vista da demanda elétrica, apresentada na Figura 30, que se refere à potência máxima registrada no mês (em kW) e representa a reserva contratada da infraestrutura elétrica da distribuidora para atender aos picos de carga da unidade consumidora, a instituição apresentou uma média mensal de demanda de 129,96 kW. Esse valor evidencia a necessidade de uma infraestrutura robusta para suportar momentos de alta simultaneidade de cargas, como funcionamento de laboratórios, climatização e iluminação. Complementando, o Gráfico 2 demonstra a demanda total do câmpus no ano de 2017.

Figura 30 - Demanda do câmpus registrada no ano de 2017

DEMANDA LIDA (kW) - 2017				
MÊS	PONTA	FORA PONTA	HOR.RES.	TOTAL
JANEIRO	108	131,328	31,104	131,328
FEVEREIRO	102,816	114,048	38,016	114,048
MARÇO	123,552	158,976	41,472	158,976
ABRIL	127,872	130,464	38,88	130,464
MAIO	103,68	124,416	18,144	124,416
JUNHO	114,048	123,552	21,6	123,552
JULHO	69,12	108	19,008	108
AGOSTO	56,16	66,528	21,6	66,528
SETEMBRO	108	130,464	28,512	130,464
OUTUBRO	137,376	173,664	25,92	173,664
NOVEMBRO	140,832	167,616	42,336	167,616
DEZEMBRO	109,728	130,464	28,512	130,464

Fonte: Faturas de energia emitidas pela CELG Distribuição S.A. (2017), adaptado pela autora.

Gráfico 2- Representação gráfica da demanda total do câmpus em 2017

Fonte: Faturas de energia emitidas pela CELG Distribuição S.A. (2017), adaptado pela autora.

A tarifação aplicada em 2017 seguiu o modelo tradicional para consumidores do Grupo A4 – Média Tensão, com distinção entre energia consumida nos horários de ponta e fora de ponta, além da cobrança da demanda contratada. As tarifas praticadas variaram ao longo dos meses, como mostrando na Figura 31, refletindo as atualizações tarifárias da ANEEL e a aplicação de bandeiras tarifárias (verde, amarela ou vermelha), que incidem sobre o custo da energia conforme as condições de geração no país. As tarifas de consumo fora de ponta variaram entre R\$ 0,38 e R\$ 0,47/kWh, enquanto as tarifas de ponta chegaram a ultrapassar R\$ 2,00/kWh nos meses de maior custo.

Figura 31 - Valores de demanda, consumo e tarifas de energia elétrica do câmpus em 2017

Mês	Demanda (kW)	Tarifa Demanda (R\$/kW)	Consumo Ponta (kWh)	Tarifa Ponta (R\$/kWh)	Consumo Fora Ponta (kWh)	Tarifa Fora Ponta (R\$/kWh)
JANEIRO	250	16,14018	1.705,10	1,68866	11.707,20	0,4122
FEVEREIRO	250	16,13149	1.261,22	1,68775	10.152,00	0,41197
MARÇO	250	16,07086	3.575,44	1,68141	18.295,20	0,41043
ABRIL	250	15,99765	5.154,19	1,65757	23.911,20	0,39238
MAIO	250	16,32286	2.988,14	1,67158	14.558,40	0,38067
JUNHO	250	16,20074	3.978,93	1,68695	18.619,20	0,4057
JULHO	250	16,41258	2.725,48	1,70901	12.484,80	0,411
AGOSTO	250	15,48633	1.649,37	1,61256	9.050,40	0,38781
SETEMBRO	250	15,30076	4.378,53	1,59323	17.928	0,38316
OUTUBRO	250	16,93397	4.628,23	1,7633	21.708	0,42406
NOVEMBRO	250	19,88156	4.793,25	1,94051	21.643,20	0,45398
DEZEMBRO	250	21,89059	9.311,11	2,06634	36.460,80	0,47608
TOTAL		50692,39	82266,15		90894,67	

Fonte: Faturas de energia emitidas pela CELG Distribuição S.A. (2017), adaptado pela autora.

O custo total anual de energia elétrica em 2017, observado na Figura 32, foi de aproximadamente R\$ 233.453,84, valor considerável para uma instituição pública, representando um dos principais componentes do orçamento de custeio. A composição desse custo incluiu o consumo de energia elétrica, a demanda contratada, encargos setoriais, tributos e componentes tarifários.

Figura 32 - Custo total de energia elétrica do câmpus em 2017

CUSTO TOTAL DE ENERGIA - 2017	
JANEIRO	R\$ 12.463,40
FEVEREIRO	R\$ 8.500,69
MARÇO	R\$ 17.695,87
ABRIL	R\$ 22.643,18
MAIO	R\$ 15.387,34
JUNHO	R\$ 19.043,24
JULHO	R\$ 14.320,84
AGOSTO	R\$ 10.797,63
SETEMBRO	R\$ 18.361,33
OUTUBRO	R\$ 22.621,70
NOVEMBRO	R\$ 25.700,55
DEZEMBRO	R\$ 45.918,07
TOTAL	R\$ 233.453,84

Fonte: Faturas de energia emitidas pela CELG Distribuição S.A. (2017), adaptado pela autora.

Além dos valores brutos, chama atenção o peso da demanda no custo total da fatura. Como em 2017 ainda não havia geração própria de energia, a instituição era integralmente dependente da energia da rede, e portanto não contava com mecanismos de compensação energética. Em alguns meses, mesmo com consumo moderado, a fatura era impactada pela manutenção de uma demanda contratada elevada, refletindo a rigidez da estrutura tarifária do

Grupo A.

Essa dependência exclusiva da rede elétrica também expunha o câmpus às oscilações tarifárias e limitações técnicas da concessionária. Sem autonomia energética, não havia margem para flexibilizar horários de maior consumo nem mitigar os impactos das bandeiras tarifárias ou reajustes periódicos. Isso reforça a importância de alternativas como a geração distribuída, que será abordada na comparação com o ano de 2024.

Portanto, os dados de 2017 servem como marco de referência para a avaliação da eficiência e viabilidade da geração fotovoltaica no ambiente institucional. Eles revelam um perfil de consumo estável, com picos significativos de demanda e custos expressivos, que justificam a busca por soluções mais sustentáveis e economicamente vantajosas, como a energia solar distribuída.

3.4 Análise de 2024 (Com Sistema Fotovoltaico Implantado)

O ano de 2024 representa o cenário consolidado de operação do sistema de geração distribuída fotovoltaica no IFG – Câmpus Itumbiara. Após a implantação e estabilização dos sistemas FV, o câmpus passou a contar com uma fonte interna de geração limpa, sustentável e economicamente vantajosa, com impacto direto na fatura de energia elétrica, especialmente na parcela de consumo.

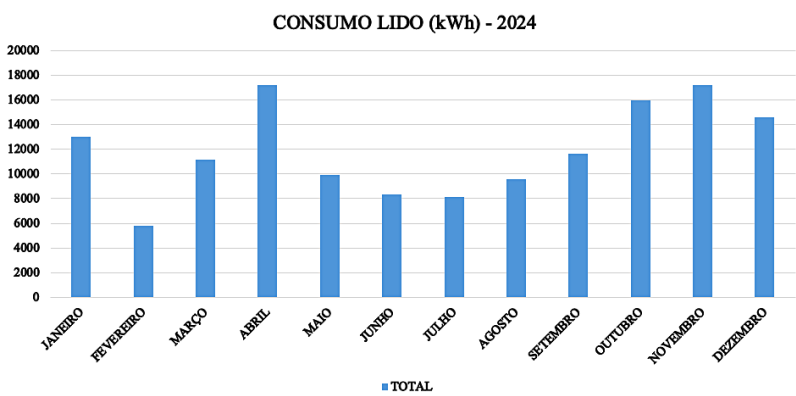
Durante este período, demonstrado na Figura 33, o câmpus registrou uma média mensal de consumo total de aproximadamente 11.868,59 kWh, equivalente a uma média diária de 395,62 kWh, conforme dados extraídos das faturas da concessionária. Esse consumo representa não o total demandado pela instituição, mas o que efetivamente foi registrado após o abatimento da energia gerada e compensada pelo sistema fotovoltaico. A geração própria contribuiu, assim, para reduzir a quantidade de energia adquirida da rede, sobretudo nos períodos fora de ponta. Na sequência, o Gráfico 3 demonstra o consumo total do câmpus no ano de 2024.

Figura 33 - Consumo do câmpus registrado no ano de 2024

CONSUMO LIDO (kWh) - 2024					
MÊS	PONTA	FORA PONTA	HOR. RES	REAT. EXC	TOTAL
JANEIRO	3595,32	6436,8	2829,6	151,2	13012,92
FEVEREIRO	1360,15	2160	2224,8	43,2	5788,15
MARÇO	3066,55	5508	2505,6	64,8	11144,95
ABRIL	4669,7	9266,4	3153,6	108	17197,7
MAIO	2543,83	4557,6	2721,6	64,8	9887,83
JUNHO	2063,88	3520,8	2592	129,6	8306,28
JULHO	2001,24	3758,4	2376	21,6	8157,24
AGOSTO	2511,86	4644	2376	64,8	9596,66
SETEMBRO	3527,49	5400	2656,8	21,6	11605,89
OUTUBRO	4887,86	7689,6	3283,2	129,6	15990,26
NOVEMBRO	4826,52	9244,8	3045,6	64,8	17181,72
DEZEMBRO	4487,83	7408,8	2592	64,8	14553,43

Fonte: Faturas de energia emitidas pela Equatorial Energia S.A. (2024), adaptado pela autora.

Gráfico 3 - Representação gráfica do consumo total do câmpus em 2024



Fonte: Faturas de energia emitidas pela Equatorial Energia S.A. (2024), adaptado pela autora.

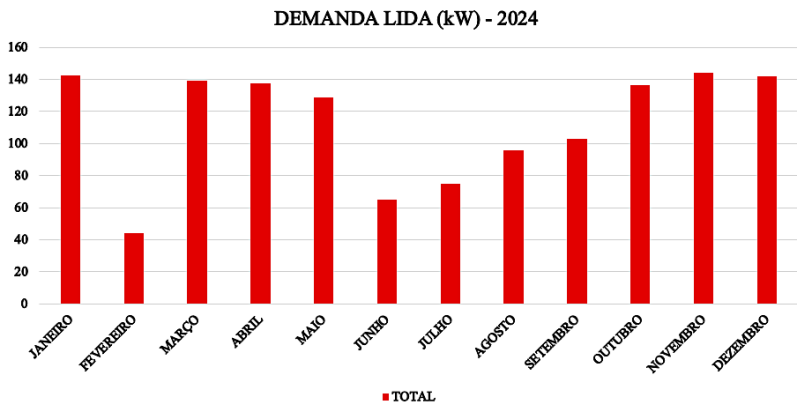
Na Figura 34, pode-se verificar que a demanda contratada permaneceu em 250 kW durante todos os meses do ano, mantendo o compromisso com a infraestrutura de atendimento por parte da distribuidora, que garante a disponibilidade energética nos horários de pico. Contudo, observa-se no Gráfico 4 que a demanda medida mensal foi consideravelmente inferior à contratada, oscilando entre 44,06 kW (fevereiro) e 144,29 kW (novembro), com média mensal de 112,75 kW. Esse comportamento reforça o papel da geração distribuída na suavização da curva de carga e na redução dos picos de demanda, embora a cobrança pela demanda contratada permaneça em vigor segundo as regras do Grupo A.

Figura 34 - Demanda do câmpus registrada no ano de 2024

DEMANDA LIDA (kW) - 2024			
MÊS	PONTA	FORA PONTA	TOTAL
JANEIRO	142,56	129,6	142,56
FEVEREIRO	44,064	33,696	44,064
MARÇO	127,008	139,104	139,104
ABRIL	137,376	120,096	137,376
MAIO	88,992	128,736	128,736
JUNHO	64,8	57,0204	64,8
JULHO	67,392	75,168	75,168
AGOSTO	83,808	95,904	95,904
SETEMBRO	102,816	95,04	102,816
OUTUBRO	136,512	136,512	136,512
NOVEMBRO	132,192	144,288	144,288
DEZEMBRO	141,696	120,096	141,696

Fonte: Faturas de energia emitidas pela Equatorial Energia S.A. (2024), adaptado pela autora.

Gráfico 4 - Representação gráfica da demanda total do câmpus em 2024



Fonte: Faturas de energia emitidas pela Equatorial Energia S.A. (2024), adaptado pela autora.

As tarifas aplicadas em 2024, como mostrado na Figura 35, seguiram o modelo do grupo tarifário A4, com atualização ao longo do ano. As tarifas de energia no período fora de ponta variaram de R\$ 0,12255 a R\$ 0,13274/kWh, enquanto as tarifas no horário de ponta chegaram a R\$ 2,19893/kWh. Apesar dessas variações, o impacto foi mitigado pela menor dependência de consumo externo nos períodos críticos, especialmente devido à geração fotovoltaica e à compensação de créditos energéticos.

Figura 35 - Valores de demanda, consumo e tarifas de energia elétrica do câmpus em 2024

Mês	Demanda (kW)	Tarifa Demanda (R\$/kW)	Consumo Ponta (kWh)	Tarifa Ponta (R\$/kWh)	Consumo Fora Ponta (kWh)	Tarifa Fora Ponta (R\$/kWh)
JANEIRO	250	31,67807	3595,32	1,974214	6436,8	0,122881
FEVEREIRO	250	31,592863	1360,15	1,968904	2160	0,122551
MARÇO	250	32,235129	3066,55	2,00893	5508	0,125041
ABRIL	250	31,969536	4669,7	1,992378	9266,4	0,124011
MAIO	250	32,745678	2543,83	2,040748	4557,6	0,127022
JUNHO	250	32,896001	2063,88	2,050117	3520,8	0,127605
JULHO	250	32,733457	2001,24	2,039986	3758,4	0,126974
AGOSTO	250	32,823175	2511,86	2,045578	4644	0,127322
SETEMBRO	250	32,380744	3527,49	2,018005	5400	0,125606
OUTUBRO	250	33,410273	4887,86	2,082167	7689,6	0,1296
NOVEMBRO	250	35,113221	4826,52	2,187352	9244,8	0,132742
DEZEMBRO	250	35,324857	4487,83	2,19893	7408,8	0,127646
TOTAL	98725,75		81605,00		8837,94	

Fonte: Faturas de energia emitidas pela Equatorial Energia S.A. (2024), adaptado pela autora.

O custo total anual de energia elétrica em 2024, observado na Figura 36, foi de R\$ 89.333,22, segundo os dados consolidados das faturas mensais. Esse valor representa uma redução significativa em relação ao custo observado em 2017, que totalizou cerca de R\$ 233.453,84, configurando uma economia de aproximadamente 61,7%. Essa redução evidencia a viabilidade econômica da geração distribuída e seu potencial para aliviar o orçamento institucional ao longo do tempo.

Figura 36 - Custo total de energia elétrica do câmpus em 2024

CUSTO TOTAL DE ENERGIA - 2024	
JANEIRO	R\$ 6.445,71
FEVEREIRO	R\$ 6.975,83
MARÇO	R\$ 7.319,25
ABRIL	R\$ 7.404,48
MAIO	R\$ 7.435,16
JUNHO	R\$ 7.633,14
JULHO	R\$ 7.625,15
AGOSTO	R\$ 7.439,06
SETEMBRO	R\$ 7.337,57
OUTUBRO	R\$ 6.956,55
NOVEMBRO	R\$ 7.333,18
DEZEMBRO	R\$ 9.428,14
TOTAL	R\$ 89.333,22

Fonte: Faturas de energia emitidas pela Equatorial Energia S.A. (2024), adaptado pela autora.

Outro ponto relevante é a otimização da infraestrutura elétrica. Com o sistema de supervisão energética e a integração via Modbus, a operação do sistema FV permite acompanhar em tempo real a geração e o consumo de cada bloco do câmpus. Isso contribui para decisões operacionais mais inteligentes, manutenção preventiva e identificação de perdas ou anomalias.

Em relação à energia gerada e consumida, destaca-se a capacidade do sistema FV de suprir de forma parcial, mas estratégica, a demanda do câmpus, reduzindo principalmente o consumo fora de ponta, período no qual há maior geração solar. A energia excedente injetada em determinados momentos retornou como créditos energéticos, reduzindo ainda mais os custos nas faturas subsequentes.

3.4.1 - Análise Setorial: Consumo Energético em 2024

A análise individualizada dos setores do IFG – Câmpus Itumbiara permite avaliar de forma segmentada os impactos da geração distribuída fotovoltaica sobre o consumo real de energia. A metodologia utilizada considerou a geração FV medida em cada bloco, a energia injetada na rede (potência reversa) e o suprimento adicional da rede medido nos quadros gerais de baixa tensão (QGBT), possibilitando a obtenção do consumo real conforme a equação:

- $\text{Consumo real} = \text{Geração FV} - \text{Potência Reversa} + \text{QGBT}$

Essa abordagem foi aplicada ao auditório e aos blocos 300, 400 e 500, divididos em seus pavimentos superior e inferior, durante os meses com medição completa. A seguir, apresentam-se as análises de cada setor.

3.4.1.1 Auditório

Durante 2024, o auditório apresentou uma geração total de 235.639,5 kWh e uma potência reversa acumulada de 229.325,7 kWh, indicando que grande parte da energia gerada foi injetada na rede. O QGBT registrou um consumo adicional de 6.768,5 kWh, resultando em um consumo real estimado de 13.082,3 kWh. Isso mostra que o auditório operou com alta autossuficiência energética, exportando boa parte da energia gerada e dependendo pouco da rede.

3.4.1.2 Bloco 300 - Inferior

Neste setor, foram gerados 87.779 kWh, com 81.317,2 kWh injetados na rede e 7.443,4 kWh consumidos via QGBT. O consumo real do bloco foi de 13.905,2 kWh, revelando uma dependência moderada da rede. O consumo adicional via QGBT corresponde a cerca de 53,5% da energia efetivamente utilizada, o que indica que a geração local atendeu parcialmente à demanda interna.

3.4.1.3 Bloco 300 - Superior

Com 81.550 kWh de geração e 62.575,4 kWh de potência reversa, esse bloco apresentou um suprimento adicional via QGBT de 13.527,7 kWh, resultando em um consumo real de 32.502,3 kWh. O alto valor de QGBT indica que a geração local não foi suficiente para suprir a totalidade da carga, especialmente nos meses com maior atividade acadêmica.

3.4.1.4 Bloco 400 – Inferior

Neste setor, a geração total foi de 89.399,4 kWh, com 83.124,5 kWh injetados na rede. O QGBT registrou 3.247,1 kWh, resultando em um consumo de 9.522 kWh. Isso evidencia que, embora a geração tenha sido elevada, boa parte foi exportada, e o consumo local foi relativamente baixo, possivelmente por menor uso de carga ou boa adequação do sistema FV às demandas do setor.

3.4.1.5 Bloco 400 – Superior

Foram gerados 86.876,6 kWh, com 69.393,4 kWh de potência reversa e 10.470,8 kWh de consumo adicional. O consumo final foi de 27.954 kWh, reforçando o papel da geração distribuída em suprir parte da demanda. A diferença entre reversão e QGBT indica equilíbrio razoável entre geração local e necessidade energética.

3.4.1.6 Bloco 500 – Inferior

Este setor apresentou uma geração de 87.429,6 kWh, com 69.676 kWh de potência reversa e 7.140,9 kWh no QGBT. O consumo real somou 24.894,5 kWh, sinalizando que a maior parte da energia foi compensada localmente, mas ainda houve dependência da rede para complementação.

3.4.1.7 Bloco 500 – Superior

Foi um dos blocos com maior consumo registrado, no valor de 63.762,2 kWh. A geração total foi de 104.920,6 kWh, com 59.960,1 kWh injetados e 18.801,7 kWh vindos do QGBT. Esse perfil evidencia grande demanda interna e uso intensivo do setor, com a geração fotovoltaica contribuindo de forma significativa, para atender às cargas.

A Figura 37 evidencia como a geração distribuída se comportou de forma diferenciada em cada setor, de acordo com a orientação dos módulos, o perfil de carga e a infraestrutura elétrica. O cruzamento entre a energia gerada, injetada e consumida permite compreender com precisão o papel da geração local na redução da dependência da rede elétrica convencional e na

otimização dos custos energéticos do câmpus.

Figura 37 - Resumo geral dos blocos analisados

Setor	Geração FV (kWh)	Potência Reversa (kWh)	QGBT (kWh)	Consumo Real (kWh)	% Geração Aproveitada
Auditório	235.639,50	229.325,70	6.768,50	13.082,30	5,55%
Bloco 300 Inferior	87.779	81.317,20	7.443,40	13.905,20	15,84%
Bloco 300 Superior	81.550	62.575,40	13.527,70	32.502,30	39,85%
Bloco 400 Inferior	89.399,40	83.124,50	3.247,10	9.522	10,64%
Bloco 400 Superior	86.876,60	69.393,40	10.470,80	27.954	32,20%
Bloco 500 Inferior	87.429,60	69.676	7.140,90	24.894,50	28,46%
Bloco 500 Superior	104.920,60	59.960,10	18.801,70	63.762,20	60,73%
% DE GERAÇÃO APROVEITADA	(CONSUMO REAL / GERAÇÃO FV) x 100				
MÉDIA GERAL DE APROVEITAMENTO DA GERAÇÃO: 17,4%					

Fonte: Autoria própria

Posto isto, a fim de quantificar os impactos técnicos e financeiros da implantação do sistema fotovoltaico no IFG – Câmpus Itumbiara, foi elaborado um comparativo direto entre os anos de 2017 e 2024. O ano de 2017 representa o cenário de consumo sem geração própria, quando a instituição era integralmente dependente da rede elétrica da concessionária. Já 2024 reflete o desempenho com os sistemas fotovoltaicos plenamente operacionais, permitindo a compensação de parte da energia consumida e a redução significativa dos custos.

A Figura 38 apresenta os principais indicadores energéticos e tarifários de ambos os anos, evidenciando as diferenças no consumo, nas demandas, nas tarifas praticadas e nos custos totais pagos pela instituição. Essa comparação direta permite avaliar de forma objetiva a viabilidade técnica e econômica da geração distribuída, além de destacar os benefícios alcançados com a transição para um modelo energético mais eficiente e sustentável.

Figura 38 - Comparativo energético e econômico entre 2017 e 2024

Indicador	2017 (Sem FV)	2024 (Com FV)	Varição
Consumo médio mensal (kWh)	24.855,35	11.868,59	↓ 52,26%
Consumo médio diário (kWh)	828,51	395,62	↓ 52,26%
Demanda contratada (kW)	250	250	—
Demanda média medida (kW)	129,96	112,34	↓ 13,6%
Tarifa média - Fora ponta (R\$/kWh)	0,41	0,13	↓ 68,29%
Tarifa média - Ponta (R\$/kWh)	1,69	2,05	↑ 21,30%
Custo total anual (R\$)	233.453,84	89.333,22	↓ 61,74%
Economia anual obtida (R\$)	—	R\$ 144.120,62	—

Fonte: Faturas de energia emitidas pela Equatorial Energia S.A. (2024), adaptado pela autora

Assim, o ano de 2024 se configura como um marco na transição energética do IFG – Câmpus Itumbiara, consolidando a geração distribuída como uma solução eficaz para instituições públicas. A redução de custos, aliada aos benefícios ambientais e pedagógicos,

reafirma o sucesso da estratégia adotada, que pode ser replicada em outras unidades da Rede Federal.

4 PROPOSTA DE REDUÇÃO DA DEMANDA CONTRATADA

Com base em todas as análises realizadas ao longo do estudo de caso, surge uma questão importante relacionada à gestão de demanda no IFG – Câmpus Itumbiara: seria economicamente vantajoso para o câmpus reduzir a sua demanda contratada junto à Equatorial Goiás?

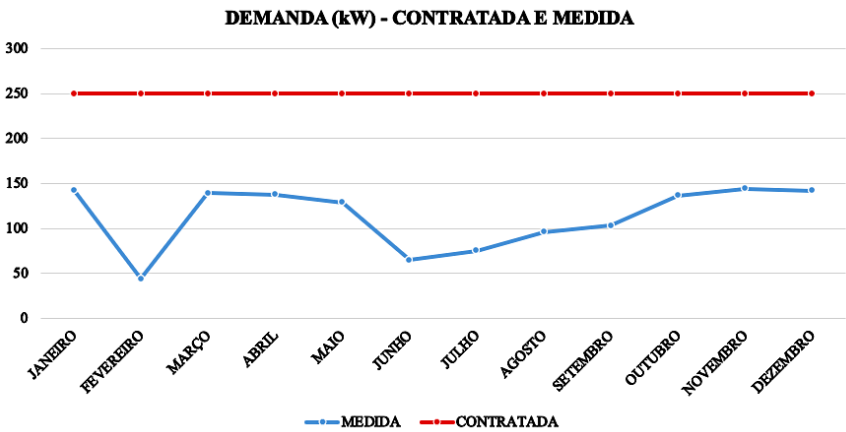
Atualmente, o câmpus mantém um contrato de demanda de 250 kW, valor que historicamente foi dimensionado de forma a evitar qualquer risco de ultrapassagem de demanda, garantindo margem mesmo nos períodos de maior consumo. No entanto, com a implantação do sistema fotovoltaico de 250 kWp, essa realidade mudou. Na Figura 39 e no Gráfico 5, fica evidenciado como a geração distribuída tem suprido parte significativa da potência consumida no horário comercial, reduzindo os valores de demanda medida nos últimos meses.

Figura 39 - Comparativo entre a demanda medida e demanda contratada de 2024

Mês	Medida (kW)	Contratada (kW)	Diferença (kW)	Tarifa (R\$/kWh)	Total Pago (R\$)
JANEIRO	142,56	250	107,44	31,67807	3403,49
FEVEREIRO	44,064	250	205,936	31,592863	6506,11
MARÇO	139,104	250	110,896	32,235129	3574,75
ABRIL	137,376	250	112,624	31,969536	3600,54
MAIO	128,736	250	121,264	32,745678	3970,87
JUNHO	64,8	250	185,2	32,896001	6092,34
JULHO	75,168	250	174,832	32,733457	5722,86
AGOSTO	95,904	250	154,096	32,823175	5057,92
SETEMBRO	102,816	250	147,184	32,380744	4765,93
OUTUBRO	136,512	250	113,488	33,410273	3791,67
NOVEMBRO	144,288	250	105,712	35,113221	3711,89
DEZEMBRO	141,696	250	108,304	35,324857	3825,82

Fonte: Faturas de energia emitidas pela Equatorial Energia S.A. (2024), adaptado pela autora.

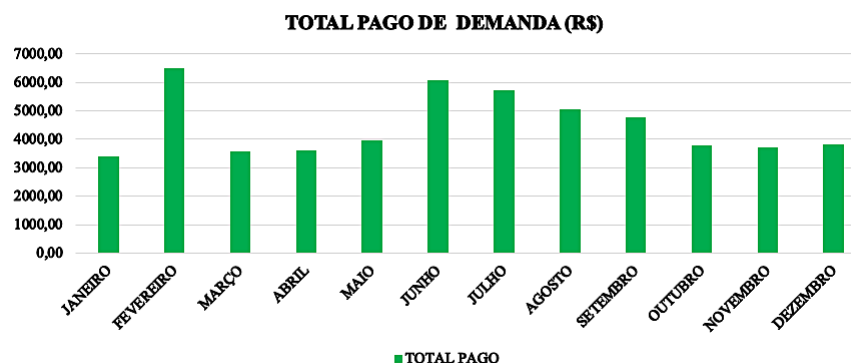
Gráfico 5 - Representação gráfica da demanda contratada e medida do câmpus em 2024



Fonte: Faturas de energia emitidas pela Equatorial Energia S.A. (2024), adaptado pela autora.

Apesar disso, a legislação e as regras tarifárias vigentes (normas da ANEEL para o Grupo A) obrigam o consumidor a pagar pela demanda contratada, mesmo que esta não seja utilizada integralmente. Assim, a instituição arcou mensalmente com a tarifa sobre os 250 kW, gerando um custo fixo elevado e pouco ajustado ao perfil real de consumo da unidade, como apresentado no Gráfico 6.

Gráfico 6 - Representação gráfica do total pago de demanda do câmpus em 2024



Fonte: Faturas de energia emitidas pela Equatorial Energia S.A. (2024), adaptado pela autora.

Uma análise recente dos dados operacionais apontou que o valor máximo de demanda verificada em 2024 foi de aproximadamente 150 kW. Considerando uma margem de segurança para variações pontuais, propõe-se uma nova demanda contratada de 170 kW, reduzindo 80 kW em relação ao contrato atual.

Essa diferença de 80 kW, que antes era contratada como demanda de consumo, passaria a ser faturada como demanda de geração, conforme as regras da Resolução Normativa nº 1.000/2021 da ANEEL e a estrutura tarifária vigente definida na Resolução Homologatória nº 3.407/2024.

4.1 Situação Atual

Atualmente, o IFG – Câmpus Itumbiara possui um contrato de demanda junto à Equatorial Goiás no valor de 250 kW, com enquadramento tarifário no Grupo A4 (2,3 kV a 25 kV) e modalidade tarifária Horo-Sazonal Verde, destinada a consumidores do setor público federal. A tarifa de demanda vigente para o ciclo tarifário 2024/2025, segundo a Resolução Homologatória nº 3.407/2024 da ANEEL, é de R\$ 27,09/kW para a demanda de consumo e R\$ 14,33/kW para a demanda de geração, como mostrado na Figura 40.

Figura 40 - Tarifas de aplicação e base econômica para o Grupo A4 (2,3 a 25kV)

A4 (2,3 a 25kV)	AZUL	NÃO SE APLICA	P	65,45	97,89	418,22	64,71	106,90	471,70
			FP	27,09	97,89	256,34	26,51	106,90	294,27
	AZUL APE	NÃO SE APLICA	P	65,45	22,78	0,00	64,71	24,59	0,00
			FP	27,09	22,78	0,00	26,51	24,59	0,00
	SCEE - AZUL	NÃO SE APLICA	P	65,45	97,89	22,02	64,71	106,90	38,60
			FP	27,09	97,89	22,02	26,51	106,90	38,60
			NA	27,09	0,00	0,00	26,51	0,00	0,00
	VERDE	NÃO SE APLICA	P	0,00	1.686,32	418,22	0,00	1.677,65	471,70
			FP	0,00	97,89	256,34	0,00	106,90	294,27
	VERDE APE	NÃO SE APLICA	NA	27,09	0,00	0,00	26,51	0,00	0,00
SUBGRUPO	MODALIDADE	ACESSANTE	POSTO	TARIFAS DE APLICAÇÃO		BASE ECONÔMICA			
				TUSD		TUSD		TE	
				R\$/kW	R\$/MWh	R\$/MWh	R\$/kW	R\$/MWh	R\$/MWh
			P	0,00	1.611,21	0,00	0,00	1.595,33	0,00
	SCEE - VERDE	NÃO SE APLICA	FP	0,00	22,78	0,00	0,00	24,59	0,00
			NA	27,09	0,00	0,00	26,51	0,00	0,00
			P	0,00	1.686,32	22,02	0,00	1.677,65	38,60
			FP	0,00	97,89	22,02	0,00	106,90	38,60
	GERAÇÃO	NÃO SE APLICA	NA	14,33	0,00	0,00	14,51	0,00	0,00

Fonte: Resolução Homologatória nº 3.407/2024 – (ANEEL)

O custo mensal com demanda de consumo pode ser calculado pela Equação (1):

$$Custo_{atual} = Demanda \times Tarifa \quad (1)$$

Aplicando os valores:

$$Custo_{atual} = 250kW \times R\$ 27,09 = R\$ 6.772,50 \quad (2)$$

4.2 Situação Proposta

Considerando a proposta de reduzir a demanda contratada para 170 kW, os 80 kW restantes seriam assumidos como demanda de geração, com tarifa específica mais baixa.

- Demanda de consumo: 170 kW
- Demanda de geração: 80 kW
- Tarifa de consumo: R\$ 27,09/kW
- Tarifa de geração: R\$ 14,33/kW

O custo mensal seria a soma das duas parcelas:

$$Custo_{consumo} = 170kW \times R\$ 27,09 = R\$ 4.605,30 \quad (3)$$

$$Custo_{geração} = 80kW \times R\$ 14,33 = R\$ 1.146,40 \quad (4)$$

Totalizando o novo custo mensal com demanda:

$$Custo_{novo} = Custo_{consumo} + Custo_{geração} \quad (5)$$

$$Custo_{novo} = R\$ 4.605,30 + R\$ 1.146,40 = R\$ 5.751,70 \quad (6)$$

4.3 Comparativo Econômico entre as Situações

A economia mensal que o câmpus teria pode ser calculada por:

$$Economia_{mensal} = Custo_{atual} - Custo_{novo} \quad (7)$$

$$Economia_{mensal} = R\$ 6.772,50 - R\$ 5.751,70 = R\$ 1.020,80 \quad (8)$$

A economia anual estimada seria:

$$Economia_{anual} = Economia_{mensal} \times 12 = R\$ 12.249,60 \quad (9)$$

4.4 Considerações Técnicas

A análise desenvolvida ao longo deste estudo demonstra que a proposta de redução da demanda contratada de 250 kW para 170 kW, com compensação do excedente por meio da modalidade de demanda de geração, apresenta viabilidade econômica relevante frente às atuais condições tarifárias da Equatorial Goiás para o Grupo A4.

Com a aplicação da tarifa de R\$ 14,33/kW sobre a demanda de geração, o novo arranjo contratual proporciona uma economia mensal expressiva, ultrapassando mil reais, o que representa uma redução anual superior a R\$ 12 mil nos custos fixos da unidade consumidora. Além do impacto financeiro direto, a proposta sinaliza um alinhamento positivo com práticas de eficiência energética e de aproveitamento da geração distribuída já instalada no câmpus.

Contudo, a decisão de implementar essa estratégia deve ser acompanhada de cautela operacional. A redução da demanda contratada, embora ainda dentro de um intervalo considerado seguro, aproxima-se do perfil de demanda historicamente observado para a unidade, o que exige maior atenção à gestão da carga, especialmente em horários de maior consumo.

É fundamental que a geração fotovoltaica mantenha níveis consistentes e que a operação dos sistemas seja monitorada continuamente, a fim de evitar ultrapassagens que comprometeriam a economia pretendida. Dessa forma, a viabilidade técnica e econômica da proposta é confirmada, desde que acompanhada de um planejamento operacional que garanta estabilidade na geração, resposta rápida a desvios de carga e supervisão ativa do consumo.

Conclui-se, portanto, que a redução da demanda contratada, conforme simulada neste estudo, é uma medida vantajosa e coerente com os objetivos de gestão energética da instituição,

desde que implementada com responsabilidade técnica e acompanhamento permanente.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar, de forma técnica e econômica, os impactos da implantação de um sistema de geração distribuída fotovoltaica no IFG – Câmpus Itumbiara, instituição pública enquadrada no Grupo A de fornecimento de energia elétrica. Através de uma abordagem baseada em dados reais, foi possível comparar o comportamento energético da unidade antes (2017) e depois (2024) da instalação dos sistemas fotovoltaicos, revelando ganhos substanciais em termos de eficiência, sustentabilidade e redução de custos.

A análise histórica demonstrou que, em 2017, o câmpus apresentava uma demanda média de 129,96 kW e um consumo energético anual que resultava em custos superiores a R\$ 230 mil. Totalmente dependente da rede elétrica, a instituição sofria com a rigidez tarifária e a ausência de mecanismos de compensação.

Já em 2024, com os sistemas fotovoltaicos operando de forma plena e integrada a uma infraestrutura inteligente de supervisão, a média de demanda medida caiu 13,6%, e o consumo registrado foi quase três vezes menor. Essa transformação resultou em uma redução de mais de 61% no custo anual com energia elétrica, comprovando a efetividade da geração distribuída como ferramenta de otimização energética em instituições públicas.

Além da análise global, o estudo se aprofundou em avaliações setoriais dos blocos acadêmicos e administrativos, utilizando uma metodologia própria baseada no cruzamento entre geração FV, potência reversa e consumo medido no QGBT. Essa abordagem permitiu identificar padrões de consumo específicos, avaliar o desempenho das usinas por setor e verificar, de forma precisa, o quanto da energia gerada está sendo consumida localmente ou injetada na rede.

Complementando o estudo, uma proposta de redução da demanda contratada foi elaborada com base nos dados de 2024. A partir da verificação de que a demanda medida se manteve consideravelmente abaixo da contratada, foi simulada uma adequação contratual para 170 kW de demanda de consumo e 80 kW de demanda de geração. Essa reconfiguração, respaldada pela atual estrutura tarifária da Equatorial Goiás, mostrou-se economicamente viável, com potencial de economia anual superior a R\$ 12 mil. Ainda que essa redução exija gestão operacional mais cuidadosa e monitoramento contínuo da geração solar e das cargas internas, os benefícios econômicos tornam a proposta coerente com os princípios da eficiência energética.

Portanto, conclui-se que a geração distribuída fotovoltaica implantada no IFG – Câmpus Itumbiara representa uma solução energética bem-sucedida, que alia benefícios técnicos,

econômicos e pedagógicos. A experiência do câmpus, ao integrar infraestrutura renovável, supervisão inteligente e uso educacional da tecnologia, serve como referência concreta para outras instituições públicas que buscam reduzir sua dependência da rede elétrica convencional.

A continuidade desse modelo, com ajustes estratégicos na gestão de demanda e expansão do monitoramento setorial, poderá ampliar ainda mais os ganhos já alcançados, consolidando a transição energética como uma realidade sustentável, eficiente e replicável na Rede Federal de Educação.

REFERÊNCIAS

ALDO SOLAR. Sobre a Lei 14.300: o que muda para a energia solar com o novo marco legal. Disponível em: <https://www.aldo.com.br/blog/sobre-a-lei-14-300/>.

ALMEIDA, E.; ROSA, A. C.; DIAS, F. C. L. S.; BRAZ, K. T. M.; LANA, L. T. C.; SANTO, O. C. do E.; SACRAMENTO, T. C. B. Energia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Nota Técnica nº 119/2023 – RTP 2023 Equatorial Goiás. Brasília: ANEEL, 2023. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/tarifa/arquivo/Nota%20T%C3%A9cnica%20119_2023%20RTP%202023%20EQTL%20GO.pdf.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Homologatória nº 2.434/2024-TI, de 18 de junho de 2024. Estabelece as tarifas da Equatorial Goiás. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20243407ti.pdf>.

ELETRÔNICA DE POTÊNCIA. Célula fotovoltaica: o que é, tipos e funcionamento. Disponível em: <https://eletronicadepotencia.com/celula-fotovoltaica/>.

GREENER. Análise do marco Legal da Geração Distribuída: sancionado o pl 5.829/2019 que institui o marco legal da mmgd. Sancionado o PL 5.829/2019 que institui o Marco Legal da MMGD. 2022. Disponível em: <https://www.greener.com.br/estudo/analise-domarco-legal-da-geracao-distribuida-lei-14-300-2022/>.

HISOUR. Silício Amorfo. Disponível em: <https://www.hisour.com/pt/data/amorphous-silicon/>.

INSTITUTO FEDERAL DE GOIÁS. Tese de doutorado sobre eficiência energética. (2022) Disponível em: <https://www.ifg.edu.br/ultimas-noticias-campus-itumbiara/29593-tese-doutorado-eficiencia>.

INSTITUTO FEDERAL DE GOIÁS. Usina fotovoltaica do Câmpus Itumbiara entra em operação (2017). Disponível em: <https://www.ifg.edu.br/component/content/article/17-ifg/ultimas-noticias/5928-usinaitumbiara?highlight=WyI3MCwyIl0=>.

MARQUES, M.C.S.; HADDAD, J.; MARTINS, A.R.S. (Coordenadores). Conservação de energia: eficiência energética de equipamentos e instalações. 3. ed. Itajubá, MG: FUPAI, 2006.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede – SFCR ou On Grid. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/projeteee/equipamento/sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede-sfcr-ou-on-grid/>.

NASCIMENTO, C. A. do. Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica. Monografia (Pós-Graduação Lato Sensu em Fontes Alternativas de Energia) — Universidade Federal de Lavras, 2004.

NOCTULA. Células fotovoltaicas orgânicas: novas inovações solares. Disponível em: <https://noctula.pt/celulas-fotovoltaicas-organicas-novas-inovacoes-solares/>.

OLIVEIRA, J. A.; MARTINS, F. R. Geração distribuída com sistemas fotovoltaicos. 1. ed.

São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro, 2014.

SHAREENERGY. Tudo o que você precisa saber sobre a Lei 14.300. Disponível em: <https://www.shareenergy.com.br/tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-a-lei-14300/>