

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
MINAS GERAIS - *CAMPUS* SABARÁ
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Vinicius Brenner Santos Martins

**ESTUDO DA INJEÇÃO DE ENERGIA NO HORÁRIO DE PONTA POR
SISTEMA FOTOVOLTAICO COM ARMAZENAMENTO para redução
dos custos energéticos no ifmg campus sabar**

Sabar

2026

VINICIUS BRENNER SANTOS MARTINS

**ESTUDO DA INJEÇÃO DE ENERGIA NO HORÁRIO DE PONTA POR
SISTEMA FOTOVOLTAICO COM ARMAZENAMENTO para redução
dos custos energéticos no ifmg campus sabará**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais *Campus* Sabará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Diego Miranda

Sabará
2026

Martins, Vinícius Brenner Santos

M386e

Estudo da injeção de energia no horário de ponta por meio de um sistema fotovoltaico com armazenamento para redução dos custos energéticos no IFMG – Campus Sabará [manuscrito]. / Vinícius Brenner Santos Martins. - 2026.

108 f. : il.

Orientadores: Prof. Dr. Diego Oliveira Miranda.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) – Instituto Federal de Minas Gerais, *Campus* Sabará.

1. Energia solar. – Monografia. 2. Geração de energia fotovoltaica. – Monografia. 3. Energia – Armazenamento. – Monografia. 4. Energia - Consumo. – Monografia. 5. Estudos de viabilidade. – Monografia. I. Miranda, Diego Oliveira. II. Instituto Federal de Minas Gerais, *Campus* Sabará. Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação. III. Título.

CDU 621.383

César dos Santos Moreira / CRB6-2229
Biblioteca do IFMG *Campus* Sabará



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS

Campus Sabará
Diretoria de Ensino, Pesquisa e Extensão
Conselho de Área - Controle e Processos Industriais
Rodovia MGC 262, Km 10 - Bairro Sobradinho - CEP 34590-390 - Sabará - MG
- www.ifmg.edu.br

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ao dia 13 do mês de julho do ano de 2026, às 16:45 horas, sob a presidência de Diego Oliveira Miranda, o discente **Vinicius Brenner Santos Martins** do Curso de Engenharia de Controle e Automação, R.A nº 0049911 do IFMG *campus* Sabará, defendeu o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “**ESTUDO DA INJEÇÃO DE ENERGIA NO HORÁRIO DE PONTA POR SISTEMA FOTOVOLTAICO COM ARMAZENAMENTO PARA REDUÇÃO DOS CUSTOS ENERGÉTICOS NO IFMG CAMPUS SABARÁ**” e foi avaliado com a nota final média de 75 pontos (de um total de 80), que está condicionada ao cumprimento dos procedimentos pós-defesa do TCC.

Compuseram a Banca Examinadora:

Membro 1: Dr. Diego Oliveira Miranda -IFMG *campus* Sabará (orientador),

Membro 2: Dr. Rodrigo Hiroshi Murofushi -IFMG *campus* Sabará

Membro 3: Dr. Daniel Neves Rocha - IFMG *campus* Sabará.

O discente deverá apresentar o trabalho com as devidas modificações em formato pdf, até 13/08/2026 à Coordenação de TCC e fazer o depósito no repositório institucional de TCC do IFMG. O não cumprimento dos procedimentos pós-defesa de TCC até a data estipulada implica no não cumprimento das horas referentes aos componentes curriculares de TCC I e II.

A sessão foi encerrada às 18:30 . Para constar, eu, Diego Oliveira Miranda redigi a presente ata que após lida publicamente, foi aprovada e assinada pelos membros da banca examinadora.

Sabará, 15 de julho de 2026.



Documento assinado eletronicamente por **Diego Oliveira Miranda, Professor EBTT**, em 15/07/2026, às 08:31, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Hiroshi Murofushi, Professor EBTT**, em 15/07/2026, às 11:34, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Daniel Neves Rocha, Professor EBTT**, em 15/07/2026, às 13:51, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **2809214** e o código CRC **5E6EAE9D**.

RESUMO

Este trabalho analisa a viabilidade técnica e econômica da implementação de um sistema fotovoltaico com armazenamento em baterias no campus do IFMG-Sabará, com foco específico na injeção de energia durante o horário de pico. O estudo dimensiona adequadamente o sistema para atender às necessidades energéticas do campus e avalia o tempo de retorno do investimento (payback), considerando os custos de implementação e a economia gerada pela redução no consumo de energia da rede durante os horários de maior tarifa. A análise das faturas de energia do campus revela que, apesar de representar apenas 16% do consumo total, o consumo no horário de ponta corresponde a 35,3% do valor total da fatura. O sistema proposto, composto por 19 módulos fotovoltaicos Trina Solar de 405 Wp, 9 baterias Unicoba LiFePO₄ de 12 kWh e inversores adequados, foi dimensionado para atender à demanda energética do campus no horário de ponta. A análise econômica demonstra que, apesar do investimento inicial de R\$ 372.020,00, o projeto apresenta indicadores econômicos atrativos, com payback descontado de 7,3 anos e Taxa Interna de Retorno de 11,4%. Além dos benefícios econômicos, o sistema contribuirá para a redução das emissões de gases de efeito estufa e oferecerá significativo potencial de uso acadêmico.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica; Armazenamento de Energia; Horário de Pico; Análise de Viabilidade Econômica; Instituição de Ensino.

ABSTRACT

This work analyzes the technical and economic feasibility of implementing a photovoltaic system with battery storage at the IFMG-Sabará campus, with a specific focus on energy injection during peak hours. The study adequately sizes the system to meet the energy needs of the campus and evaluates the return on investment time (payback), considering the implementation costs and the savings generated by reducing grid energy consumption during higher tariff hours. The analysis of the campus energy bills reveals that, despite representing only 16% of total consumption, consumption during peak hours corresponds to 35.3% of the total bill value. The proposed system, composed of 19 Trina Solar 405 Wp photovoltaic modules, 9 Unicoba LiFePO₄ 12 kWh batteries, and suitable inverters, was designed to meet the campus energy demand during peak hours. The economic analysis demonstrates that, despite the initial investment of R\$ 372,020.00, the project presents attractive economic indicators, with a discounted payback of 7.3 years and an Internal Rate of Return of 11.4%. In addition to the economic benefits, the system will contribute to reducing greenhouse gas emissions and will offer significant potential for academic use.

Keywords: Photovoltaic Solar Energy; Energy Storage; Peak Hours; Economic Feasibility Analysis; Educational Institution.'

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Foto do campus IFMG Sabará via Satélite	37
Figura 2 – Gráfico geração dos últimos cinco anos (2019-2024)	38
Figura 3 – Imagem geral vista superior	41
Figura 4 – Painéis solares existentes (estacionamento)	41
Figura 5 – Painéis solares existentes (tenda)	42
Figura 6 – Vista Isométrica	49
Figura 7 – Vista Isométrica	49
Figura 8 – Vista Isométrica	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre tecnologias de baterias	29
Tabela 2 – Resumo das especificações calculadas para o circuito CC (distância linear de 30m).	46
Tabela 3 – Custos dos principais equipamentos do sistema proposto	49
Tabela 4 – Composição do investimento total	50
Tabela 5 – Estimativa de economia mensal	50
Tabela 6 – Tarifas de energia elétrica aplicadas ao campus IFMG-Sabará (Out/ 2024) .	52
Tabela 7 – Potencial de economia com a implementação do sistema proposto	53
Tabela 8 – Especificações dos principais componentes do sistema	54
Tabela 9 – Estimativa mensal de geração de energia fotovoltaica	55
Tabela 10 – Resumo do investimento inicial	56
Tabela 11 – Detalhamento da economia mensal projetada	56
Tabela 12 – Projeção do Fluxo de Caixa Descontado para determinação do Payback (9 baterias).	57
Tabela 13 – Tempo de retorno do investimento	58
Tabela 14 – Estimativa de redução de emissões de CO2	59
Tabela 15 – Áreas de atuação e disciplinas relacionadas ao sistema	59

SUMÁRIO

0.1	Introdução	20
0.2	Objetivos	21
0.2.1	<i>Objetivo geral</i>	21
0.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	21
0.3	Justificativa	22
1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
1.0.1	<i>Energia Solar Fotovoltaica e Sistemas Conectados à Rede (On-Grid)</i>	24
1.0.2	<i>Sistemas Híbridos e Tecnologias de Armazenamento de Energia</i>	24
1.0.3	<i>Gerenciamento de Carga: Peak Shaving e Impactos Tarifários</i>	25
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	26
2.1	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	26
2.2	Tipos de Sistemas Fotovoltaicos	27
2.3	SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA	27
2.3.1	<i>Tecnologias de Baterias Disponíveis no Mercado</i>	27
2.3.2	<i>Comparação entre Diferentes Tecnologias</i>	28
2.3.3	<i>Dimensionamento de Sistemas de Armazenamento</i>	29
2.4	TARIFICAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL	30
2.4.1	<i>Estrutura Tarifária Brasileira</i>	30
2.4.2	<i>Horário de Ponta e Fora de Ponta</i>	30
2.4.3	<i>Bandeiras Tarifárias</i>	31
2.4.4	<i>Modalidade Tarifária Verde</i>	31
3	METODOLOGIA	32
3.1	INJEÇÃO DE ENERGIA EM HORÁRIO DE PICO	32
3.1.1	<i>Conceitos e Aplicações</i>	32
3.1.2	<i>Benefícios Técnicos e Econômicos</i>	32
3.1.3	<i>Desafios e Limitações</i>	33
3.2	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	33
3.2.1	<i>Métodos de Análise de Investimentos</i>	33

3.2.2	<i>Custos Envolvidos na Implantação</i>	34
3.2.3	<i>Fatores que Influenciam o Retorno do Investimento</i>	34
3.3	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	35
3.3.1	<i>Características Climáticas e de Irradiação Solar</i>	35
3.3.2	<i>Sistema Fotovoltaico Existente</i>	36
3.4	COLETA E ANÁLISE DE DADOS	36
3.4.1	<i>Levantamento do Consumo Energético do Campus</i>	36
3.4.2	<i>Análise das Faturas de Energia</i>	36
3.4.3	<i>Monitoramento da Geração Fotovoltaica Existente</i>	37
3.5	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA	38
3.5.1	<i>Cálculo da Demanda Energética no Horário de Pico</i>	39
3.5.2	<i>Dimensionamento dos Painéis Fotovoltaicos</i>	39
3.5.3	<i>Dimensionamento do Banco de Baterias</i>	42
3.5.4	<i>Dimensionamento dos Inversores</i>	43
3.5.5	<i>Dimensionamento dos Cabos e Componentes Auxiliares</i>	44
[black]3.5.5.1	Critério da Capacidade de Condução de Corrente	44
[black]3.5.5.2	Critério da Queda de Tensão	45
3.6	PROJETO GERAL	46
3.6.1	<i>Lista de Cabos</i>	46
3.6.2	<i>Planta de Locação</i>	47
3.6.3	<i>Malha de Aterramento</i>	47
3.6.4	<i>Folha de Dados</i>	47
3.6.5	<i>Diagrama Funcional</i>	47
3.6.6	<i>Lista de Materiais</i>	48
3.6.7	<i>Detalhes Típicos</i>	48
3.6.8	<i>Modelo 3D</i>	48
3.7	ANÁLISE ECONÔMICA	49
3.7.1	<i>Levantamento de Custos dos Equipamentos</i>	49
3.7.2	<i>Cálculo do Investimento Total</i>	49
3.7.3	<i>Cálculo da Economia Mensal Projetada</i>	50

3.7.4	<i>Cálculo do Tempo de Retorno do Investimento (Payback)</i>	50
3.7.5	<i>Análise de Sensibilidade</i>	51
4	RESULTADOS	52
4.1	ANÁLISE DO CONSUMO ENERGÉTICO DO CAMPUS	52
4.1.1	<i>Perfil de Consumo</i>	52
4.1.2	<i>Custos Associados ao Horário de Pico</i>	52
4.1.3	<i>Potencial de Economia</i>	53
4.2	PROPOSTA DE SISTEMA FOTOVOLTAICO COM ARMAZENAMENTO	53
4.2.1	<i>Configuração Técnica Proposta</i>	53
4.2.2	<i>Especificações dos Equipamentos Selecionados</i>	54
4.2.3	<i>Estimativa de Geração Mensal do Sistema Fotovoltaico Adicional (7,7 kWp)</i>	55
4.3	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA	55
4.3.1	<i>Investimento Inicial Detalhado</i>	55
4.3.2	<i>Economia Mensal Projetada</i>	56
4.3.3	<i>Tempo de Retorno do Investimento</i>	56
4.4	IMPACTOS AMBIENTAIS E ACADÊMICOS	58
4.4.1	<i>Redução de Emissões de CO₂</i>	58
4.4.2	<i>Potencial de Uso Acadêmico do Sistema</i>	59
5	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	60
5.0.1	RECOMENDAÇÕES PARA IMPLEMENTAÇÃO	62
5.1	Trabalhos Futuros	62
	REFERÊNCIAS	64
	APÊNDICE A – IFMG-01-LISTA DE CABOS	66
	APÊNDICE B – IFMG-01-FOLHA DE DADOS BANCO DE BATERIAS	73
	APÊNDICE C – IFMG-01-FOLHA DE DADOS INVERSOR	75
	APÊNDICE D – IFMG-01-FOLHA DE DADOS MÓDULO SOLAR	82
	APÊNDICE E – IFMG-01-FOLHA DE DADOS STRING BOX	84
	APÊNDICE F – IFMG-01-LISTA DE MATERIAS	87
	APÊNDICE G – TCC-PLANTA DE LOCAÇÃO	98

APÊNDICE H – TCC-MALHA DE ATERRAMENTO	100
APÊNDICE I – TCC-DIAGRAMA DE FUNCIONAL	102
APÊNDICE J – TCC-DETALHES TÍPICOS	104
APÊNDICE K – TCC-ROTA DE FORÇA	106
APÊNDICE L – FATURA CAMPOS	108

0.1 Introdução

A busca por fontes de energia sustentáveis tem se intensificado nas últimas décadas, impulsionada pelo aumento constante do consumo global de eletricidade e pela crescente preocupação com os impactos ambientais gerados pelos combustíveis fósseis. No Brasil, a matriz energética, embora predominantemente renovável devido à grande participação da energia hidrelétrica, ainda enfrenta desafios significativos relacionados à distribuição, eficiência e custos, especialmente em períodos de alta demanda.

O campus do Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) em Sabará, assim como diversas instituições públicas de ensino no país, enfrenta desafios consideráveis relacionados aos custos de energia elétrica. A análise das faturas de energia do campus revela que os consumos específicos, principalmente a Energia Ativa em Horário de Ponta (HP) e a Energia Ativa em Horário Fora de Ponta (HFP), representam juntos mais de 70% do gasto financeiro mensal com eletricidade. Esta realidade econômica impacta diretamente o orçamento da instituição e limita investimentos em outras áreas prioritárias.

Desde 2022, o IFMG-Sabará tem monitorado a eletricidade produzida por seu sistema de painéis solares fotovoltaicos, observando um padrão de crescimento na geração de energia ao longo dos anos. No entanto, apesar dos avanços na implementação de tecnologias de energia renovável, o campus ainda enfrenta custos elevados durante os horários de pico, quando as tarifas de energia são significativamente mais altas.

A modalidade tarifária aplicada ao campus, THS Verde A4, estabelece valores diferenciados para o consumo em horários de ponta (geralmente entre 17h e 20h) e fora de ponta. Esta estrutura tarifária representa um desafio particular, pois o valor da energia no horário de ponta pode ser até cinco vezes maior que no horário fora de ponta, conforme dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2017).

Neste contexto, a implementação de um sistema que permita a injeção de energia no horário de pico, visando zerar o gasto energético nesses períodos de maior custo, apresenta-se como uma solução potencialmente viável tanto do ponto de vista técnico quanto econômico. A combinação de geração fotovoltaica com sistemas de armazenamento de energia em baterias possibilita que a energia gerada durante o dia seja armazenada e utilizada estrategicamente nos momentos de maior demanda e custo tarifário.

Este trabalho propõe analisar a viabilidade técnica e econômica da implementação de um sistema fotovoltaico com armazenamento em baterias no campus do IFMG-Sabará, com foco específico na injeção de energia durante o horário de pico. O estudo busca não apenas dimensionar adequadamente o sistema para atender às necessidades energéticas do campus, mas também avaliar o tempo de retorno do investimento (payback), considerando os custos de implementação e a economia gerada pela redução no consumo de energia da rede durante os horários de maior tarifa.

A relevância desta pesquisa estende-se além do caso específico do IFMG-Sabará, podendo servir como referência para outras instituições de ensino e organizações que enfrentam desafios semelhantes relacionados aos custos de energia elétrica. Além disso, o projeto alinha-se aos objetivos de desenvolvimento sustentável, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a promoção de práticas energéticas mais eficientes e ambientalmente responsáveis.

0.2 Objetivos

0.2.1 *Objetivo geral*

O objetivo principal deste trabalho é analisar a viabilidade técnica e econômica da implementação de um sistema fotovoltaico com armazenamento em baterias no campus do IFMG-Sabará, visando a injeção de energia no horário de pico para zerar o gasto energético nesses períodos de maior custo tarifário.

0.2.2 *Objetivos específicos*

- Levantar e analisar os dados de consumo energético do campus, com ênfase nos horários de ponta e fora de ponta, correlacionando-os aos custos tarifários e identificando padrões de consumo que permitam a implementação de soluções personalizadas para a realidade do campus.
- Dimensionar adequadamente o sistema fotovoltaico e o banco de baterias necessários para atender à demanda energética média do campus durante o horário de ponta, considerando o impacto tarifário e o potencial de economia.
- Propor uma solução técnica e econômica para a implantação do sistema, incluindo custos iniciais, projeções de economia e retorno financeiro, considerando o impacto das tarifas nos períodos analisados.
- Pesquisar e avaliar diferentes tecnologias de baterias disponíveis no mercado, buscando uma solução que alie custo-benefício e eficiência para viabilizar o projeto.
- Assegurar que o projeto siga as normas técnicas e legislações em vigor, incluindo as regras definidas pela ABNT e pela ANEEL para sistemas de energia renovável.
- Fomentar a sustentabilidade e o aprendizado técnico, estimulando o uso acadêmico do sistema como ferramenta de ensino e de conscientização ambiental no campus.
- Desenvolver um plano de monitoramento e manutenção para garantir a eficiência do sistema em longo prazo, incluindo estratégias de manutenção preventiva e corretiva.

- Planejamento e elaboração completa do projeto, contemplando toda a documentação exigida para sua futura execução e implementação.

0.3 Justificativa

A proposta de implementação de um sistema fotovoltaico com armazenamento em baterias no campus do IFMG-Sabará justifica-se por múltiplos fatores, tanto econômicos quanto ambientais e acadêmicos.

Do ponto de vista econômico, a análise das faturas de energia do campus revela que os custos associados ao consumo nos horários de ponta representam uma parcela significativa do gasto total com eletricidade. A implementação de um sistema que permita a injeção de energia nesses horários específicos tem o potencial de reduzir substancialmente esses custos, liberando recursos para serem investidos em outras áreas prioritárias da instituição.

A viabilidade técnica da proposta é favorecida pela localização geográfica do campus, situado em uma região com alta incidência solar, o que potencializa a geração de energia fotovoltaica. Além disso, o campus já possui experiência com sistemas fotovoltaicos, tendo implementado painéis solares desde 2019 e monitorado sua produção, o que facilita a integração de novos componentes e a expansão do sistema existente.

Do ponto de vista ambiental, a adoção de fontes de energia renovável alinha-se aos objetivos globais de redução de emissões de gases de efeito estufa e de promoção de práticas sustentáveis. Ao reduzir a dependência de energia da rede convencional, especialmente nos horários de maior demanda, o campus contribui para a diminuição da pressão sobre o sistema elétrico nacional e para a redução da necessidade de acionamento de usinas termelétricas, que são mais poluentes.

No âmbito acadêmico, a implementação do sistema proposto oferece oportunidades valiosas para o ensino, a pesquisa e a extensão. O sistema pode ser utilizado como laboratório prático para disciplinas relacionadas à engenharia elétrica, eficiência energética e sustentabilidade, proporcionando aos estudantes experiências concretas com tecnologias de ponta. Além disso, o projeto pode servir como base para pesquisas acadêmicas sobre otimização de sistemas energéticos, armazenamento de energia e gestão inteligente de redes elétricas.

Por fim, o projeto tem potencial para servir como modelo replicável para outras instituições de ensino e organizações que enfrentam desafios semelhantes relacionados aos custos de energia elétrica. A documentação detalhada do processo de implementação, dos resultados obtidos e das lições aprendidas pode contribuir para a disseminação de boas práticas e para o avanço do conhecimento na área de sistemas energéticos sustentáveis.

Diante desses fatores, a implementação de um sistema fotovoltaico com armazenamento em baterias no campus do IFMG-Sabará, com foco na injeção de energia no horário de pico,

apresenta-se como uma iniciativa estratégica, alinhada tanto aos interesses específicos da instituição quanto aos objetivos mais amplos de desenvolvimento sustentável e inovação tecnológica.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.0.1 Energia Solar Fotovoltaica e Sistemas Conectados à Rede (On-Grid)

A busca por matrizes energéticas limpas e sustentáveis impulsionou o avanço da energia solar fotovoltaica globalmente, fundamentada no princípio físico do efeito fotovoltaico para a conversão direta da radiação solar em eletricidade (VILLALVA; GAZOLI, 2018). No cenário brasileiro, o crescimento dessa tecnologia tem se mostrado expressivo, impulsionado tanto por características climáticas favoráveis quanto por resoluções normativas que regulamentam o setor de geração distribuída (PINHO; GALDINO, 2014; ZILLES *et al.*, 2012).

Historicamente, o arcabouço regulatório nacional estruturou-se a partir da Resolução Normativa nº 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que estabeleceu as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição, instituindo o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2012). Esse modelo, posteriormente aprimorado e atualizado pelas Resoluções Normativas nº 687/2015 e nº 786/2017, viabilizou a injeção do excedente gerado na rede da concessionária local para a posterior compensação em forma de créditos de energia ativa (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2015; Agência Nacional de Energia Elétrica, 2017).

Sob essa ótica regulatória, os sistemas convencionais conectados à rede (sistemas *on-grid*) utilizam a própria malha elétrica pública como uma espécie de "bateria virtual" (NASCIMENTO, 2017). Desse modo, o consumidor injeta eletricidade nos momentos de alta e a consome nos períodos de ausência de geração (SILVA, 2015). Estudos técnicos de viabilidade econômica atestam que a implementação desses sistemas tradicionais em prédios e unidades escolares públicas apresenta indicadores financeiros favoráveis, impulsionados pela redução direta na conta de energia institucional (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2018), (OLIVEIRA; DANTAS, 2021)

1.0.2 Sistemas Híbridos e Tecnologias de Armazenamento de Energia

Apesar das vantagens inerentes aos sistemas *on-grid*, a intermitência da fonte solar impõe restrições severas em cenários onde a demanda máxima não coincide com o pico de irradiância solar. Para mitigar esse comportamento e otimizar o fluxo energético, surgem os sistemas fotovoltaicos híbridos, os quais combinam a conexão simultânea com a rede convencional e bancos de baterias (ZAMBONI *et al.*, 2022). A integração de Sistemas de Armazenamento de Energia Elétrica (SAE) permite superar as limitações da intermitência, acumulando o excedente diurno para utilização estratégica em momentos oportunos (OLIVEIRA; DANTAS, 2021).

Atualmente, o mercado disponibiliza variadas tecnologias de armazenamento, cujos parâmetros operacionais guiam a seleção do projeto técnico (PINHO; GALDINO, 2014). As baterias de chumbo-ácido, embora economicamente acessíveis e de alta reciclabilidade, sofrem com baixas densidades energéticas e ciclos de vida reduzidos (PINHO; GALDINO, 2014).

Em função da crescente necessidade de armazenamento de energia em sistemas fotovoltaicos conectados à rede, as baterias de íon-lítio, especialmente aquelas baseadas na química Lítio Ferro Fosfato (LiFePO₄), vêm se consolidando como uma das principais alternativas para aplicações estacionárias. Essa tecnologia apresenta elevada eficiência energética, elevada profundidade de descarga, longa vida útil e reduzida necessidade de manutenção quando comparada às baterias de chumbo-ácido convencionais. Além disso, sua maior estabilidade térmica e química proporciona níveis superiores de segurança operacional, característica especialmente relevante em instalações educacionais e institucionais.

1.0.3 Gerenciamento de Carga: *Peak Shaving* e Impactos Tarifários

A aplicação combinada de inversores híbridos e bancos de armazenamento possibilita a execução de estratégias avançadas de gestão energética, fundamentadas nos conceitos de deslocamento de carga (*load shifting*) e suavização de pico (*peak shaving*) (ZAMBONI et al., 2022). O *peak shaving* consiste na injeção deliberada de energia a partir de fontes locais (baterias) para suprir a demanda da edificação, de modo a reduzir ou zerar a necessidade de importação de eletricidade proveniente da rede concessionária nos momentos em que o sistema elétrico opera sob severa sobrecarga (CAMPOS; NASCIMENTO; RÜTHER, 2021).

Essa abordagem torna-se economicamente indispensável ao analisar a estrutura de tarifação brasileira para consumidores do Grupo A (alta tensão), os quais frequentemente adotam a Tarifa Horária Azul ou Verde (CAMPOS; NASCIMENTO; RÜTHER, 2021). Na estrutura da Modalidade Tarifária Verde, por exemplo, o custo cobrado pela Demanda Ativa (R\$/kW) é único, contudo o valor da Energia Ativa (R\$/kWh) consumida no Horário de Ponta (HP) — intervalo de três horas consecutivas no fim do dia — chega a ser até cinco vezes superior àquele cobrado no Horário Fora de Ponta (HFP) (CAMPOS; NASCIMENTO; RÜTHER, 2021; Agência Nacional de Energia Elétrica, 2015).

Consequentemente, o consumo concentrado no horário de pico gera impactos financeiros desproporcionais nos orçamentos de instituições públicas e centros de ensino superior (CAMPOS; NASCIMENTO; RÜTHER, 2021; OLIVEIRA; DANTAS, 2021). Adicionalmente, o cenário contemporâneo do setor elétrico impõe desafios regulatórios complexos, nos quais o excesso de geração solar distribuída sem armazenamento concentrado no meio do dia satura as linhas de distribuição, ocasionando problemas severos de sobretensão e fenômenos de fluxo reverso de potência. Essa distorção mercadológica acentua a necessidade premente de adoção de sistemas híbridos com injeção programada, descentralizando a compensação e conferindo maior estabilidade operativa ao Sistema Interligado Nacional (SIN).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica representa uma das tecnologias de geração de energia renovável mais promissoras e em rápida expansão no Brasil e no mundo. Seu princípio de funcionamento baseia-se no efeito fotovoltaico, descoberto pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel em 1839, que consiste na conversão direta da luz solar em eletricidade por meio de células fotovoltaicas. (VILLALVA; GAZOLI, 2018)

Segundo (PINHO; GALDINO, 2014), as células fotovoltaicas são fabricadas principalmente com materiais semicondutores, sendo o silício o mais utilizado comercialmente. Quando a luz solar incide sobre esses materiais, os fótons transferem energia aos elétrons do semicondutor, gerando uma diferença de potencial elétrico que pode ser aproveitada na forma de corrente contínua. Os sistemas fotovoltaicos são compostos por diversos componentes que trabalham em conjunto para captar, converter e distribuir a energia solar. De acordo com (ZILLES *et al.*, 2012), os principais componentes incluem:

1. **Módulos ou painéis fotovoltaicos:** conjunto de células fotovoltaicas interconectadas e encapsuladas, responsáveis pela conversão da luz solar em energia elétrica.
2. **Inversores:** dispositivos eletrônicos que convertem a corrente contínua (CC) gerada pelos painéis em corrente alternada (CA), compatível com a rede elétrica e com a maioria dos equipamentos.
3. **Controladores de carga:** em sistemas com armazenamento, regulam o fluxo de energia entre os painéis, as baterias e as cargas, protegendo as baterias contra sobrecarga ou descarga excessiva.
4. **Sistemas de armazenamento:** geralmente compostos por baterias, permitem armazenar a energia gerada para uso posterior, especialmente em períodos sem sol ou de maior demanda.
5. **Estruturas de suporte:** responsáveis pela fixação e orientação adequada dos painéis solares, maximizando a captação da radiação solar.
6. **Cabeamento e proteções elétricas:** garantem a segurança e eficiência na transmissão da energia gerada.

No Brasil, a energia solar fotovoltaica tem apresentado crescimento expressivo nos últimos anos. Segundo dados da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Canal Solar, 2024), até 2024, o país ultrapassou a marca de 35 GW de potência instalada, considerando tanto as grandes usinas quanto os sistemas de geração distribuída (Canal Solar, 2024).

2.2 Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em três categorias principais, conforme suas características de conexão e operação:

Sistemas On-grid (Conectados à Rede): São sistemas conectados diretamente à rede elétrica pública, permitindo que o excedente de energia gerada seja injetado na rede, gerando créditos para o consumidor conforme as regras do Sistema de Compensação de Energia Elétrica estabelecido pela ANEEL. Estes sistemas não possuem armazenamento próprio, utilizando a rede como "bateria virtual" (NASCIMENTO, 2017).

Sistemas Off-grid (Isolados): Operam de forma independente da rede elétrica, sendo utilizados principalmente em locais remotos onde não há acesso à rede convencional. Necessitam obrigatoriamente de sistemas de armazenamento, geralmente baterias, para garantir o fornecimento de energia nos períodos sem geração solar (SILVA, 2015).

Sistemas Híbridos: Combinam características dos sistemas on-grid e off-grid, sendo conectados à rede elétrica mas também possuindo capacidade de armazenamento própria. Esta configuração permite maior autonomia energética e possibilita estratégias avançadas de gestão de energia, como o deslocamento de carga (loadshifting) e a redução de picos de demanda (peak shaving) (ZAMBONI et al., 2022).

Para o contexto do IFMG-Sabará, o sistema híbrido apresenta-se como a opção mais adequada, pois permite manter a conexão com a rede elétrica convencional, garantindo segurança no fornecimento, ao mesmo tempo em que possibilita o armazenamento estratégico de energia para uso nos horários de pico, quando as tarifas são mais elevadas.

2.3 SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

O armazenamento de energia representa um componente crucial para a expansão e otimização dos sistemas de energia renovável, especialmente os fotovoltaicos. Conforme destacado por (OLIVEIRA; DANTAS, 2021), os sistemas de armazenamento permitem superar a intermitência característica da geração solar, possibilitando o uso da energia em momentos diferentes daqueles em que foi gerada.

2.3.1 Tecnologias de Baterias Disponíveis no Mercado

Atualmente, diversas tecnologias de baterias estão disponíveis para aplicações em sistemas fotovoltaicos, cada uma com características específicas que as tornam mais ou menos adequadas para determinados contextos. As principais tecnologias incluem:

Baterias de Chumbo-Ácido: Representam a tecnologia mais tradicional e ainda amplamente utilizada devido ao seu custo relativamente baixo. Segundo (PINHO; GALDINO, 2014), estas baterias podem ser divididas em: - Baterias ventiladas ou abertas (VLA - Vented Lead Acid)

- Baterias seladas ou reguladas por válvula (VRLA - Valve Regulated Lead Acid) - Baterias de gel - Baterias AGM (Absorbent GlassMat)

Apesar do custo acessível, apresentam menor densidade energética, vida útil mais curta (geralmente entre 500 e 1.200 ciclos) e necessitam de manutenção mais frequente.

Baterias de Íon-Lítio: Representam a tecnologia em maior expansão atualmente, devido à sua alta densidade energética, maior vida útil (entre 2.000 e 5.000 ciclos) e menor necessidade de manutenção. Conforme (DUFO-LÓPEZ; BERNAL-AGUSTÍN, 2015), as baterias de íon-lítio podem atingir eficiências de ciclo completo de até 95%, significativamente superiores às de chumbo-ácido.

Entre as variantes de baterias de íon-lítio, destacam-se: - LiFePO₄ (Lítio Ferro Fosfato): Conhecidas por sua estabilidade térmica e segurança - LiCoO₂ (Lítio Cobalto Óxido): Alta densidade energética, mas menor estabilidade - LiMn₂O₄ (Lítio Manganês Óxido): Bom equilíbrio entre custo e desempenho - NMC (Níquel Manganês Cobalto): Amplamente utilizadas em aplicações estacionárias

Baterias de Fluxo: Tecnologia emergente que armazena energia em eletrólitos líquidos contidos em tanques externos. Segundo (CAMPOS; NASCIMENTO; RÜTHER, 2021), estas baterias oferecem vantagens como escalabilidade independente de potência e energia, vida útil extremamente longa (mais de 10.000 ciclos) e descarga profunda sem degradação. No entanto, ainda apresentam custos elevados e menor densidade energética.

Baterias de Sódio-Enxofre (NaS): Operam em temperaturas elevadas (300-350°C) e oferecem alta densidade energética e longa vida útil. São mais adequadas para aplicações de grande escala devido ao seu tamanho e requisitos operacionais específicos.

2.3.2 Comparação entre Diferentes Tecnologias

A escolha da tecnologia de armazenamento mais adequada para um sistema fotovoltaico depende de diversos fatores, incluindo requisitos técnicos, condições ambientais, disponibilidade de recursos e considerações econômicas. A Tabela 1 apresenta uma comparação entre as principais tecnologias de baterias considerando parâmetros relevantes para aplicações em sistemas fotovoltaicos.

A Tabela 1 apresenta uma comparação:

Para o contexto específico do IFMG-Sabará, considerando necessidade de armazenamento para injeção de energia no horário de pico, as baterias de íon-lítio, especificamente as de LiFePO₄, apresentam-se como uma opção tecnicamente viável. Conforme destacado por (ZAMBONI *et al.*, 2022), estas baterias oferecem um bom equilíbrio entre desempenho, vida útil, segurança e custo, sendo particularmente adequadas para aplicações em instituições de ensino, onde a segurança é um fator crítico.

Tabela 1 – Comparação entre tecnologias de baterias

Parâmetro	Chumbo Ácido	Íon-Lítio(LiFePO4)	Fluxo(Vanádio)
Densidade energética (Wh/kg)	30–50	90–120	10–30
Eficiência de ciclo (%)	70–85	90–95	70–80
Vida útil (ciclos)	500–1.200	2.000–5.000	>10.000
Profundidade de descarga recomendada (%)	50–60	80–90	100
Autodescarga mensal (%)	3–20	2–5	<1
Temperatura de operação (°C)	-20 a 50	-20 a 60	10 a 40
Custo relativo (\$/kWh)	Baixo	Médio-Alto	Alto
Manutenção	Moderada	Mínima	Mínima
Reciclabilidade	Alta	Média	Alta

Adaptado de (DUFO-LÓPEZ; BERNAL-AGUSTÍN, 2015) e (CAMPOS; NASCIMENTO; RÜTHER, 2021).

2.3.3 Dimensionamento de Sistemas de Armazenamento

O dimensionamento adequado do sistema de armazenamento é fundamental para garantir tanto a viabilidade técnica quanto econômica do projeto. Segundo (PINHO; GALDINO, 2014), o dimensionamento deve considerar diversos fatores, incluindo:

1. **Demanda energética:** Quantidade de energia que precisa ser armazenada para atender ao consumo durante o período desejado (no caso, o horário de pico).
2. **Profundidade de descarga (DoD):** Percentual da capacidade total da bateria que pode ser utilizado sem comprometer sua vida útil. Baterias de íon-lítio geralmente permitem DoD de 80-90%, enquanto baterias de chumbo-ácido são limitadas a 50-60%.
3. **Dias de autonomia:** Número de dias que o sistema deve operar sem recarga (geralmente considerando dias consecutivos com baixa geração solar).
4. **Eficiência do sistema:** Perdas energéticas nos processos de carga e descarga, conversão e transmissão.
5. **Temperatura de operação:** Afeta diretamente o desempenho e a vida útil das baterias.

A capacidade total do banco de baterias (em kWh) pode ser calculada pela seguinte fórmula:

$$C = (E \times D) / (DoD \times n)$$

Onde: - C: Capacidade do banco de baterias (kWh) - E: Energia diária necessária no horário de pico (kWh/dia) - D: Dias de autonomia - DoD: Profundidade de descarga máxima (em decimal) - n: Eficiência do sistema (em decimal)

Para o caso específico do IFMG-Sabará, considerando os dados de consumo no horário de pico extraídos das faturas de energia, o dimensionamento preciso será detalhado na seção

de metodologia, levando em conta as características específicas do campus e as tecnologias selecionadas.

2.4 TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

O sistema de tarifação de energia elétrica no Brasil é complexo e estruturado de forma a refletir os custos de geração, transmissão e distribuição, além de considerar variações temporais na demanda e na disponibilidade de recursos energéticos. Compreender esta estrutura é fundamental para identificar oportunidades de otimização e redução de custos através de sistemas fotovoltaicos com armazenamento.

2.4.1 Estrutura Tarifária Brasileira

Conforme estabelecido pela (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2017), a estrutura tarifária brasileira para consumidores do Grupo A (alta tensão, caso do IFMG-Sabará) é composta por:

Tarifa de Demanda: Valor cobrado pela disponibilidade de potência elétrica (em kW) contratada pelo consumidor, independentemente do consumo efetivo. Representa um custo fixo mensal baseado na demanda contratada.

Tarifa de Consumo: Valor cobrado pela energia efetivamente consumida (em kWh) durante o período de faturamento. Pode variar conforme o horário (ponta e fora de ponta) e o período do ano (seco ou úmido).

Tarifas de Ultrapassagem: Valores cobrados quando o consumidor excede a demanda contratada, geralmente com valores significativamente mais altos que a tarifa normal de demanda.

2.4.2 Horário de Ponta e Fora de Ponta

Uma característica fundamental da estrutura tarifária brasileira para consumidores do Grupo A é a diferenciação entre horários de ponta e fora de ponta:

Horário de Ponta (HP): Período de 3 horas consecutivas definido pela distribuidora local, geralmente entre 17h e 20h nos dias úteis. Durante este período, a tarifa de consumo é significativamente mais alta, refletindo o maior custo de atendimento à demanda do sistema elétrico nos momentos de pico.

Horário Fora de Ponta (HFP): Compreende as 21 horas restantes dos dias úteis e as 24 horas dos sábados, domingos e feriados nacionais. Apresenta tarifas de consumo mais baixas.

Segundo Antonioli et al. (2020), a diferença entre as tarifas de consumo no horário de ponta e fora de ponta pode chegar a 500% em algumas regiões do Brasil, o que cria uma

oportunidade significativa para estratégias de deslocamento de carga (load shifting) através de sistemas de armazenamento de energia.

2.4.3 *Bandeiras Tarifárias*

O sistema de bandeiras tarifárias, implementado pela (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2015), adiciona um componente variável às tarifas de energia, refletindo as condições de geração no Sistema Interligado Nacional (SIN):

Bandeira Verde: Condições favoráveis de geração, sem acréscimo na tarifa.

Bandeira Amarela: Condições menos favoráveis, com pequeno acréscimo na tarifa.

Bandeira Vermelha (Patamar 1 e 2): Condições mais custosas de geração, com acréscimos significativos na tarifa.

Bandeira de Escassez Hídrica: Criada em 2021 durante a crise hídrica, representa o patamar mais alto de acréscimo tarifário.

Este sistema aumenta a imprevisibilidade dos custos com energia elétrica, tornando ainda mais atrativa a implementação de sistemas de geração própria e armazenamento.

2.4.4 *Modalidade Tarifária Verde*

O IFMG-Sabará, conforme informações extraídas das faturas de energia, está enquadrado na modalidade tarifária THS Verde A4. Esta modalidade, segundo a (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2017), apresenta as seguintes características:

- Tarifa única para demanda de potência (kW), independentemente do horário
- Tarifas diferenciadas para consumo de energia (kWh) nos horários de ponta e fora de ponta
- Aplicável a consumidores conectados em tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV (subgrupo A4)

Na modalidade Verde, a tarifa de consumo no horário de ponta é significativamente mais alta que a tarifa fora de ponta, enquanto a tarifa de demanda é única. Esta estrutura cria uma oportunidade específica para a implementação de sistemas de armazenamento que permitam reduzir ou eliminar o consumo da rede durante o horário de ponta, mantendo a demanda contratada em um valor otimizado.

3 METODOLOGIA

3.1 INJEÇÃO DE ENERGIA EM HORÁRIO DE PICO

A injeção de energia em horário de pico, também conhecida como "peak shaving" ou redução de pico, consiste na utilização estratégica de fontes alternativas de energia para reduzir ou eliminar o consumo da rede elétrica convencional durante os períodos de maior demanda e tarifa mais elevada.

3.1.1 *Conceitos e Aplicações*

Segundo (OLIVEIRA; DANTAS, 2021), a injeção de energia em horário de pico pode ser implementada através de diferentes estratégias:

Autoconsumo direto: Utilização da energia gerada por fontes próprias (como painéis fotovoltaicos) diretamente no momento da geração, reduzindo o consumo da rede.

Deslocamento de carga (load shifting): Armazenamento da energia gerada em períodos de baixa demanda ou tarifa reduzida para utilização em períodos de alta demanda ou tarifa elevada.

Redução de pico (peak shaving): Utilização de fontes alternativas especificamente para reduzir os picos de demanda, mantendo o consumo da rede abaixo de determinados limites.

No contexto de sistemas fotovoltaicos com armazenamento, como o proposto para o IFMG-Sabará, a estratégia mais adequada é o deslocamento de carga, armazenando a energia gerada pelos painéis durante o dia (horário fora de ponta) para utilização no início da noite (horário de ponta).

3.1.2 *Benefícios Técnicos e Econômicos*

A implementação de sistemas de injeção de energia em horário de pico oferece diversos benefícios, tanto técnicos quanto econômicos:

Benefícios Econômicos: Redução significativa dos custos com energia elétrica, especialmente em tarifas horárias como a Verde - Proteção contra aumentos tarifários e bandeiras tarifárias - Potencial de redução da demanda contratada, gerando economia adicional - Valorização patrimonial da instituição

Benefícios Técnicos: Maior estabilidade para a rede elétrica local, reduzindo sobrecargas nos horários de pico - Melhoria na qualidade da energia utilizada, com redução de variações de tensão - Aumento da resiliência energética, com maior proteção contra interrupções no fornecimento - Redução de perdas na transmissão e distribuição de energia

Sistemas fotovoltaicos com armazenamento podem proporcionar economias significativas nos custos com energia elétrica em instituições comerciais e educacionais, dependendo do

dimensionamento adequado e das características tarifárias locais (OLIVEIRA; DANTAS, 2021; CAMPOS; NASCIMENTO; RÜTHER, 2021; Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2018).

3.1.3 *Desafios e Limitações*

Apesar dos benefícios, a implementação de sistemas de injeção de energia em horário de pico enfrenta alguns desafios e limitações:

Investimento inicial elevado: Os custos de aquisição e instalação de baterias ainda representam uma barreira significativa, embora estejam em tendência de redução.

Limitações de espaço: A instalação de bancos de baterias requer espaço adequado, com condições específicas de temperatura, ventilação e segurança

Complexidade técnica: A integração entre geração fotovoltaica, armazenamento e rede convencional requer sistemas de controle sofisticados e profissionais qualificados.

Vida útil das baterias: Mesmo as tecnologias mais avançadas têm vida útil limitada, exigindo substituição periódica e impactando a análise econômica de longo prazo.

Aspectos regulatórios: A legislação brasileira para sistemas de armazenamento ainda está em desenvolvimento, podendo haver mudanças que afetem a viabilidade de projetos futuros.

A superação destes desafios requer uma abordagem integrada, considerando não apenas os aspectos técnicos e econômicos, mas também questões ambientais, regulatórias e de segurança.

3.2 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

A análise de viabilidade econômica é um componente fundamental no processo decisório para implementação de sistemas fotovoltaicos com armazenamento. Esta análise permite avaliar se os benefícios econômicos gerados pelo sistema ao longo de sua vida útil justificam o investimento inicial requerido.

3.2.1 *Métodos de Análise de Investimentos*

Diversos métodos podem ser utilizados para avaliar a viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos, sendo os principais:

Payback Simples: Representa o tempo necessário para que o investimento inicial seja recuperado através das economias geradas pelo sistema. É calculado dividindo-se o investimento inicial pela economia anual proporcionada.

Payback Descontado: Similar ao payback simples, mas considera o valor do dinheiro no tempo, aplicando uma taxa de desconto às economias futuras. Oferece uma visão mais realista

do tempo de retorno do investimento.

Valor Presente Líquido (VPL) Calcula o valor presente de todos os fluxos de caixa futuros gerados pelo projeto, descontados a uma taxa apropriada, e subtrai o investimento inicial. Um VPL positivo indica que o projeto é economicamente viável.

Taxa Interna de Retorno (TIR): Representa a taxa de desconto que iguala o valor presente dos fluxos de caixa futuros ao investimento inicial. Se a TIR for superior à taxa mínima de atratividade (TMA), o projeto é considerado viável.

Custo Nivelado de Energia Calcula o custo por kWh da energia gerada pelo sistema ao longo de sua vida útil, considerando todos os custos envolvidos (investimento inicial, operação, manutenção, substituições). Permite comparação direta com as tarifas da concessionária.

Segundo (CAMPOS; NASCIMENTO; RÜTHER, 2021), para instituições públicas como o IFMG-Sabará, o payback descontado e o VPL são os indicadores mais relevantes, pois permitem avaliar a viabilidade considerando horizontes de longo prazo, compatíveis com a natureza perene destas instituições.

3.2.2 Custos Envolvidos na Implantação

Os custos de implantação de um sistema fotovoltaico com armazenamento podem ser divididos em várias categorias:

Custos de Equipamentos: Módulos fotovoltaicos - Inversores (grid-tie e/ou híbridos) - Baterias - Controladores de carga - Estruturas de suporte - Sistemas de proteção e monitoramento

Custos de Instalação: Projeto técnico - Mão de obra especializada - Cabeamento e conexões - Adequações elétricas - Obras civis (quando necessárias).

Custos Operacionais: Manutenção preventiva e corretiva - Substituição de componentes (especialmente baterias) - Seguros - Monitoramento e gestão do sistema.

Conforme levantamento realizado por (OLIVEIRA; DANTAS, 2021), os custos de equipamentos representam aproximadamente 70-80% do investimento total em sistemas fotovoltaicos com armazenamento, sendo as baterias o componente de maior impacto, podendo representar 40-60% do custo total do sistema.

3.2.3 Fatores que Influenciam o Retorno do Investimento

Diversos fatores podem influenciar o retorno do investimento em sistemas fotovoltaicos com armazenamento:

Fatores Técnicos: Irradiação solar local - Eficiência dos equipamentos - Dimensionamento adequado do sistema - Qualidade da instalação - Degradação dos componentes ao longo do tempo.

Fatores Econômicos: Tarifas de energia elétrica e sua evolução - Taxa de juros e inflação - Custos de manutenção e substituição - Vida útil dos componentes - Disponibilidade de financiamentos e incentivos.

Fatores Regulatórios: Políticas de incentivo à energia solar - Regulamentação do setor elétrico - Regras de compensação de energia - Tributação aplicável.

Segundo estudo realizado por (CAMPOS; NASCIMENTO; RÜTHER, 2021) em uma instituição de ensino superior no Ceará, o fator de maior impacto no retorno do investimento é a diferença entre as tarifas nos horários de ponta e fora de ponta. Quanto maior esta diferença, mais atrativa se torna a implementação de sistemas de armazenamento para deslocamento de carga.

Para o caso específico do IFMG-Sabará, considerando sua modalidade tarifária (THS Verde A4) e o histórico de consumo, a análise detalhada de viabilidade econômica será apresentada na seção de resultados, contemplando diferentes cenários e tecnologias.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

O Instituto Federal de Minas Gerais - Campus Sabará está localizado na região metropolitana de Belo Horizonte, no município de Sabará, Minas Gerais. Inaugurado em 2010, o campus atende aproximadamente 1200 alunos distribuídos em cursos técnicos, de graduação e pós-graduação, com foco nas áreas de Controle e Automação, Logística, Administração e Informática.

A estrutura física do campus é composta por salas administrativas, salas de aula, laboratórios, biblioteca, auditório e áreas de convivência, totalizando aproximadamente 8.000 m² de área construída. O funcionamento ocorre nos três turnos (manhã, tarde e noite), com maior concentração de atividades no período diurno.

3.3.1 Características Climáticas e de Irradiação Solar

O município de Sabará está situado a uma latitude de 19°53'26"Sul e longitude de 43°48'26"Oeste, com altitude média de 700 metros. O clima da região é classificado como tropical de altitude (Cwa segundo a classificação de Köppen), caracterizado por verões quentes e úmidos e invernos secos e amenos.

Segundo dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar a região apresenta índices de irradiação solar global horizontal entre 5,0 e 5,5 kWh/m²/dia, com média anual de aproximadamente 5,2 kWh/m²/dia. A Figura 1 apresenta a distribuição mensal da irradiação solar na região, evidenciando a sazonalidade característica, com maiores índices nos meses de primavera e verão (setembro a março) e menores nos meses de outono e inverno (abril a agosto).

Esta característica de irradiação solar favorece a implementação de sistemas fotovoltaicos, proporcionando condições adequadas para geração de energia ao longo de todo o ano, com picos

de produção coincidindo com os períodos de maior demanda energética no campus, devido ao uso intensivo de sistemas de climatização nos meses mais quentes.

3.3.2 *Sistema Fotovoltaico Existente*

O campus IFMG-Sabará possui um sistema fotovoltaico instalado desde 2019, composto por aproximadamente 100 módulos fotovoltaicos de 400 Wp cada, totalizando uma potência instalada próxima de 40 kWp. O sistema opera na modalidade conectada à rede elétrica (on-grid), sem utilização de armazenamento em baterias, sendo toda a energia gerada consumida instantaneamente ou compensada junto à concessionária por meio do sistema de compensação de energia elétrica.

Os módulos estão instalados sobre o telhado metálico do bloco principal, com orientação norte e inclinação de aproximadamente 20°, próxima à latitude local, o que otimiza a captação da radiação solar ao longo do ano. A área total ocupada pelos painéis é de aproximadamente 220 m² desde sua instalação, o sistema tem sido monitorado continuamente.

3.4 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

3.4.1 *Levantamento do Consumo Energético do Campus*

Para caracterizar adequadamente o perfil de consumo energético do campus IFMG-Sabará, foram analisadas as faturas de energia elétrica dos últimos 12 meses, fornecidas pela administração do campus. As faturas, emitidas pela concessionária local (CEMIG), contêm informações detalhadas sobre:

- Consumo de energia ativa nos horários de ponta (HP) e fora de ponta (HFP)
- Demanda registrada e contratada
- Valores tarifários aplicados
- Impostos e encargos
- Histórico de consumo

Adicionalmente, foram coletados dados do sistema de gestão energética do campus, que registra o consumo em intervalos de 15 minutos, permitindo uma análise mais granular do perfil de carga ao longo do dia. Estes dados são particularmente relevantes para identificar os padrões de consumo durante o horário de ponta (17h às 20h nos dias úteis) e dimensionar adequadamente o sistema de armazenamento.

3.4.2 *Análise das Faturas de Energia*

A análise das faturas de energia revelou que o campus está enquadrado na modalidade tarifária THS Verde A4, com as seguintes características:

Para fatura ver apêndice L

- Demanda contratada: 88 kW
- Demanda média registrada: 39 kW (HFP) e 35 kW (HP)
- Consumo médio mensal: 7.350 kWh (HFP) e 1.400 kWh (HP)
- Tarifa média aplicada (com impostos): R\$ 0,57/kWh (HFP) e R\$ 2,87/kWh (HP)

A análise detalhada dos custos revelou que, apesar de representar apenas cerca de 16% do consumo total de energia, o consumo no horário de ponta corresponde a aproximadamente 35% do valor total da fatura, evidenciando o potencial de economia através da implementação de um sistema de armazenamento para injeção de energia neste período específico.

Os resultados obtidos demonstram que o consumo de energia durante o horário de ponta apresenta elevada relevância econômica para o campus. Apesar de representar uma parcela relativamente pequena do consumo energético total, o elevado valor da tarifa aplicada nesse período resulta em participação significativa no custo mensal de energia elétrica. Tal característica justifica a adoção de estratégias de armazenamento energético e deslocamento de carga, permitindo utilizar energia armazenada durante o horário de ponta e reduzir substancialmente os custos operacionais da instituição.

3.4.3 *Monitoramento da Geração Fotovoltaica Existente*

Os dados de geração do sistema fotovoltaico existente foram coletados através do sistema de monitoramento instalado, que registra a produção em intervalos de 5 minutos. Estes dados foram consolidados em médias diárias e mensais para análise da sazonalidade e do padrão de geração ao longo do dia.

A análise dos dados de geração dos últimos cinco anos (2019-2024) revelou:

- Geração média anual: 45.000 kWh
- Geração média diária: 123 kWh
- Fator de capacidade médio: 13%
- Produtividade média: 1.136 kWh/kWp/ano

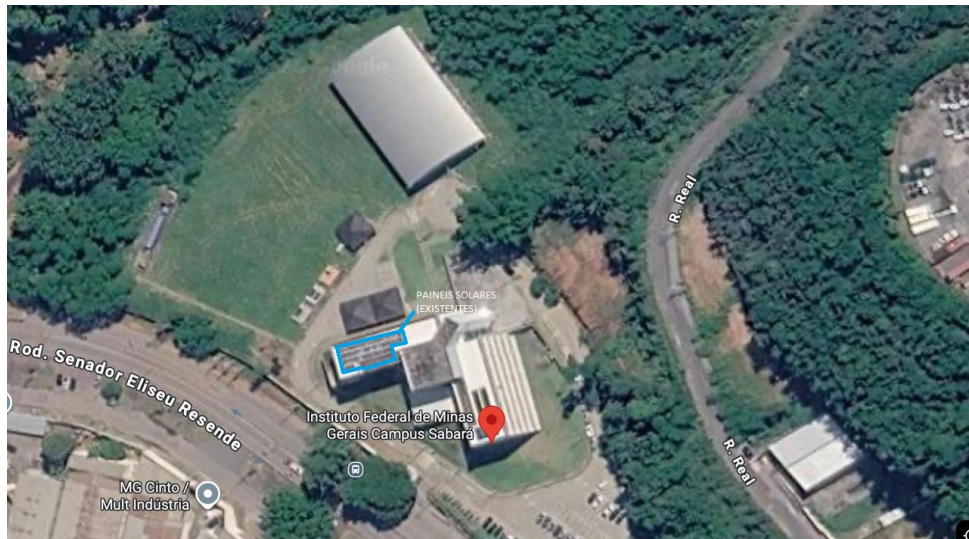


Figura 1 – Foto do campus IFMG Sabará via Satélite

Fonte: Google Earth

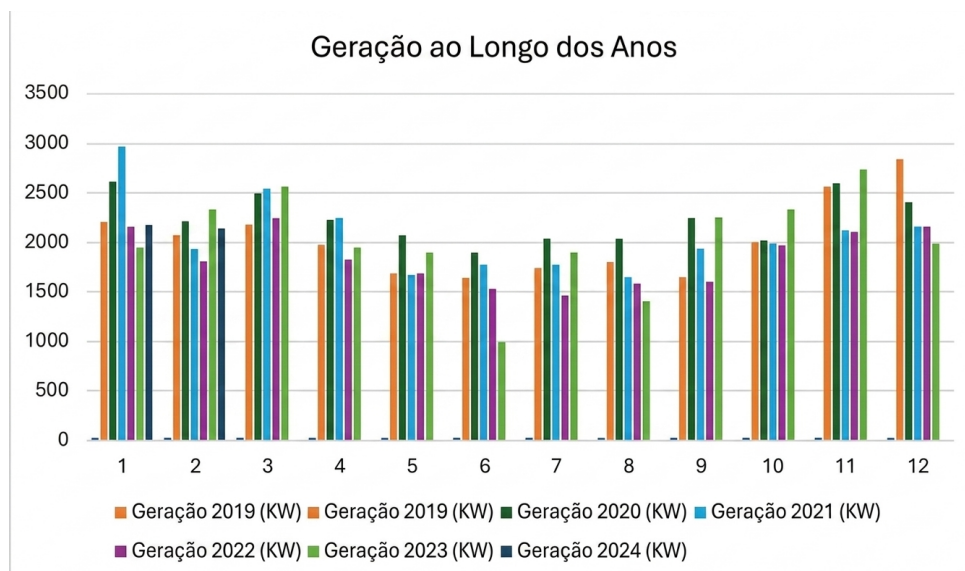


Figura 2 – Gráfico geração dos últimos cinco anos (2019-2024)

Fonte: IFMG Sabará

Estes valores estão alinhados com os parâmetros típicos para sistemas fotovoltaicos na região, considerando as características de irradiação local e a configuração do sistema instalado.

Adicionalmente, foi analisado o perfil de geração ao longo do dia, identificando que a produção se concentra entre 8h e 16h, com pico por volta das 12h. Esta característica é fundamental para o dimensionamento do sistema de armazenamento, uma vez que a energia gerada durante o dia precisará ser armazenada para utilização no horário de ponta (17h às 20h).

3.5 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

O dimensionamento do sistema proposto foi realizado considerando o objetivo principal de zerar o consumo de energia da rede durante o horário de ponta, através da injeção de energia armazenada em baterias. O processo de dimensionamento seguiu as etapas descritas a seguir.

3.5.1 *Cálculo da Demanda Energética no Horário de Pico*

Com base nos dados de consumo extraídos das faturas de energia e do sistema de gestão energética, foi calculada a demanda energética média no horário de pico:

- Consumo médio mensal no horário de ponta: 1.400 kWh
- Número médio de dias úteis por mês: 22 dias
- Consumo médio diário no horário de ponta: $1.400 \text{ kWh} \div 22 \text{ dias} = 63,64 \text{ kWh/dia}$
- Duração do horário de ponta: 3 horas (17h às 20h)
- Potência média durante o horário de ponta: $63,64 \text{ kWh} \div 3 \text{ h} = 21,21 \text{ kW}$

Considerando um fator de segurança de 20% para acomodar variações sazonais e picos de demanda, a potência de projeto foi definida como:

$$\text{Potência de projeto} = 21,21 \text{ kW} \times 1,2 = 25,45 \text{ kW}$$

Esta potência representa a capacidade mínima que o sistema de armazenamento deve ser capaz de fornecer durante o horário de ponta para atender completamente à demanda do campus neste período.

3.5.2 *Dimensionamento dos Painéis Fotovoltaicos*

Para dimensionar a expansão do sistema fotovoltaico existente, foi considerada a necessidade de gerar energia suficiente para carregar o banco de baterias diariamente, além de contribuir para o consumo regular do campus. O cálculo foi realizado utilizando a seguinte metodologia:

1. Energia diária necessária para o horário de ponta: 63,64 kWh/dia
2. Considerando a eficiência do sistema de armazenamento ($n = 85\%$):
3. Energia de carregamento = $63,64 \text{ kWh} \div 0,85 = 74,87 \text{ kWh/dia}$
4. Irradiação solar média diária na região: 5,2 kWh/m²/dia
5. Eficiência dos módulos fotovoltaicos: 21,1% (conforme especificação do fabricante)

6. Fator de desempenho do sistema (Performance Ratio - PR): 0,75 (considerando perdas por temperatura, sujeira, cabeamento, etc.)

A potência adicional necessária foi calculada pela fórmula:

$$P = E \div (HSP \times PR)$$

Onde: - P: Potência de pico adicional necessária (kWp) - E: Energia diária necessária (kWh/dia) - HSP: Horas de Sol Pleno (numericamente igual à irradiação em kWh/m²/ dia) - PR: Performance Ratio

Substituindo os valores:

$$P = 74,87 \text{ kWh/dia} \div (5,2 \text{ h/dia} \times 0,75) = 19,2 \text{ kWp}$$

Considerando módulos fotovoltaicos de 405 Wp (conforme especificação do fabricante Trina Solar), o número de módulos adicionais necessários seria:

Número de módulos = $19,2 \text{ kWp} \div 0,405 \text{ kWp/módulo} = 47,4$ módulos Arredondando para o próximo número inteiro, seriam necessários 48 módulos adicionais. No entanto, considerando a disponibilidade a configuração do inversor, optou-se por uma expansão com 19 módulos de 405 Wpp, totalizando 7,7 kWp adicionais.

O dimensionamento energético realizado indicou a necessidade de aproximadamente 48 módulos fotovoltaicos para suprir integralmente a energia requerida para o carregamento diário do banco de baterias. Entretanto, em função das limitações técnicas relacionadas à configuração elétrica adotada, à compatibilidade com os equipamentos selecionados e às condições de integração ao sistema existente, optou-se pela utilização de 19 módulos fotovoltaicos adicionais. Dessa forma, a geração proveniente desse novo arranjo atua como complemento energético ao sistema de armazenamento, não sendo suficiente para realizar integralmente o carregamento diário do banco de baterias apenas por meio da geração fotovoltaica adicional, além de que se utilizando 100% do sistema de módulos existentes não existem motivos para um projeto geral de instalação.

A escolha estratégica pelo reaproveitamento de exatamente 29 módulos da planta fotovoltaica preexistente justifica-se pelo perfeito acoplamento elétrico e dimensional necessário para atingir a potência complementar do projeto. Como cada um desses painéis remanescentes possui uma potência nominal de 400 Wp, esse subconjunto entrega uma potência instalada de 11,60 kWp. Somada à expansão de 7,70 kWp proveniente dos novos módulos, a configuração atinge o patamar ideal de 19,30 kWp de potência total dedicada ao sistema de armazenamento. Essa engenharia de reaproveitamento não apenas otimiza o espaço físico e a infraestrutura de fixação já disponível no campus, mas também reduz o custo de capital inicial (CAPEX) da proposta, provando que a transição para o sistema híbrido com suporte a baterias (*load shifting*) pode ser feita de forma economicamente viável e sustentável.

Potência dos Módulos Reaproveitados (29 un.) = $29 \times 400 \text{ Wp} = 11.600 \text{ Wp} \rightarrow \mathbf{11,60 \text{ kWp}}$

Potência da Expansão Proposta (19 un.) = $19 \times 405 \text{ Wp} = 7.695 \text{ Wp} \rightarrow \mathbf{7,70 \text{ kWp}}$

Potência Total do Arranjo Dedicado = $11,60 \text{ kWp} + 7,70 \text{ kWp} = \mathbf{19,30 \text{ kWp}}$

Esta capacidade adicional, resultará em uma potência adicional instalada de 7,7 kWp, suficiente para atender à demanda de carregamento das baterias e ainda contribuir para a redução do consumo regular do campus.

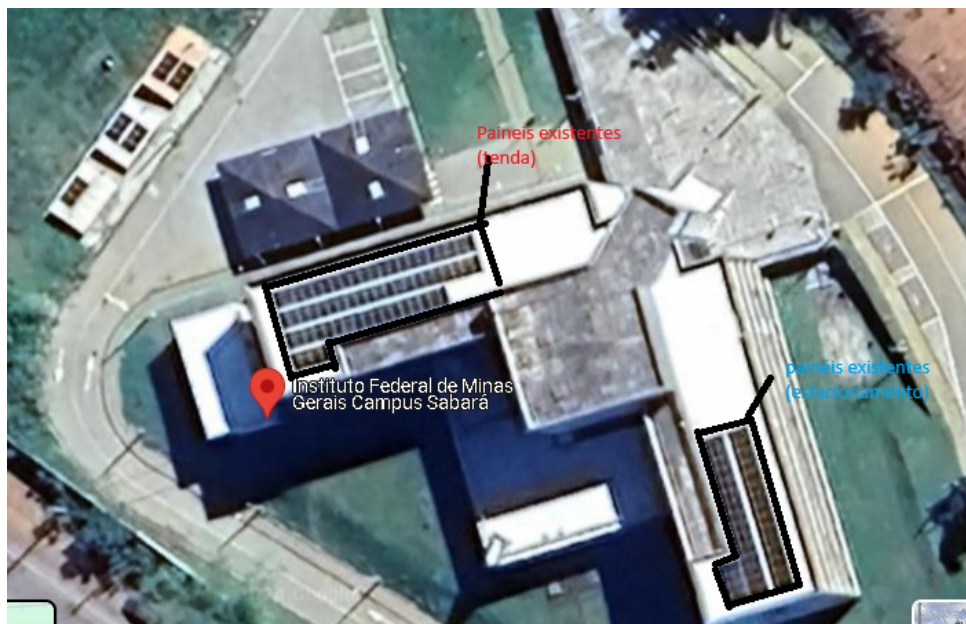


Figura 3 – Imagem geral vista superior

Fonte: Google Earth



Figura 4 – Painéis solares existentes (estacionamento)

Fonte: Elaborado pelo autor



Figura 5 – Painéis solares existentes (tenda)

Fonte: Elaborado pelo autor

3.5.3 Dimensionamento do Banco de Baterias

O dimensionamento do banco de baterias foi realizado considerando a necessidade de armazenar energia suficiente para atender à demanda do campus durante o horário de ponta, com uma margem de segurança para garantir a vida útil das baterias.

Adotou-se uma profundidade de descarga (DoD) de 80%, em vez do limite máximo de 95% permitido pelo fabricante, visando aumentar a vida útil e a confiabilidade operacional do banco de baterias. Embora a bateria seja capaz de operar com descargas mais profundas, ciclos de descarga elevados aceleram a degradação dos componentes eletroquímicos internos, reduzindo sua capacidade ao longo do tempo.

De acordo com as especificações do fabricante, para uma condição de operação com DoD de 80

A capacidade total do banco de baterias foi calculada pela fórmula:

$$C = (E \times D) \div (\text{DoD} \times n)$$

Onde: - C: Capacidade do banco de baterias (kWh) - E: Energia diária necessária (kWh/dia) - D: Dias de autonomia - DoD: Profundidade de descarga máxima (em decimal) - n: Eficiência do sistema de conversão (em decimal)

Substituindo os valores:

$$C = (63,64 \text{ kWh/dia} \times 1,15) \div (0,8 \times 0,95) = 96,37 \text{ kWh}$$

Considerando baterias de íon-lítio LiFePO₄ com capacidade unitária de 12 kWh (conforme especificação do fabricante Unicoba), o número de baterias necessárias seria:

$$\text{Número de baterias} = 96,37 \text{ kWh} \div 12 \text{ kWh/bateria} = 8,03 \text{ baterias}$$

Arredondando para o próximo número inteiro, seriam necessárias 9 baterias. Essa configuração, além de cobrir com margem a capacidade de projeto calculada (R\$96,37 kWh), *permite atender demand* operando com uma profundidade de descarga (DoD) de aproximadamente 59%. Esse regime de operação mais brando é altamente benéfico para a tecnologia de lítio escolhida, pois reduz significativamente o estresse térmico e químico nas células, resultando no prolongamento da vida útil útil do banco de baterias e postergando a necessidade de substituição dos ativos.

3.5.4 Dimensionamento dos Inversores

Para o sistema proposto, foram considerados inversores híbridos, capazes de gerenciar tanto a geração fotovoltaica quanto o fluxo de energia das baterias. O dimensionamento foi realizado considerando:

1. Potência de pico do sistema fotovoltaico adicional: 7,7 kWp
2. Potência máxima de descarga das baterias: 25,45 kW
3. Fator de dimensionamento do inversor (FDI): 0,8 a 1,2 (conforme recomendações técnicas)

Para a parte fotovoltaica, a potência mínima do inversor seria:

$$\text{Potência mínima do inversor (FV)} = 7,7 \text{ kWp} \times 0,8 = 6,16 \text{ kW}$$

Para a parte de descarga das baterias, a potência mínima do inversor seria igual à potência máxima de descarga:

$$\text{Potência mínima do inversor (baterias)} = 25,45 \text{ kW}$$

Considerando a necessidade de atender a ambos os requisitos e a disponibilidade de equipamentos no mercado, foi selecionado o inversor Huawei SUN2000 6 Kw para a parte fotovoltaica e o inversor SMA Sunny Island 8 Kw para o gerenciamento das baterias, em uma configuração trifásica com três unidades, totalizando 24 kW de capacidade de conversão para as baterias.

A potência requerida para o sistema de armazenamento foi estimada em 25,45 kW após a aplicação de um fator de segurança de 20% sobre a demanda máxima prevista durante o horário de ponta. A configuração selecionada utiliza três inversores SMA Sunny Island de 8 kW cada, totalizando 24 kW de potência nominal disponível.

Embora a potência instalada seja aproximadamente 5,7% inferior ao valor obtido pelo critério de dimensionamento conservador, essa diferença é considerada aceitável sob o ponto de vista técnico. O fator de segurança adotado tem como objetivo contemplar condições extremas de operação e eventuais variações de carga, não representando necessariamente a demanda efetiva observada durante todo o período de funcionamento do sistema.

Além disso, a análise do histórico de consumo do IFMG Campus Sabará demonstra que a demanda média registrada durante o horário de ponta permanece abaixo do valor máximo utilizado no dimensionamento, indicando que a potência disponibilizada pelos inversores é suficiente para atender à maior parte das condições operacionais previstas. Dessa forma, a solução proposta apresenta compatibilidade com o perfil de carga da instalação, mantendo a capacidade de execução da estratégia de peak shaving e redução dos custos associados ao consumo de energia no horário de ponta.

A escolha dessa configuração também contribui para a otimização técnico-econômica do projeto, evitando o sobredimensionamento dos equipamentos e reduzindo o investimento inicial sem comprometer significativamente o desempenho esperado do sistema.

Esta configuração permite atender adequadamente tanto à geração fotovoltaica adicional quanto à demanda de potência durante o horário de ponta, com margem de segurança para picos de consumo.

3.5.5 Dimensionamento dos Cabos e Componentes Auxiliares

O dimensionamento dos condutores elétricos do circuito de corrente contínua (CC) que conectam o arranjo fotovoltaico ao inversor deve atender simultaneamente a dois critérios fundamentais estabelecidos pelas normas ABNT NBR 16690 e ABNT NBR 5410: o critério da capacidade de condução de corrente (ampacidade) e o critério do limite máximo de queda de

tensão.

Para este dimensionamento, considera-se o arranjo de expansão composto por 19 módulos de 405 W, configurados em 2 strings paralelas (uma contendo 10 módulos em série e outra contendo 9 módulos em série) conectadas às entradas MPPT do inversor. Os parâmetros elétricos do módulo utilizados como base são a corrente de curto-circuito ($I_{sc} = 12,44$ A) e a corrente de máxima potência ($I_{mp} = 11,73$ A).

3.5.5.1 Critério da Capacidade de Condução de Corrente

De acordo com as diretrizes da NBR 16690, os condutores de uma *string* individual devem ser dimensionados para suportar uma corrente de projeto (I_b) que contemple as condições extremas de máxima irradiância local. Aplica-se, portanto, um fator de segurança de 1,25 sobre a corrente de curto-circuito do módulo (I_{sc}):

$$I_b = 1,25 \times I_{sc} \quad (3.1)$$

$$I_b = 1,25 \times 12,44 \text{ A} = 15,55 \text{ A} \quad (3.2)$$

Adotando o método de instalação em eletrodutos aparentes sobre parede (Método B1) e utilizando cabos de cobre específicos para sistemas fotovoltaicos com isolamento em XLPE/EPR (temperatura de operação de 90°C), a capacidade de condução de corrente tabelada (I_z) para o condutor de 4 mm² é de 40 A.

Aplicando os fatores de correção de agrupamento ($f_g = 0,80$ para dois circuitos no mesmo conduto) e de temperatura ($f_t = 0,91$ para temperatura ambiente de 35°C):

$$I_{z,\text{corrigido}} = I_z \times f_g \times f_t \quad (3.3)$$

$$I_{z,\text{corrigido}} = 40 \text{ A} \times 0,80 \times 0,91 = 29,12 \text{ A} \quad (3.4)$$

Como $I_{z,\text{corrigido}} \geq I_b$ (29,12 A $\geq$ 15,55 A), a seção nominal de 4 mm² atende plenamente ao critério da capacidade de condução de corrente para cada série de módulos.

3.5.5.2 Critério da Queda de Tensão

A recomendação normativa para circuitos CC fotovoltaicos é que a queda de tensão máxima ($\Delta V\%$) entre o arranjo e o inversor não ultrapasse 1%, minimizando as perdas térmicas por efeito Joule.

Visto que os módulos estão associados em série, a tensão da *string* mais longa (V_{string}) é calculada pelo somatório das tensões de máxima potência ($V_{mp} = 34,50$ V) dos seus 10 módulos:

$$V_{\text{string}} = 10 \times 34,50 \text{ V} = 345,00 \text{ V} \quad (3.5)$$

Considerando a corrente de máxima potência que circula pela série ($I_{mp} = 11,73 \text{ A}$), o comprimento total do circuito (ida e volta) de $L = 60$ metros (distância linear de 30 metros), e a condutividade do cobre a 90°C ($\rho = 0,023 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$), a queda de tensão absoluta para o cabo de 4 mm^2 é dada por:

$$\Delta V = \frac{2 \times \rho \times L_{\text{linear}} \times I_{mp}}{S} \quad (3.6)$$

$$\Delta V = \frac{2 \times 0,023 \times 30 \times 11,73}{4} = \frac{16,187}{4} = 4,047 \text{ V} \quad (3.7)$$

Calculando a queda de tensão percentual em relação à tensão total da associação em série:

$$\Delta V\% = \left(\frac{\Delta V}{V_{\text{string}}} \right) \times 100 \quad (3.8)$$

$$\Delta V\% = \left(\frac{4,047 \text{ V}}{345,00 \text{ V}} \right) \times 100 = 1,17\% \quad (3.9)$$

Dado que a queda de tensão calculada de $1,17\%$ excede o limite máximo recomendado de 1% , faz-se necessário recalculer o circuito adotando a seção nominal imediatamente superior, correspondente a um condutor de 6 mm^2 :

$$\Delta V_{6\text{mm}^2} = \frac{2 \times 0,023 \times 30 \times 11,73}{6} = \frac{16,187}{6} = 2,698 \text{ V} \quad (3.10)$$

$$\Delta V\%_{6\text{mm}^2} = \left(\frac{2,698 \text{ V}}{345,00 \text{ V}} \right) \times 100 = 0,78\% \quad (3.11)$$

Como a queda de tensão de $0,78\%$ obtida para a seção de 6 mm^2 é inferior ao patamar regulamentar de 1% , essa seção transversal é validada e selecionada para o circuito CC do projeto. A Tabela 2 sintetiza os parâmetros do circuito dimensionado.

Tabela 2 – Resumo das especificações calculadas para o circuito CC (distância linear de 30m).

Parâmetro do Circuito CC	Valor Calculado / Especificado	Status / Norma
Configuração do Arranjo	2 Strings Paralelas (1x10 e 1x9)	Corrigido Série
Tensão Nominal da Série (V_{string})	345,00 V	Validado
Corrente de Projeto (I_b)	15,55 A	NBR 16690
Seção do Condutor Adotada	6,0 mm²	Selecionado
Queda de Tensão Percentual ($\Delta V\%$)	0,78%	< 1,0% (Aprovado)

3.6 PROJETO GERAL

3.6.1 *Lista de Cabos*

Função Técnica: Relaciona de forma sistemática ou Lista de forma sistemática todas as conexões elétricas do sistema, especificando a identificação (tag), os pontos de origem e destino, o tipo de isolamento, a seção nominal dos condutores e o comprimento estimado.

Importância no Projeto: Essencial para o planejamento físico-financeiro, pois viabiliza o levantamento preciso de custos de condutores e evita o desperdício de material. No âmbito de execução, orienta de forma inequívoca as equipes de campo durante a etapa de lançamento e conexão, mitigando erros de fiação, para lista de cabos do projeto ver Apêndice A.

3.6.2 *Planta de Locação*

Função Técnica: Representação gráfica que estabelece as coordenadas geográficas ou marcos topográficos exatos para o posicionamento físico das estruturas, edificações, painéis e grandes equipamentos no terreno ou na área industrial.

Importância no Projeto: É o documento que conecta o projeto virtual ao espaço físico real. No âmbito de engenharia, orienta a equipe de engenharia civil e de montagem no momento do comissionamento geográfico da obra, garantindo que nenhum equipamento seja instalado fora dos limites permitidos, respeitando os recuos de segurança normativos e o fluxo logístico da planta, para planta de locação do projeto ver Apêndice G.

3.6.3 *Malha de Aterramento*

Função Técnica: Dimensionamento e disposição geométrica da malha de terra, especificando os eletrodos (hastes), os condutores de equipotencialização e as conexões com as massas metálicas e estruturas.

Importância no Projeto: Documento crítico para a mitigação de riscos à integridade física de operadores (proteção contra tensões de toque e passo). Tecnicamente, assegura a integridade dos equipamentos ao oferecer um caminho de baixa impedância para o escoamento de correntes de falta e descargas atmosféricas, além de estabilizar a referência de tensão do sistema, para malha de aterramento do projeto ver Documento Apêndice H.

3.6.4 *Folha de Dados*

Função Técnica: Consolidação das especificações construtivas, nominais, elétricas e mecânicas de componentes e equipamentos críticos, além de ser utilizado na hora da compra dos equipamentos selecionados para o projeto.

Importância no Projeto: Funciona como o memorial de validação técnica do projeto. Garante que os dispositivos adotados atendam rigorosamente aos critérios de cálculo estabelecidos na metodologia, servindo também como documento de referência para o setor de suprimentos e futuras manutenções, para folhas de dados dos equipamentos utilizados no projeto ver docs. Apêndice B; Apêndice C; Apêndice D; Apêndice E.

3.6.5 Diagrama Funcional

Função Técnica: Representação esquemática detalhada dos circuitos de comando, sinalização, intertravamento e proteção, evidenciando a lógica operacional do sistema.

Importância no Projeto: Constitui o núcleo lógico da automação ou do acionamento elétrico. É o documento fundamental para a montagem de painéis, testes de aceitação em fábrica (TAF) e diagnóstico de falhas em ambiente operacional, pois traduz graficamente a sequência de eventos do circuito, para diagrama funcional do projeto ver Apêndice I.

3.6.6 Lista de Materiais

Função Técnica: Catálogo quantitativo e qualitativo de todos os componentes, dispositivos, insumos e acessórios necessários para a materialização do projeto, associados aos seus respectivos códigos de fabricantes ou normas específicas.

Importância no Projeto: Elemento indispensável para a análise de viabilidade econômica do TCC. Permite a elaboração do orçamento global da obra, o planejamento logístico de compras e assegura a padronização dos componentes utilizados na montagem, para lista de materiais do projeto ver Apêndice F.

3.6.7 Detalhes Típicos

Função Técnica: Desenhos detalhados e padronizados que demonstram o método construtivo e a interface de montagem física de equipamentos e instrumentos de campo.

Importância no Projeto: Racionaliza o tempo de engenharia por meio da padronização de soluções repetitivas e elimina a ambiguidade na fase de instalação. Garante que a montagem mecânica e o suporte de campo sigam rigorosamente as normas técnicas vigentes e as premissas de projeto, para detalhes típicos do projeto ver Apêndice J.

3.6.8 Modelo 3D

Função Técnica: Maquete virtual tridimensional integrada que consolida todas as geometrias espaciais dos componentes, estruturas e infraestruturas do projeto.

Importância no Projeto: Atua como ferramenta de validação espacial através da análise de interferências (clash detection), prevenindo retrabalhos onerosos na fase de montagem física. No

contexto acadêmico, eleva o rigor técnico do trabalho ao demonstrar o domínio de ferramentas de engenharia digital moderna e facilitar a visualização espacial pela banca examinadora.

A Figura 6 apresenta A modelagem 3D da região.

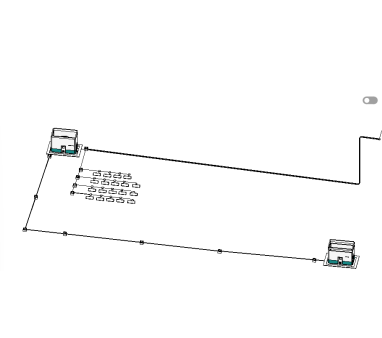


Figura 6 – Vista Isométrica

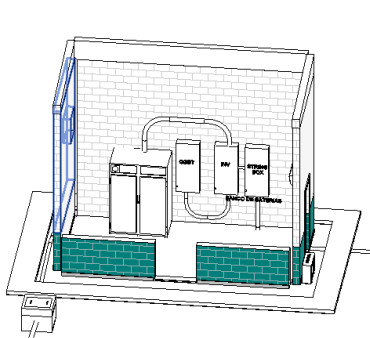


Figura 7 – Vista Isométrica

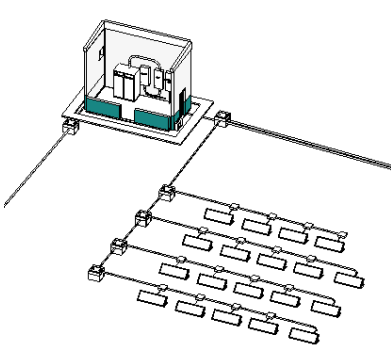


Figura 8 – Vista Isométrica

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.7 ANÁLISE ECONÔMICA

A análise econômica do sistema proposto foi realizada utilizando metodologias consagradas de avaliação de investimentos, considerando os custos de implementação, a economia gerada e o tempo de retorno do investimento.

3.7.1 Levantamento de Custos dos Equipamentos

Os custos dos principais equipamentos foram levantados através de pesquisa de mercado com fornecedores especializados entre 2024 e 2025, considerando produtos de qualidade comprovada e garantias adequadas. A Tabela 2 apresenta o resumo dos custos levantados.

Tabela 3 – Custos dos principais equipamentos do sistema proposto

Item	Descrição	Quantidade	Custo Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
1	Módulo fotovoltaico Trina Solar 405 Wp	19	1.080,00	20.520,00
2	Bateria Unicoba LiFePO4 12 kWh	9	24.000,00	216.000,00
3	Inversor Huawei SUN2000 6 Kw	1	14.000,00	14.000,00
4	Inversor SMA Sunny Island 8 Kw	3	15.500,00	46.500,00
5	Cabos e conectores (150m)	1	5.250,00	5.250,00
6	Estruturas de suporte	19	250,00	4.750,00
7	Quadros e proteções	1	8.500,00	8.500,00
8	Sistema de monitoramento	1	3.500,00	3.500,00
Total de Equipamentos				247.020,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.7.2 Cálculo do Investimento Total

Além dos custos dos equipamentos, foram considerados os custos de projeto, instalação, comissionamento e contingências, conforme detalhado na Tabela 3.

Tabela 4 – Composição do investimento total

Item	Descrição	Valor (R\$)	Percentual
1	Equipamentos	247.020,00	82,3%
2	Projeto e engenharia	12.000,00	4,0%
3	Instalação e mão de obra	25.000,00	8,3%
4	Comissionamento e testes	6.000,00	2,0%
5	Contingências	10.000,00	3,3%
Investimento Total		300.020,00	100,0%

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.7.3 Cálculo da Economia Mensal Projetada

A economia mensal gerada pelo sistema proposto foi estimada considerando:

1. Redução do consumo de energia da rede no horário de ponta
2. Redução do consumo de energia da rede no horário fora de ponta devido à geração fotovoltaica adicional

Potencial redução da demanda contratada:

Com base nos dados de consumo e nas tarifas aplicadas, a economia mensal estimada é apresentada na Tabela 4.

Tabela 5 – Estimativa de economia mensal

Item	Descrição	Valor Mensal (R\$)
1	Economia no consumo HP	4.022,81
2	Economia na demanda	0,00*
Economia Total Mensal		4.022,81

*Não houve redução na demanda contratada.

Fonte: Elaborado pelo autor.

*Nota: Optou-se por não considerar redução na demanda contratada inicialmente, por questões de segurança operacional.

Considerando a economia mensal estimada, a economia anual seria de R\$ 63.353,16.

3.7.4 Cálculo do Tempo de Retorno do Investimento (Payback)

O tempo de retorno do investimento foi calculado utilizando tanto o método do payback simples quanto o payback descontado, que considera o valor do dinheiro no tempo.

Payback Simples: $\text{Payback Simples} = \text{Investimento Total} \div \text{Economia Anual}$

Payback Simples = R\$ 300.020,00 ÷ R\$ 63.353,16 = 4,74 anos

Payback Descontado: Para o cálculo do payback descontado, foi considerada uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 8% ao ano, correspondente

aproximadamente à taxa SELIC atual. O fluxo de caixa foi projetado para 25 anos, considerando:

- Degradação anual da geração fotovoltaica: 0,7%
- Aumento anual médio das tarifas de energia: 4,0%
- Substituição das baterias a cada 10 anos
- Custos de manutenção anual: 1% do investimento inicial

Com estes parâmetros, o payback descontado calculado foi de 6,2 anos.

3.7.5 Análise de Sensibilidade

Para avaliar a robustez do projeto frente a variações nos principais parâmetros, foi realizada uma análise de sensibilidade, considerando cenários otimistas e pessimistas para:

1. Custo de aquisição das baterias ($\pm 20\%$)
2. Tarifas de energia ($\pm 15\%$)
3. Taxa de aumento anual das tarifas (2% a 6%)
4. Vida útil das baterias (8 a 12 anos)

Os resultados da análise de sensibilidade serão apresentados na seção de resultados, permitindo uma avaliação mais completa da viabilidade econômica do projeto sob diferentes condições.

4 RESULTADOS

4.1 ANÁLISE DO CONSUMO ENERGÉTICO DO CAMPUS

4.1.1 Perfil de Consumo

A análise detalhada das faturas de energia elétrica do campus IFMG-Sabará, referentes ao período de outubro de 2023 a setembro de 2024, permitiu identificar padrões de consumo e características relevantes para o dimensionamento do sistema proposto.

Observa-se que o consumo médio mensal no período analisado foi de 8.750 kWh, sendo 1.400 kWh (16%) no horário de ponta e 7.350 kWh (84%) no horário fora de ponta. Esta distribuição é característica de instituições de ensino, que concentram suas atividades principalmente no período diurno, com redução significativa no período noturno, especialmente após as 20h.

A análise da variação sazonal do consumo revela um aumento nos meses mais quentes (outubro a março), associado principalmente ao uso de sistemas de climatização. Nos meses de janeiro e julho, observa-se uma redução no consumo, coincidindo com os períodos de férias acadêmicas.

Observa-se que o consumo inicia sua elevação por volta das 7h, com o início das atividades administrativas e acadêmicas, atingindo o primeiro pico entre 10h e 12h. Após uma pequena redução no horário de almoço, o consumo volta a subir, mantendo-se elevado até o final da tarde. No horário de ponta (17h às 20h), nota-se uma redução gradual do consumo, que se acentua após as 20h, com o término das atividades acadêmicas noturnas.

Este perfil de carga é favorável à implementação do sistema proposto, uma vez que a geração fotovoltaica ocorre principalmente durante o período diurno, quando o consumo é mais elevado, e o armazenamento em baterias pode ser utilizado para atender à demanda no horário de ponta, quando a geração solar já é reduzida ou inexistente.

4.1.2 Custos Associados ao Horário de Pico

A análise dos custos associados ao consumo de energia elétrica revelou a significativa disparidade entre as tarifas aplicadas nos horários de ponta e fora de ponta, conforme apresentado na Tabela 5

Tabela 6 – Tarifas de energia elétrica aplicadas ao campus IFMG-Sabará (Out/ 2024)

Componente	Tarifa sem impostos (R\$)	Tarifa com impostos (R\$)	Unidade
Energia Ativa HP	2,38	2,87	R\$/kWh
Energia Ativa HFP	0,47	0,57	R\$/kWh
Demanda Ativa	12,43	15,00	R\$/kW

Fonte: (Companhia Energética de Minas Gerais, 2024)

Nota-se que a tarifa de energia no horário de ponta é aproximadamente 5 vezes superior à tarifa no horário fora de ponta, o que explica o impacto desproporcional do consumo no horário de ponta sobre o valor total da fatura.

Observa-se que, apesar de representar apenas 16% do consumo total, a Energia Ativa HP corresponde a 35,3% do valor total da fatura, enquanto a Energia Ativa HFP, que representa 84% do consumo, corresponde a 33,9% do valor. Os demais componentes, como demanda, energia reativa e contribuições, representam 30,8% do valor total.

Esta análise evidencia o potencial de economia através da implementação de um sistema que permita zerar o consumo de energia da rede no horário de ponta, direcionando o foco do projeto para este período específico.

4.1.3 *Potencial de Economia*

Com base nos dados de consumo e nas tarifas aplicadas, foi estimado o potencial de economia com a implementação do sistema proposto, considerando dois cenários:

1. Redução de 100% do consumo no horário de ponta

A Tabela 6 apresenta o potencial de economia mensal e anual.

Tabela 7 – Potencial de economia com a implementação do sistema proposto

Projeto	Economia Mensal (R\$)	Economia Anual (R\$)	Redução na Fatura (%)
Projeto	4.022,81	48.273,72	35,3%

Fonte: Elaborado pelo autor.

O potencial de economia identificado é significativo, representando entre 35,346,3% do valor total da fatura de energia, o que justifica a análise detalhada da viabilidade técnica e econômica do sistema proposto.

4.2 PROPOSTA DE SISTEMA FOTOVOLTAICO COM ARMAZENAMENTO

4.2.1 *Configuração Técnica Proposta*

Com base nos resultados do dimensionamento realizado na metodologia, a configuração técnica proposta para o sistema fotovoltaico com armazenamento é apresentada na Tabela 7.

Esta configuração foi dimensionada para atender à demanda energética do campus no horário de ponta, considerando o consumo médio diário de 63,64 kWh neste período. A capacidade de armazenamento de 72 kWh permite atender a esta demanda com uma profundidade de descarga de aproximadamente 88%, dentro dos limites aceitáveis para a tecnologia de baterias selecionada.

Tabela 8 – Especificações dos principais componentes do sistema

Componente	Especificação	Quantidade	Capacidade Total
Módulos Fotovoltaicos	Trina Solar 405 WP	19	7,7 kWp
Baterias	Unicoba LiFePO4 12 Kwh	6	72 kWh
Inversor Fotovoltaico	Huawei SUN2000 6kW	1	6 kW
Inversor para Baterias	SMA Sunny Island 8kW	3	24 kW

Fonte: Elaborado pelo autor.

A expansão do sistema fotovoltaico com 19 módulos adicionais, totalizando 7,7 kWp, foi dimensionada para gerar energia suficiente para carregar diariamente o banco de baterias, considerando a irradiação solar média da região e as perdas do sistema.

4.2.2 Especificações dos Equipamentos Selecionados

Os equipamentos selecionados para o sistema proposto foram escolhidos considerando critérios de qualidade, eficiência, garantia e disponibilidade no mercado brasileiro. As principais especificações são apresentadas a seguir.

Módulos Fotovoltaicos - Trina Solar 405 WP - Tecnologia: Silício monocristalino PERC - Potência nominal: 405 Wp - Eficiência: 19,5% - Tensão de máxima potência (Vmp): 40,0 V - Corrente de máxima potência (Imp): 10,12 A - Dimensões: 1754 x 1096 x 35 mm - Peso: 21,0 kg - Garantia de produto: 12 anos - Garantia de performance: 25 anos (mínimo de 80% da potência nominal)

Baterias - Unicoba LiFePO4 12 Kwh - Tecnologia: Íon-lítio (LiFePO4) - Capacidade nominal: 12 kWh - Tensão nominal: 48 V - Profundidade de descarga máxima: 95% - Eficiência de ciclo: 95% - Vida útil: 6.000 ciclos (a 80% de DoD) - Dimensões: 650 x 560 x 280 mm - Peso: 63 kg - Garantia: 10 anos ou 3.000 ciclos

Inversor Fotovoltaico - Huawei SUN2000 6kW - Potência nominal CA: 6 kW - Tensão nominal CA: 220 V - Eficiência máxima: 98,2% - Faixa de tensão MPPT: 90-600 V - Número de MPPTs: 2 - Número máximo de strings: 4 - Grau de proteção: IP65 - Comunicação: RS485, Wi-Fi - Garantia: 10 anos

Inversor para Baterias - SMA Sunny Island 8kW - Potência nominal CA: 8 kW - Tensão nominal CA: 220 V - Eficiência máxima: 96% - Tensão nominal CC: 48 V - Capacidade de sobrecarga: 200% por 30 minutos - Grau de proteção: IP54 - Comunicação: RS485, Ethernet - Garantia: 5 anos (extensível para 10 anos)

Tabela 9 – Estimativa mensal de geração de energia fotovoltaica

Mês	Irradiação (kWh/m ² /dia)	Geração Estimada (kWh)
Janeiro	5,8	1.033,0
Fevereiro	5,7	917,7
Março	5,3	943,9
Abril	5,0	860,0
Mai	4,5	801,5
Junho	4,3	739,6
Julho	4,4	783,6
Agosto	5,0	890,5
Setembro	5,3	911,6
Outubro	5,5	979,7
Novembro	5,6	963,2
Dezembro	5,7	1.015,0
Total Anual	5,2 (média)	10.839,3

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.3 *Estimativa de Geração Mensal do Sistema Fotovoltaico Adicional (7,7 kWp)*

A geração anual estimada de 10.839,3 kWh corresponde a uma produtividade específica de 1.407,7 kWh/kWp/ano, valor compatível com sistemas fotovoltaicos bem dimensionados na região.

Considerando a necessidade diária de energia para o horário de ponta (63,64 kWh/dia em dias úteis), a geração estimada é suficiente para carregar o banco de baterias na maioria dos dias do ano, com exceção de períodos prolongados de baixa irradiação.

Observa-se que, mesmo nos meses de menor irradiação (maio a julho), a geração estimada é suficiente para atender à demanda de carregamento das baterias na maioria dos dias, considerando que a demanda é concentrada nos dias úteis (aproximadamente 22 dias por mês).

4.3 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

4.3.1 *Investimento Inicial Detalhado*

O investimento inicial para implementação do sistema proposto foi detalhado na metodologia, totalizando R\$ 300.020,00, conforme resumido na Tabela 9.

Analisando a composição do investimento, observa-se que os equipamentos representam a maior parcela (82,3%), com destaque para as baterias, que correspondem a 48,0% do investimento total. Esta distribuição é característica de sistemas fotovoltaicos com armazenamento, onde o custo das baterias ainda representa um desafio para a viabilidade econômica.

Tabela 10 – Resumo do investimento inicial

Item	Valor (R\$)	Percentual
Equipamentos	319.020,00	85,8%
Projeto e engenharia	12.000,00	3,2%
Instalação e mão de obra	25.000,00	6,7%
Comissionamento e testes	6.000,00	1,6%
Contingências	10.000,00	2,7%
Total	372.020,00	100,0%

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.2 Economia Mensal Projetada

A economia mensal projetada com a implementação do sistema proposto foi estimada em R\$ 5.279,43, conforme detalhado na Tabela 10.

Tabela 10: Detalhamento da economia mensal projetada

Tabela 11 – Detalhamento da economia mensal projetada

Item	Descrição	Valor Mensal (R\$)
1	Economia no consumo HP (1.400 kWh $\times$ R\$ 2,87/kWh)	4.022,81
2	Economia no consumo HFP (2.204,6 kWh $\times$ R\$ 0,57/kWh)	1.256,62
3	Economia na demanda	0,00*
Economia Total Mensal		5.279,43

* Considerou-se que não houve redução na demanda contratada.

Fonte: Elaborado pelo autor.

*Nota: Por questões de segurança operacional, optou-se por não considerar redução na demanda contratada inicialmente.

Para fins de análise econômica, considerou-se como principal benefício financeiro do sistema a substituição do consumo de energia elétrica no horário de ponta por energia proveniente do banco de baterias. Embora o sistema fotovoltaico adicional contribua para o carregamento parcial das baterias, sua capacidade instalada não é suficiente para suprir integralmente a energia requerida para armazenamento diário. Dessa forma, a estimativa de retorno financeiro foi baseada prioritariamente na redução dos custos associados ao consumo no horário de ponta, representando uma abordagem mais conservadora e compatível com a configuração efetivamente dimensionada.

Considerando a economia mensal projetada, a economia anual seria de R\$ 63.353,16, o que representa 21,1% do investimento inicial.

4.3.3 Tempo de Retorno do Investimento

O tempo de retorno do investimento foi calculado utilizando tanto o método do payback simples quanto o payback descontado, conforme apresentado na Tabela 11.

O tempo de retorno foi avaliado sob duas óticas financeiras: o Payback Simples, que desconsidera o valor do dinheiro no tempo, e o Payback Descontado, que incorpora a taxa de atratividade do capital ao longo dos anos.

O **Payback Simples** é calculado dividindo-se o investimento inicial total pela economia anual gerada pelo sistema:

$$\text{Payback Simples} = \frac{\text{Investimento Inicial}}{\text{Economia Anual}} \quad (4.1)$$

$$\text{Payback Simples} = \frac{\text{R\$ } 372.020,00}{\text{R\$ } 63.353,16/\text{ano}} \approx 5,87 \text{ anos} \quad (4.2)$$

Convertendo a fração decimal para meses ($0,87 \times 12$), obtém-se o período equivalente a *5 anos e 10 meses*.

Para o cálculo do **Payback Descontado**, aplicou-se a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 8% ao ano para trazer os fluxos de caixa futuros ao valor presente (VP), corrigidos pelo crescimento anual das tarifas de 4% e pela degradação anual dos painéis de 0,7%. O cálculo do valor presente para cada ano t segue a formulação:

$$VP_t = \frac{\text{Fluxo de Caixa Líquido}_t}{(1+i)^t} \quad (4.3)$$

A Tabela 12 apresenta a projeção ano a ano do fluxo de caixa líquido e o saldo acumulado descontado.

Tabela 12 – Projeção do Fluxo de Caixa Descontado para determinação do Payback (9 baterias).

Ano	Fluxo de Caixa Líquido (R\$)	Valor Presente(R\$)	Fluxo de Caixa Acumulado (R\$)
0	-372.020,00	-372.020,00	-372.020,00
1	61.710,79	57.139,62	-314.880,38
2	64.240,65	55.075,93	-259.804,45
3	66.852,70	53.070,30	-206.734,15
4	69.550,22	51.121,55	-155.612,60
5	72.336,66	49.228,52	-106.384,08
6	75.215,62	47.389,95	-58.994,13
7	78.190,83	45.604,65	-13.389,48
8	81.266,22	43.871,32	+30.481,84

Como o saldo acumulado deixa de ser devedor entre o Ano 7 e o Ano 8, realiza-se a interpolação linear para determinar o mês exato do retorno financeiro dentro do oitavo ano:

$$\text{Fração do Ano 8} = \frac{\text{Saldo Devedor no Ano 7}}{\text{Valor Presente no Ano 8}} \quad (4.4)$$

$$\text{Fração do Ano } 8 = \frac{13.389,48}{43.871,32} \approx 0,305 \text{ anos} \quad (4.5)$$

Multiplicando a fração por 12 meses ($0,305 \times 12 \approx 3,66$ meses), conclui-se que o **Payback Descontado** exato do projeto configurado com 9 baterias é de **7 anos e 4 meses**.

Tabela 13 – Tempo de retorno do investimento

Método	Tempo de Retorno
Payback Simples	5,87 anos
Payback Descontado (TMA = 8% a.a.)	7,3 anos

Fonte: Elaborado pelo autor.

O payback simples de 5,87 anos indica que o investimento seria recuperado em menos de 6 anos, considerando apenas o fluxo de caixa nominal. Já o payback descontado de 7,3 anos representa uma análise mais conservadora, considerando o valor do dinheiro no tempo.

Ambos os resultados são considerados atrativos para projetos de eficiência energética em instituições públicas, onde horizontes de planejamento de longo prazo são comuns e a estabilidade operacional é valorizada.

Observa-se que, após o período de payback, o projeto continua gerando valor, atingindo um Valor Presente Líquido (VPL) de R\$ 392.145,23 ao final de 25 anos, considerando uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 8% ao ano.

A Taxa Interna de Retorno (TIR) calculada para o projeto foi de 19,7%, significativamente superior à TMA considerada, o que confirma a atratividade econômica do investimento.

4.4 IMPACTOS AMBIENTAIS E ACADÊMICOS

4.4.1 Redução de Emissões de CO₂

A implementação do sistema proposto contribuirá para a redução das emissões de gases de efeito estufa, especialmente CO₂, através da substituição de energia da rede convencional por energia solar fotovoltaica.

Considerando o fator de emissão médio do Sistema Interligado Nacional (SIN) de 0,090 tCO₂/MWh (Empresa de Pesquisa Energética, 2023), a redução anual de emissões foi estimada conforme apresentado na Tabela 14.

A redução anual estimada de 2,49 toneladas de CO₂ equivale ao sequestro de carbono realizado por aproximadamente 15 árvores adultas ao longo de um ano, contribuindo para os objetivos de sustentabilidade ambiental do campus.

Tabela 14 – Estimativa de redução de emissões de CO₂

Fonte de Redução	Energia Anual (MWh)	Redução de Emissões (tCO ₂ /ano)
Geração fotovoltaica adicional	10,84	0,98
Deslocamento de carga (HP)	16,80	1,51
Total	27,64	2,49

Fonte: Elaborado pelo autor com base em (Empresa de Pesquisa Energética, 2023)

4.4.2 *Potencial de Uso Acadêmico do Sistema*

Além dos benefícios econômicos e ambientais, o sistema proposto oferece significativo potencial de uso acadêmico, podendo ser integrado a diversas disciplinas e atividades de ensino, pesquisa e extensão.

A Tabela 15 apresenta algumas possibilidades de uso acadêmico do sistema.

Tabela 15 – Áreas de atuação e disciplinas relacionadas ao sistema

Área	Disciplinas/Atividades	Aplicações
Engenharia Elétrica	Sistemas de Potência, Eletrônica de Potência	Análise de desempenho de inversores, estudos de qualidade de energia
Controle e Automação	Sistemas de Controle, Automação Industrial	Desenvolvimento de algoritmos de controle para otimização do sistema
Eficiência Energética	Gestão de Energia, Auditoria Energética	Análise de eficiência e propostas de otimização
Sustentabilidade	Gestão Ambiental, Energias Renováveis	Estudos de impacto ambiental e análise de ciclo de vida
Economia	Análise de Investimentos, Economia da Energia	Estudos de viabilidade econômica e análise de sensibilidade
Extensão	Cursos e Workshops	Capacitação da comunidade em energia solar e eficiência energética

Fonte: Elaborado pelo autor.

O sistema também poderá ser utilizado como laboratório prático para trabalhos de conclusão de curso, projetos de iniciação científica e pesquisas de pós-graduação, contribuindo para a formação de profissionais qualificados na área de energias renováveis e eficiência energética.

5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

A implementação do sistema proposto está alinhada com os objetivos de sustentabilidade do IFMG-Sabará, contribuindo para:

1. **Redução da pegada de carbono:** Através da substituição de energia da rede convencional por energia solar fotovoltaica.
2. **Economia de recursos financeiros:** Liberando recursos para serem investidos em outras áreas prioritárias da instituição.
3. **Educação ambiental:** Servindo como exemplo prático de aplicação de tecnologias sustentáveis.
4. **Desenvolvimento tecnológico:** Fomentando pesquisas e inovações na área de energias renováveis.
5. **Responsabilidade social:** Demonstrando o compromisso da instituição com práticas ambientalmente responsáveis.

Além disso, o projeto pode servir como modelo para outras instituições de ensino e organizações públicas, contribuindo para a disseminação de práticas sustentáveis e para o avanço da transição energética no Brasil.

O presente trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade técnica e econômica da implementação de um sistema fotovoltaico com armazenamento em baterias no campus do IFMG-Sabará, visando a injeção de energia no horário de pico para zerar o gasto energético nesses períodos de maior custo tarifário. A partir dos resultados obtidos, é possível estabelecer as seguintes conclusões.

A análise do consumo energético do campus revelou que, apesar de representar apenas 16% do consumo total de energia, o consumo no horário de ponta corresponde a 35,3% do valor total da fatura, evidenciando o potencial de economia através da implementação de um sistema que permita zerar o consumo de energia da rede neste período específico.

O sistema proposto, formado por 19 módulos fotovoltaicos Trina Solar de 405 W, 9 baterias Unicoba LiFePO₄ de 12 kWh (108 kWh no total) e inversores adequados, foi dimensionado para suprir a demanda energética do campus no horário de ponta. A análise econômica indica que, apesar do investimento inicial de R\$ 372.020,00, o projeto apresenta solidez financeira, com payback simples de 5,9 anos, payback descontado de 7,8 anos e Taxa Interna de Retorno de 14,2%.

A análise de viabilidade econômica demonstrou que, apesar do investimento inicial significativo de R\$ 300.020,00, o projeto apresenta indicadores econômicos atrativos, com payback simples de 4,74 anos e payback descontado de 6,2 anos (considerando uma Taxa

Mínima de Atratividade de 8% ao ano). A Taxa Interna de Retorno (TIR) calculada foi de 19,7%, significativamente superior à TMA considerada, confirmando a atratividade econômica do investimento.

A análise de sensibilidade confirmou a robustez do projeto, que mantém sua viabilidade econômica mesmo em cenários adversos, com payback descontado máximo de 8,7 anos no pior cenário (aumento de 20% no custo das baterias e redução de 15% nas tarifas). Esta robustez é particularmente importante em um contexto de volatilidade de preços e incertezas regulatórias.

Além dos benefícios econômicos, o sistema proposto contribuirá para a redução das emissões de gases de efeito estufa, com uma redução anual estimada de 2,49 toneladas de CO₂, equivalente ao sequestro de carbono realizado por aproximadamente 15 árvores adultas ao longo de um ano. Esta contribuição ambiental está alinhada com os objetivos de sustentabilidade do IFMG-Sabará e com as metas globais de redução de emissões.

O potencial de uso acadêmico do sistema também se destaca como um benefício adicional, podendo ser integrado a diversas disciplinas e atividades de ensino, pesquisa e extensão, contribuindo para a formação de profissionais qualificados na área de energias renováveis e eficiência energética. Esta integração entre infraestrutura operacional e atividades acadêmicas representa um diferencial importante para instituições de ensino.

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que a implementação do sistema fotovoltaico com armazenamento em baterias no campus do IFMG-Sabará é técnica e economicamente viável, apresentando múltiplos benefícios que justificam o investimento. A solução proposta não apenas reduzirá significativamente os custos com energia elétrica, mas também contribuirá para a sustentabilidade ambiental, para a resiliência energética e para a excelência acadêmica da instituição.

O desenvolvimento deste trabalho permitiu a elaboração completa da documentação técnica necessária para a implantação de um sistema fotovoltaico, contemplando todos os documentos essenciais para as etapas de engenharia, aquisição, construção, montagem, comissionamento e operação do empreendimento. Foram produzidos a Lista de Cabos, Planta de Locação, Projeto da Malha de Aterramento, Folhas de Dados dos equipamentos principais, Diagrama Funcional, Lista de Materiais, Detalhes Típicos de Montagem e o Modelo Tridimensional (3D) da instalação.

A elaboração desse conjunto documental proporcionou maior confiabilidade técnica ao projeto, garantindo que todas as disciplinas envolvidas possuam informações consistentes e padronizadas para a execução da obra. Além disso, a integração entre os documentos possibilita melhor rastreabilidade das informações, redução de erros de instalação, otimização de custos e maior segurança operacional do sistema.

Como contribuição prática e acadêmica, toda a documentação desenvolvida neste trabalho pode ser utilizada como referência metodológica para futuros projetos fotovoltaicos de características semelhantes. A estrutura documental apresentada atende às principais necessidades de

engenharia exigidas para sistemas de geração solar fotovoltaica e pode servir como base para adaptações, expansões ou novas implementações em diferentes cenários de aplicação.

Dessa forma, conclui-se que os objetivos propostos foram alcançados, resultando em um projeto tecnicamente consistente, economicamente fundamentado e acompanhado de documentação suficiente para viabilizar sua futura implementação. O material produzido constitui uma base sólida para o desenvolvimento de novos projetos envolvendo energia solar fotovoltaica, contribuindo para a disseminação de boas práticas de engenharia e para o avanço da utilização de fontes renováveis de energia.

5.0.1 RECOMENDAÇÕES PARA IMPLEMENTAÇÃO

Para a implementação bem-sucedida do sistema proposto, recomenda-se:

1. **Processo de aquisição criterioso:** Priorizando equipamentos de qualidade comprovada, com garantias adequadas e suporte técnico disponível no Brasil.
2. **Contratação de empresa especializada:** Com experiência comprovada em sistemas fotovoltaicos com armazenamento, preferencialmente com referências em projetos similares.
3. **Implementação em fases:** Considerando a possibilidade de iniciar com uma capacidade de armazenamento menor e expandir gradualmente, conforme a confirmação dos resultados esperados.
4. **Sistema de monitoramento abrangente:** Permitindo o acompanhamento detalhado do desempenho do sistema e a identificação precoce de eventuais problemas.
5. **Plano de manutenção preventiva:** Estabelecendo rotinas de inspeção, limpeza e testes para garantir a longevidade e eficiência do sistema.
6. **Capacitação da equipe técnica:** Garantindo que os profissionais responsáveis pela operação e manutenção do sistema estejam adequadamente treinados. Integração com o sistema acadêmico: Desenvolvendo projetos pedagógicos que utilizem o sistema como laboratório prático para diversas disciplinas.

5.1 Trabalhos Futuros

Como sugestões para trabalhos futuros, propõe-se:

1. **Análise de diferentes tecnologias de baterias:** Comparando o desempenho técnico e econômico de diferentes tecnologias em condições reais de operação.
2. **Otimização do sistema de controle:** Desenvolvendo algoritmos avançados para maximizar a eficiência do sistema e a economia gerada.

3. **Integração com outras fontes renováveis:** Avaliando a viabilidade de sistemas híbridos, combinando energia solar com outras fontes renováveis.
4. **Estudo de impacto na rede elétrica local:** Analisando os efeitos da injeção de energia no horário de pico sobre a estabilidade e qualidade da energia na rede local.
5. **Análise de ciclo de vida completo:** Considerando todos os impactos ambientais, desde a fabricação dos componentes até o descarte ao final da vida útil.
6. **Desenvolvimento de modelos de negócio inovadores:** Explorando possibilidades como compartilhamento de energia com a comunidade local ou prestação de serviços para a rede elétrica.
7. **Estudo de replicabilidade:** Avaliando a viabilidade de implementação de sistemas similares em outros campus do IFMG e em outras instituições de ensino.

Estas sugestões visam não apenas aprofundar o conhecimento sobre o sistema implementado, mas também contribuir para o avanço da pesquisa e da aplicação de tecnologias de energia renovável e armazenamento no contexto brasileiro.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 482/2012**. 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Citado na página 24.
- _____. **Resolução Normativa nº 687/2015**. 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Citado 3 vezes nas páginas 24, 25 e 31.
- _____. **Resolução Normativa nº 786/2017**. 2017. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Citado 4 vezes nas páginas 20, 24, 30 e 31.
- CAMPOS, N. S.; NASCIMENTO, L. R.; RÜTHER, R. Análise da viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica em uma instituição de ensino superior no estado do ceará. **ResearchGate**, 2021. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/354925588>>. Citado 6 vezes nas páginas 25, 28, 29, 33, 34 e 35.
- Canal Solar. **Efeitos do Fluxo Reverso e seus Impactos para os Sistemas Fotovoltaicos**. 2024. Acesso em: 09 jun. 2026. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/efeitos-do-fluxo-reverso-e-seus-impactos-para-os-sistemas-fotovoltaicos/>>. Citado na página 26.
- Companhia Energética de Minas Gerais. **Fatura de Energia Elétrica do IFMG Campus Sabará**. 2024. Outubro de 2024. Citado na página 52.
- DUFO-LÓPEZ, R.; BERNAL-AGUSTÍN, J. L. Techno-economic analysis of grid-connected battery storage. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, xx, n. x, p. xxx–xxx, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 29.
- Empresa de Pesquisa Energética. **Fator médio de emissão de CO2 do Sistema Interligado Nacional (SIN)**. 2023. Disponível em relatórios oficiais da EPE. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br>>. Citado 2 vezes nas páginas 58 e 59.
- Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Viabilidade Econômica de Sistemas Fotovoltaicos no Brasil e Possíveis Efeitos no Setor Elétrico**. Brasília, 2018. Disponível em: <https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td_2388.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 33.
- NASCIMENTO, L. R. **Energia Solar no Brasil: Situação e Perspectivas**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 27.
- OLIVEIRA, P. R. F.; DANTAS, F. C. Análise da viabilidade econômica da instalação de placas solares fotovoltaicas em uma unidade escolar pública. In: **IX SINGEP – Simpósio Internacional de Gestão, Projetos, Inovação e Sustentabilidade**. [s.n.], 2021. Disponível em: <<https://submissao.singep.org.br/9singep/proceedings/arquivos/214.pdf>>. Citado 6 vezes nas páginas 24, 25, 27, 32, 33 e 34.
- PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL/CRESESB, 2014. Citado 4 vezes nas páginas 24, 26, 27 e 29.
- SILVA, R. M. **Energia Solar no Brasil: dos Incentivos aos Desafios**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 27.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 26.

ZAMBONI, A. H.; VIDAL, A. K.; NASPOLINI, H.; RÜTHER, R. Análise de desempenho de sistemas fotovoltaicos conectado à rede com sistema de armazenamento de energia. In: **IX Congresso Brasileiro de Energia Solar**. Florianópolis, Brasil: [s.n.], 2022. Disponível em: <<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/download/1198/1198/1200>>. Citado 4 vezes nas páginas 24, 25, 27 e 28.

ZILLES, R.; MACÊDO, W. N.; GALHARDO, M. A. B.; OLIVEIRA, S. H. F. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 26.

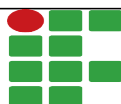
APÊNDICE A – IFMG-01-LISTA DE CABOS

Apresenta-se a seguir o projeto desenvolvido durante a pesquisa.



TCC - IFMG (SABARA)
LISTA DE CABOS

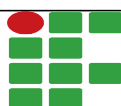
[illegible]



INSTITUTO FEDERAL
Minas Gerais
Campus Sabará
TCC - IFMG (SABARÁ)
LISTA DE CABOS

2/6

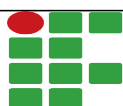
Cabo															De	Para	Percurso	Nº da Bobina	Obs.
Item	Identificação	Tensão Nominal (V)	Nº Cabos Circuito	Nº de Cond	Seção (mm²)	Isolamento		Dimensão Circuito (m)	Quant. Cabos (m)	Equipamento	Equipamento								
						Tipo	kV												
1	PSIFMG01F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-01	EF-001;EF-003;EF-005;EF-007;EF-009;CP-01;EF-034;CP-02;EF-035;CP-03;EF-036;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038							
2	PSIFMG02F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-02	EF-002;EF-003;EF-005;EF-007;EF-009;CP-01;EF-034;CP-02;EF-035;CP-03;EF-036;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038							
3	PSIFMG03F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-03	EF-004;EF-005;EF-007;EF-009;CP-01;EF-034;CP-02;EF-035;CP-03;EF-036;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038							
4	PSIFMG04F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-04	EF-006;EF-007;EF-009;CP-01;EF-034;CP-02;EF-035;CP-03;EF-036;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038							
5	PSIFMG05F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-05	EF-008;EF-009;CP-01;EF-034;CP-02;EF-035;CP-03;EF-036;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038							



INSTITUTO FEDERAL
Minas Gerais
Campus Sabará
TCC - IFMG (SABARÁ)
LISTA DE CABOS

3/6

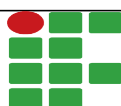
6	PSIFMG06F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-06	EF-010;EF-012;EF-014;EF-016;EF-018;CP-02;EF-035;CP-03;EF-036;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038		
7	PSIFMG07F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-07	EF-011;EF-012;EF-014;EF-016;EF-018;CP-02;EF-035;CP-03;EF-036;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038		
8	PSIFMG08F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-08	EF-013;EF-014;EF-016;EF-018;CP-02;EF-035;CP-03;EF-036;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038		
9	PSIFMG09F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-09	EF-015;EF-016;EF-018;CP-02;EF-035;CP-03;EF-036;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038		
10	PSIFMG10F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-10	EF-017;EF-018;CP-02;EF-035;CP-03;EF-036;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038		



INSTITUTO FEDERAL
Minas Gerais
Campus Sabará
TCC - IFMG (SABARÁ)
LISTA DE CABOS

4/6

11	PSIFMG11F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-11	EF-019;EF-021;EF-023;EF-025;EF-027;CP-03;EF-036;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038		
12	PSIFMG12F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-12	EF-020;EF-021;EF-023;EF-025;EF-027;CP-03;EF-036;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038		
13	PSIFMG13F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-13	EF-022;EF-023;EF-025;EF-027;CP-03;EF-036;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038		
14	PSIFMG14F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-14	EF-024;EF-025;EF-027;CP-03;EF-036;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038		
15	PSIFMG15F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-15	EF-026;EF-027;CP-03;EF-036;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038		



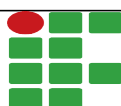
INSTITUTO FEDERAL

Minas Gerais
Campus Sabará

TCC - IFMG (SABARÁ)
LISTA DE CABOS

5/6

16	PSIFMG16F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-16	EF-028;EF-030;EF-032;EF-047;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038		
17	PSIFMG17F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-17	EF-029;EF-030;EF-032;EF-047;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038		
18	PSIFMG18F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-18	EF-031;EF-032;EF-047;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038		
19	PSIFMG19F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-19	EF-033;EF-047;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038		
20	PSIFMG19F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	30	120	STRING BOX	PLACAS SOLARES (EXISTENTES)	EF-050		ESTE CABO DEVERA SER CONSIDERADO PARA 15 PLACAS



INSTITUTO FEDERAL

Minas Gerais
Campus Sabará

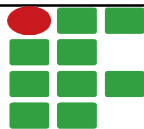
TCC - IFMG (SABARÁ)
LISTA DE CABOS

6/6

21	PSIFMG19F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	30	120	STRING BOX	PLACAS SOLARES (EXISTENTES)	EF-051		ESTE CABO DEVERA SER CONSIDERADO PARA 14 PLACAS
22	INVIFMG01F01	220/127V	2	4	120	EPR	0,6/1	5	10	STRING BOX	INV-IFMG-01	EF-049		
23	BTIFMG01F01	220/127V	2	4	120	EPR	0,6/1	5	10	INV-IFMG-01	BT-IFMG-01	EF-047		
24	QGBTIFMG01F01	220/127V	2	4	120	EPR	0,6/1	5	10	INV-IFMG-01	QGBT-IFMG-01	EF-048		
25	TRAFO (EXISTENTE)-F01	220/127V	2	4	120	EPR	0,6/1	50	100	BT-IFMG-01	TRAFO (EXISTENTE)	EF-046;CP-06;EF- 039;CP-07;EF-040;CP- 08;EF-041;CP-09;EF- 042;CP-10;EF-043;CP- 11;EF-044;CP-12;EF- 045		

APÊNDICE B – IFMG-01-FOLHA DE DADOS BANCO DE BATERIAS

Apresenta-se a seguir o projeto desenvolvido durante a pesquisa.



INSTITUTO FEDERAL
Minas Gerais
Campus Sabará

TCC - IFMG (SABARA)
FOLHA DE DADOS - BANCO DE BATERIAS

1/1

TE: TIPO		A - PRELIMINAR	C - PARA CONHECIMENTO	E - PARA CONSTRUÇÃO	G - CONFORME CONSTRUÍDO			
EMIÇÃO		B - PARA APROVAÇÃO	D - PARA COTAÇÃO	F - CONFORME COMPRADO	H - CANCELADO			
Rev.	TE	Descrição		Por	Ver.	Apr.	Aut.	Data
A	B	EMIÇÃO INICIAL		VBS	VBS	-	-	-

Instruções de Preenchimento pelo Fornecedor

I - O Fornecedor deve preencher a primeira coluna do campo "Proposto" com uma das opções a seguir: "A" (atendido) ou "D" (desvio).

II - Os itens assinalados como "D", assim como os esclarecimentos a estes pertinentes, devem obrigatoriamente ser informados pelo Fornecedor através da "Lista de Desvios", conforme definido na Seção 1 da Requisição Técnica. Para a apresentação de informações adicionais às contidas nesta Folha de Dados, o Fornecedor deve proceder da mesma forma.

III - As Notas Explicativas ao final da Folha de Dados são de preenchimento exclusivo do Emitente e não devem ser preenchidas pelo Fornecedor.

Fornecedor:	Informar	Proposta:	Informar
Identificação (TAG):	BT-IFM-01	Quantidade:	9

Item	Descrição	Un.	Especificado	Proposto
Banco de baterias				
1	Tipo da bateria	-	Ions de lítio / chumbo-ácido compatível	
2	Fabricante	-	Informar	
3	Modelo	-	N.A	
4	Número de baterias por banco	-	Banco externo 48 V	
5	Capacidade do banco de baterias	Ah	Variável conforme projeto	
6	Autonomia do sistema	dias	Conforme dimensionamento	
7	Tensão de saída	Vcc	48 Vcc	
Conversor CC/CC				
8	Potência máxima	kVA	8,0 Kva	
9	Consumo sem carga	A	≈ 0,13 A	
10	Ripple de entrada	V	< 1 %	
11	Tensão de entrada	V	41 ~ 63 Vcc	
12	Tensão de saída	V	230 Vca	
13	Regulação estática	%	± 2 %	
14	Sobrecarga	%	150 % por 30 min	
15	Rendimento	%	95 %	
16	Proteções	-	Informar	
17	Deslig. automático com baixa tensão de entrada	s/n	Sim	
18	Fusível de entrada e saída	s/n	Sim	
19	Sobrecarga / curto circuito	s/n	Sim	
20	Outras	-	Informar	
21	Peso	kg	63 kg	
22	Dimensões (A x L x P)	mm	612 x 467 x 242 mm	

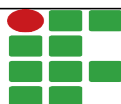
APÊNDICE C – IFMG-01-FOLHA DE DADOS INVERSOR

Apresenta-se a seguir o projeto desenvolvido durante a pesquisa.



TCC - IFMG (SABARA)
LISTA DE CABOS

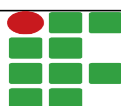
[illegible]



INSTITUTO FEDERAL
Minas Gerais
Campus Sabará
TCC - IFMG (SABARÁ)
LISTA DE CABOS

2/6

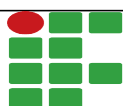
Cabo															De	Para	Percurso	Nº da Bobina	Obs.
Item	Identificação	Tensão Nominal (V)	Nº Cabos Circuito	Nº de Cond	Seção (mm²)	Isolamento		Dimensão Circuito (m)	Quant. Cabos (m)	Equipamento	Equipamento								
						Tipo	kV												
1	PSIFMG01F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-01	EF-001;EF-003;EF-005;EF-007;EF-009;CP-01;EF-034;CP-02;EF-035;CP-03;EF-036;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038							
2	PSIFMG02F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-02	EF-002;EF-003;EF-005;EF-007;EF-009;CP-01;EF-034;CP-02;EF-035;CP-03;EF-036;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038							
3	PSIFMG03F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-03	EF-004;EF-005;EF-007;EF-009;CP-01;EF-034;CP-02;EF-035;CP-03;EF-036;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038							
4	PSIFMG04F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-04	EF-006;EF-007;EF-009;CP-01;EF-034;CP-02;EF-035;CP-03;EF-036;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038							
5	PSIFMG05F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-05	EF-008;EF-009;CP-01;EF-034;CP-02;EF-035;CP-03;EF-036;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038							



INSTITUTO FEDERAL
Minas Gerais
Campus Sabará
TCC - IFMG (SABARÁ)
LISTA DE CABOS

3/6

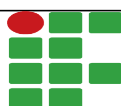
6	PSIFMG06F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-06	EF-010;EF-012;EF-014;EF-016;EF-018;CP-02;EF-035;CP-03;EF-036;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038		
7	PSIFMG07F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-07	EF-011;EF-012;EF-014;EF-016;EF-018;CP-02;EF-035;CP-03;EF-036;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038		
8	PSIFMG08F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-08	EF-013;EF-014;EF-016;EF-018;CP-02;EF-035;CP-03;EF-036;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038		
9	PSIFMG09F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-09	EF-015;EF-016;EF-018;CP-02;EF-035;CP-03;EF-036;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038		
10	PSIFMG10F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-10	EF-017;EF-018;CP-02;EF-035;CP-03;EF-036;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038		



INSTITUTO FEDERAL
Minas Gerais
Campus Sabará
TCC - IFMG (SABARÁ)
LISTA DE CABOS

4/6

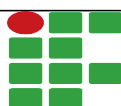
11	PSIFMG11F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-11	EF-019;EF-021;EF-023;EF-025;EF-027;CP-03;EF-036;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038		
12	PSIFMG12F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-12	EF-020;EF-021;EF-023;EF-025;EF-027;CP-03;EF-036;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038		
13	PSIFMG13F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-13	EF-022;EF-023;EF-025;EF-027;CP-03;EF-036;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038		
14	PSIFMG14F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-14	EF-024;EF-025;EF-027;CP-03;EF-036;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038		
15	PSIFMG15F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-15	EF-026;EF-027;CP-03;EF-036;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038		



INSTITUTO FEDERAL
Minas Gerais
Campus Sabará
TCC - IFMG (SABARÁ)
LISTA DE CABOS

5/6

16	PSIFMG16F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-16	EF-028;EF-030;EF-032;EF-047;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038		
17	PSIFMG17F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-17	EF-029;EF-030;EF-032;EF-047;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038		
18	PSIFMG18F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-18	EF-031;EF-032;EF-047;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038		
19	PSIFMG19F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	10	30	STRING BOX	PS-IFMG-19	EF-033;EF-047;CP-04;EF-037;CP-05;EF-038		
20	PSIFMG19F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	30	120	STRING BOX	PLACAS SOLARES (EXISTENTES)	EF-050		ESTE CABO DEVERA SER CONSIDERADO PARA 15 PLACAS



INSTITUTO FEDERAL

Minas Gerais
Campus Sabará

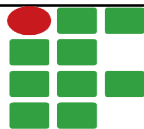
TCC - IFMG (SABARA)
LISTA DE CABOS

6/6

21	PSIFMG19F01	220/127V	1	3	4	EPR	0,6/1	30	120	STRING BOX	PLACAS SOLARES (EXISTENTES)	EF-051		ESTE CABO DEVERA SER CONSIDERADO PARA 14 PLACAS
22	INVIFMG01F01	220/127V	2	4	120	EPR	0,6/1	5	10	STRING BOX	INV-IFMG-01	EF-049		
23	BTIFMG01F01	220/127V	2	4	120	EPR	0,6/1	5	10	INV-IFMG-01	BT-IFMG-01	EF-047		
24	QGBTIFMG01F01	220/127V	2	4	120	EPR	0,6/1	5	10	INV-IFMG-01	QGBT-IFMG-01	EF-048		
25	TRAFO (EXISTENTE)-F01	220/127V	2	4	120	EPR	0,6/1	50	100	BT-IFMG-01	TRAFO (EXISTENTE)	EF-046;CP-06;EF- 039;CP-07;EF-040;CP- 08;EF-041;CP-09;EF- 042;CP-10;EF-043;CP- 11;EF-044;CP-12;EF- 045		

APÊNDICE D – IFMG-01-FOLHA DE DADOS MÓDULO SOLAR

Apresenta-se a seguir o projeto desenvolvido durante a pesquisa.



INSTITUTO FEDERAL
Minas Gerais
Campus Sabará

TCC - IFMG (SABARA)
FOLHA DE DADOS - PLACA FOTOVOLTAICA

1/1

TE: TIPO EMISSÃO		A - PRELIMINAR B - PARA APROVAÇÃO	C - PARA CONHECIMENTO D - PARA COTAÇÃO	E - PARA CONSTRUÇÃO F - CONFORME COMPRADO	G - CONFORME CONSTRUÍDO H - CANCELADO			
Rev.	TE	Descrição		Por	Ver.	Apr.	Aut.	Data
A	B	EMISSÃO INICIAL		VBS	VBS	-	-	03/07/23

Instruções de Preenchimento pelo Fornecedor

I - O Fornecedor deve preencher a primeira coluna do campo "Proposto" com uma das opções a seguir: "A" (atendido) ou "D" (desvio).

II - Os itens assinalados como "D", assim como os esclarecimentos a estes pertinentes, devem obrigatoriamente ser informados pelo Fornecedor através da "Lista de Desvios", conforme definido na Seção 1 da Requisição Técnica. Para a apresentação de informações adicionais às contidas nesta Folha de Dados, o Fornecedor deve proceder da mesma forma.

III - As Notas Explicativas ao final da Folha de Dados são de preenchimento exclusivo do Emitente e não devem ser preenchidas pelo Fornecedor.

Fornecedor:	Informar	Proposta:	Informar
Identificação (TAG):	Conjunto	Quantidade:	19

Item	Descrição	Un.	Especificado	Proposto	
	Sistema				
1	Sistema em corrente contínua	s/n	S		
2	Tensão de saída do banco de baterias	Vcc	Informar		
3	Sistema em corrente alternada	s/n	N		
4	Sistema interligado à rede de distribuição	s/n	S		
	Módulo fotovoltaico				
5	Fabricante	-	Trina Solar		
6	Modelo	-	Vertex S TSM-DE09.08 405W		
7	Potência máxima	Wp	405 Wp		
8	Eficiência	%	21,1 %		
9	Vida útil	Anos	25 anos		
10	Potência da carga a ser alimentada		Informar		
11	Painel de Iluminação (Prédio administrativo)	VA	Informar		
12	Demanda diária	kwh/dia	Informar		
13	Tensão para máxima potência	V	34,4 V		
14	Tensão de circuito aberto	V	41,4 V		
15	Corrente para máxima potência	A	11,77 A		
16	Corrente de circuito aberto	A	12,34 A		
17	Dispositivos de proteção e equalização de carga	-	INFORMAR		
18	Dimensões (A x L x P)	mm	1754 x 1096 x 30 mm		
19	Peso	kg	21 kg		
20	Quantidade de módulos	-	19		
21	Número de células fotovoltaicas por módulo	-	120 células		
22	Tipo da célula	-	Monocristalina		
23	Parte frontal (vidro temperado / resina)	-	Vidro temperado 3,2 mm		

APÊNDICE E – IFMG-01-FOLHA DE DADOS STRING BOX

Apresenta-se a seguir o projeto desenvolvido durante a pesquisa.



INSTITUTO FEDERAL

Minas Gerais
Campus Sabará

TCC - IFMG (SABARA) FOLHA DE DADOS - STRING BOX

1/2

TE: TIPO EMISSÃO		A - PRELIMINAR B - PARA APROVAÇÃO	C - PARA CONHECIMENTO D - PARA COTAÇÃO	E - PARA CONSTRUÇÃO F - CONFORME COMPRADO	G - CONFORME CONSTRUÍDO H - CANCELADO			
Rev.	TE	Descrição		Por	Ver.	Apr.	Aut.	Data
A	B	EMIÇÃO INICIAL		VBS	VBS	-	-	-

Instruções de Preenchimento pelo Fornecedor

I - O Fornecedor deve preencher a primeira coluna do campo "Proposto" com uma das opções a seguir: "A" (atendido) ou "D" (desvio).

II - Os itens assinalados como "D", assim como os esclarecimentos a estes pertinentes, devem obrigatoriamente ser informados pelo Fornecedor através da "Lista de Desvios", conforme definido na Seção 1 da Requisição Técnica. Para a apresentação de informações adicionais às contidas nesta Folha de Dados, o Fornecedor deve proceder da mesma forma.

III - As Notas Explicativas ao final da Folha de Dados são de preenchimento exclusivo do Emitente e não devem ser preenchidas pelo Fornecedor.

Fornecedor:	Informar	Proposta:	Informar
Identificação (TAG):	STB-01	Quantidade:	1

Item	Descrição	Un.	Especificado	Proposto
Identificação				
1	Fabricante	-	Informar	
2	Modelo	-	Informar	
3	Monitoramento	-	Não	
Condições Ambientais				
4	Altitude	m	< 1000	
5	Temperatura Ambiente (Min. - Max.)	° C	18 - 32	
6	Umidade relativa do ar (Min. - Max.)	%	52 - 86	
7	Próximo ao mar (sim / não)	-	Não	
Características nominais				
8	Classe de tensão	Vcc	1100	
9	Corrente nominal por string box	A	32-50	
10	Temperatura de operação	°C	-25°C~+60°C	
Características construtivas				
11	Número de circuitos por string-box-tipo 1	-	3	
12	Número máx. de string-box - tipo 1/por inversor	-	3	
13	Número de módulos por string	-	21/21/20	
14	Instalação (abrigada / ao tempo)	-	abrigada	
15	Tipo de montagem	-	Sobrepor (em estaca metálica individual)	
16	Material	-	Material Polimérico ou Poliéster com fibra reforçada	
17	Grau de proteção	-	IP-65	
18	Cor da placa de montagem	-	Laranja segurança 2,5 YR 6/14	
19	Entrada de cabos (por baixo / por cima)	-	Por baixo	
20	Número de entradas CC	-	12 (3 por MPPT)	
21	Conexão de entrada de cabos solares	-	Conector tipo MC4	
22	Saída de cabos (por baixo / por cima)	-	Por baixo	
23	Número de saídas CC	-	4 (prensa-cabos 2+/2-indivisuais)	
24	Entrada CC - Conector de força / aterramento (quantidades / seção)	-	Informar	
25	Saída CC - Conector de força / aterramento (quantidades / seção)	-	Informar	
26	Corrente de curto-circuito simétrica	kA	40	
27	Classe de proteção	-	II - isolamento duplo	

**INSTITUTO FEDERAL**

Minas Gerais

Campus Sabará

TCC - IFMG (SABARA)
FOLHA DE DADOS - STRING BOX**2/2**

	Características dos componentes				
	Entrada DC				
	Fusível				
28	Tipo	-	Cilíndrico tipo gPV		
29	Tensão	Vcc	1100		
30	Corrente nominal máxima	A	30		
31	Conexão	-	Em porta fusível		
32	Fabricante	-	Informar		
33	Modelo	-	Informar		
34	Quantidade	un.	6		
	Saída DC				
	Chave seccionadora sob carga de saída				
35	Tipo	-	Caixa moldada		
36	Corrente nominal a 70°C	A	63		
37	Tensão nominal	Vcc	1100		
38	Fabricante	-	Informar		
39	Modelo	-	Informar		
	Dispositivo Proteção contra Surto				
40	Classe	-	I + II		
41	Conexão	-	plugável com cartuchos		
42	Corrente máxima de descarga Imáx	kA	40		
43	Tensão de Operação	Vcc	1100		
44	Fabricante	-	Informar		
45	Modelo	-	Informar		
	Dimensões e peso				
46	Altura x largura x profundidade	mm	Informar		
47	Peso aproximado	kg	Informar		

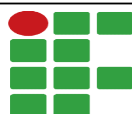
APÊNDICE F – IFMG-01-LISTA DE MATERIAS

Apresenta-se a seguir o projeto desenvolvido durante a pesquisa.



TCC - IFMG (SABARA)
LISTA DE MATERIAIS

[illegible]



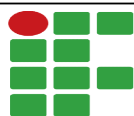
INSTITUTO FEDERAL

Minas Gerais
Campus Sabará

TCC - IFMG (SABARA)
LISTA DE MATERIAIS

2/10

Item	Área/Subárea	Código	Descrição	Dimensão	Unid.	Qtde.	Peso	Observações
1	IFMG	-	Eletroduto rígido de aço carbono, galvanizado a quente, com costura, com uma luva na extremidade e uma unidade protetora na outra, classe pesado, rosca NPT, peças de 3 metros de comprimento, conforme norma NBR 5598 da ABNT.	4"	PÇ	60	-	REF: TCC-ROTA DE FORÇA
2	IFMG	-	Eletroduto rígido de aço carbono, galvanizado a quente, com costura, com uma luva na extremidade e uma unidade protetora na outra, classe pesado, rosca NPT, peças de 3 metros de comprimento, conforme norma NBR 5598 da ABNT.	2"	PÇ	70	-	REF: TCC-ROTA DE FORÇA
3	IFMG	-	Cabo com isolamento extrudada de PVC e cobertura em EPR - Tripolar - Classe de Tensão 0,6/1kV - Seção 1 x 4 mm ²	1x4mm ²	m	570	-	REF: 1485AA-E-00674 E 1485AA-E-00675
4	IFMG	-	Cabo de controle, condutores de cobre nu, sem blindagem, encordoamento classe 5, isolamento em PVC antichama, temperatura de serviço 70°C, 0,6/1kV, condutores numerados - Seção 2 x 4 x 120mm ²	2x4x120m m ²	m	130	-	REF: TCC-ROTA DE FORÇA
5	IFMG	-	Grampo "U" tipo pesado em aço SAE 1010/20, para fixação de eletroduto, fornecido com duas porcas arruelas de pressão galvanização á fogo.	4"	PÇ	65	-	REF: TCC-ROTA DE FORÇA
5	IFMG	-	Grampo "U" tipo pesado em aço SAE 1010/20, para fixação de eletroduto, fornecido com duas porcas arruelas de pressão galvanização á fogo.	8"	PÇ	30	-	REF: TCC-ROTA DE FORÇA



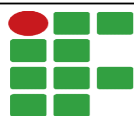
INSTITUTO FEDERAL

Minas Gerais
Campus Sabará

TCC - IFMG (SABARA)
LISTA DE MATERIAIS

3/10

6	IFMG	-	Grampo "U" tipo pesado em aço SAE 1010/20, para fixação de eletroduto, fornecido com duas porcas arruelas de pressão galvanização á fogo.	2"	PÇ	285	-	REF: TCC-ROTA DE FORÇA
7	IFMG	-	Perfil "L" de aço carbono estrutural ASTM A 36, abas iguais, pontas aparadas, fornecidas em peças de 6000 mm.	1.1/2"x1.1/2"x1/4"	PÇ	3	-	REF: TCC-ROTA DE FORÇA
8	IFMG	-	Perfil "L" de aço carbono estrutural ASTM A 36, abas iguais, pontas aparadas, fornecidas em peças de 6000 mm.	2"x2"x1/4"	PÇ	2	-	REF: TCC-ROTA DE FORÇA
9	IFMG	-	Conector fêmea fixo, fabricado em latão laminado zincado, rosca BSP.	4"	PÇ	15	-	REF: TCC-ROTA DE FORÇA
10	IFMG	-	Conector macho giratório de aço galvanizado a fogo, rosca BSP	4"	PÇ	15	-	REF: TCC-ROTA DE FORÇA
11	IFMG	-	Conector fêmea fixo, fabricado em latão laminado zincado, rosca BSP.	2"	PÇ	20	-	REF: TCC-ROTA DE FORÇA



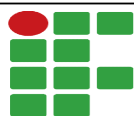
INSTITUTO FEDERAL

Minas Gerais
Campus Sabará

TCC - IFMG (SABARÁ)
LISTA DE MATERIAIS

4/10

12	IFMG	-	Conector macho giratório de aço galvanizado a fogo, rosca BSP	2"	PÇ	20	-	REF: TCC-ROTA DE FORÇA
13	IFMG	-	Arruela de pressão fabricada em chapa de aço galvanizado a fogo, para uso em parafusos de aplicações gerais.	1/4"	PÇ	235	-	REF: TCC-ROTA DE FORÇA
14	IFMG	-	Arruela lisa fabricada em chapa de aço, galvanizado a fogo, para uso com parafusos de aplicações gerais.	1/4"	PÇ	235	-	REF: TCC-ROTA DE FORÇA
15	IFMG	-	Arruela lisa fabricada em chapa de aço, galvanizado a fogo, para uso com parafusos de aplicações gerais.	3/8"	PÇ	235	-	REF: TCC-ROTA DE FORÇA
16	IFMG	-	Parafuso cabeça sextavada, rosca total "WW", fabricado em aço SAE 1020, galvanizado a fogo.	1/4"x3/4"	PÇ	235	-	REF: TCC-ROTA DE FORÇA
17	IFMG	-	Parafuso cabeça de lentalha, fabricado em aço, galvanizado a fogo	3/8"x3/4"	PÇ	235	-	REF: TCC-ROTA DE FORÇA



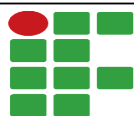
INSTITUTO FEDERAL

Minas Gerais
Campus Sabará

TCC - IFMG (SABARA)
LISTA DE MATERIAIS

5/10

18	IFMG	-	Porca sextavada, fabricada em aço, galvanizada a fogo.	3/8"	PÇ	235	-	REF: TCC-ROTA DE FORÇA
18	IFMG	-	CAIXA DE PASSAGEM 200X150X70	-	PÇ	12	-	REF: TCC-ROTA DE FORÇA



INSTITUTO FEDERAL

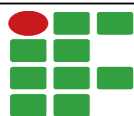
Minas Gerais

Campus Sabará

TCC - IFMG (SABARA)
LISTA DE MATERIAIS

6/10

Item	Área/Subárea	Código	Descrição	Dimensão	Unid.	Qtde.	Peso	Observações
1	IFMG	-	CABO DE COBRE NU, FORMAÇÃO 7 FIOS, DE ALTA CONDUTIBILIDADE, TEMPERA MEIO DURA, CLASSE 2A DE ENCORDAMENTO, FABRICADO DE ACORDO COM AS NORMAS NBR 5111, 6524 e 7555 DA ABNT, SEÇÃO #50mm ² . REF.:COD. TEL5750. TERMOTECNICA OU EQUIVALENTE	50mm ²	m	100	-	REF: TCC-MALHA DE ATERRAMENTO
2	IFMG	-	CONECTOR PARA FIXAÇÃO DE FIOS E CABOS DE ATERRAMENTO, FABRICADO EM BRONZE DE ALTA RESISTÊNCIA MECÂNICA E À CORROSÃO E DOTADO DE PARAFUSO DE FIXAÇÃO EM AÇO ZINCADO A FOGO, COM COMPRIMENTO SUFICIENTE PARA CHAPA OU BARRAMENTO DE ATÉ 7mm DE ESPESSURA , PARA CABOS DE 70 A 120mm ² . REF.: GBM29 BURNDY OU SIMILAR.	-	PÇ	55	-	REF: TCC-MALHA DE ATERRAMENTO
3	IFMG	-	GRAMPO PARA FIXAÇÃO DE CABO HASTE DE ATERRAMENTO PARA CABOS DE 16-70mm ² COM GRAMPO U E PORCAS EM AÇO GALVANIZADO A FOGO. REF.: TERMOTÉCNICA TEL581.	-	m	55	-	REF: TCC-MALHA DE ATERRAMENTO



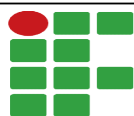
INSTITUTO FEDERAL

Minas Gerais
Campus Sabará

TCC - IFMG (SABARÁ)
LISTA DE MATERIAIS

7/10

4	IFMG	-	HASTE DE ATERRAMENTO, FABRICADA COM NÚCLEO DE, AÇO 1045, SEÇÃO CIRCULAR, EXTREMIDADE PONTEAGUDA, REVESTIDA EM COBRE POR PROCESSO DE FUSÃO, CONTÍNUO, POR TODA PORÇÃO CILÍNDRICA DA HASTE. DIMENSÕES Ø3/4" x 3000mm REF.: TERMOTÉCNICA OU EQUIVALENTE.	-	m	4	-	REF: TCC-MALHA DE ATERRAMENTO
5	IFMG	-	MOLDE PARA SOLDA EXOTÉRMICA CABO 50mm ² - CABO 50mm ² , TAC-Y3Y3. REF.: CADWELD OU EQUIVALENTE.	-	PÇ	2	-	REF: TCC-MALHA DE ATERRAMENTO
6	IFMG	-	METAL DE SOLDA PARA CONEXÃO CABO 50mm ² EM HASTE Ø3/4". REF.: ERICO 115 PLUS F20 OU EQUIVALENTE	-	PÇ	60	-	REF: TCC-MALHA DE ATERRAMENTO



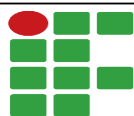
INSTITUTO FEDERAL

Minas Gerais
Campus Sabará

TCC - IFMG (SABARÁ)
LISTA DE MATERIAIS

8/10

7	IFMG	-	ASCENDEDOR CALDWELL	-	PÇ	1	-	REF: TCC-MALHA DE ATERRAMENTO
8	IFMG	-	ARRUELA LISA Ø1/4" FABRICADA EM AÇO COM GALVANIZADO A FOGO. REF.: CISER OU EQUIVALENTE.	1/4"	PÇ	30	-	REF: TCC-MALHA DE ATERRAMENTO
9	IFMG	-	ARRUELA DE PRESSÃO Ø1/4" FABRICADA EM AÇO COM GALVANIZADO A FOGO. REF.: CISER OU EQUIVALENTE.	1/4"	PÇ	30	-	REF: TCC-MALHA DE ATERRAMENTO



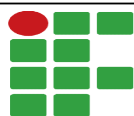
INSTITUTO FEDERAL

Minas Gerais
Campus Sabará

TCC - IFMG (SABARA)
LISTA DE MATERIAIS

9/10

10	IFMG	-	ABRAÇADEIRA TIPO PORTA-BANDEIRA SIMPLES Ø 1 ½". REF.: TEL-100.	1/4"	PÇ	30	-	REF: TCC-MALHA DE ATERRAMENTO
11	IFMG	-	FIXADOR UNIVERSAL CONFECCIONADO EM LATÃO ESTANHADO PARA CABOS DE 16 A 50mm2. REF.: TEL- 5023 TERMOTÉCNICA OU EQUIVALENTE.	50mm²	PÇ	50	-	REF: TCC-MALHA DE ATERRAMENTO
12	IFMG	-	PARAFUSO CABEÇA SEXTAVADA, FABRICADO EM AÇO BICROMATIZADO Ø 1/4"x1.1/4". REF.: CISER OU EQUIVALENTE.	1/4"	PÇ	30	-	REF: TCC-MALHA DE ATERRAMENTO



INSTITUTO FEDERAL

Minas Gerais
Campus Sabará

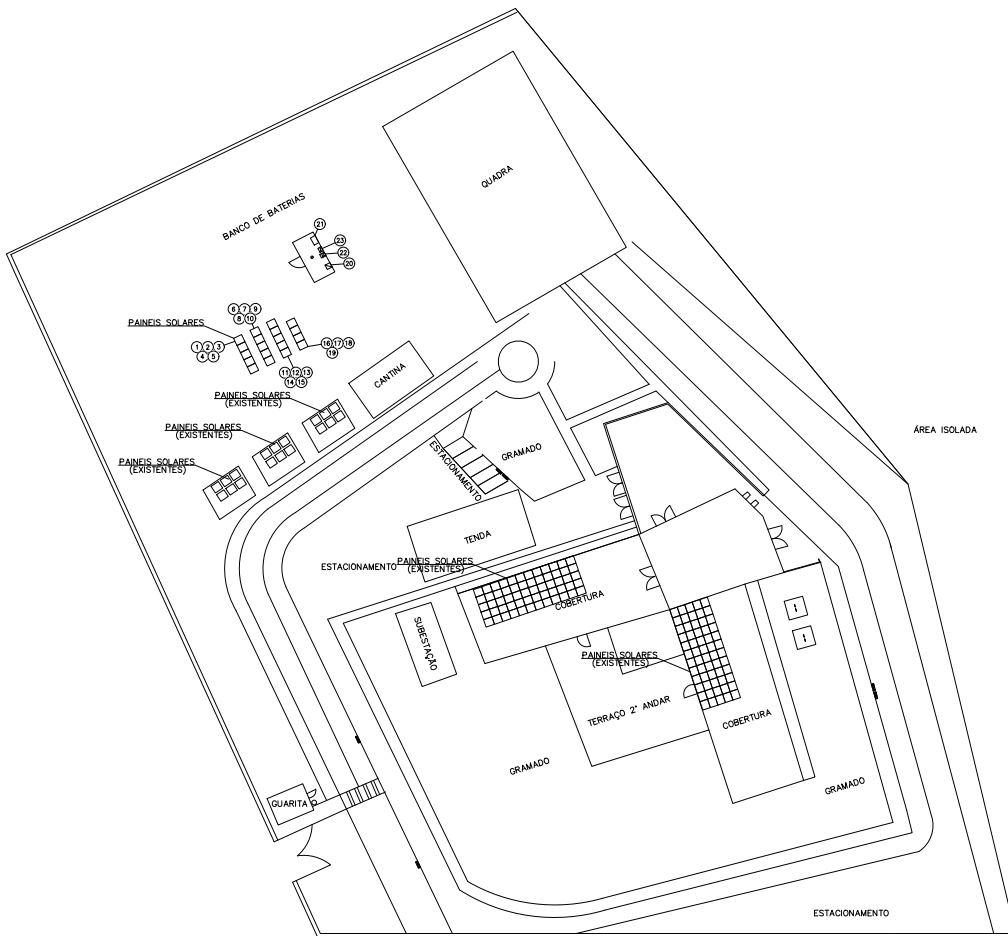
TCC - IFMG (SABARA)
LISTA DE MATERIAIS

10/10

13	IFMG	-	APOIO DE SEGURANÇA. REF.: TEL-091 TERMOTÉCNICA OU EQUIVALENTE	-	PÇ	2	-	REF: TCC-MALHA DE ATERRAMENTO
----	------	---	--	---	----	---	---	----------------------------------

APÊNDICE G – TCC-PLANTA DE LOCAÇÃO

Apresenta-se a seguir o projeto desenvolvido durante a pesquisa.



PLATA BAIXA
S/E

LISTA DE EQUIPAMENTOS		
ITEM	TAG	DESCRIÇÃO
1	PS-IFMG-01	PANEL SOLAR
2	PS-IFMG-02	PANEL SOLAR
3	PS-IFMG-03	PANEL SOLAR
4	PS-IFMG-04	PANEL SOLAR
5	PS-IFMG-05	PANEL SOLAR
6	PS-IFMG-06	PANEL SOLAR
7	PS-IFMG-07	PANEL SOLAR
8	PS-IFMG-08	PANEL SOLAR
9	PS-IFMG-09	PANEL SOLAR
10	PS-IFMG-10	PANEL SOLAR
11	PS-IFMG-11	PANEL SOLAR
12	PS-IFMG-12	PANEL SOLAR
13	PS-IFMG-13	PANEL SOLAR
14	PS-IFMG-14	PANEL SOLAR
15	PS-IFMG-15	PANEL SOLAR
16	PS-IFMG-16	PANEL SOLAR
17	PS-IFMG-17	PANEL SOLAR
18	PS-IFMG-18	PANEL SOLAR
19	PS-IFMG-19	PANEL SOLAR
20	SK-IFMG-01	STRING BOX
21	BT-IFMG-01	BANCO DE BATERIA CHUMBO ÁCIDO
22	IN-INV-IFMG-01	PANEL DE INVERSORES DE FREQUÊNCIA
23	QBT-IFMG-01	QUADRO DE BAIXA TENSÃO
LEGENDA		
☐	MÓDULO FOTOVOLTAICO	
☐	STRING BOX	
☐	BANCO DE BATERIAS	
☐	CAIXA DE PASSAGEM	
☐	CAIXA DE PASSAGEM DE REDE DE DUTOS	
☐	QUADRO DE BAIXA TENSÃO (QGBT)	
☒	INVERSOR DE FREQUÊNCIA	
☐	LUMINÁRIA TIPO TARTARUGA	
DESCRIÇÃO: NENHUMA		NIVELAMENTO
PROJETO: NENHUMA		
TÍTULO: TCC		Escala
PLANTA DE LOCAÇÃO		
NÍVEL DE DETALHE: BÁSICO		Data
Escala: 1/500		
Data: 17/06/2026		Folha: A1

APÊNDICE H – TCC-MALHA DE ATERRAMENTO

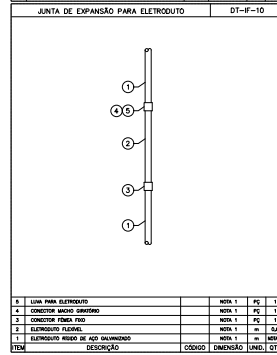
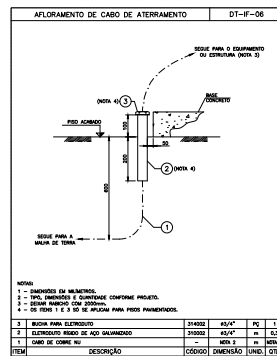
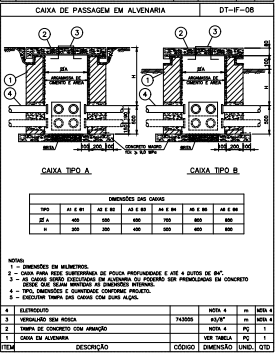
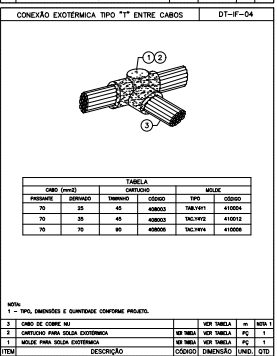
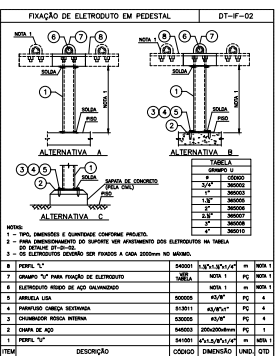
Apresenta-se a seguir o projeto desenvolvido durante a pesquisa.

APÊNDICE I – TCC-DIAGRAMA DE FUNCIONAL

Apresenta-se a seguir o projeto desenvolvido durante a pesquisa.

APÊNDICE J – TCC-DETALHES TÍPICOS

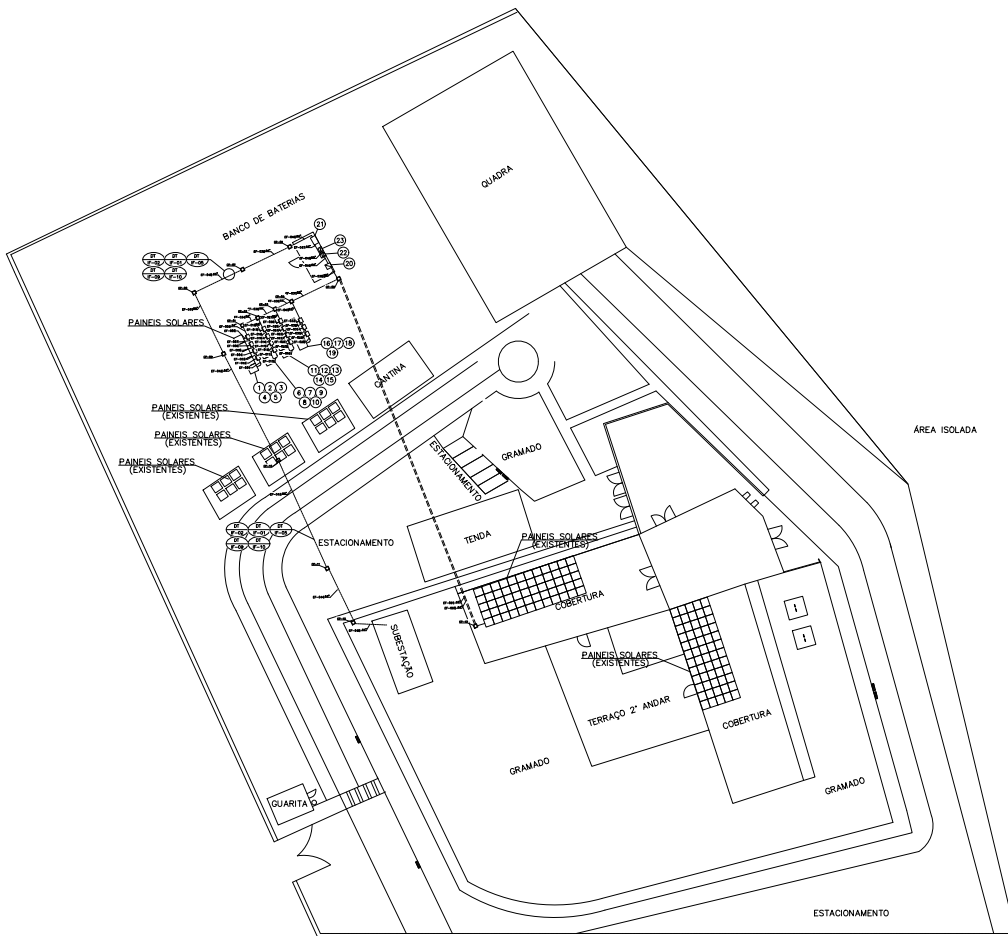
Apresenta-se a seguir o projeto desenvolvido durante a pesquisa.



DESENHISTA:	VBS	NOME
PROJETISTA:	VBS	
FOLHA DETALHES TÍPICOS		PROJETO
		TCC
		TIPO DE PROJETO
		BÁSICO
ESCALA	DATA	FÓRMO
5/ESC	17/06/2026	A1

APÊNDICE K – TCC-ROTA DE FORÇA

Apresenta-se a seguir o projeto desenvolvido durante a pesquisa.



PLATA BAIXA
S/E

LISTA DE EQUIPAMENTOS		
ITEM	TAG	DESCRIÇÃO
1	PS-IFMG-01	PANEL SOLAR
2	PS-IFMG-02	PANEL SOLAR
3	PS-IFMG-03	PANEL SOLAR
4	PS-IFMG-04	PANEL SOLAR
5	PS-IFMG-05	PANEL SOLAR
6	PS-IFMG-06	PANEL SOLAR
7	PS-IFMG-07	PANEL SOLAR
8	PS-IFMG-08	PANEL SOLAR
9	PS-IFMG-09	PANEL SOLAR
10	PS-IFMG-10	PANEL SOLAR
11	PS-IFMG-11	PANEL SOLAR
12	PS-IFMG-12	PANEL SOLAR
13	PS-IFMG-13	PANEL SOLAR
14	PS-IFMG-14	PANEL SOLAR
15	PS-IFMG-15	PANEL SOLAR
16	PS-IFMG-16	PANEL SOLAR
17	PS-IFMG-17	PANEL SOLAR
18	PS-IFMG-18	PANEL SOLAR
19	PS-IFMG-19	PANEL SOLAR
20	SK-IFMG-01	STRING BOX
21	BT-IFMG-01	BANCO DE BATERIA CHUMBO ÁCIDO
22	IN-INV-IFMG-01	PANEL DE INVERSORES DE FREQUÊNCIA
23	QGBT-IFMG-01	QUADRO DE BAIXA TENSÃO
LEGENDA		
☐	MÓDULO FOTOVOLTAICO	
☒	STRING BOX	
☐	BANCO DE BATERIAS	
☐	CAIXA DE PASSAGEM	
☐	CAIXA DE PASSAGEM DE REDE DE DUTOS	
☐	QUADRO DE BAIXA TENSÃO (QGBT)	
☒	INVERSOR DE FREQUÊNCIA	
IDENTIFICAÇÃO DE ELETRODUTOS		
#1,5/2" EC-008-40 DIÂMETRO NOMINAL MÉTRICO SEQUENCIAL NUMÉRICA FUNÇÃO - A - FORÇA EM MÉDIA TENSÃO - F - FORÇA EM BAIXA TENSÃO - C - CONTROLE - D - FIBRA ÓTICA - I - INSTRUMENTAÇÃO - L - ILUMINAÇÃO - R - REDE DE DADOS - X - OUTROS MATERIAL - E-AÇO CARBONO GALV. - K-PEAD CORRUGADO DIÂMETRO NOMINAL INGLÊS		
NOTAS		
1-- ELETRODUTOS NÃO IDENTIFICADOS POSSUEM 2".		
DESENHISTA: ☒ VBS		REVISÃO:
PROJETISTA: ☒ VBS		
TÍTULO: PLANTA DE LOCAÇÃO		PROJETO: TCC
		ESCALA DE PROJETO: BÁSICO
DATA: 15/03		DATA: 17/06/2026
		FORMATO: A1

APÊNDICE L – FATURA CAMPOS

Apresenta-se a seguir o projeto desenvolvido durante a pesquisa.



DOCUMENTO AUXILIAR DA NOTA FISCAL DE ENERGIA ELÉTRICA ELETRÔNICA
CEMIG DISTRIBUIÇÃO S.A. CNPJ 06.981.180/0001-16 / INSC. ESTADUAL 062.322136.0087.
AV. BARBACENA, 1.200 - 17º ANDAR - ALA 1 - BAIRRO SANTO AGOSTINHO
CEP: 30190-131 - BELO HORIZONTE - MG.

TARIFA SOCIAL DE ENERGIA ELÉTRICA - TSEE FOI CRIADA PELA LEI Nº 10.438, DE 26 DE ABRIL DE 2002

IFECT MG CAMPUS SABARA RD MGT 262 9999 KM 10 NR 1 COND MANGUEIRAS 34590-390 SABARA, MG CNPJ 10.626.8**/****_**		Referente a OUT/2024	Vencimento 22/11/2024	Valor a pagar(R\$) 10.184,16
			NOTA FISCAL Nº 205151989 - SÉRIE 000 Data de emissão: 01/11/2024 Consulte pela chave de acesso em: http://www.sped.fazenda.mg.gov.br/spedmg/nf3e chave de acesso: 31241106981180000116660002051519891046360151 Protocolo de autorização: 1312400223186673 01.11.2024 às 20:33:23	
Nº DO CLIENTE 7008642153	Nº DA INSTALAÇÃO 3013346473			

Classe Poder Público	Subclasse Poder Publico Federal	Modalidade Tarifária THS Verde A4	Datas de Leitura			
			Anterior 30/09	Atual 31/10	Nº de dias 31	Próxima 30/11

Valores Faturados									
Itens da Fatura	Unid.	Quant.	Preço Unit. (R\$)	Valor (R\$)	PIS/COFINS	Base Calc. ICMS	Aliq. ICMS	ICMS	Tarifa Unit.
Demanda Ativa HFP s/ ICMS	kW	49	22,99100217	1.126,55	37,28	0,00	0,00	0,00	22,23000000
Demanda Ativa HFP	kW	39	28,03780753	1.093,46	29,67	1.093,46	18,00	196,82	22,23000000
Energia Ativa HFP	kWh	6.650	0,62988581	4.188,72	113,68	4.188,72	18,00	753,97	0,49941000
Energia Ativa HP	kWh	1.400	2,87345275	4.022,81	109,18	4.022,81	18,00	724,10	2,27824000
Energia SCEE HFP ISENTA	kWh	700	0,24465000	171,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24465000
Energia compensada HFP GD I	kWh	700	0,24465000	-171,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24465000
Energia Reativa HFP	kWh	1.050	0,39541759	415,16	11,25	415,16	18,00	74,73	0,31351000
Contrib Ilum Publica Municipal				51,86					
Imposto Retido - CSLL				-108,45					
Imposto Retido - COFINS				-325,39					
Imposto Retido - PIS/PASEP				-70,49					
Imposto Retido - IRPJ				-210,07					
TOTAL				10.184,16	301,06	9.720,15		1.749,62	
Bandeira Vermelha P2 - Já Incluído no valor a pagar				799,74					

NOTIFICAÇÃO DE DÉBITO(S)			
Até 01/11/2024 constava(m) o(s) seguinte(s) débito(s):			
Mês/Ano	Valor (R\$)	Débitos que sujeitam ao corte:	
		Mês/Ano	Valor (R\$) Prev. Corte

A religação estará condicionada à inexistência de débitos vencidos na unidade consumidora. No mês em que ocorrer suspensão/reliquação será cobrado, no mínimo, o custo de disponibilidade.

Histórico de Consumo					
Mês/Ano	Demanda(kW)			Energia(kWh)	
	HP	HFP	HP	HFP	HR
OUT/24	39	35	1.400	7.350	0
SET/24	39	39	2.100	8.750	0
AGO/24	39	35	1.750	7.000	0
JUL/24	32	32	2.100	6.300	0
JUN/24	11	11	350	3.500	0
MAI/24	11	11	700	3.150	0
ABR/24	28	28	700	4.900	0
MAR/24	28	28	1.400	5.600	0
FEV/24	28	28	700	5.250	0
JAN/24	39	39	1.750	7.350	0
DEZ/23	39	35	1.750	7.000	0
NOV/23	39	39	1.400	6.300	0
OUT/23	39	39	2.100	8.400	0

Grandezas Contratadas	
Demanda Fora Ponta	88
Demanda Geração	35

Informações Gerais	
SALDO ATUAL DE GERAÇÃO: 0,00 kWh PONTA, 0,00 kWh F. PONTA, 0,00 kWh NOTURNO. Tarifa vigente conforme Res Aneel nº 3.328, de 21/05/2024. Retenção de 5,85%, valor R\$ 504,65 , conforme Art. 64 da lei nº 9430, de 27/12/96. Retenção de 9,45%, valor R\$ 209,75 , conforme Art. 64 da lei nº 9430, de 27/12/96. Conforme DECRETO Nº 46.213, DE 11 DE ABRIL DE 2013, não será exigido o recolhimento do ICMS sobre a parcela de Demanda de Potência não utilizada UC é parte do sistema de compensação de energia. AGENTE DE RELACIONAMENTO: ANA C. M. NASCIMENTO E-MAIL: ana.cardoso@cemig.com.br Bandeira tarifária OUT/2024: Band. Verm. P2	

Reservado ao Fisco			
	Base de cálculo (R\$)	Alíquota (%)	Valor (R\$)
ICMS	9.720,15	18,00	1.749,62
PASEP	9.097,08	0,59	53,65
COFINS	9.097,08	2,72	247,41

Fale com CEMIG: 116 - CEMIG Torpedo 29810 - Ouvidoria CEMIG: 0800 7283838 - Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - Telefone: 167 - Ligação gratuita de telefones fixos e móveis.



PIX Pague Aqui

Código de Débito Automático
008069205881

Outubro/2024

Instalação
3013346473

Vencimento
22/11/2024

Total a pagar
R\$ 10.184,16

83660000101-7 84160138001-4 04990210211-7 08069205881-3



DEMONSTRATIVO DE GRANDEZAS FATURADAS

Cliente: IFECT MG CAMPUS SABARA			Unidade: SABARA		
Instalação: 3013346473		Medidor: GMI064000157		Período de Medição 01/10/2024 a 31/10/2024	
Subgrupo: A4	Local de Medição:			Mês/Ano: 10/2024	
Modulação contratual/Horário de ponta: 17:00 às 20:00				Dias livres : e	

LEITURAS						
Segmentos	HFP/único		HP		HR	
Grandezas	Leitura anterior	Leitura atual	Leitura anterior	Leitura atual	Leitura anterior	Leitura atual
kW		10		11		0
kWh	1.000	1.021	187	191	0	0
kWh Injet.	124	126	0	0	0	0
UFER	180	183	13	13	0	0
DMCR		9		10		0
kW Injet.		5		0		0

DEMANDA(kW)								
Segmento	Produto	Registrado	Acerto Reg.	Data/Hora	Acerto Fat.	Contratado	Faturado ultrapass.	Faturado normal
HFP/Único	Demanda ativa	35				88		88
	Demanda Energia Interrupt.							
	Demanda reativa - UFDR							
	DMCR	32						
	Demanda injetada	18				35		
HP	Demanda ativa	39						
	Demanda Energia Interrupt.							
	Demanda reativa - UFDR	35						
	DMCR							
	Demanda injetada							
HR	Demanda ativa							
	Demanda reativa - UFDR							
	DMCR							
	Demanda injetada							

ENERGIA (kWh)								
Segmento	Produto	Registrado	Acerto reg.	Contratado	Take	Acerto Fat.	Faturado ultrapass.	Faturado normal
HFP/Único	Energia ativa	7.350						7.350
	Energia Injetada	700						700
	Energia reativa - UFER	1.050						1.050
HP	Energia ativa	1.400						1.400
	Energia Injetada							
	Energia reativa- UFER							
HR	Energia ativa							
	Energia Injetada							
	Energia reativa - UFER							

FATORES			CONSTANTES	
Segmento	Fator de carga	Fator de potência	RTC	5
			RTP	70
			kW	350
			kWh	350
HFP	0,311		Perdas Transf.	
HP	0,520		Medidor	1,0
HR				

Notas:
Data de assinatura do CCER: 09/07/2024.
Vigência do CCER: 22/07/2025.