



Instituto Federal da Paraíba
Campus João Pessoa
Bacharelado em Engenharia Elétrica

JOSÉ CRÍSTELLYS SOARES TEMOTEO

**A IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE UMA USINA SOLAR
FOTOVOLTÁICA EM ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ESGOTO DE
EMPRESA PÚBLICA DE SANEAMENTO DA PARAÍBA**

João Pessoa-PB
2026

JOSÉ CRÍSTELLYS SOARES TEMOTEO

**A IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE UMA USINA SOLAR
FOTOVOLTÁICA EM ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ESGOTO DE
EMPRESA PÚBLICA DE SANEAMENTO DA PARAÍBA**

Monografia apresentada ao curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal da Paraíba do Campus João Pessoa, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Bacharelado em Engenharia Elétrica.

Orientador: Álvaro de Medeiros Maciel, Dr.
Orientador, IFPB

João Pessoa-PB
2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – CIP
Biblioteca Nilo Peçanha – IFPB, *campus* João Pessoa

T281i Temoteo, José Crístellys Soares.

A implantação e operação de uma usina solar fotovoltaica em estação elevatória de esgoto de empresa pública de saneamento da Paraíba / José Crístellys Soares Temoteo. – 2026. 50 f. : il.

TCC (Graduação em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB / Coordenação de Engenharia Elétrica.

Orientador : Álvaro de Medeiros Maciel, Dr.

1. Energia solar fotovoltaica. 2. Geração distribuída. 3. Estação elevatória de esgoto. 4. Saneamento básico. 5. Estudo de caso. I. Título.

CDU 621.311.2

JOSÉ CRÍSTELLYS SOARES TEMOTEO

**A IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE UMA USINA SOLAR
FOTOVOLTÁICA EM ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ESGOTO DE
EMPRESA PÚBLICA DE SANEAMENTO DA PARAÍBA**

Monografia apresentada ao curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal da Paraíba do Campus João Pessoa, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Bacharelado em Engenharia Elétrica.

Aprovado em :05 de Fevereiro de 2026

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **ÁLVARO DE MEDEIROS MACIEL**
Data: 09/02/2026 12:24:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Álvaro de Medeiros Maciel, Dr.
Orientador, IFPB

Documento assinado digitalmente
 **FRANKLIN MARTINS PEREIRA PAMPLONA**
Data: 09/02/2026 12:51:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Franklin Martins Pereira Pamplona, Dr.
Examinador, IFPB

Documento assinado digitalmente
 **JOSE ARTUR ALVES DIAS**
Data: 09/02/2026 17:22:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

José Artur Alves Dias, Dr.
Examinador, IFPB

A minha família, especialmente meu Pai, que se eternizou em 2023 e foi minha base para ingressar na área e no curso

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela força, saúde e perseverança ao longo de toda a trajetória acadêmica, especialmente nos períodos de maior exigência.

Ao Instituto Federal da Paraíba (IFPB), pela formação oferecida, pela estrutura acadêmica e pelas oportunidades de aprendizagem que contribuíram diretamente para o meu desenvolvimento profissional.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Álvaro de Medeiros Maciel, pelas orientações, disponibilidade e contribuições técnicas, que foram essenciais para a condução do estágio e para a elaboração deste relatório.

À Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), pelo apoio institucional e pela oportunidade de vivenciar a prática profissional em um ambiente real de operação e manutenção. Agradeço, em especial, à Gerência de Gestão de Energia (GEGE) e a todos os profissionais que a compõem, pelo acolhimento, pela colaboração diária e pela disponibilidade em compartilhar conhecimentos, tornando o estágio uma experiência rica em aprendizado.

Agradeço à minha família, pelo apoio incondicional e por estar presente em cada etapa desta caminhada. À minha esposa, Lídia Rodrigues, pela parceria, paciência, incentivo e compreensão, fundamentais para que eu mantivesse o foco e seguisse firme até a conclusão deste trabalho.

Registro também meu agradecimento ao meu pai (in memoriam), eletricista, falecido em 2023, cujo exemplo de dedicação, responsabilidade e amor pelo trabalho influenciou diretamente minha escolha pela área elétrica. Sua história e seus ensinamentos permanecem como referência e motivação permanente na minha vida.

Por fim, agradeço aos amigos e a todos que, de alguma forma, contribuíram com incentivo e apoio ao longo desse processo.

*“Se quiser entender os segredos do Universo,
pense em termos de frequência, energia e vi-
bração.”*

— **Nikola Tesla**

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de caso da implantação e operação de uma usina solar fotovoltaica em uma Estação Elevatória de Esgoto de uma empresa pública de saneamento básico do Estado da Paraíba. A motivação está associada ao elevado consumo de energia elétrica típico de unidades de bombeamento, com impacto direto no custo operacional. O estudo descreve a caracterização elétrica da unidade, o contexto de média tensão com transformação própria, o perfil de consumo por postos tarifários e a influência das cargas motrizes na absorção instantânea da geração fotovoltaica (autoconsumo). Além da descrição técnica da solução instalada e do processo de comissionamento, o trabalho estabelece métricas de acompanhamento e um plano de operação e manutenção para sustentar o desempenho ao longo do tempo. Os resultados quantitativos de geração e economia na fatura foram consolidados a partir de dados de monitoramento e de comparação entre faturas no período anterior e posterior à implantação.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica; geração distribuída; estação elevatória de esgoto; saneamento básico; estudo de caso.

ABSTRACT

This work presents a case study of the deployment and operation of a grid-connected photovoltaic power plant at a sewage pumping station owned by a public sanitation company in the State of Paraíba, Brazil. The motivation is related to the high electricity consumption typically associated with pumping units, which directly affects operational costs. The study describes the electrical characterization of the facility, the medium-voltage context with an in-house transformer, the consumption profile by tariff periods, and the role of motor-driven loads in absorbing photovoltaic generation through self-consumption. Besides the technical description of the installed solution and the commissioning process, the work defines monitoring metrics and an operation and maintenance plan to sustain long-term performance. Quantitative results on energy generation and bill savings will be consolidated from monitoring data and from a comparison of electricity bills before and after the implementation.

Keywords: photovoltaic solar energy; distributed generation; sewage pumping station; sanitation; case study.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Planta de situação e locação da UFV na EEE-IV (Aeroclube).	28
Figura 3.2 – Arranjo das strings e identificação de inversores/MPPTs	28
Figura 3.3 – Diagrama unifilar simplificado do sistema fotovoltaico.	29
Figura 3.4 – Despesa de energia elétrica no período de referência 07/2023 a 06/2024 (pré-injeção).	30
Figura 3.5 – Despesa de energia elétrica no período de referência 07/2024 a 06/2025 (pós-injeção).	31
Figura 3.6 – Despesa de energia elétrica da UC 226435 (pré-compensação) – 09/2023 a 08/2024	33
Figura 3.7 – Despesa de energia elétrica da UC 226435 (pós-compensação) – 09/2024 a 08/2025.	34
Figura 3.8 – Despesa de energia elétrica da UC 684303 (pré-compensação) – 10/2023 a 09/2024.	36
Figura 3.9 – Despesa de energia elétrica da UC 684303 (pós-compensação) – 10/2024 a 09/2025.. . . .	37
Figura 4.1 – Evolução mensal da despesa de energia elétrica nas janelas pré e pós-injeção	39
Figura 4.2 – Comparativo da despesa média mensal no período pré e pós-injeção . .	39
Figura A.1 – Planta de aterramento da UFV.	49
Figura A.2 – Comparativo da despesa média mensal no período pré e pós-injeção . .	50
Figura A.3 – Comparativo da despesa média mensal no período pré e pós-injeção . .	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Plano de atividades de operação e manutenção	41
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Despesa de energia elétrica (R\$) antes e após o início da injeção (06/2024)	32
Tabela 2	– Despesa de energia elétrica (R\$) no período pré e pós-injeção	35
Tabela 3	– Despesa de energia elétrica (R\$) no período pré e pós-injeção	37
Tabela 4	– Síntese do comparativo de despesa de energia (R\$) nas janelas pré e pós-injeção	38
Tabela 5	– Geração dos últimos 8 meses da usina FV Bessa IV - Aeroclube (jun– dez/2025)	42
Tabela 6	– Fator de emissão médio mensal do SIN (2025)	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BT	Baixa Tensão
CDC	Código de Identificação da Unidade Consumidora (cadastro interno)
EEE	Estação Elevatória de Esgoto
GD	Geração Distribuída
MT	Média Tensão
O&M	Operação e Manutenção
PR	Performance Ratio (fator de desempenho)
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
SCEE	Sistema de Compensação de Energia Elétrica
SFV	Sistema Fotovoltaico
SPDA	Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas
UFV	Usina Fotovoltaica
DPS	Dispositivo de Proteção contra Surtos
MPPT	Maximum Power Point Tracking (rastreamento do ponto de máxima potência)
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
QDCA	Quadro de Distribuição em Corrente Alternada (lado CA)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	16
1.1.1	Objetivo Geral	16
1.1.2	Objetivos Específicos	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS E CONSUMO DE ENERGIA	18
2.2	SISTEMAS FOTOVOLTÁICOS CONECTADOS À REDE	18
2.3	RECURSO SOLAR E POTENCIAL DE GERAÇÃO	19
2.4	INDICADORES DE DESEMPENHO	19
2.5	PROCEDIMENTOS DE CONEXÃO E REQUISITOS REGULATÓRIOS	20
2.6	NORMAS TÉCNICAS E SEGURANÇA	21
2.7	EMPRESA PÚBLICA DE SANEAMENTO E PARTICULARIDADES DE GESTÃO	21
2.7.1	Saneamento Básico Como Serviço Público Essencial	21
2.7.2	Organização Institucional do Setor e Papel das Companhias Públicas . .	22
2.7.3	Marco Legal, Planejamento E Metas De Universalização	22
2.7.4	Regulação, Tarifas e Sustentabilidade Econômico-Financeira	23
2.7.5	Governança, Controles e Contratações em Empresas Públicas	23
2.7.6	Energia Elétrica no Saneamento: Perfil de Carga e Oportunidades de Redução de Custo	24
2.7.7	Especificidades de Projetos Fotovoltaicos em Unidades Operacionais de Saneamento	24
2.7.8	Indicadores, Transparência e Prestação De Contas	25
3	METODOLOGIA	26
3.1	IDENTIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA UNIDADE	26
3.2	PERFIL DE CONSUMO E DEMANDA (PONTA/FORA PONTA	26
3.3	CARGAS MOTRIZES E AUTOCONSUMO (2 Motores DE 60 cv)	26
3.4	DESCRIÇÃO DA USINA FOTOVOLTÁICA INSTALADA	26
3.4.1	Arranjo das Strings, Proteção e Encaminhamentos	27
3.5	PROCESSO DE IMPLANTAÇÃO E COMISSIONAMENTO	28
3.6	MONITORAMENTO E DADOS PARA ANÁLISE	29
3.6.1	Análise Comparativa das despesas – UC 226435 (Reservatório ponta de Lucena)	32
3.6.2	Análise Comparativa das despesas – UC 684303 (EEE Mangabeira I) . .	35

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1	RESULTADOS (GERAÇÃO E IMPACTO BA FATURA)	38
4.1.1	Análise Comparativa Da Despesa (R\$)	38
4.1.2	Estimativa de investimento e Rateio do Contrato	40
4.1.3	Plano de operação e manutenção	40
4.2	REDUÇÃO DE EMISSÃO DE CO ₂	42
4.2.1	Os fatores de emissão de CO ₂	42
4.2.2	Quantidade de CO ₂ não lançada na Atmosfera	43
5	CONCLUSÃO	44
5.1	ANÁLISE DE VIABILIDADE	44
	REFERÊNCIAS	45
	ANEXO A – PRANCHAS DO PROJETO EXECUTIVO	49

1 INTRODUÇÃO

O setor de saneamento básico possui processos com elevada demanda energética, sobretudo em unidades de bombeamento associadas ao transporte de esgoto e água. Em estações elevatórias de esgoto, a operação de motobombas em regime variável ao longo do dia tende a concentrar o consumo elétrico e impactar diretamente o custo operacional. Em empresas públicas de saneamento, a redução de gastos com energia elétrica amplia a capacidade de investimento e contribui para a sustentabilidade econômico-financeira do serviço (BRASIL, 2019).

Neste contexto, a geração solar fotovoltaica conectada à rede destaca-se como alternativa consolidada para redução da energia importada e mitigação de efeitos de reajustes tarifários. Diferentemente de estudos puramente propositivos, o presente trabalho trata de um estudo de caso em que a usina fotovoltaica já se encontra instalada e em operação, permitindo documentar a implantação e avaliar resultados com base em dados reais.

O estudo foi conduzido em uma Estação Elevatória de Esgoto localizada em João Pessoa-PB, atendida em média tensão com transformação própria, e com perfil de consumo relevante nos postos tarifários ponta e fora ponta. Além da caracterização elétrica da unidade, são discutidos aspectos de autoconsumo associados às cargas motrizes, bem como diretrizes de acompanhamento operacional e manutenção do sistema fotovoltaico.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar a implantação e o desempenho operacional de uma usina solar fotovoltaica instalada em uma Estação Elevatória de Esgoto, avaliando impactos técnicos e econômicos no consumo de energia da unidade.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar a unidade consumidora (contexto de média tensão, transformação e dados de consumo e demanda).
- Descrever tecnicamente o sistema fotovoltaico instalado e as principais etapas de implantação e comissionamento.
- Demonstrar a influência das cargas motrizes no autoconsumo da geração fotovoltaica em operação diurna.
- Estabelecer métricas e indicadores de acompanhamento (geração mensal, kWh/kWp, disponibilidade e economia).

- Propor um plano de operação e manutenção (O&M) para sustentação do desempenho ao longo do ciclo de vida.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS E CONSUMO DE ENERGIA

As estações elevatórias de esgoto (EEE) têm como função vencer desníveis topográficos para viabilizar o transporte do esgoto até as etapas seguintes do sistema. Por serem baseadas em bombeamento, essas unidades apresentam consumo elétrico significativo e recorrente, tornando a energia um dos principais componentes do custo operacional (FUNASA, 2019).

O consumo depende principalmente da vazão afluyente, da altura manométrica requerida (diferença de nível, perdas por atrito e perdas localizadas), do regime de acionamento das bombas e do rendimento global do conjunto eletromecânico (motor + acoplamento + bomba). Em bombas centrífugas, a variação de rotação altera as grandezas hidráulicas segundo as leis de semelhança (afinidade): a vazão é aproximadamente proporcional à rotação, a altura varia com o quadrado da rotação e a potência varia com o cubo da rotação, o que evidencia o potencial de economia quando se utiliza controle de velocidade em cargas variáveis (FUNASA, 2019).

No contexto do estudo de caso, a carga motriz é representada por dois motores de aproximadamente 60 cv cada, o que corresponde a cerca de 44,1 kW por motor em potência mecânica nominal: $1 \text{ cv} \approx 0,7355 \text{ kW}$. A potência elétrica demandada pela instalação pode superar esse valor em função do rendimento do motor, do fator de potência e das condições hidráulicas de operação, impactando diretamente a demanda registrada. Em unidades atendidas em média tensão (Grupo A), o faturamento normalmente envolve energia ativa (kWh), demanda (kW) e possíveis cobranças por energia reativa excedente, além de estruturas tarifárias com diferenciação horária (ponta e fora de ponta). Nesse cenário, a implantação de geração fotovoltaica tende a reduzir o consumo de energia ativa da rede, mas pode não reduzir a demanda contratada caso a geração não seja coincidente com os períodos de maior carga.

2.2 SISTEMAS FOTOVOLTÁICOS CONECTADOS À REDE

Sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR) convertem a energia solar em energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico em células semicondutoras. Os módulos são associados em série (strings) para atender à tensão de operação e em paralelo para atender à corrente requerida, sendo usual a adoção de caixas de junção, dispositivos de seccionamento e proteção no lado de corrente contínua (cc) (PINHO; GALDINO, 2014). (VILLALVA, 2015; MESSENGER; VENTRE, 2010; MARKVART; CASTAÑER; McEVOY, 2012)

A interface com a rede elétrica é realizada por inversores que são conectados diretamente a rede, responsáveis por executar o rastreamento do ponto de máxima potência

(MPPT), condicionar a energia em corrente alternada (ca) sincronizada com a rede e atender aos requisitos de qualidade e segurança, incluindo funções de proteção e detecção de ilhamento (anti-ilhamento). Em SFVCR típicos não há armazenamento em baterias; a energia gerada é consumida instantaneamente pelas cargas locais e, havendo excedente, pode ser exportada para a rede (PINHO; GALDINO, 2014). (MESSENGER; VENTRE, 2010; IEEE, 2018)

Em unidades operacionais de saneamento, a aplicação de SFVCR é favorecida pela previsibilidade de consumo, pela disponibilidade de áreas livres (implantação ao solo) e pela possibilidade de monitoramento remoto. Na EEE analisada, parte da energia gerada é consumida internamente pelos motores e demais cargas auxiliares, reduzindo a energia importada da distribuidora e gerando créditos pelo excedente exportado.

2.3 RECURSO SOLAR E POTENCIAL DE GERAÇÃO

O desempenho de um SFVCR depende do recurso solar local. A irradiância (W/m^2) representa a potência instantânea da radiação solar incidente, enquanto a irradiação (Wh/m^2) corresponde à energia acumulada em um intervalo (hora, dia, mês ou ano). Uma forma prática de expressar a disponibilidade solar é por meio das Horas de Sol Pleno (HSP), definidas como a irradiação diária dividida por $1 \text{ kW}/\text{m}^2$ (PINHO; GALDINO, 2014).

Para estimativas preliminares de energia anual, é comum empregar a relação

$$E \approx P_{\text{inst}} \cdot \text{HSP} \cdot \text{PR}, \quad (2.1)$$

em que E é a energia gerada no período (kWh), P_{inst} é a potência instalada (kWp), HSP é a soma das horas de sol pleno no período e PR é o desempenho global (*performance ratio*). O PR agrega perdas por temperatura, sujeira (*soiling*), sombreamento, perdas ôhmicas, perdas por desbalanceamento/*mismatch* e eficiência do inversor. (PINHO; GALDINO, 2014; IEC, 2021; NREL, 2025; IEA PVPS, 2025)

Além do recurso solar, o perfil de carga da unidade define a fração de autoconsumo instantâneo. Cargas motrizes com operação diurna tendem a elevar o autoconsumo e reduzir a exportação para a rede. Já quando o consumo é predominantemente noturno, a maior parte da geração ocorre em horários de baixa carga, aumentando a energia exportada e a dependência do mecanismo de compensação de energia.

2.4 INDICADORES DE DESEMPENHO

A avaliação de desempenho de um SFVCR deve considerar indicadores técnicos que permitam comparar o comportamento real com valores esperados e identificar perdas. Entre os indicadores mais utilizados estão a produtividade específica (kWh/kWp), a

disponibilidade do sistema e o performance ratio (PR). Esses parâmetros também subsidiam planos de operação e manutenção (O&M) e a verificação de garantias contratuais.

De acordo com a IEC 61724-1, a análise de desempenho pode ser estruturada por meio de grandezas como a produtividade final (Y_f) e a produtividade de referência (Y_r). A produtividade final é definida por:

$$Y_f = \frac{E_{ac}}{P_0}, \quad (2.2)$$

em que E_{ac} é a energia entregue em corrente alternada e P_0 é a potência nominal do arranjo (kWp). Já a produtividade de referência pode ser estimada por:

$$Y_r = \frac{H}{G_{ref}}, \quad (2.3)$$

onde H é a irradiação no plano do gerador e G_{ref} é a irradiância de referência, dada por:

$$G_{ref} = 1 \text{ kW/m}^2. \quad (2.4)$$

Assim, o índice de desempenho (PR) pode ser calculado por:

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r}, \quad (2.5)$$

permitindo quantificar as perdas globais do sistema (IEC, 2021).

O monitoramento contínuo (telemetria do inversor, medições de energia, alarmes e, quando aplicável, sensores de irradiância e temperatura) é essencial para detectar falhas, degradação de módulos, desconexões e eventos de proteção, reduzindo o tempo de indisponibilidade e maximizando o retorno do investimento. (IEC, 2021; NREL, 2025)

2.5 PROCEDIMENTOS DE CONEXÃO E REQUISITOS REGULATÓRIOS

No Brasil, a microgeração e a minigeração distribuída são regidas pelo marco legal estabelecido pela Lei nº 14.300/2022, que institui o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e define diretrizes para o acesso e o faturamento da energia compensada. Segundo a ANEEL, microgeração distribuída é a central geradora com potência instalada até 75 kW; minigeração distribuída é a central com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 3 MW, podendo alcançar 5 MW em situações específicas previstas na Lei nº 14.300/2022 (BRASIL, 2022).

O processo de conexão geralmente envolve: solicitação de acesso à distribuidora, análise de viabilidade e emissão de parecer de acesso, apresentação do projeto elétrico e documentação técnica, adequações de proteção e medição, vistoria/comissionamento e substituição do sistema de medição por medidores bidirecionais, conforme os requisitos do PRODIST (Módulo 3) e das regras de prestação do serviço público de distribuição de energia elétrica (ANEEL, 2021).

Em unidades do Grupo A, é importante destacar que, mesmo com compensação de energia ativa, a demanda de potência permanece sujeita a faturamento conforme as

regras tarifárias aplicáveis. Assim, o impacto econômico de um SFVCR depende do perfil de consumo, do grau de autoconsumo e das condições regulatórias vigentes no momento da conexão.

2.6 NORMAS TÉCNICAS E SEGURANÇA

A implantação de geração fotovoltaica em unidade alimentada em média tensão exige atendimento a requisitos técnicos e de segurança elétrica, considerando tanto o lado em média tensão (subestação e transformador) quanto o lado em baixa tensão, onde normalmente se conectam inversores e cargas. No Brasil, destacam-se: ABNT NBR 14039 (instalações em média tensão), ABNT NBR 5410 (baixa tensão) e NR-10 (segurança em instalações e serviços em eletricidade) (ABNT, 2021; BRASIL, 2025).

Para sistemas fotovoltaicos, normas como a ABNT NBR 16690 (requisitos de projeto de arranjos fotovoltaicos) e a ABNT NBR 16274 (documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho) são referências relevantes. No tocante à interface com a rede e segurança funcional, são citadas normas aplicáveis a inversores e testes de anti-ilhamento, além de requisitos de proteção contra surtos e descargas atmosféricas (ABNT NBR 5419) (ABNT, 2014; ABNT, 2015; ABNT, 2019). (IEEE, 2018)

Do ponto de vista de projeto, são fundamentais: seccionamento visível, coordenação e seletividade de proteções, dimensionamento de condutores e dispositivos de proteção contra sobrecorrente, aplicação de dispositivos de proteção contra surtos (DPS), aterramento e equipotencialização, sinalização e procedimentos operacionais. Em arranjos ao solo, também se recomendam medidas de controle de acesso, identificação de riscos e rotinas de inspeção periódica (ABNT, 2004; ABNT, 2015).

2.7 EMPRESA PÚBLICA DE SANEAMENTO E PARTICULARIDADES DE GESTÃO

2.7.1 Saneamento Básico Como Serviço Público Essencial

Saneamento básico é serviço público essencial, com impacto direto na saúde, na dignidade humana, na economia e no meio ambiente. No Brasil, envolve quatro componentes: abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e drenagem urbana. Apesar de distintos, exigem infraestrutura intensiva em capital, operação contínua, forte regulação e planejamento de longo prazo. A prestação ocorre por delegação do poder público (administração direta, autarquias, empresas estatais, concessões e parcerias) e deve atender continuidade, universalização progressiva, segurança, qualidade e modicidade tarifária, equilibrando metas sociais e sustentabilidade econômico-financeira. Para operadoras públicas, a continuidade impõe redundância, contingência, dimensionamento para picos e alta confiabilidade energética, já que sistemas de bombeamento e tratamento dependem

de eletricidade; por isso, eficiência energética e autoprodução (como fotovoltaica) reduzem vulnerabilidades e custos (BRASIL, 2007; BRASIL, 2020).

2.7.2 Organização Institucional do Setor e Papel das Companhias Públicas

Historicamente, grande parte dos serviços de água e esgoto no Brasil foi estruturada por companhias estaduais e municipais, muitas delas organizadas como empresas públicas ou sociedades de economia mista. Essas organizações operam ativos distribuídos em diferentes municípios, gerindo desde grandes sistemas integrados até unidades isoladas. Essa escala permite ganhos de eficiência por padronização, compra centralizada, compartilhamento de equipes especializadas e diluição de custos fixos. Por outro lado, a operação multiunidade aumenta a complexidade de gestão: a companhia precisa lidar com realidades distintas de infraestrutura, geografia, crescimento urbano, vulnerabilidade socioeconômica e capacidade de pagamento. Em muitas regiões, parte do sistema opera com margens limitadas ou deficitárias, demandando mecanismos de subsídio cruzado e políticas tarifárias coerentes. Além disso, o setor enfrenta desafios clássicos: perdas de água, envelhecimento de ativos, inadimplência, expansão urbana desordenada e pressão por investimentos em coleta e tratamento de esgoto. No âmbito da gestão de energia, companhias públicas costumam concentrar consumo elétrico em unidades como: estações elevatórias (água e esgoto), estações de tratamento, captações, adutoras e reservatórios com bombeamento. Essas unidades são intensivas em potência e operam, muitas vezes, em média tensão. Portanto, medidas energéticas (contratação, demanda, fator de potência, eficiência de motores e bombas, automação de operação e geração fotovoltaica) podem representar redução relevante de OPEX, liberando recursos para manutenção e investimento (BRASIL, 2016).

2.7.3 Marco Legal, Planejamento E Metas De Universalização

O arcabouço jurídico do saneamento foi consolidado com diretrizes nacionais e mecanismos de planejamento setorial. O marco legal estabelece princípios como universalização, integralidade, controle social, transparência, segurança, eficiência e sustentabilidade econômico-financeira. Na prática, a prestação do serviço exige instrumentos de planejamento (planos municipais, planos regionais e planos de investimentos), além de contratos e metas com indicadores de desempenho. Com a atualização do marco legal, intensificou-se a exigência por metas e prazos de universalização, com maior protagonismo de estruturas regionais e de regulação. Para o operador, isso reforça a necessidade de gestão por indicadores e de priorização de investimentos. Projetos de geração fotovoltaica e eficiência energética se inserem nesse cenário como ações complementares: embora não ampliem diretamente a cobertura, eles reduzem custos operacionais recorrentes, aumentando a capacidade de investimento em expansão e melhoria do serviço. Em empresas públicas, as decisões de investimento precisam conciliar critérios técnicos e econômicos com requisitos de governança, transparência e justificativa do interesse público. Assim, a documentação

técnica (projeto executivo, memorial descritivo, estimativas de geração, estudos de sombreamento, arranjo elétrico, comissionamento e plano de O&M) torna-se parte essencial do processo de decisão e de prestação de contas, sobretudo quando o empreendimento envolve recursos públicos (BRASIL, 2007; BRASIL, 2020).

2.7.4 Regulação, Tarifas e Sustentabilidade Econômico-Financeira

A sustentabilidade econômico-financeira de um operador de saneamento depende da relação entre custos (operação, manutenção e investimentos) e receitas (tarifas, subsídios e outras fontes). As tarifas precisam equilibrar modicidade com capacidade de custear o serviço. Em muitos casos, o custo de energia elétrica é um dos maiores componentes do OPEX OPEX¹, especialmente em sistemas com longas adutoras e múltiplas elevatórias. A dinâmica tarifária e regulatória influencia a atratividade de projetos de autoprodução. Se a tarifa de energia tende a crescer acima da inflação (por encargos, bandeiras, reajustes e variações setoriais), a economia anual proporcionada por geração fotovoltaica pode se tornar ainda mais relevante ao longo do tempo. Por outro lado, mudanças regulatórias no sistema de compensação, custos de uso da rede e regras de faturamento podem alterar o resultado econômico do projeto. Assim, estudos de caso devem registrar claramente o regime vigente à época da implantação e as premissas adotadas para a análise de economia. Além da energia ativa (kWh), instalações em média tensão são afetadas por demanda (kW) e por penalidades associadas a fator de potência e qualidade de energia. Portanto, uma abordagem completa de gestão energética em saneamento combina: (i) otimização contratual e operacional de demanda; (ii) correção de fator de potência e mitigação de harmônicos quando necessário; (iii) melhoria de eficiência de bombeamento; e (iv) geração local, quando tecnicamente viável. Projetos fotovoltaicos não substituem esses pilares, mas podem potencializar resultados quando integrados a uma estratégia corporativa de energia (ANEEL, 2021).

2.7.5 Governança, Controles e Contratações em Empresas Públicas

Empresas públicas e sociedades de economia mista seguem regras específicas de governança, integridade e contratação. A necessidade de licitação/seleção pública, padronização de processos, auditorias e controles internos tende a aumentar o ciclo de decisão e implantação de projetos. Ao mesmo tempo, essas exigências fortalecem a rastreabilidade e reduzem riscos de execução. Na prática, projetos de infraestrutura e energia em empresas públicas demandam: (i) justificativa técnica e econômica (termo de referência e estudo de viabilidade); (ii) especificação clara de materiais e serviços; (iii) fiscalização e medição; (iv) registro documental do comissionamento; e (v) plano de operação e manutenção para o ciclo de vida. Para empreendimentos fotovoltaicos, é recomendável

¹ OPEX (Operational Expenditure) refere-se às despesas operacionais recorrentes necessárias para manter a operação, como energia, mão de obra, manutenção e insumos.

incluir explicitamente no processo de contratação: garantias de desempenho, critérios de aceitação, disponibilização de portal de monitoramento, manuais, treinamentos, suporte pós-obra e responsabilidades de manutenção. Do ponto de vista de riscos, a governança deve considerar: qualidade do projeto executivo, compatibilização com a instalação existente (subestação, QGBT e proteção), conformidade com normas de segurança (NR-10 e outras aplicáveis), proteção contra surtos e descargas atmosféricas, e gestão de disponibilidade do sistema. Essas dimensões são particularmente relevantes em instalações de saneamento, onde falhas elétricas podem comprometer a continuidade do serviço (BRASIL, 2016; BRASIL, 2021).

2.7.6 Energia Elétrica no Saneamento: Perfil de Carga e Oportunidades de Redução de Custo

O consumo de energia em saneamento é, em grande parte, associado ao bombeamento. A potência requerida depende da vazão e da altura manométrica, bem como do rendimento do conjunto motobomba. Na prática, perdas hidráulicas, bombas fora do ponto de melhor eficiência, manutenção inadequada e operação sem automação podem elevar significativamente o consumo específico (kWh por metro cúbico bombeado). Em estações elevatórias, o perfil de carga é geralmente intermitente e dependente do afluxo ao longo do dia, mas pode apresentar padrões: maior vazão em horários de maior atividade urbana e menor vazão durante a madrugada. Isso abre oportunidades para: controle por inversor de frequência, ajustes de horário de operação para reduzir demanda na ponta, manutenção para restaurar rendimento, e gerenciamento de picos. A geração fotovoltaica, por ocorrer predominantemente durante o dia, tende a coincidir com períodos de maior atividade urbana e maior probabilidade de acionamento de bombas. Portanto, em elevatórias com operação diurna frequente, a UFV pode elevar a taxa de autoconsumo, reduzindo a energia importada da rede. Em contrapartida, se a estação opera majoritariamente à noite, a coincidência é menor, e o benefício dependerá mais de compensação via créditos (quando aplicável) do que de autoconsumo instantâneo. Além do benefício econômico, a geração local pode reduzir exposição a variações tarifárias e contribuir para metas ambientais da organização, especialmente quando o operador adota políticas de sustentabilidade e redução de emissões associadas ao consumo energético (EPA, 2025). (PLAPPALLY; LIENHARD, 2012; SINGH; CARLIELL-MARQUET; KANSAL, 2012; DUFRESNE, 2015)

2.7.7 Especificidades de Projetos Fotovoltaicos em Unidades Operacionais de Saneamento

Unidades de saneamento apresentam condições particulares para implantação de UFV: restrições de espaço, presença de ambientes corrosivos (especialmente próximos a esgoto), necessidade de acesso para manutenção, e requisitos de segurança e segregação. Em instalações ao solo, a área deve considerar sombreamento, drenagem, segurança patrimonial e compatibilização com circulação de veículos e equipes. Do ponto de vista elétrico, a

integração deve respeitar a topologia existente: subestação em média tensão, QGBT, seccionamentos, proteções e aterramento. Em elevatórias, a presença de motores de grande porte exige atenção à coordenação de proteção e à qualidade de energia. O sistema fotovoltaico deve ser projetado para operar de forma estável com cargas variáveis e para suportar condições de rede (tensões, afundamentos e surtos). Assim, a especificação de inversores, DPS, disjuntores, condutores e o arranjo de cabos devem ser compatíveis com o ambiente industrial. Outra especificidade é a necessidade de disponibilidade elevada. A UFV pode não ser crítica para manter o bombeamento (já que a rede permanece como fonte principal), mas sua indisponibilidade afeta resultados econômicos esperados. Por isso, o plano de O&M deve incluir rotinas de inspeção e limpeza, resposta a falhas, controle de vegetação, verificação de aperto e termografia, além de acompanhamento de indicadores como kWh/kWp e PR. Em estudo de caso, é recomendável descrever o processo de comissionamento e aceitar que resultados reais dependem de variáveis como sazonalidade solar, indisponibilidades de rede, paradas operacionais do processo e intervenções de manutenção (ABNT, 2019; BRASIL, 2025).

2.7.8 Indicadores, Transparência e Prestação De Contas

A gestão moderna de empresas públicas de saneamento tende a ser orientada por indicadores e por transparência. Sistemas de informação setoriais, auditorias e relatórios corporativos exigem evidências quantitativas de desempenho. Nesse sentido, projetos de geração fotovoltaica devem ser monitorados com indicadores simples e rastreáveis, tais como: energia gerada mensal (kWh), geração específica (kWh/kWp), disponibilidade, ocorrência de falhas e economia financeira na fatura. Para que o projeto seja replicável em outras unidades, recomenda-se que o estudo de caso também descreva: características da unidade (tensão de fornecimento, potência do transformador, perfil de consumo por posto tarifário), características da UFV (kWp, módulos, inversores, topologia), e o regime de consumo (autoconsumo versus exportação de excedentes). A padronização desse conjunto de informações facilita a comparação entre unidades e a priorização de investimentos futuros. Por fim, ao tratar-se de empresa pública, a justificativa do investimento deve explicitar o interesse público: redução de custos recorrentes, aumento da resiliência operacional, contribuição para metas de sustentabilidade e liberação de capacidade financeira para expansão e melhoria do serviço de saneamento. Essa lógica conecta diretamente a fundamentação teórica às evidências práticas apresentadas no estudo de caso (IEC, 2021).

No contexto de empresas de saneamento, é comum utilizar métricas de intensidade energética (kWh/m³) para comparar unidades e priorizar ações de eficiência, especialmente em sistemas de bombeamento e tratamento, onde motores e acionamentos representam parcela dominante do consumo. (PLAPPALLY; LIENHARD, 2012; SINGH; CARLIELL-MARQUET; KANSAL, 2012; DUFRESNE, 2015)

3 METODOLOGIA

3.1 IDENTIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA UNIDADE

A unidade objeto deste estudo é a Estação Elevatória de Esgoto EEE-IV (Aeroclube), cadastrada na UC/CDC 1154410, localizada na Rua André Dias, s/n, João Pessoa-PB. A localização geográfica de referência é dada pelas coordenadas -7.080323 (latitude) e -34.845057 (longitude). Trata-se de uma unidade atendida em média tensão (MT), com transformação própria, com potência de subestação/transformador de 150 kVA. A usina solar fotovoltaica associada ao estudo encontra-se instalada ao solo e em operação.

3.2 PERFIL DE CONSUMO E DEMANDA (PONTA/FORA PONTA)

Os dados técnicos disponíveis indicam demanda contratada de 90 kW no posto ponta e 90 kW no posto fora ponta. Como referência de consumo máximo previsto, registram-se 5.000 kWh/mês no posto ponta e 20.000 kWh/mês no posto fora ponta, totalizando 25.000 kWh/mês. Esse patamar corresponde a aproximadamente 300.000 kWh/ano e será utilizado como base inicial para comparação com a geração fotovoltaica e com a evolução da fatura no período pós-implantação.

3.3 CARGAS MOTRIZES E AUTOCONSUMO (2 Motores DE 60 cv)

Na rotina operacional da EEE, há acionamento simultâneo de dois motores de 60 CV. Para fins demonstrativos, adota-se a conversão $1 \text{ CV} = 0,7355 \text{ kW}$, resultando em 44,13 kW de potência elétrica por motor. Considerando rendimentos típicos de motores de indução (aproximadamente 0,90 a 0,93), a potência elétrica requerida por motor em operação pode ficar na ordem de 47 a 49 kW. Assim, com os dois motores em operação simultânea, a potência elétrica total tende a ficar na ordem de 95 a 98 kW. Esse cenário explica a absorção instantânea da geração fotovoltaica durante o período diurno: quando as motobombas estão em operação, parcela relevante da energia gerada é consumida internamente (autoconsumo), reduzindo a importação da rede. A exportação de excedentes ocorre apenas quando a geração instantânea supera o consumo momentâneo da unidade.

3.4 DESCRIÇÃO DA USINA FOTOVOLTÁICA INSTALADA

A usina fotovoltaica instalada na EEE-IV (Aeroclube) é do tipo conectada à rede (on-grid) e foi implantada em estrutura ao solo. Conforme projeto executivo, o sistema possui potência instalada de 104,5 kWp, composta por 190 módulos fotovoltaicos de 550 Wp, modelo RENO-550-HM8 (fabricante Renovigi), distribuídos em duas mesas: Mesa 1

com 96 módulos e Mesa 2 com 94 módulos. A área destinada à UFV é da ordem de 1.200 m².

A conversão CC/CA é realizada por três inversores, totalizando 90 kW de potência nominal: um inversor modelo RENO-15K-HC (15 kW) e dois inversores modelo RENO-37.5K-HC (37,5 kW cada), todos do fabricante Renovigi. O lado CA opera em 380/220 V, com integração ao quadro de distribuição em corrente alternada (QDCA) e ao quadro geral de baixa tensão (QGBT) da unidade.

A unidade do Aeroclube possui potência nominal em corrente alternada (CA) de 90 kW, composta por dois inversores de 37,5 kW e um inversor de 15 kW, todos da marca Renovigi, além de 190 módulos fotovoltaicos de 550 Wp (potência instalada em corrente contínua de 104,5 kWp) devidamente instalados. Atualmente, o sistema encontra-se em plena operação, com todos os componentes em funcionamento, e a geração de energia sendo monitorada localmente pelo inversor. A usina iniciou a injeção de excedentes na rede em 06/2024, marcando o início do período pós-implantação considerado neste estudo..

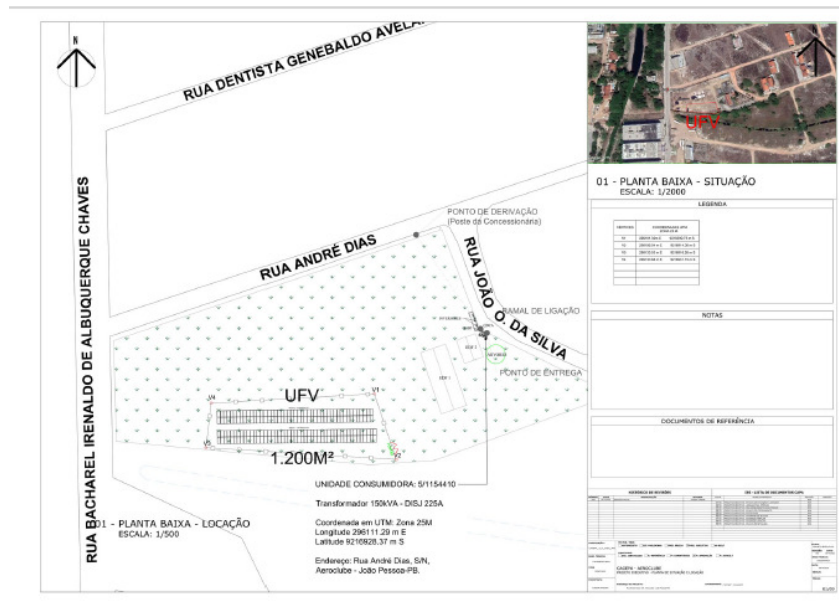
Além do atendimento parcial da própria unidade, o excedente de energia gerado pela usina fotovoltaica do Aeroclube é compensado pela CAGEPA em outras unidades consumidoras, por meio do mecanismo de compensação de energia elétrica aplicável à geração distribuída. As unidades beneficiadas informadas para este estudo são: (i) UC 226435 – Reservatório Ponta de Lucena (município de Lucena/PB) e (ii) UC 684303 – EEE Mangabeira (João Pessoa/PB).

A unidade consumidora é atendida em média tensão a 13,8 kV e possui subestação/transformador de 150 kVA, com secundário em 380/220 V e disjuntor principal de 225 A. Nesse arranjo, a energia gerada pela UFV atende prioritariamente as cargas internas (autoconsumo), sobretudo as cargas motrizes do processo, com exportação de excedentes apenas quando a geração instantânea supera o consumo da unidade.

3.4.1 Arranjo das Strings, Proteção e Encaminhamentos

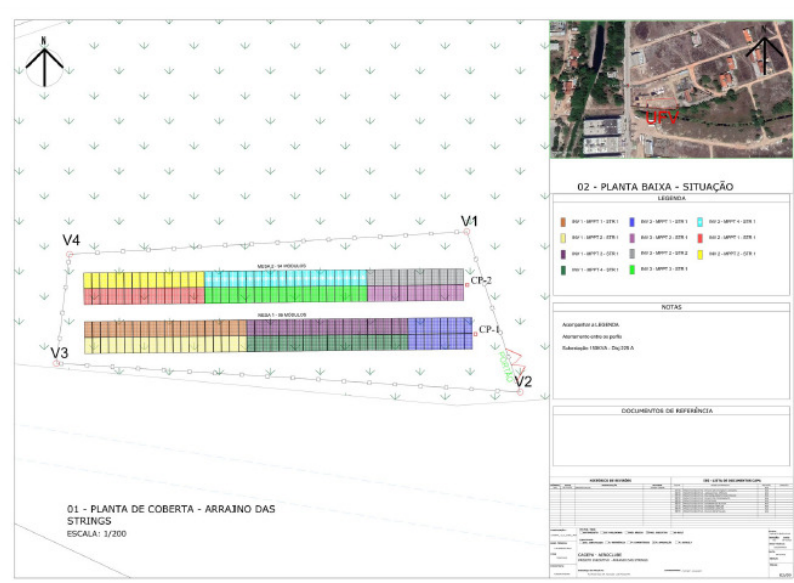
O projeto executivo detalha o arranjo das strings por MPPT em cada inversor e os encaminhamentos em eletrodutos PEAD flexíveis e eletrocalhas, incluindo a separação física entre cabos em corrente contínua (CC) e corrente alternada (CA). Também são previstas proteções contra surtos (DPS) e seccionamento, além de disjuntores e proteções no lado CA nos quadros associados à integração do sistema fotovoltaico com a instalação elétrica da unidade.

Figura 3.1 – Planta de situação e locação da UFV na EEE-IV (Aeroclube).



Fonte: (Projeto executivo EEE-IV,2026).

Figura 3.2 – Arranjo das strings e identificação de inversores/MPPTs



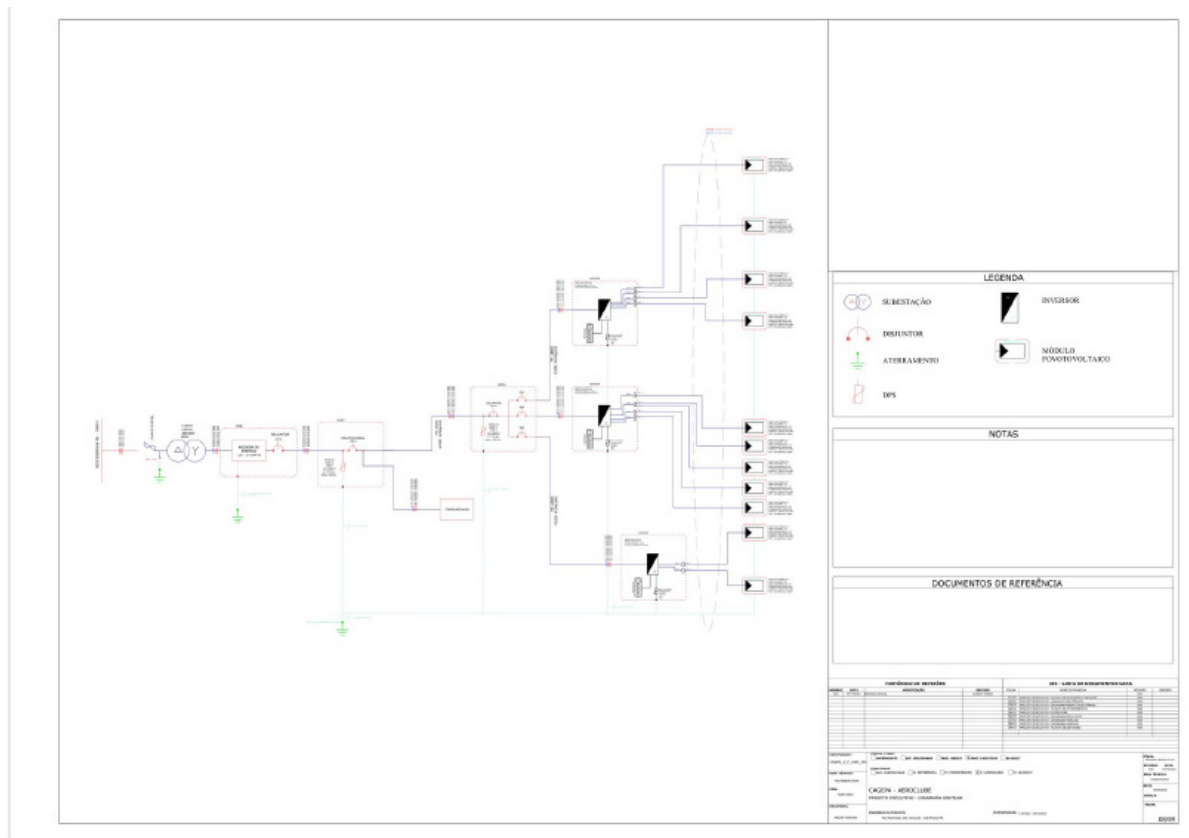
Fonte: (Projeto executivo EEE-IV,2026).

3.5 PROCESSO DE IMPLANTAÇÃO E COMISSONAMENTO

A implantação foi conduzida com base em projeto executivo, contemplando planta de situação/locação, arranjo e conexão de strings, planta de aterramento, detalhamento da estrutura ao solo e diagramas elétricos (blocos, trifilar e unifilar). Esses documentos

suportam a rastreabilidade técnica do empreendimento e orientam o comissionamento e a operação segura do sistema.

Figura 3.3 – Diagrama unifilar simplificado do sistema fotovoltaico.



Fonte: (Projeto executivo EEE-IV,2026).

O processo de implantação pode ser descrito por etapas: (i) engenharia e levantamento em campo (área, sombreamento, condições civis e elétricas), (ii) aquisição e logística (equipamentos, estrutura e cabos), (iii) montagem eletromecânica (módulos, estrutura, quadros CC/CA, inversores), (iv) integração elétrica (proteções, aterramento, rotulagem, intertravamentos quando aplicável), (v) ensaios e comissionamento (continuidade, isolamento, polaridade, testes funcionais), e (vi) início de operação e monitoramento. Sugere-se a inclusão de checklists, ART/RT e registros fotográficos, quando disponíveis.

3.6 MONITORAMENTO E DADOS PARA ANÁLISE

A avaliação de desempenho deve utilizar dados de monitoramento da usina (geração diária/mensal em kWh e, quando disponível, potência instantânea e eventos de falha) e dados de consumo/faturamento (faturas pré e pós implantação, separando postos ponta e fora ponta, demanda e valores). Para análise de autoconsumo e eventual exportação, quando houver medição disponível, recomenda-se registrar: energia gerada, energia consumida instantaneamente (autoconsumo) e excedentes exportados.

Para a análise comparativa do impacto da usina fotovoltaica na despesa com energia elétrica, foram utilizados relatórios/gráficos consolidados do sistema corporativo. Considerou-se uma janela de 12 meses anterior à entrada em operação (07/2023 a 06/2024) e uma janela de 12 meses posterior (07/2024 a 06/2025). Ressalta-se que a usina iniciou a injeção de excedentes na rede em 06/2024. A Figura 3.4, mostra a análise das despesas com energia elétrica da EEE-IV-Aeroclube.

Figura 3.4 – Despesa de energia elétrica no período de referência 07/2023 a 06/2024 (pré-injeção).



Fonte: (Energia WEB-SIGO CAGEPA,2026).

A figura 3.5, mostra as despesas 12 meses após o início da geração de energia solar pela usina do Aeroclube.

Figura 3.5 – Despesa de energia elétrica no período de referência 07/2024 a 06/2025 (pós-injeção).



Fonte: (Energia WEB-SIGO CAGEPA,2026).

A partir dos gráficos consolidados de despesa com energia elétrica , foi construída a Tabela 1, com os valores mensais da janela anterior (07/2023–06/2024) e da janela posterior (07/2024–06/2025). Esses dados serão utilizados no comparativo pré e pós implantação na seção de resultados.

Tabela 1 – Despesa de energia elétrica (R\$) antes e após o início da injeção (06/2024)

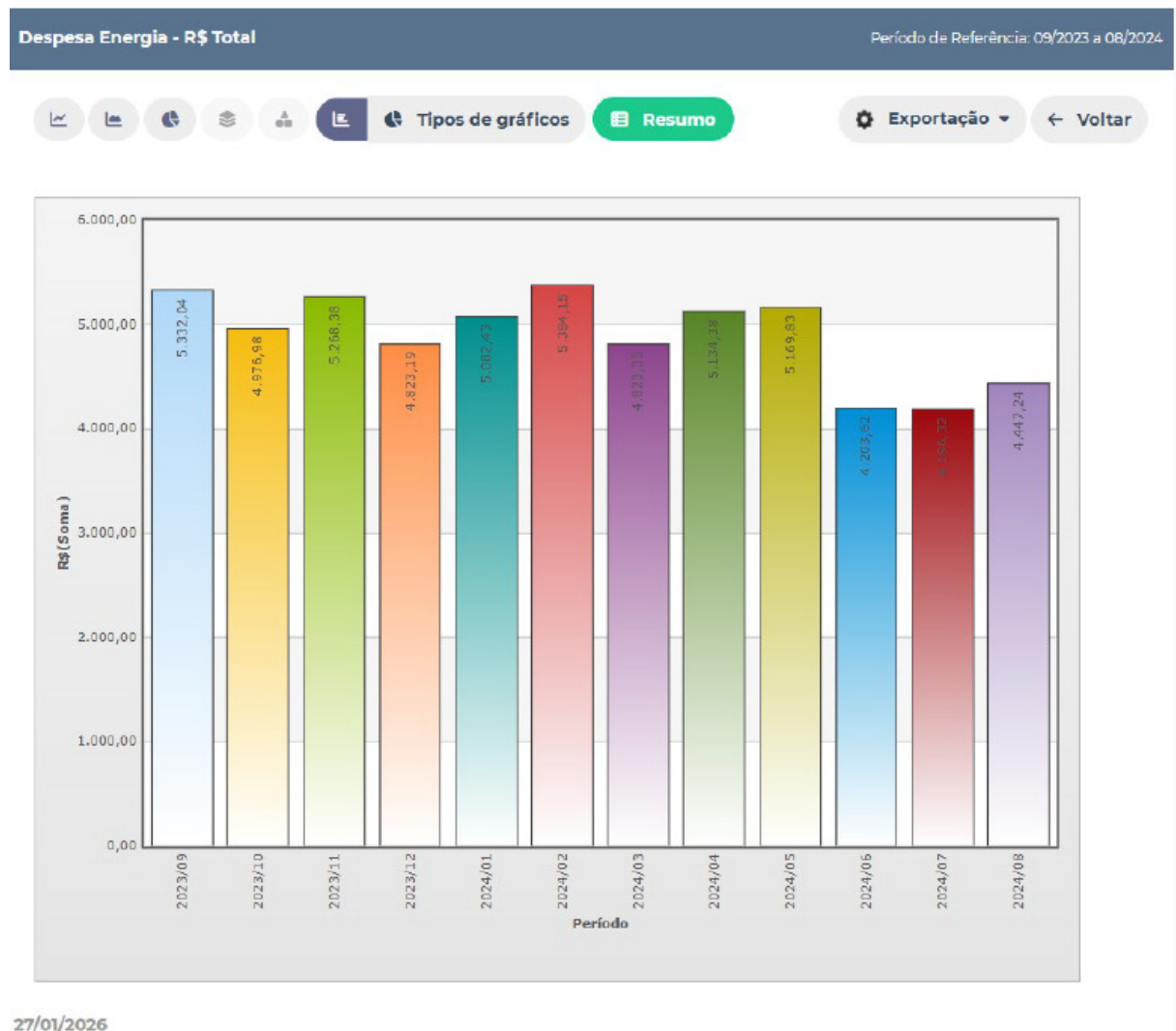
Janela	Mês de referência	Despesa (R\$)
Pré-injeção	07/2023	11.536,64
Pré-injeção	08/2023	11.171,28
Pré-injeção	09/2023	10.119,50
Pré-injeção	10/2023	7.947,15
Pré-injeção	11/2023	7.943,67
Pré-injeção	12/2023	11.797,94
Pré-injeção	01/2024	9.449,68
Pré-injeção	02/2024	7.789,95
Pré-injeção	03/2024	7.067,17
Pré-injeção	04/2024	7.509,25
Pré-injeção	05/2024	7.592,30
Pré-injeção	06/2024	6.000,48
Pós-injeção	07/2024	6.650,53
Pós-injeção	08/2024	4.975,69
Pós-injeção	09/2024	5.500,84
Pós-injeção	10/2024	6.735,68
Pós-injeção	11/2024	2.564,05
Pós-injeção	12/2024	3.621,73
Pós-injeção	01/2025	6.385,29
Pós-injeção	02/2025	8.591,75
Pós-injeção	03/2025	2.730,89
Pós-injeção	04/2025	5.339,29
Pós-injeção	05/2025	5.315,04
Pós-injeção	06/2025	8.509,96

Fonte: (Autoria Própria, 2026).

3.6.1 Análise Comparativa das despesas – UC 226435 (Reservatório ponta de Lucena)

Como informado, parte do excedente gerado pela usina fotovoltaica do Aeroclube é compensada em outras unidades consumidoras. Para evidenciar o efeito desse arranjo, foi realizada uma análise do histórico de despesa com energia elétrica da UC 226435 (Reservatório Ponta de Lucena, município de Lucena/PB), comparando 12 meses anteriores (09/2023 a 08/2024) com 12 meses posteriores (09/2024 a 08/2025), com base nos gráficos de “Despesa Energia – Total” disponibilizados pelo sistema corporativo.

Figura 3.6 – Despesa de energia elétrica da UC 226435 (pré-compensação) – 09/2023 a 08/2024



Fonte: (Energia WEB-SIGO CAGEPA,2026).

Foi analisado o período pós-compensação da UC 226435, considerando uma janela de 12 meses. A figura 3.7, consolida o comportamento da unidade após o início da compensação, permitindo avaliar de forma objetiva consumo, energia compensada, saldo de créditos e o impacto na fatura ao longo do tempo.

Neste recorte, o foco é verificar:

- Evolução mensal do consumo (kWh) e possíveis variações sazonais;
- Volume de energia compensada/injetada e a consistência do desempenho mês a mês;
- Saldo/uso de créditos (formação, consumo e eventual sobra), identificando meses com maior acúmulo ou maior utilização;
- Efeito financeiro: redução de custo, meses com maior/menor economia e possíveis distorções por bandeiras/tarifas;
- Índícios de subdimensionamento ou superdimensionamento do sistema (ex.: sobra crônica de crédito ou falta recorrente de compensação);

- Eventos atípicos (mudanças operacionais, paradas, manutenção, alterações de carga), quando a curva foge do padrão esperado.

A leitura da figura 3.7,deve ser feita comparando tendência e regularidade: se a compensação acompanha o consumo de forma equilibrada, espera-se redução consistente da energia faturada e uso controlado de créditos. Se houver oscilação forte, o gráfico ajuda a apontar a causa provável (sazonalidade de consumo, variação de geração, ou mudanças no perfil operacional da unidade).

Figura 3.7 – Despesa de energia elétrica da UC 226435 (pós-compensação) – 09/2024 a 08/2025.



Fonte: (Energia WEB-SIGO CAGEPA,2026).

Demonstraremos na tabela 2, um comparativo das despesas nos periodos pre e pos compensação de energia

Tabela 2 – Despesa de energia elétrica (R\$) no período pré e pós-injeção

Mês (pré)	Despesa (R\$)	Mês (pós)	Despesa (R\$)
2023/09	5.332,04	2024/09	3.881,52
2023/10	4.976,98	2024/10	3.937,54
2023/11	5.268,38	2024/11	3.633,79
2023/12	4.823,19	2024/12	3.132,10
2024/01	5.082,43	2025/01	2.343,01
2024/02	5.384,15	2025/02	482,69
2024/03	4.823,33	2025/03	2.911,13
2024/04	5.134,38	2025/04	211,59
2024/05	5.159,83	2025/05	113,90
2024/06	4.203,62	2025/06	116,70
2024/07	4.196,32	2025/07	172,49
2024/08	4.447,24	2025/08	120,53

Fonte: Autoria Própria, 2026).

3.6.2 Análise Comparativa das despesas – UC 684303 (EEE Mangabeira I)

De forma análoga à UC 226435, foi analisada a despesa com energia elétrica da UC 684303 (EEE Mangabeira, João Pessoa/PB), com base nos gráficos de “Despesa Energia Total”. Para esta unidade, foram comparados 12 meses no período pré-compensação (10/2023 a 09/2024) e 12 meses no período pós-compensação (10/2024 a 09/2025).

Figura 3.8 – Despesa de energia elétrica da UC 684303 (pré-compensação) – 10/2023 a 09/2024.



Fonte: (Energia WEB-SIGO CAGEPA,2026).

Foi analisado o período pós-compensação da UC 684303, considerando uma janela de 12 meses. A figura 3.9, consolida o comportamento da unidade após o início da compensação, permitindo avaliar de forma objetiva consumo, energia compensada, saldo de créditos e o impacto na fatura ao longo do tempo.

Figura 3.9 – Despesa de energia elétrica da UC 684303 (pós-compensação) – 10/2024 a 09/2025..



Fonte: (Energia WEB-SIGO CAGEPA,2026).

Foi demosntrado na tabela 3, um comparativo das despesas nos periodos pre e pos compensação de energia

Tabela 3 – Despesa de energia elétrica (R\$) no período pré e pós-injeção

Mês (pré)	Despesa (R\$)	Mês (pós)	Despesa (R\$)
2023/10	3.357,89	2024/10	2.334,60
2023/11	3.774,17	2024/11	2.887,98
2023/12	3.342,95	2024/12	2.067,95
2024/01	3.223,70	2025/01	4.387,89
2024/02	2.616,48	2025/02	3.688,96
2024/03	5.154,04	2025/03	4.000,20
2024/04	3.971,31	2025/04	3.869,89
2024/05	3.855,52	2025/05	3.824,23
2024/06	4.349,10	2025/06	3.968,95
2024/07	4.025,20	2025/07	4.085,09
2024/08	3.968,11	2025/08	4.132,23
2024/09	3.434,79	2025/09	4.512,42

Fonte: Autoria Própria,2026).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RESULTADOS (GERAÇÃO E IMPACTO BA FATURA)

Os resultados foram apresentados com base na comparação entre: (i) faturas do período pré-implantação e (ii) faturas do período pós-implantação, juntamente com a geração mensal registrada no monitoramento da usina. A análise de redução do consumo faturado (kWh) em cada posto tarifário, variação de demanda quando aplicável, economia financeira mensal e acumulada, e indicadores de desempenho (kWh/kWp e disponibilidade). Quando o custo de implantação (CAPEX) CAPEX² estiver disponível, recomenda-se estimar payback simples e discutir condições de operação que influenciam o retorno, como acionamento simultâneo de motobombas e sazonalidade.

Observação: como parte da geração do Aeroclube é utilizada para compensar outras unidades consumidoras da CAGEPA (UC 226435 e UC 684303), a análise apresentada neste trabalho foca no comportamento da despesa da unidade do Aeroclube no período observado, reconhecendo que uma avaliação econômico-financeira completa do arranjo de compensação exigiria a consolidação das faturas das unidades beneficiadas.

4.1.1 Análise Comparativa Da Despesa (R\$)

Com base nas duas janelas analisadas — 07/2023 a 06/2024 (pré-injeção) e 07/2024 a 06/2025 (pós-injeção, com início em 06/2024) — observou-se redução da despesa anual com energia elétrica de R\$ 105.925,01 para R\$ 66.920,74, equivalente a uma economia de R\$ 39.004,27 (36.8%). Desmonstrado na tabela 4.

Tabela 4 – Síntese do comparativo de despesa de energia (R\$) nas janelas pré e pós-injeção

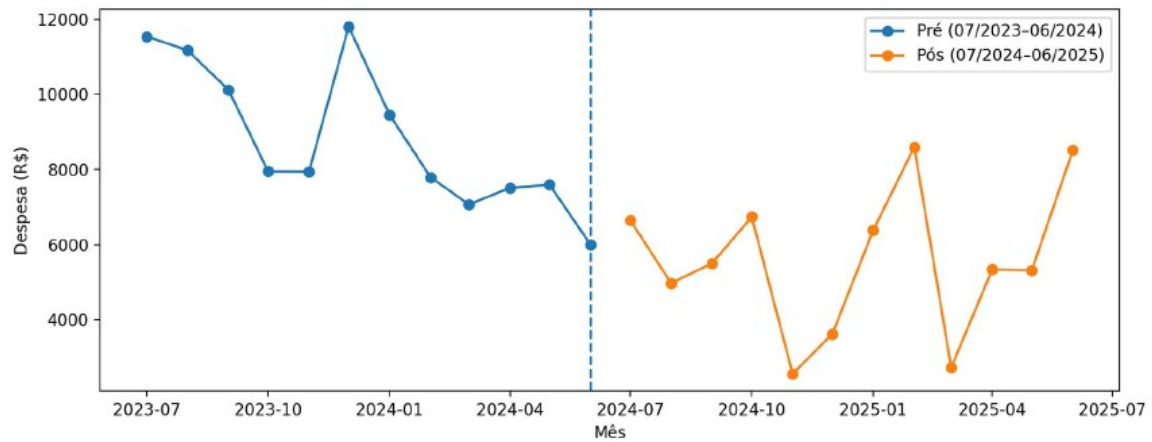
Indicador	Pré (07/2023–06/2024)	Pós (07/2024–06/2025)	Variação
Total no período (R\$)	105.925,01	66.920,74	-39.004,27
Média mensal (R\$)	8.827,08	5.576,73	-3.250,36
Redução percentual (%)	—	—	36,8%
CAPEX estimado (R\$) – rateio proporcional	—	—	492.561,62
Payback simples estimado (anos)	—	—	12,6

Fonte: Autoria Própria, 2026.

Observa-se redução média da despesa no pós-injeção, porém com variabilidade mensal significativa, compatível com a dinâmica de compensação de créditos e variação de consumo/tarifas. Ainda assim, no comparativo de 12 meses, a despesa total reduziu 36,8 por cento, indicando um efeito econômico positivo após o início da injeção. As figuras 4.1 e 4.2, demonstram uma evolução significativa.

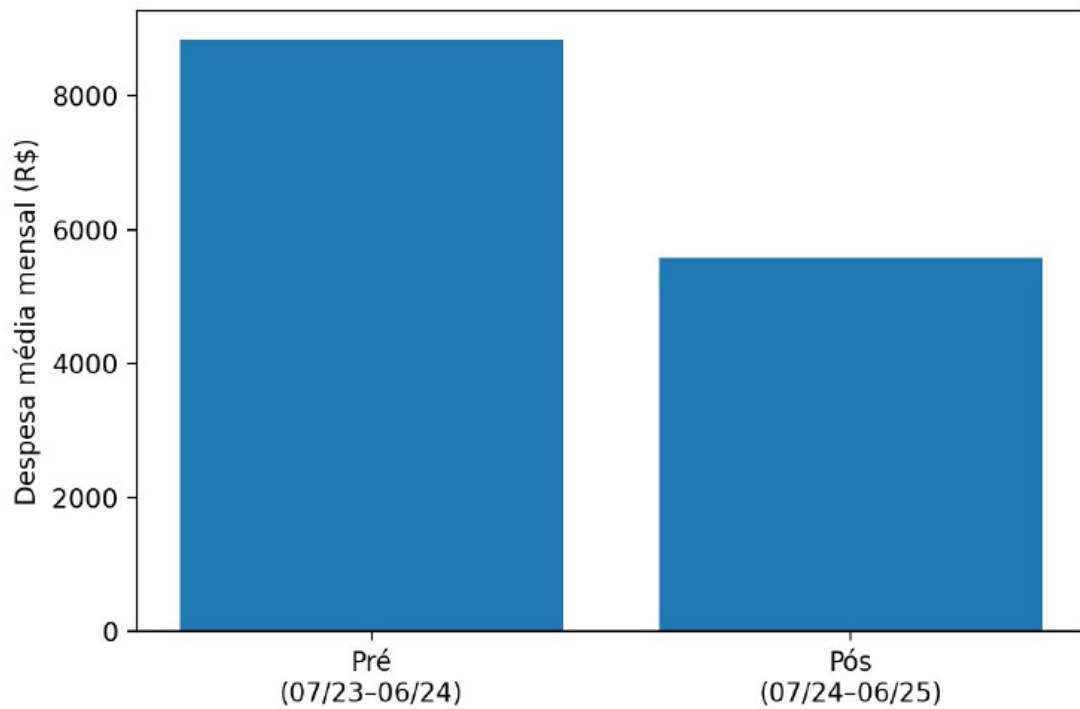
² CAPEX (Capital Expenditure) refere-se aos investimentos em bens de capital, como obras, equipamentos e ampliações, com benefício ao longo de vários anos.

Figura 4.1 – Evolução mensal da despesa de energia elétrica nas janelas pré e pós-injeção



Fonte: Autoria Própria, 2026.

Figura 4.2 – Comparativo da despesa média mensal no período pré e pós-injeção



Fonte: Autoria Própria, 2026.

Ressalta-se que a janela pré inclui o mês de 06/2024, quando a injeção se inicia, o que tende a tornar o comparativo conservador. O payback apresentado é uma estimativa simples, considerando a economia média observada e o CAPEX rateado do contrato, sem incluir variações tarifárias, degradação dos módulos, Custos de Operação e Manutenção e mudanças operacionais da unidade.

No período pré-compensação, a despesa total anual foi de 58.831,89 Reais, com média mensal de 4.902,66 Reais. No período pós-compensação, a despesa total anual foi de 21.056,99 Reais, com média mensal de 1.754,75 Reais. Assim, observa-se uma redução absoluta de 37.774,90 Reais, no intervalo de 12 meses, correspondente a 64.21 por cento, de redução na despesa anual da UC 226435.

No período pré-compensação, a despesa total anual foi de 45.073,26 Reais, com média mensal de 3.756,11 Reais. No período pós-compensação, a despesa total anual foi de 43.760,39 Reais, com média mensal de 3.646,70 Reais. Assim, observa-se uma redução absoluta de 1.312,87 Reais, no intervalo de 12 meses, correspondente a 2.91 por cento, de redução na despesa anual da UC 684303.

4.1.2 Estimativa de investimento e Rateio do Contrato

Para fins de análise econômica do estudo de caso, considera-se o valor total do contrato de implantação das usinas fotovoltaicas nas cinco unidades no montante de 2.945.000,00 reais. Como o contrato contempla múltiplas unidades e, nesta etapa, não há discriminação oficial do custo por unidade, adotou-se um critério de rateio do CAPEX para estimar o investimento associado à unidade EEE-IV (Aeroclube). Foram considerados dois critérios: (i) rateio uniforme, resultando em 589.000,00 reais por unidade; e (ii) rateio proporcional à potência instalada em corrente contínua (kWp), calculada a partir do quantitativo de módulos (n^o de módulos $\times$ 550 W). Neste trabalho, adota-se preferencialmente o rateio proporcional por refletir melhor diferenças de porte entre as implantações. O resumo das cinco unidades contempladas no contrato considerou a potência dos inversores (kW – lado CA), a quantidade de módulos, a potência instalada (kWp – lado CC) e o CAPEX estimado pelo critério proporcional. O custo unitário equivalente obtido foi de R\$ 4.713,51 por kWp, considerando um total de 624,80 kWp instalados no conjunto.

Pelo critério proporcional, o CAPEX estimado para a unidade Aeroclube é de 492.561,62 reais. Esse valor será utilizado nas análises de viabilidade (ex.: payback simples), sendo considerado como estimativa e sujeito a variações conforme itens civis/elétricos específicos de cada implantação.

4.1.3 Plano de operação e manutenção

Para garantir desempenho ao longo do tempo, recomenda-se estabelecer rotinas de inspeção e manutenção preventiva, contemplando inspeção visual de módulos e estrutura, verificação de conexões e aperto, termografia em quadros e inversores, limpeza programada conforme nível de sujidade, monitoramento de alarmes e acompanhamento de indicadores. As rotinas devem ser ajustadas conforme manual dos fabricantes e condições locais de operação. O quadro mostra as Rotinas recomendadas pela empresa que montou a usina em parceria com a CAGEPA.

Quadro 1 – Plano de atividades de operação e manutenção

Periodicidade	Atividade	Evidência/Registro
Diária/Semanal	Verificar portal/app (geração, alarmes, comunicação)	Print/relatório; registro de eventos
Mensal	Inspeção visual (módulos, estrutura, cabos aparentes)	Checklist assinado; fotos
Trimestral	Verificação de aperto em quadros e conexões acessíveis; limpeza quando necessário	Checklist; torque aplicado
Semestral	Termografia em quadros/inversores; inspeção de SPDA e aterramento (quando aplicável)	Relatório termográfico; medições
Anual	Revisão geral, atualização de documentação e indicadores; avaliação de degradação	Relatório anual; série histórica

Fonte: Autoria Própria, 2026.

O plano de atividades de operação e manutenção estabelece uma rotina mínima para garantir a confiabilidade, a segurança e a rastreabilidade do desempenho do sistema. No acompanhamento diário/semanal, realiza-se a verificação do portal/app para monitorar geração, alarmes e comunicação, registrando ocorrências por meio de prints e relatórios. Mensalmente, é feita inspeção visual de módulos, estrutura e cabos aparentes, com evidências em checklist assinado e fotos. Trimestralmente, prevê-se a verificação de aperto em quadros e conexões acessíveis, além de limpeza quando necessária, com registro em checklist e indicação de torque aplicado. Semestralmente, são executadas termografias em quadros e inversores e a inspeção do SPDA e do aterramento quando aplicável, gerando relatório termográfico e medições. Por fim, anualmente, é realizada a revisão geral do sistema, com atualização da documentação e dos indicadores, além da avaliação de degradação, consolidando os resultados em relatório anual e série histórica.

Os indicadores (KPIs) de acompanhamento são as métricas usadas para monitorar, de forma contínua, se a usina fotovoltaica está entregando o desempenho esperado e se a redução da despesa com energia está ocorrendo de fato. Na prática, esses KPIs permitem separar o que é efeito da geração/compensação do que é variação de consumo, tarifa e sazonalidade, além de facilitar a identificação rápida de falhas e perdas de performance.

- Energia gerada mensal (kWh).
- Geração específica (kWh/kWp) mensal e acumulada.
- Disponibilidade do sistema
- Economia financeira mensal na fatura, quando disponível
- Registro de falhas/interrupções (quantidade e tempo).

4.2 REDUÇÃO DE EMISSÃO DE CO₂

Evitar a emissão de CO₂ é importante porque ele é o principal gás de efeito estufa associado ao aquecimento global. Quanto menos CO₂ vai para a atmosfera, menor tende a ser o aumento da temperatura média, reduzindo riscos como eventos extremos (secas, chuvas intensas e ondas de calor), elevação do nível do mar e perdas na agricultura.

Além do clima, cortar CO₂ melhora a qualidade ambiental e reduz custos indiretos: menos necessidade de acionar térmicas fósseis, menor exposição a variações de preço de combustíveis e mais alinhamento com metas regulatórias e compromissos. Em sistemas essenciais, como saneamento, isso também aumenta a resiliência operacional quando combinado com eficiência energética e geração própria. Com a tabela 5, foi feita uma análise dos últimos 7 meses de 2025, da geração dessa Usina.

Tabela 5 – Geração dos últimos 8 meses da usina FV Bessa IV - Aeroclube (jun-dez/2025)

Mês (2025)	Geração (kWh)
Junho	5.344
Julho	9.162
Agosto	9.162
Setembro	14.288
Outubro	11.561
Novembro	16.142
Dezembro	9.380
Total (jun-dez)	75.040

Fonte: Autoria Própria, 2026.

De acordo com os dados apresentados na Tabela de geração (Tabela 5) e aplicando a Equação 4.1, calculou-se a quantidade de CO₂ evitada no período, ou seja, o total de emissões que deixou de ser lançado na atmosfera em função da energia produzida pela usina fotovoltaica pela Usina Bessa IV-Aeroclube.

$$CO_{2,\text{evitado}} = \sum_m \left(\frac{E_m}{1000} \right) \cdot FE_m \quad (4.1)$$

onde E_m é a energia gerada no mês m (kWh) e FE_m é o fator de emissão do mês m (tCO₂/MWh). A divisão por 1000 converte kWh em MWh.

4.2.1 Os fatores de emissão de CO₂

Os fatores de emissão de CO₂ utilizados no cálculo das emissões evitadas foram obtidos a partir da planilha oficial disponibilizada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), no âmbito da Coordenação-Geral de Clima (CGCL), referente ao Sistema Interligado Nacional (SIN). Com base nesses fatores mensais e na energia gerada pela usina, estimou-se o CO₂ evitado no período analisado (BRASIL, 2025).

Tabela 6 – Fator de emissão médio mensal do SIN (2025)

Mês	FE (tCO₂/MWh)
Janeiro	0,2366
Fevereiro	0,2478
Março	0,2146
Abril	0,2895
Maio	0,3087
Junho	0,4549
Julho	0,5293
Agosto	0,5529
Setembro	0,5215
Outubro	0,5386
Novembro	0,5780
Dezembro	0,4772

Fonte: MCTI/CGCL (planilha Despacho_2025_jandez_corrigida.xlsx).

4.2.2 Quantidade de CO₂ não lançada na Atmosfera

O CO₂ evitado foi estimado a partir da energia gerada pela usina no mês m , E_m (kWh), e do fator de emissão médio mensal do SIN, FE_m (tCO₂/MWh).

Primeiro, a energia mensal foi convertida de kWh para MWh:

$$E_m(\text{MWh}) = \frac{E_m(\text{kWh})}{1000}. \quad (4.2)$$

Em seguida, o CO₂ evitado em cada mês foi calculado por:

$$CO_{2,m} = E_m(\text{MWh}) \cdot FE_m. \quad (4.3)$$

Substituindo a Equação 4.2 na Equação 4.3, obtém-se:

$$CO_{2,m} = \left(\frac{E_m(\text{kWh})}{1000} \right) \cdot FE_m. \quad (4.4)$$

Por fim, o CO₂ evitado total no período com n meses foi obtido pela soma dos valores mensais:

$$CO_{2,\text{total}} = \sum_{m=1}^n CO_{2,m} = \sum_{m=1}^n \left(\frac{E_m}{1000} \right) \cdot FE_m. \quad (4.5)$$

Como exemplo, para junho de 2025, com $E_{\text{jun}} = 5344$ kWh e $FE_{\text{jun}} = 0,4549$ tCO₂/MWh, tem-se:

$$E_{\text{jun}}(\text{MWh}) = \frac{5344}{1000} = 5,344 \text{ MWh}, \quad (4.6)$$

$$CO_{2,\text{jun}} = 5,344 \cdot 0,4549 = 2,431 \text{ tCO}_2. \quad (4.7)$$

No período analisado (jun-dez/2025), a energia total gerada foi de $E_{\text{total}} = 75\,040$ kWh e, aplicando a Equação 4.5 com os fatores mensais do SIN, obteve-se:

$$CO_{2,\text{total}} \approx 39,83 \text{ tCO}_2. \quad (4.8)$$

5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um estudo de caso da implantação de uma usina fotovoltaica conectada à rede na Estação Elevatória de Esgoto EEE-IV (Aeroclube), unidade de média tensão da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA). A análise buscou verificar, de forma objetiva, o impacto econômico associado à entrada em operação do sistema, considerando as informações disponíveis de despesas com energia elétrica antes e após o início da injeção de excedentes na rede (06/2024).

5.1 ANÁLISE DE VIABILIDADE

Com base nos resultados obtidos para a unidade Aeroclube, conclui-se que a implantação da usina fotovoltaica mostrou-se **economicamente vantajosa** para a CAGEPA, ainda que com **retorno de longo prazo**. A comparação entre os períodos 07/2023–06/2024 (pré) e 07/2024–06/2025 (pós) indicou redução da despesa anual com energia elétrica de **R\$ 105.925,01** para **R\$ 66.920,74**, resultando em economia de **R\$ 39.004,27** (aproximadamente **36,8%**). Em termos médios, a despesa mensal caiu de **R\$ 8.827,08** para **R\$ 5.576,73**, com economia média de **R\$ 3.250,36** por mês. Para fins de análise, adotou-se CAPEX rateado proporcionalmente à potência instalada das cinco unidades contempladas no contrato, estimado em **R\$ 492.561,62** para a unidade Aeroclube. Com base na economia média observada, obteve-se **payback simples estimado em cerca de 12,6 anos**. Embora esse tempo de retorno seja considerado elevado, ele permanece **compatível com a vida útil típica de sistemas fotovoltaicos**, de forma que o investimento tende a gerar benefício líquido ao longo do horizonte de operação, mesmo considerando degradação do gerador, custos de operação e manutenção e variações tarifárias.

Adicionalmente, destaca-se que a usina do Aeroclube não se restringe ao abatimento da despesa da própria unidade, pois o excedente gerado é utilizado para compensação em outras unidades consumidoras da CAGEPA (UC 226435 – Reservatório Ponta de Lucena e UC 684303 – EEE Mangabeira). Dessa forma, **o benefício econômico total do arranjo tende a ser superior ao observado apenas na UC geradora**, reforçando a justificativa do investimento no âmbito corporativo.

Assim, conclui-se que **a implantação das usinas fotovoltaicas foi tecnicamente justificável e economicamente recomendável para a CAGEPA**, considerando a operação de longo prazo e a redução de despesas em múltiplas unidades. Como trabalhos futuros, recomenda-se ampliar a análise com métricas como VPL e TIR, incluindo custos de O&M, degradação, reposição de componentes e a consolidação das faturas das unidades compensadas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Anexo III da Resolução Normativa nº 956/2021: PRODIST – Módulo 3 – Conexão ao Sistema de Distribuição de Energia Elétrica**. Brasília, DF: ANEEL, 2021. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_prodist_modulo_3_v8.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa nº 956, de 7 de dezembro de 2021**. Estabelece os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Brasília, DF: ANEEL, 2021. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2021956.pdf>>. Acesso em: 22 jan. 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021**. Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica. Brasília, DF: ANEEL, 2021. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.pdf>>. Acesso em: 22 jan. 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Micro e minigeração distribuída**. Brasília, DF: ANEEL, 2026. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>>. Acesso em: 22 jan. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 5410:2004: Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 5419:2015: Proteção contra descargas atmosféricas**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR IEC 62116:2012: Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 16149:2013: Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 16150:2013: Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimento de ensaio de conformidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 16274:2014: Sistemas fotovoltaicos conectados à rede – Requisitos mínimos para docu-**

mentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 16690:2019: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos – Requisitos de projeto.** Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 14039:2021: Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV.** Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007.** Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 8 jan. 2007.

BRASIL. **Lei nº 13.303, de 30 de junho de 2016.** Dispõe sobre o estatuto jurídico da empresa pública, da sociedade de economia mista e de suas subsidiárias. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 1 jul. 2016.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020.** Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 11.445/2007. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 16 jul. 2020.

BRASIL. **Lei nº 14.133, de 1º de abril de 2021.** Lei de Licitações e Contratos Administrativos. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 1 abr. 2021.

BRASIL. **Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022.** Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída e o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE). *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 7 jan. 2022.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Coordenação-Geral de Clima (CGCL). **Fatores de emissão de CO₂ da geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN):** Despacho_2025_jandez_corrigida.xlsx. Brasília, DF: MCTI, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/cgcl/paginas/Despacho_2025_jandez_corrigida.xlsx>. Acesso em: 06 fev. 2026.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS): base de dados e diagnósticos setoriais.** Brasília, DF, s.d.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTOS DA PARAÍBA (CAGEPA). **Organograma da Diretoria de Operação e Manutenção (DOM).** João Pessoa, PB, 2026. Documento interno.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTOS DA PARAÍBA (CAGEPA). **Modelo interno de Informe de Desligamento Programado – GEGE.** João Pessoa, PB, 2026. Documento interno.

DUFRESNE, Laura. **Energy Management for Water Utilities.** Denver: American Water Works Association (AWWA), 2015.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Manual de saneamento**. 5. ed. Brasília, DF: Funasa, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.funasa.gov.br/handle/123456789/506>>. Acesso em: 26 jan. 2026.

IEA PVPS. **Fact Sheet: Understanding, Measuring, and Mitigating Soiling Losses in PV Power Systems**. 2025. Disponível em: <<https://iea-pvps.org/fact-sheets/fs-soiling-losses/>>. Acesso em: 26 jan. 2026.

IEEE. **IEEE 1547-2018: IEEE Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces**. 2018. Disponível em: <<https://standards.ieee.org/standard/1547-2018.html>>. Acesso em: 26 jan. 2026.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). **IEC 61724-1:2021: Photovoltaic system performance – Part 1: Monitoring**. Geneva: IEC, 2021. Disponível em: <<https://webstore.iec.ch/publication/61724>>. Acesso em: 22 jan. 2026.

MARKVART, Tomas; CASTAÑER, Luis; McEVOY, Augustin (Ed.). **Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications**. 2. ed. Oxford: Academic Press, 2012. DOI: 10.1016/C2011-0-05723-X.

MESSENGER, Roger A.; VENTRE, Jerry; ABTAHI, Amir. **Photovoltaic Systems Engineering**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2010.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY (NREL). **PVWatts[®] Calculator – Version 8** (release date: 25 Sep. 2025) e documentação da API PVWatts V8. Disponível em: <https://pvwatts.nrel.gov/version_8.php> e <<https://developer.nrel.gov/docs/solar/pvwatts/v8/>>. Acesso em: 26 jan. 2026.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80 p. Disponível em: <<http://doi.org/10.34024/978851700089>>. Acesso em: 22 jan. 2026.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio (org.). **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL/CRESESB, 2014. Disponível em: <https://cresebs.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2026.

PLAPPALLY, A. K.; LIENHARD V, J. H. Energy requirements for water production, treatment, end use, reclamation, and disposal. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 16, n. 7, p. 4818–4848, 2012. DOI: 10.1016/j.rser.2012.05.022.

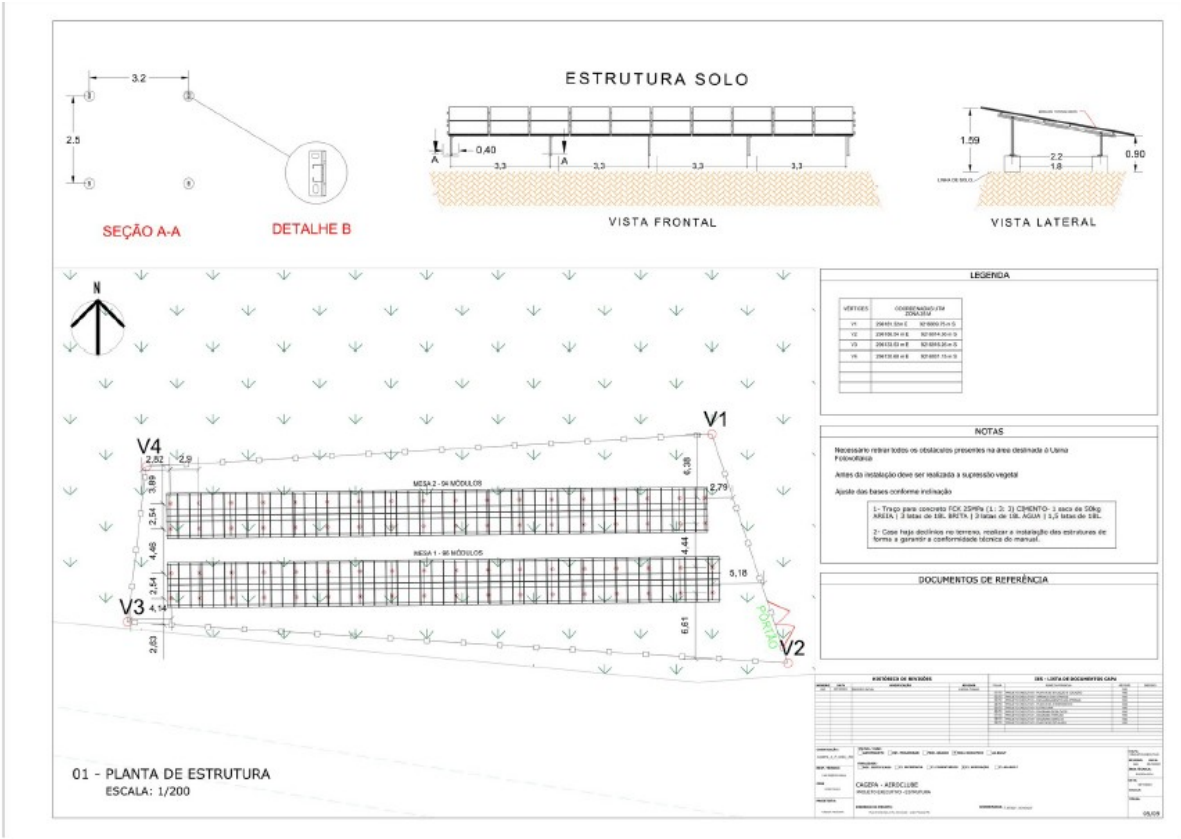
SINGH, Pratima; CARLIELL-MARQUET, Cynthia; KANSAL, Arun. Energy pattern analysis of a wastewater treatment plant. *Applied Water Science*, v. 2, p. 221–226, 2012. DOI: 10.1007/s13201-012-0043-1.

UNITED STATES. Environmental Protection Agency (EPA). **Energy Efficiency in Water and Wastewater Facilities**. Washington, DC: EPA, 2025. Disponível em: <<https://www.epa.gov/statelocalenergy/energy-efficiency-water-and-wastewater-facilities>>. Acesso em: 26 jan. 2026.

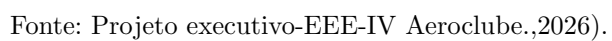
VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia solar fotovoltaica**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2015.

ANEXO A – Pranchas do Projeto executivo

Figura A.2 – Comparativo da despesa média mensal no período pré e pós-injeção



Fonte: Projeto executivo-EEE-IV Aeroclube.,2026).



	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
	Campus João Pessoa - Código INEP: 25096850
	Av. Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe, CEP 58015-435, João Pessoa (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0002-56 - Telefone: (83) 3612.1200

Documento Digitalizado Restrito

TCC-JOSE-CRISTELLYS

Assunto:	TCC-JOSE-CRISTELLYS
Assinado por:	Cristellys Soares
Tipo do Documento:	Anexo
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Restrito
Hipótese Legal:	Informação Pessoal (Art. 31 da Lei no 12.527/2011)
Tipo do Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- José Cristellys Soares Temoteo, ALUNO (20172610022) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA - JOÃO PESSOA, em 14/02/2026 01:03:09.

Este documento foi armazenado no SUAP em 14/02/2026. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1768416
Código de Autenticação: 08c61d1fc9

