

Implementação de Usina Fotovoltaica 64 kWp em Fábrica Beneficiadora de Cal no Município de Apodi: Caso de Estudo sob a Perspectiva de um futuro Engenheiro Eletricista recém formado no mercado de trabalho.

Dôrico Germano de Sena ^[1] e Ednardo Pereira da Rocha^[2]

^[1] Universidade Federal Rural do Semi Árido; dorico.sena@alunos.ufersa.com.edu.br

^[2] Universidade Federal Rural do Semi Árido; ednardo.pereira@ufersa.edu.br

Resumo: A crescente demanda por fontes de energia renováveis tem impulsionado a adoção da energia solar fotovoltaica como alternativa sustentável e economicamente viável, especialmente em regiões de alta incidência solar, como na cidade de Apodi-RN. Este trabalho apresenta um estudo de caso sobre a implementação de uma usina solar fotovoltaica de 64,38 kWp para uma fábrica beneficiadora de cal, abrangendo desde a os estudos de e análise de viabilidade até o comissionamento do sistema. A pesquisa aborda a gestão da construção e a otimização de recursos, com foco no cumprimento de normas técnicas e de segurança na execução da obra. O estudo também evidencia a carência de profissionais recém-formados com experiência em gestão de obras e principalmente de sistemas fotovoltaicos, reforçando a importância da capacitação prática na área, e uma maior abertura do mercado para profissionais recém diplomados. A metodologia inclui levantamentos técnicos, visitas ao local, análises financeiras e o uso de softwares específicos para simulação de desempenho. O gerenciamento do projeto segue as diretrizes do PMBOK e adota o modelo EPC (*Engineering, Procurement and Construction*), garantindo uma abordagem integrada e eficiente. Os resultados esperados incluem a redução dos custos e tempo de obra e a criação de um modelo administração de obra replicável para futuros projetos de geração solar.

Palavras-chave Otimização, Gestão de Processos, Usina Fotovoltaica, Melhoria, Planejamento, Métodos

Abstract: The growing demand for renewable energy sources has driven the adoption of photovoltaic solar energy as a sustainable and economically viable alternative, especially in regions with high solar incidence, such as the city of Apodi-RN. This study presents a case study on the implementation of a 64,38 kWp photovoltaic solar power plant for a lime processing factory, covering everything from feasibility analysis to system commissioning. The research addresses construction management and resource optimization, focusing on compliance with technical and safety standards during project execution. The study also highlights the shortage of newly graduated professionals with experience in construction management and, more specifically, photovoltaic systems, reinforcing the importance of practical training in the field and a greater market openness for newly certified professionals. The methodology includes technical surveys, site visits, financial analyses, and the use of specific software for performance simulation. Project management follows PMBOK guidelines and adopts the EPC (*Engineering, Procurement, and Construction*) model, ensuring an integrated and efficient approach. The expected results include cost and construction time reduction and the creation of a replicable construction management model for future solar generation projects.

Key-words: Optimization, Process Management, Photovoltaic Plant, Improvement, Planning, Methods

1. INTRODUÇÃO

A crescente necessidade por fontes de energia renováveis tem alavancado a adoção da energia solar fotovoltaica como alternativa sustentável e economicamente viável como alternativa a substituição dos combustíveis fósseis como matriz de produção de energia elétrica. O Brasil, por possuir extensas regiões de alta incidência solar, apresenta condições favoráveis para a expansão dessa tecnologia, sendo um dos mercados de maior crescimento global [1]. No entanto, a implantação de usinas solares requer não apenas condições climáticas favoráveis, exige dos profissionais da área conhecimento técnico sobre o funcionamento dos sistemas, e em especial gestão eficaz de recursos e processos, a fim de garantir a viabilidade econômica e a eficiência do projeto, pois devido à grande expansão competitiva do mercado esta área torna-se cada vez mais banalizada neste quesito [2].

O planejamento tem um papel essencial na construção das usinas, garantindo otimização do tempo, qualidade na construção e redução de custos. Segundo Ducker [3], “Planejar é preparar-se para o inevitável, prevenindo o indesejável e controlando o que for controlável”. Isso significa que, para a desenvolvimento de

uma usina fotovoltaica, é fundamental adotar procedimento e métodos que minimizem riscos e desperdícios, garantindo maior previsibilidade e controle sobre os processos antes durante e após a execução da obra, fazendo com o que os custos e tempo de obras sem reduzidos, e aumentando as margens do lucro do projeto.

Na execução de projetos fotovoltaicos, a gestão eficiente dos recursos é um fator crítico de sucesso., a preparação correta de um orçamento é de responsabilidade profissional e deve ser realizada respeitando normas técnicas, empregando metodologias atualizadas e garantindo competitividade no mercado. Orçar significa quantificar insumos, mão de obra e equipamentos necessários para a realização da obra, estimando custos e tempo de duração [4]. No contexto, esses aspectos são ainda mais relevantes, pois o investimento inicial costuma ser elevado tendo em vista que a maioria dos equipamentos a serem utilizados são provenientes de importação e devido a política interna em vigor atualmente são incidentes sobre estes produtos altas taxas de importação, exigindo um planejamento financeiro detalhado. Contudo este investimento não se trata apenas de recursos financeiros, pois durante a execução da obra temos que estar lidando com toda a equipe técnica o operacional ficara voltada para a etapas de construção da mesma, para isso é necessário entender um a respeito do comportamento humano e de como ligar com pessoas, para que o ambiente de trabalho se trone uma atmosfera de troca de conhecimento e muito trabalho [5].

A execução de projetos de grande escala apresenta desafios específicos, principalmente no que tange ao gerenciamento de suprimentos e à logística de instalação, dentro dos suprimentos na execução de uma usina talvez o principal fator a ser considerado seja a gestão do tempo de obra. Além disso a implantação de uma usina solar requer um controle eficiente dos materiais e equipamentos desde a sua aquisição até a sua instalação, evitando desperdícios e garantindo a otimização dos recursos. Para isso, metodologias como o Lean Construction, Last Planner System consiste na gestão de produção voltada para a construção civil, criada dentro dos princípios do Lean Construction. Seu foco está no planejamento colaborativo e na confiabilidade dos cronogramas, reduzindo desperdícios e aumentando a previsibilidade da obra. Ele divide o planejamento em níveis (master, faseado, lookahead e semanal), garantindo maior controle sobre as atividades [6]. Métodos PERT e CPM são ferramentas essenciais na gestão eficiente do processo, permitindo a minimização de desperdícios e o aprimoramento do controle logístico da obra [7]. O modelo de gestão de projetos EPC (Engineering, Procurement and Construction) tem se mostrado altamente eficiente na execução de usinas fotovoltaicas. Esse modelo integra as fases de engenharia, aquisição e construção, permitindo maior controle sobre o cronograma e os custos do projeto [8]. Segundo Prado [9], um bom gerenciamento evita contratempos e permite a adoção de técnicas específicas para otimizar cada etapa, reduzindo atrasos e retrabalho. A gestão eficiente de materiais e suprimentos também é um fator crítico no sucesso de projetos fotovoltaicos. Pequenos desvios no planejamento podem resultar em grandes prejuízos e atrasos. O uso de ferramentas de gestão visual, como o GANTT, e metodologias ágeis, tem se mostrado eficazes para garantir o controle preciso de estoque, aquisição e movimentação de materiais. A filosofia Lean, aplicada na construção civil, também auxilia na redução de desperdícios, maximizando o aproveitamento de recursos e aumentando a eficiência operacional [10].

Outro aspecto relevante é a necessidade de qualificação profissional para atuar na área de energia solar fotovoltaica. O setor carece de profissionais recém-formados com experiência prática em gestão de obras e instalação de sistemas solares. Assim, é fundamental que programas acadêmicos e instituições de ensino promovam treinamentos mais práticos, preparando melhor os engenheiros para os desafios do mercado [11].

Este estudo encontra-se justificado sob duas perspectivas preponderantes: a ótica das corporações integradoras de sistemas fotovoltaicos e a abordagem acadêmica. Dada a intensificação da competitividade no setor, com o ingresso substancial de novas empresas concorrentes, é imperativo que as integradoras mantenham seus processos organizacionais devidamente estruturados e eficientemente aprimorados, de modo a assegurar a entrega de resultados excepcionais aos seus clientes. O investimento na adoção de técnicas e ferramentas avançadas de gestão de projetos revela-se essencial para preservar a competitividade das empresas no mercado [12]. Além disso, um processo otimizado possibilita uma previsão precisa acerca da data de entrega do projeto ao cliente. O êxito de um empreendimento está intrinsecamente vinculado à eficácia do gerenciamento adotado [13]. Além disso, em projetos de grande porte, torna-se imprescindível a harmonização e coordenação das atividades organizacionais, visando o alinhamento das operações e o cumprimento das metas estabelecidas.

Diante desse contexto, este artigo apresenta um estudo de caso sobre a implantação de uma usina solar fotovoltaica, onde estudo enfatiza a gestão da construção, o cumprimento das normas técnicas e a otimização de recursos, além de apontar a carência de profissionais recém-formados com experiência em gestão de obras e sistemas fotovoltaicos. A metodologia utilizada inclui levantamentos técnicos, visitas ao local, análises financeiras e o uso de softwares específicos para simulação de desempenho, seguindo as diretrizes do PMBOK e adotando o modelo EPC. Os resultados esperados incluem a redução dos custos e do tempo de obra, bem como a criação de um modelo de administração replicável para futuros projetos de geração solar. A partir da experiência prática adquirida, espera-se contribuir para a formação de um referencial técnico que auxilie futuros profissionais da área, bem como ampliar o debate sobre a necessidade de qualificação no setor de energia renovável.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia deste estudo foi minuciosamente estruturada em três segmentos hierárquicos e complementares. Inicialmente, expõem-se os alicerces metodológicos que fundamentam a pesquisa, proporcionando a base teórica e conceitual para o desenvolvimento do trabalho. Posteriormente, na segunda seção, é delineado o panorama investigativo, abordando com Particularidade o contexto e as condições que circundam o objeto de estudo. Por final, a terceira seção apresenta uma análise detalhada das fases Essenciais para a concretização dos objetivos almejados, articulando as etapas necessárias para a execução eficaz da pesquisa.

2.1 Estratégia metodológica

Este estudo se configura como uma investigação de natureza aplicada, conforme definido por Prodanov [14], dado que visa à produção de conhecimento com fins práticos, orientados para a solução de problemas concretos. Quanto aos seus objetivos, a pesquisa se caracteriza como explicativa, conforme Prodanov, ao buscar compreender as causas e os fatores relacionados aos fenômenos observados, por meio da análise e interpretação dos dados coletados. Em relação à abordagem metodológica, está se define como combinada, caracterizando-se pela coleta de dados tanto quantitativos quanto qualitativos, permitindo uma análise abrangente e diversificada. Além disso, a pesquisa adota a modalidade de estudo de caso, sendo considerada uma pesquisa aplicada que visa à aplicação prática do conhecimento, com o intuito de resolver problemas específicos e proporcionar soluções inovadoras e eficazes para os desafios investigados.

2.2 Ambiente investigativo

O presente estudo de caso foi cuidadosamente desenvolvido na cidade de Apodi, situada no estado do Rio Grande do Norte. Atualmente, o referido estado ostenta a significativa soma de 92.253 instalações, as quais congregam uma potência total de 842.190,06 kW, conforme evidenciado pelos dados da ANEEL [15]. Em um contexto análogo, a municipalidade de Apodi exhibe, em seu domínio, a existência de 2.176 instalações, correspondendo a uma expressiva capacidade instalada de 17.219,13 kW.

Adentrando a análise setorial, observa-se que das 2.176 unidades registradas, a maioria sobressalta na classe residencial, totalizando 1.819 instalações, o que realça a predominância do uso doméstico. Seguem-se, em relevância decrescente, 152 instalações destinadas ao setor comercial, seguidas por um contingente modesto de 8 instalações industriais, e por fim, 185 unidades que se inserem na classe rural.

A figura 1, delinea o trajeto evolutivo e ascendente da potência instalada de MMGD em Apodi, abarcando o período que se estende desde o ano de 2017 até o mês de março de 2025, proporcionando uma perspectiva analítica robusta acerca das dinâmicas de crescimento energético na referida localidade.

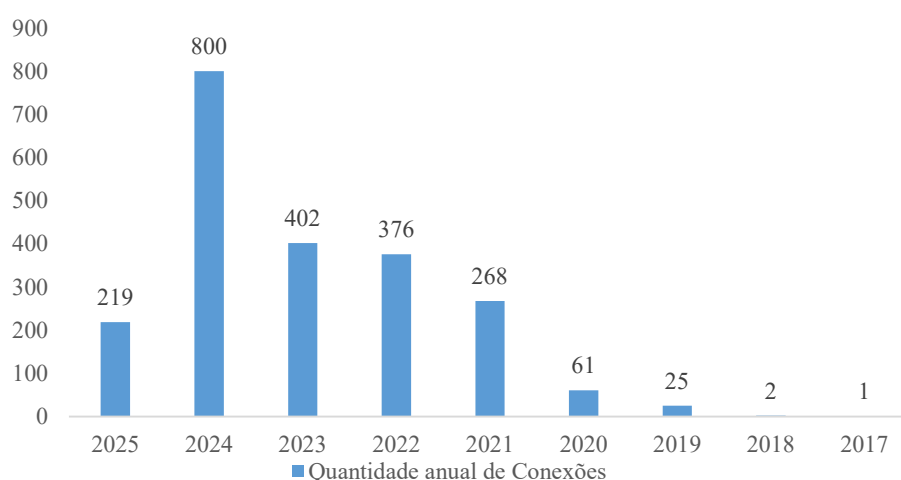


Figura 1: crescimento ao longo dos anos das usinas instaladas no município de Apodi-RN. Fonte: ANEEL.

O presente estudo de caso foi concebido no contexto de um empreendimento singular de instalação de microgeração distribuída (MMGD) de energia fotovoltaica, promovido por uma empresa integradora de renome originária da cidade de Mossoró – RN, com sede também em Fortaleza - CE. Fundada no ano de 2021, essa

Instituição corporativa, cuja trajetória se destaca pelo vigor e dinamismo, conta atualmente com um quadro de 21 colaboradores, os quais se dedicam com exímia competência às inovações do setor energético potiguar.

O projeto, minuciosamente selecionado e magnificamente, situa-se na cidade de Apodi – RN, integrando, assim, os contornos de uma majestosa fazenda solar de microgeração distribuída em uma fábrica beneficiadora de Cal, que se erige como modelo de inovação e sustentabilidade. A usina fotovoltaica, instalada diretamente sobre o solo, compõe-se de um conjunto de 116 módulos, cada qual com uma capacidade nominal de 555W da marca Trina Solar, somando uma potência total expressiva de 64,38 kWp. Ademais, a infraestrutura é complementada por 2 inversores Solis de 25 kW cada, que, em conjunto, agregam uma robusta potência de 50 kW.

Estima-se que, sob as condições de operação ideais, a referida usina seja capaz de produzir a quantia de 102.735,36 kWh por ano, o que se traduz, em termos financeiros, em uma receita anual aproximada de R\$ 100.680,65.

2.3 Procedimento do Estudo

Os procedimentos metodológicos que norteiam a presente investigação foram criteriosamente estruturados em uma sequência de fases interligadas, concebidas para transpor, de forma ordenada e sistêmica, os pressupostos teóricos para a concretização prática do estudo de caso. Estes procedimentos foram ilustrados na Figura 02.

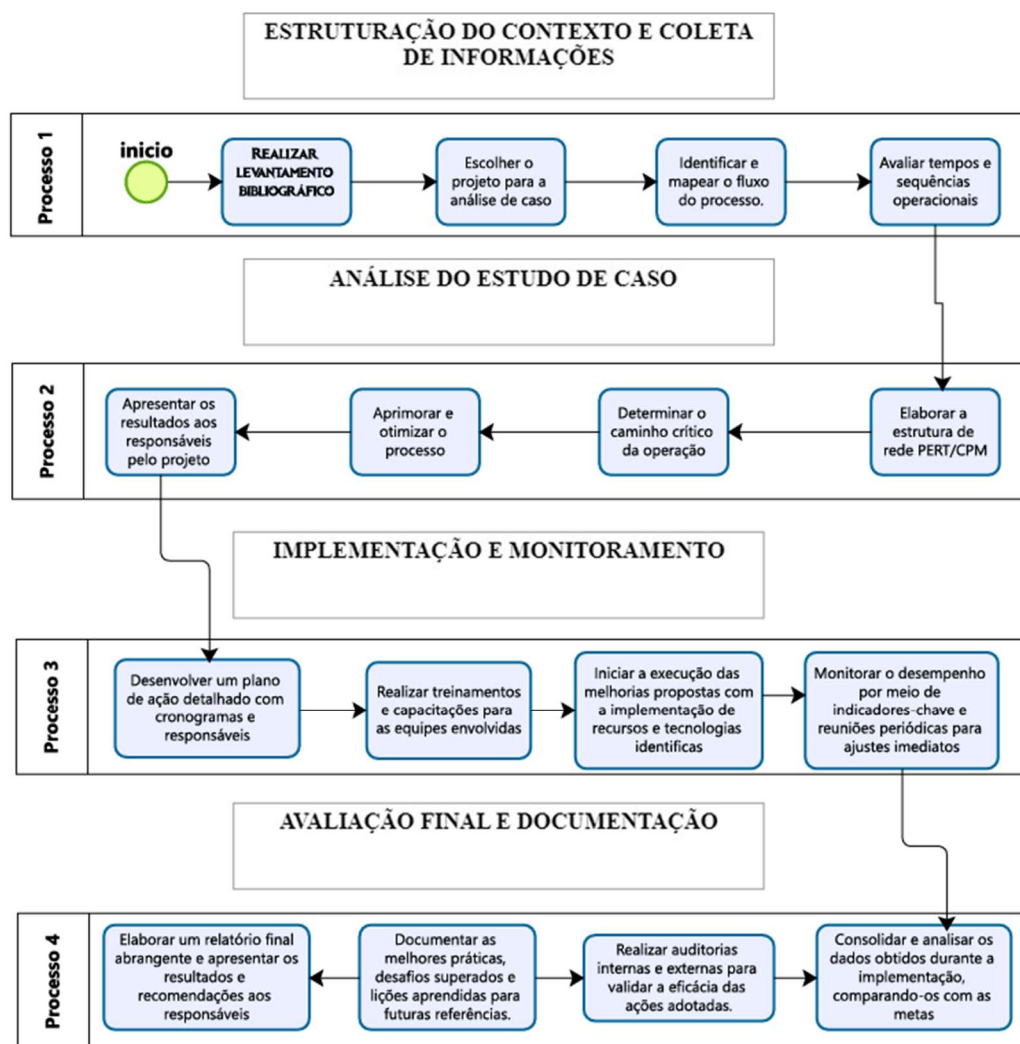


Figura 2: Fluxograma do processo metodológico

- O início da pesquisa deu-se com a realização de uma exímia pesquisa bibliográfica (Processo 1), efetuada mediante a consulta a fontes secundárias – abrangendo artigos científicos, obras literárias especializadas, normas regulamentadoras e relatórios técnicos –, cujo desígnio primordial foi

proporcionar uma compreensão cabal do cenário em análise e identificar, com precisão, as ferramentas metodológicas a serem empregadas.

- Em decorrência desse inquérito inicial, foram delineados os requisitos imprescindíveis para a seleção do estudo de caso, ensejando o contato com as empresas integradoras de energia fotovoltaica da próspera cidade de Apodi-RN, culminando na realização da etapa 2, que visou captar informações criteriosas sobre os projetos elegíveis para o estudo e, subsequentemente, proceder à escolha do estudo de caso. Na sequência, foi efetuado um acompanhamento metódico do processo de montagem de uma usina de energia fotovoltaica, o qual possibilitou o mapeamento detalhado do fluxo processual – configurando, assim, a etapa 3. Concluído esse mapeamento, procedeu-se à análise e mensuração rigorosa dos tempos e sequências operacionais envolvidos na execução do projeto, o que encerrou a Fase 1 com a etapa 4.
- O processo 2 iniciou-se com o desenvolvimento da etapa 5, cuja finalidade precípua consistiu na modelagem do processo de construção da usina fotovoltaica, integrando o sequenciamento e a quantificação temporal, apoiada pelo desenvolvimento concomitante de um Gráfico de Gantt. Deste arcabouço metodológico, emergiu a identificação do caminho crítico do processo, consagrando a etapa 6. Em seguida, a etapa 7 foi diligentemente implementada, conduzindo um processo de otimização baseado na análise detida das situações e desafios verificados durante a edificação da obra, tendo como escopo a formulação de um modelo-padrão que pudesse servir de referência para futuros empreendimento.
- Complementando esse percurso investigativo, a fase subsequente de Implementação e Monitoramento materializa-se por meio do desenvolvimento de um plano de ação minuciosamente elaborado – pontuado por cronogramas precisos e pela designação de responsáveis – e da realização de treinamentos e capacitações destinados às equipes envolvidas. Este estágio abrange, ainda, a execução das melhorias propostas, a implementação de recursos e tecnologias de vanguarda, e o acompanhamento sistemático do desempenho através de indicadores-chave e reuniões periódicas que permitem ajustes imediatos.
- Finalmente, a fase de Avaliação Final e Documentação consubstancia a consolidação e análise dos dados coletados durante a implementação, os quais são confrontados rigorosamente com as metas preestabelecidas. Este último estágio caracteriza-se pela realização de auditorias internas e externas, com o fito de validar a eficácia das ações adotadas, e pela documentação pormenorizada das melhores práticas, dos desafios superados e das lições assimiladas para futuras referências. Em última instância, elabora-se um relatório final de abrangência notável, o qual é submetido aos gestores do projeto, encerrando de forma exemplar o ciclo metodológico desta investigação.

3. RESULTADOS

Esta seção tem por escopo primordial a exposição dos resultados exaustivamente colhidos durante a implementação do estudo de caso, estando estruturada em três subseções intrinsecamente inter-relacionadas. Na primeira subseção, apresenta-se o metódico mapeamento do processo construtivo das usinas fotovoltaicas, realizado com rigor e precisão na organização em análise. A segunda subseção dedica-se à análise da situação atual. Por fim, a terceira subseção é destinada à otimização do referido processo, mediante a proposição de intervenções estratégicas e refinadas, visando à maximização da eficiência e à superação dos desafios identificados.

3.1. Modelagem do processo

A concepção de uma usina fotovoltaica é dada a partir de uma sequência de etapas a qual podemos nomeá-las de jornada do cliente, a mesma pode ser dividida em 6 macro atividades. Na figura 4 será ilustrado um fluxograma seguindo com as etapas do processo em questão.

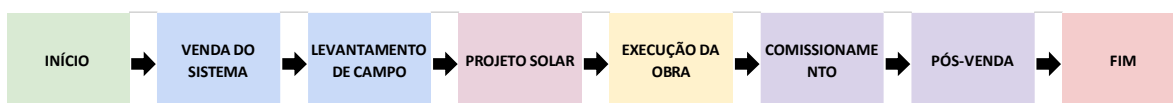


Figura 4: Fluxograma do processo da jornada do cliente

O processo inaugural delinea-se pela metódica prospecção de clientela para a comercialização do sistema fotovoltaico, incumbência esta atribuída ao setor comercial nela são apresentadas a proposta preliminar para o cliente a qual onde o mesmo demonstrar o interesse é realizado uma visita técnica ao local para validar se as condições preliminares apresentadas na proposta iniciais são válidas para o projeto requisitado. Após o

contrato firmado seguimos para a próxima etapa. procede-se ao levantamento in loco, cuja finalidade precípua consiste na coleta minuciosa dos dados imprescindíveis à concepção e desenvolvimento dos projetos executivos e o levantamento fino dos materiais e métodos que serão que deverão ser utilizados no processo de construção da usina, na Tabela 1 é mostrada toda a discriminação dos insumos/materiais que foram utilizados na construção da usina. Só possível chegar a estes quantitativos após o a visita de levantamento de campo, onde foi possível realizar as medições e escopo inicial do projeto técnico.

	<i>Quantidade</i>	<i>Preço Unitário</i>	<i>Total Unitário</i>
Disjuntor Tripolar - 50A [1 unid/ inversor]	2	R\$ 61,13	R\$ 122,26
Disjuntor Caixa Moldada Trifásico 100A [Quadro CA]	1	R\$ 475,74	R\$ 475,74
DPS CA - Protetor Surto 40 KA	4	R\$ 70,69	R\$ 282,76
Fio Cabo Flexível 25 mm ² Cu p/ Ramal (Fase: Vermelho)	30	R\$ 22,56	R\$ 676,80
Fio Cabo Flexível 25 mm ² Cu p/ Ramal (Neutro: Azul)	10	R\$ 22,56	R\$ 225,60
Cabo Quadriplex (3F+N) AL 35 mm ²	150	R\$ 26,11	R\$ 3.916,50
Fio Cabo Flexível 10 mm ² Cu p/ CA (Fase: vermelho)	30	R\$ 9,92	R\$ 297,60
Fio Cabo Flexível 10 mm ² Cu p/ CA (Neutro: Azul)	20	R\$ 9,92	R\$ 198,40
Fio Cabo Flexível 10 mm ² Cu p/ CA (Terra: verde)	20	R\$ 9,92	R\$ 198,40
Cabo de Cobre Nu 50 mm ²	250	R\$ 43,99	R\$ 10.997,50
Cabo Cobre Nu 16 mm ²	50	R\$ 13,08	R\$ 654,00
Conector de aterramento tipo C (Cabo/Cabo)	45	R\$ 3,92	R\$ 176,40
Caixa pré moldada: Aterramento (3) + Caixa de passagem (4)	7	R\$ 25,00	R\$ 175,00
Eletroduto 32mm ² (80m)	27	R\$ 10,73	R\$ 289,71
Curva 180° para eletroduto de 32mm ²	8	R\$ 1,72	R\$ 13,76
Curva 90° para eletroduto de 32mm ²	16	R\$ 1,72	R\$ 27,52
Caixa de passagem 4x4	2	R\$ 3,24	R\$ 6,48
Eletrocalha Perfurada com tampa 10x5	2	R\$ 79,49	R\$ 158,98
TAMPA NORMAL P/ CALHA	2	R\$ 38,27	R\$ 76,54
Terminal de compressão de 16mm ²	40	R\$ 2,80	R\$ 112,00
Abraçadeira de Nylon 25 cm	10	R\$ 23,82	R\$ 238,20
Abraçadeira Galvanizada 1" tipo cunha	20	R\$ 2,64	R\$ 52,80
Haste de cobre 5/8" x 2,4 m + Conector 5/8"	4	R\$ 63,68	R\$ 254,72
Terminal de Compressão de 50mm ²	2	R\$ 8,99	R\$ 17,98
Prensa Cabo 1/2 "	12	R\$ 7,54	R\$ 90,48
Conector Genérico 10mm ²	30	R\$ 6,32	R\$ 189,60
Barramento Pente Trifásico 120A	1	R\$ 61,04	R\$ 61,04
Conector Genérico 25mm ²	6	R\$ 6,32	R\$ 37,92
Terminal Olhal 25mm ²	6	R\$ 2,50	R\$ 15,00
Barramento Terra Din 120A	1	R\$ 19,99	R\$ 19,99
Barramento Neutro Din 120A	1	R\$ 19,99	R\$ 19,99
Barramento De Cobre Terra/Neutro 120 Amperes com Isolador	2	R\$ 149,00	R\$ 298,00
Terminal Olhal 10mm ²	15	R\$ 2,90	R\$ 43,50
Barramento Pente Monofásico 4P	1	R\$ 20,80	R\$ 20,80
Trilho Din	1	R\$ 13,85	R\$ 13,85
Quadro Metálico 400x300x200	1	R\$ 322,57	R\$ 322,57
Poste H 7,5m	3	R\$ 2.200,00	R\$ 6.600,00
Eletroduto 40mm ² (10m)	4	R\$ 14,52	R\$ 58,08
Box Reto p/ Eletroduto 40mm ²	3	R\$ 14,34	R\$ 43,02
Curva 180° para eletroduto de 40mm ²	1	R\$ 30,99	R\$ 30,99
Conector Derivação Perfurante Bimetálico 35-150mm x 16-35mm	4	R\$ 17,77	R\$ 71,08
Isolador Roldana	3	R\$ 7,89	R\$ 23,67

Tabela 1: Levantamento dos materiais para serem utilizados na execução do projeto.

Nesta fase subsequente, configuram-se duas vertentes projetuais de suma importância: o projeto de entrada junto a concessionária e o projeto civil estrutural das mesas de que compõem o kit de fixação dos módulos. O primeiro, conduzido pelo departamento de engenharia de projetos da empresa, almeja estabelecer o ponto de interligação com a malha energética pública, cuja administração cabe à concessionária de energia. Em paralelo, o projeto solar, elaborado pelo setor técnico especializado em sistemas fotovoltaicos, define com precisão a disposição estrutural dos equipamentos e suas respectivas especificações técnicas, garantindo a máxima eficiência do empreendimento. Na Figura 5, será ilustrado o detalhamento do arranjo. Já na Figura 6, será apresentado o detalhamento do projeto civil desenvolvido para a execução.

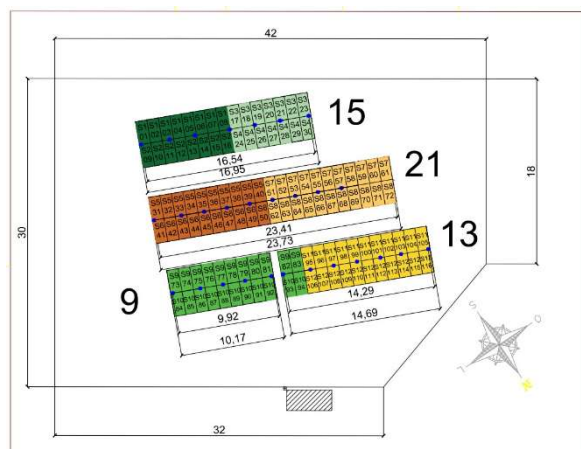


Figura 5: Detalhamento do arranjo de módulos

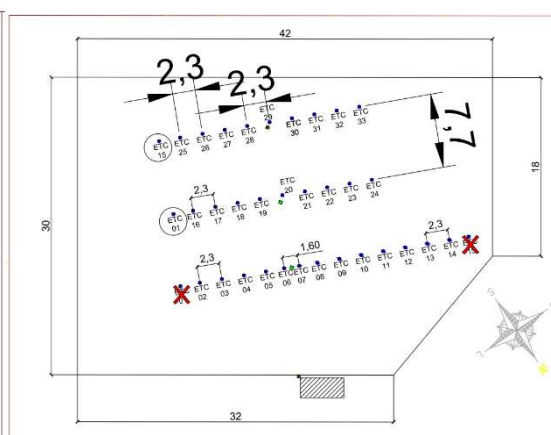


Figura 6: Detalhamento das covas

Uma vez finalizada a etapa projetual, tem-se a deflagração da execução da obra, momento nevrálgico no qual repousa o cerne deste estudo, a Figuras 7 ilustra uma etapa importante da construção da usina. Onde a figura mostra a escavação das primeiras covas para as estacas das mesas.



Figura 7: Estruturas das mesas devidamente delimitadas

O processo de execução da usina fotovoltaica inicia-se com a etapa de levantamento topográfico, a qual é essencial para a determinação da altimetria e planialtimétrica do terreno, assegurando a precisão geométrica do empreendimento. Essa atividade foi conduzida pelo corpo técnico de engenharia, garantindo que os dados obtidos atendam aos padrões técnicos necessários para a implantação da infraestrutura.

Na sequência, realiza-se a marcação dos pontos de escavação, etapa que segue rigorosamente as diretrizes estabelecidas no projeto solar, considerando variáveis como orientação geográfica, inclinação ideal dos módulos e otimização do aproveitamento da radiação solar. Os parâmetros de inclinação orientação voltados para o norte. Com a demarcação concluída, procede-se à abertura das cavas, executada por meio de um perfurador de solo helicoidal, equipamento que assegura uniformidade dimensional e eficiência na escavação, minimizando impactos estruturais ao solo e garantindo a estabilidade das fundações.

Após a abertura das cavas, realiza-se a alocação das bases estruturais, que devem ser posicionadas conforme o planejamento estrutural, seguido de um rigoroso processo de nivelamento, visando a correta distribuição das cargas mecânicas. Posteriormente, dá-se início à concretagem das bases, etapa na qual a composição do concreto e seu tempo de cura são fatores críticos para o desenvolvimento das propriedades mecânicas necessárias à estabilidade da estrutura.

Com a consolidação das bases, procede-se à montagem da estrutura metálica de suporte, conforme ilustrado na Figura 8, garantindo a resistência mecânica e a correta inclinação dos módulos. A instalação dos módulos fotovoltaicos ocorre na sequência, sendo executada com atenção à integridade dos painéis e à maximização da eficiência energética do sistema. Simultaneamente, inicia-se a implantação do sistema elétrico, no qual são realizados os procedimentos de cabeamento, crimpagem e interligação dos componentes. Essa fase inclui a conexão elétrica entre os módulos fotovoltaicos e os circuitos de corrente contínua (CC), garantindo a continuidade do fluxo energético e a otimização das perdas elétricas.

Após a interconexão dos módulos, instala-se o sistema de inversores, dispositivos responsáveis pela conversão da corrente contínua gerada pelos painéis em corrente alternada, compatível com a rede elétrica. A instalação é seguida da parametrização dos inversores e da configuração do sistema de monitoramento, etapa essencial para o controle e otimização do desempenho da usina. A última fase consiste na integração do sistema ao soliscloud, uma plataforma de monitoramento remoto que possibilita a supervisão contínua da operação da planta, viabilizando diagnósticos de desempenho e identificação de eventuais falhas.

Paralelamente à execução das etapas estruturais e elétricas, realizam-se atividades complementares, implantação dos dispositivos de proteção elétrica, incluindo dispositivos de proteção contra sobrecorrente e dispositivos de proteção contra surtos (DPS). Além disso, é realizada a malha de aterramento, fundamental para a segurança do sistema e mitigação de riscos elétricos. Concluídas todas as fases construtivas, procede-se à solicitação de vistoria técnica junto à concessionária de energia, a qual verifica a conformidade da instalação com as normativas regulatórias vigentes. Em caso de aprovação, efetua-se a substituição do medidor convencional pelo sistema bidirecional, permitindo a injeção de energia na rede elétrica. Caso sejam identificadas não conformidades, realiza-se um conjunto de ações corretivas, seguido de nova inspeção até que o sistema atenda plenamente aos requisitos normativos e operacionais.

Concluída a fase construtiva, inicia-se o rigoroso processo de comissionamento, instância na qual a edificação energética é minuciosamente avaliada, confrontando-se a materialidade da implementação com as diretrizes previamente estabelecidas nos projetos técnicos. A Figura 8 ilustra, de maneira esquemática e detalhada, as etapas inerentes à execução da obra, evidenciando os parâmetros técnicos e operacionais que regem este processo.

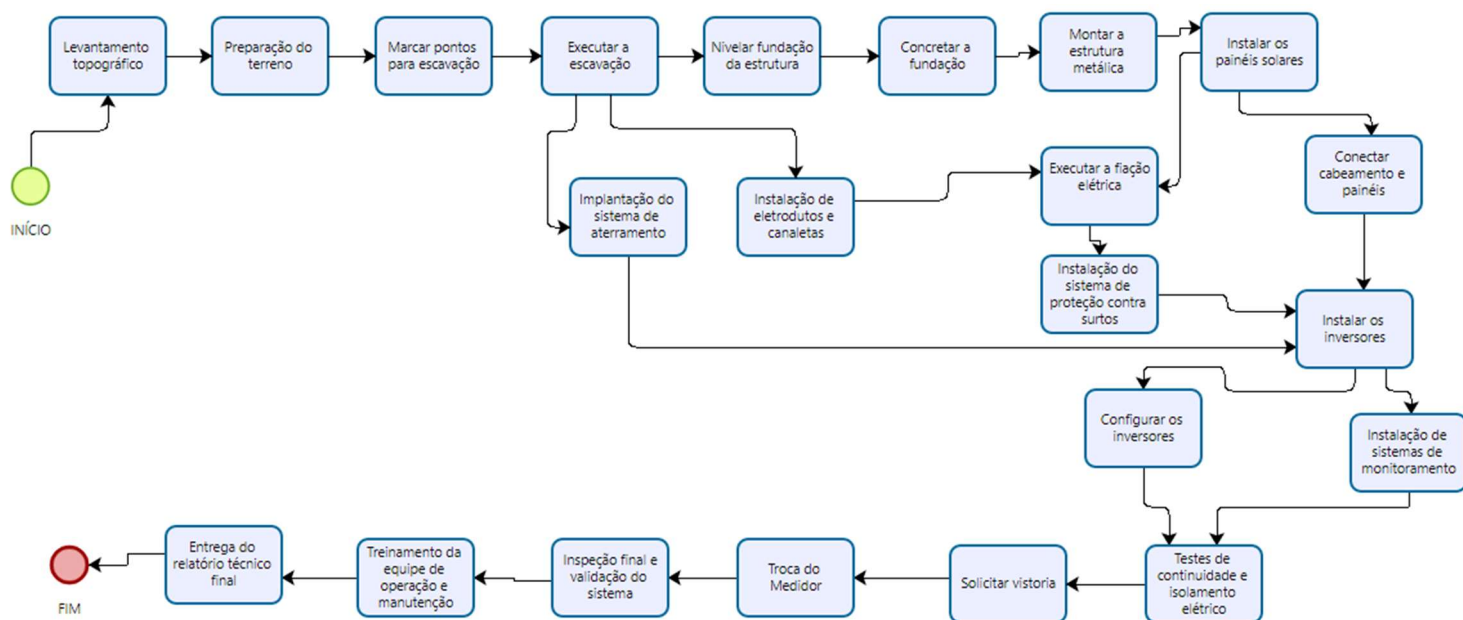


Figura 8: Mapeamento do processo de construção e implementação da obra.

3.2. Maximização

Durante as discussões com os colaboradores envolvidos na execução da obra, identificou-se que o sequenciamento de algumas atividades resultou em tempos de execução superiores ao necessário. A partir dessa constatação, foram definidos alguns pressupostos para a otimização do processo, com o objetivo de reduzir a duração total da obra e aumentar sua eficiência operacional, a Figura 9 ilustra as como seria a previsão inicial e o escopo da execução do projeto. As principais propostas de melhoria são as seguintes:

As principais propostas de melhoria são as seguintes: Antecipação da atividade de escavação de valas do aterramento em conjunto com buracos das estacas das mesas de fixação. No projeto original, essa etapa foi realizada após a montagem, o que dificultou a execução devido à necessidade de transporte manual dos materiais. Com a nova abordagem, a locomoção dentro da obra não fica comprometida por um longo período, ficaria restrita somente até o período concretagem, eliminando a necessidade de ferramentas adicionais e reduzindo o risco de acidentes devido fendas abertas no solo e reduzindo significativamente o tempo necessário para essa atividade.

Foi implementado um cronograma de compras, garantindo a disponibilidade dos equipamentos necessários para cada fase da obra. Durante a execução original, houve um atraso de três dias úteis devido à indisponibilidade do perfurador helicoidal e da betoneira, resultando em períodos de inatividade da equipe. A definição prévia de um planejamento de suprimentos evitará interrupções e otimizará o fluxo de trabalho. A betoneira foi inicialmente implementada para a preparação da argamassa somente após o primeiro dia de concretagem, inicialmente foi feito de forma manual, e após isso, decidiu-se pela implementação da betoneira, o que acelerou a atividade. Essa mudança também contribuiu para a celeridade na construção do abrigo para os inversores.

Execução simultânea das atividades de instalação e configuração dos inversores, permitindo a realização dessas etapas em paralelo e reduzindo o tempo total do processo. Com base nessas mudanças, foi realizada uma nova análise dos tempos e sequenciamentos, incorporando as propostas de otimização. Além disso, os tempos de preparação e deslocamento foram revisados e ajustados, conforme apresentado na nona figura 10.

No processo de instalação dos módulos, foi verificado que poderia ser executado simultaneamente com outra atividade que seria o lançamento dos cabos de corrente contínua e conexão das strings e assim foi feito, antecipando o prazo de realização da obra em mais 1 dia. Os impactos dessas melhorias são expressivos. A atividade que inicialmente demandava 23 dias para a execução completa da obra, com apenas 6 horas efetivas de trabalho por dia devido ao deslocamento entre cidades, preparação de equipes e materiais, passou a exigir apenas 19 dias na nova abordagem. A nova sequência de atividades foi reestruturada conforme a figura 10:

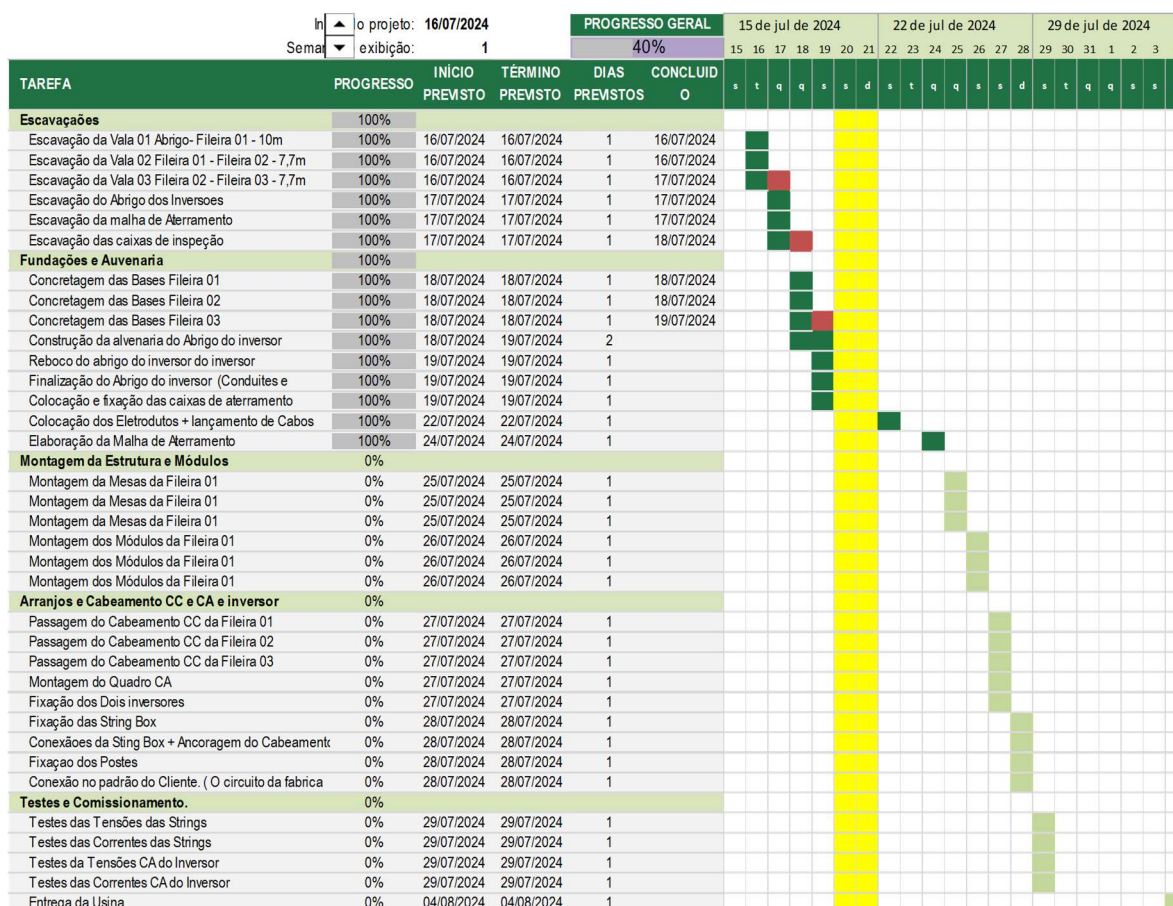


Figura 11: Detalhamento das atividades após otimização

4. CONCLUSÃO

Com o avançar da investigação, tornou-se exequível a análise minuciosa de uma conjuntura verídica, viabilizando o mapeamento integral do processo de edificação de usinas fotovoltaicas conduzido pela empresa em estudo, abrangendo desde a fase de prospecção e captação de clientes até a consumação definitiva da obra. Essa abordagem permitiu não apenas a dissecação detalhada dos procedimentos executivos, trouxe a reflexão aprofundada acerca de aprimoramentos estratégicos destinados a elevar a eficiência operacional dos empreendimentos desenvolvidos.

Por meio da cartografia analítica, bem como da correspondente mensuração de seus tempos de execução e interdependências lógicas, foi viabilizada a determinação do caminho crítico do processo. Inicialmente, a configuração vigente delineava um percurso crítico de 23 dias. Todavia, mediante a aplicação de metodologias de otimização, foi possível reformular a estrutura operacional, resultando em um cenário aprimorado com tempo crítico reduzido para 19 dias para a instalação de uma usina com capacidade de 64,38 kW.. Cumpre destacar que um fator exógeno de impacto significativo na execução da obra consiste na ocorrência de períodos chuvosos, os quais impõem a necessidade de paralisações intermitentes nas mais variadas frentes de trabalho, influenciando a linearidade do cronograma e exigindo estratégias adaptativas de contingência.

A implementação desse estudo reveste-se de inestimável relevância para a organização empresarial, especialmente diante do exponencial crescimento do setor de energia fotovoltaica. Nesse contexto, torna-se imperativo que os processos internos sejam continuamente aperfeiçoados e racionalizados, assegurando a máxima competitividade no mercado. Embora a presente investigação tenha sido conduzida em uma única unidade geradora, sua aplicabilidade transcende esse escopo, dado que a padronização dos procedimentos permite extrapolações proporcionais a empreendimentos de diferentes magnitudes, uma vez que o tempo de construção cresce linearmente com a potência instalada. Ademais, o mapeamento do processo confere aos profissionais envolvidos uma compreensão mais ampla e sistemática da dinâmica operacional, facilitando a comunicação de expectativas junto aos clientes e aprimorando a gestão de projetos.

No que tange às limitações inerentes à pesquisa, sublinha-se que os processos internos ainda se encontram em estágio incipiente de maturação, tendo em vista que a obra analisada corresponde apenas à primeira usina implantada pela empresa. Diante desse panorama, verifica-se que cada novo empreendimento

agrega aprendizados inéditos, contribuindo progressivamente para a consolidação de um arcabouço técnico mais robusto e refinado.

Por fim, reconhece-se que o tempo de investigação foi relativamente exíguo e que obstáculos foram identificados no acesso a informações organizacionais sensíveis. Todavia, este estudo cumpre um papel fundamental ao fornecer subsídios técnicos iniciais para a reflexão crítica sobre os fatores determinantes da produtividade na construção de usinas fotovoltaicas. Como desdobramento natural dessa pesquisa, recomenda-se a realização de novas investigações voltadas à otimização contínua desses processos, incluindo a aplicação da metodologia desenvolvida em um conjunto mais amplo de usinas, de modo a consolidar um ciclo virtuoso de aprimoramento incessante.

REFERÊNCIAS

- [1] CREMASCO, Marco Aurélio. Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Dimensionamento e Estudos de Caso. São Paulo: Blucher, 2020.
- [2] BARBOSA, Elaine et al. Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede: Aspectos Técnicos e Regulatórios no Brasil. Rio de Janeiro: Synergia, 2019
- [3] DUCKER, Peter F. *A prática da gestão* (The Practice of Management). 1. ed. São Paulo: Pioneira, 1999
- [4]Jugen, P.; Barbalho, R.; Silva, M. Gestão de Projetos e suas Aplicações. Revista de Engenharia e Gestão, 2014, 12(3), 45-67.
- [5] SOUZA, C. H.; PEREIRA, F. O.; SILVA, R. M. Gestão de Projetos de Engenharia: Princípios, Métodos e Práticas. São Paulo: Elsevier, 2019.
- [6] BALLARD, Glenn. The Last Planner System of Production Control. University of Birmingham, 2000.
- [7]Carvalho, M.M.; Rabechini Jr, R. Gestão de Projetos: Competências e Metodologias. São Paulo: Atlas, 2011.
- [8] Project Management Institute (PMI). Um Guia do Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos (PMBOK Guide). 6ª edição, 2013.
- [9] Prado, D. Gerenciamento de Projetos nas Empresas. São Paulo: Ed. FGV, 2004.
- [10] WOMACK, James P.; JONES, Daniel T.A mentalidade Lean: Como empresas de sucesso se tornam mais ágeis e inovadoras. São Paulo: Editora Cultrix, 2003.
- [11] FREITAS, Marcelo Motta de; OLIVEIRA, Luiz Carlos Pinto de. Desafios na Formação de Engenheiros para o Setor de Energias Renováveis. Revista Produção e Desenvolvimento, v. 7, n. 1, 2021.
- [12]Hanfang Li, Lin, H., Tan, Q., Wu, P., Wang, C., Gejirifu De, Huang, L., 2020. Research on the policy route of China's distributed photovoltaic power generation. Energy Reports 6, 254–263. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.12.027>
- [13] SILVA, M. L., SILVA, M. T. M., TURET, J., 2018. Gerenciamento de projetos aplicado em um evento universitário
- [14] PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar. *Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico*. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.
- [15] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Distribuidora de cada município. Disponível em: [https://www2.aneel.gov.br/relatoriosrig/\(S\(vkgslj3ghfop4e15d0g33bjj\)\)/relatorio.aspx?folder=sfe&report=DistribuidoradecadaMunicipio](https://www2.aneel.gov.br/relatoriosrig/(S(vkgslj3ghfop4e15d0g33bjj))/relatorio.aspx?folder=sfe&report=DistribuidoradecadaMunicipio). Acesso em: 17 mar. 2025.