

LARISSA PRADO FERNANDES

**METOLOGIA DE TESTES EM COMISSIONAMENTO:
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E USINAS SOLARES
FOTOVOLTÁICAS**

**ALEGRETE/RS
2023**

LARISSA PRADO FERNANDES

**METOLOGIA DE TESTES EM COMISSONAMENTO:
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E USINAS SOLARES
FOTOVOLTÁICAS**

Projeto de pesquisa apresentado ao curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA, como requisito parcial à obtenção do Certificado de Conclusão.

Orientando(a): Larissa Prado Fernandes

Orientador(a): Profa. Dra. Natalia Braun Chagas

**Alegrete/RS
2023**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

F363m Fernandes, Larissa Prado Fernandes

Metodologia de Testes em Comissionamento Desenvolvimento
Sustentavel e Usinas Solares Fotovoltaicas / Larissa Prado
Fernandes Fernandes.

43 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA ELÉTRICA, 2023.

"Orientação: Natalia Braun Chagas Chagas".

1. Usina Solar . 2. Desenvolvimento Sustentavel . 3.
Energia Limpa. 4. Comissionamento . 5. Sistema Foltovoltaico.
I. Título.

LARISSA PRADO FERNANDES

**METODOLOGIA DE TESTES EM COMISSONAMENTO: DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL E USINAS SOLARES FOTOVOLTAICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharela em Engenharia Elétrica.

Dissertação defendida e aprovada em: 07 de julho de 2023.

Banca examinadora:

Prof^ª. Dr^ª. Natalia Braun Chagas

Orientadora

UNIPAMPA

Prof. Dr. Guilherme Sebastião da Silva

UNIPAMPA

Eng. Vinicius Negri



Assinado eletronicamente por **GUILHERME SEBASTIAO DA SILVA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/07/2023, às 15:57, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **NATALIA BRAUN CHAGAS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/07/2023, às 16:02, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **vinicius grethe negri, Usuário Externo**, em 07/07/2023, às 20:21, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1166582** e o código CRC **93201C70**.

RESUMO

Este estudo apresenta uma reflexão sobre a comissionamento de energia fotovoltaica, energia essa que é completamente sustentável, e que entre seus muitos benéficos, está o fato de ser uma energia limpa, evitando assim a degradação dos recursos naturais do planeta.

Partindo do pressuposto de que o aumento populacional e das atividades humanas vêm trazendo como consequência, graves impactos ambientais em todo o mundo, indicando a necessidade de estabelecer um modelo de desenvolvimento sustentável.

Através desse estudo verificamos que a geração de energia elétrica, cada vez mais indispensável para o desenvolvimento tecnológico, é totalmente dependente desses recursos naturais e seu uso irresponsável causa diversos impactos ao meio ambiente.

As usinas de energia solar se apresentam como uma possível solução para tais problemas, uma vez que sua produção é totalmente sustentável, utilizando como matéria prima a captação de luz solar, podendo ser utilizada abundantemente não afetando o meio ambiente e sua eficiência permite que a geração de energia elétrica seja feita de modo consciente e econômico.

Não só do ponto de vista financeiro como também ambiental, pois ao contrário dos combustíveis fósseis, ela não emite gases poluentes prejudiciais à saúde e ao meio ambiente tampouco necessita da retenção de rios, desmatamentos e os acidentes com barragens como as usinas hidrelétricas.

Metodologicamente, esse estudo alicerçou-se em uma pesquisa bibliográfica, exploratória e documental.

Palavras-chave: Usina Solar. Desenvolvimento Sustentável. Energia Limpa.

ABSTRACT

This study presents a reflection on the commissioning of photovoltaic energy, energy that is completely sustainable, and that among its many benefits is the fact that it is a clean energy, thus avoiding the degradation of the planet's natural resources.

Based on the assumption that the increase in population and human activities have resulted in serious environmental impacts around the world, indicating the need to establish a model of sustainable development.

Through this study we verified that the generation of electric energy, increasingly indispensable for technological development, is totally dependent on these natural resources and its irresponsible use causes several impacts to the environment.

Solar energy plants present themselves as a possible solution to such problems, since their production is totally sustainable, using sunlight capture as a raw material, and can be used abundantly without affecting the environment and their efficiency allows the generation electricity is done in a conscious and economical way.

Not only from a financial point of view, but also from an environmental point of view, because unlike fossil fuels, it does not emit polluting gases that are harmful to health and the environment, nor does it require the retention of rivers, deforestation and accidents with dams such as hydroelectric plants.

Methodologically, this study was based on a bibliographical, exploratory and documentary research.

Keywords: Solar Power Plant. Sustainable development. Clean energy.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1. JUSTIFICATIVA.....	9
1.2. OBJETIVOS.....	9
1.3. OBJETIVO GERAL.....	10
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	11
2.1. A ELETRICIDADE NA HUMANIDADE	11
2.2. A ENERGIA HIDRELÉTRICA.....	12
2.3. A ENERGIA TERMELÉTRICA	13
2.4. A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTÁICA	14
2.5. COMPARATIVOS DOS IMPACTOS AMBIENTAIS.....	16
2.6. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – ENERGIA ELETRICA	18
2.7. RELAÇÃO: BRASIL X ENERGIA SOLAR FOTOVOLTÁICA.....	20
2.8. O COMISSIONAMENTO	20
3. METODOLOGIA DO ESTUDO	22
3.1. TESTES APLICADOS NO COMISSIONAMENTO DE USINAS.....	22
4. A EXPANSÃO DA USINA SOLAR	25
4.1. COMISSIONAMENTO.....	25
4.1.1. COMISSIONAMENTO – ETAPA 1 - VERIFICAÇÃO	25
4.1.2. COMISSIONAMENTO – ETAPA 2 – INSPEÇÃO VISUAL	26
4.1.3. COMISSIONAMENTO – ETAPA 3 – SINAIS E IDENTIFICAÇÃO.....	29
4.2. ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA	31
4.2.1. TESTES OPERACIONAIS.....	31
4.2.2. INSPEÇÃO COM CÂMERA TERMOGRÁFICA	32
4.3. TESTE MECÂNICO DAS CONEXÕES ELÉTRICAS DO SISTEMA DE ATERRAMENTO E EQUIPOTENCIALIZAÇÃO	33
4.4. TESTE DE CONTINUIDADE DO SISTEMA DE ATERRAMENTO E EQUIPOTENCIALIZAÇÃO.....	34
4.5. MEDIÇÃO DE TENSÃO E CORRENTE DO GERADOR PV	35
5. CHECKLIST - DOCUMENTOS E EQUIPAMENTOS.....	37
5.1. CHECKLIST COMISSIONAMENTO NA OBRA:	39

6. CONCLUSÃO.....	42
7. REFERÊNCIAS	44

1. INTRODUÇÃO

As necessidades do dia a dia da população estão cada vez mais associadas diretamente a itens tecnológicos, que por consequência consomem energia elétrica, essa energia é gerada por diferentes meios, apesar de no Brasil a maior parte da energia ainda ser produzida por hidroelétricas, e termoelétricas, observa-se na última década uma expansão, de usinas eólicas e fotovoltaicas.

Segundo os cálculos realizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) no primeiro semestre de 2022, o Brasil obteve um crescimento de 165,6 megawatts (MW) na matriz elétrica. Desse total, 28,4 MW de termelétricas, 87,6 MW são de usinas eólicas, e 49,6 MW de geração solar fotovoltaica, sendo esta última o foco desse estudo.

Neste estudo verificamos que as sociedades começaram a reconhecer que não apenas estão destruindo seu meio ambiente, mas também estão minando seu futuro, revelando a consciência que vem aos poucos crescendo na sociedade. O aumento populacional assim como as atividades humanas vêm trazendo como consequência graves impactos ambientais em todo o mundo, indicando a necessidade de estabelecer um modelo de desenvolvimento sustentável que vise evitar a degradação dos recursos naturais do planeta, segundo a ONU até 2030 a população mundial será de 8,5 bilhões.

Sendo o foco desse trabalho o checklist para garantir uma boa instalação fotovoltaica, é apresentado a importância da atenção aos detalhes, para qualidade e segurança da instalação, uma vez que uma instalação malfeita pode vir a ocasionar diferentes problemas na geração de energia.

A falta do comissionamento pode ocasionar a instalação de cabos com polos invertidos, obstruções na caixa de saída, oscilação constante na entrega da energia, curto circuitos, entre outros, podendo chegar até mesmo a incêndios por cabos não estarem devidamente isolados. Esses são apenas alguns pontos de atenção que será discorrido ao longo do trabalho.

Metodologicamente, este trabalho alicerçou-se em pesquisa bibliográfica, exploratória e documental. Para isso, realizou-se a pesquisa do tipo qualitativa com abordagem do método hipotético-dedutivo, conforme apresentado. Quanto aos procedimentos técnicos a pesquisa é classificada como pesquisa bibliográfica e documental.

A pesquisa foi desenvolvida com a utilização de um plano de trabalho que orientou, primeiramente, a cuidadosa identificação e seleção das fontes bibliográficas e documentais, seguida da análise e discussão das informações obtidas.

Concluindo por fim que há a flagrante necessidade de expansão da produção de energia solar fotovoltaica, diante da necessidade de uma produção de energia limpa e sustentável são necessárias iniciativas mais amplas do poder público como, por exemplo, linhas de crédito para financiar a instalação desses sistemas como ocorre na Alemanha.

O Brasil tem irradiação solar bastante significativa e o desenvolvimento de tecnologia nacional aliada à utilização de sistemas fotovoltaicos em larga escala poderia reduzir o investimento em usinas hidrelétricas e termelétricas que exigem um grande aporte de recursos além de ter um forte impacto socioambiental.

1.1. JUSTIFICATIVA

A importância e relevância desse estudo se justifica na possibilidade de prevenirmos vultosos infortúnios através de um simples check-list, direcionando ensaios para garantir que a usina opere em condições satisfatória, conectada a concessionária local de fornecimento.

Entre tais procedimentos podemos apontar como principais os seguintes itens:

- Reuniões e organização de documentos e plantas da usina, pessoas envolvidas no projeto de construção e manutenção.
- Verificação de equipamento e normas, procedimentos da realização do comissionamento e testes operacionais.
- Caracterização da qualidade de energia gerada pela usina.

1.2. OBJETIVOS

Garantir o bom funcionamento, com segurança, de uma usina solar fotovoltaica através de testes de comissionamento desenvolvidos por meio de um *checklist*, ou seja, um conjunto de práticas que assegurem que a planta industrial opere em pleno funcionamento, permitindo observar possíveis falhas, melhorando a estrutura operacional, realizando eventuais manutenções e reparos ampliando a vida-útil dos equipamentos.

1.3. OBJETIVO GERAL

Os Testes de Comissionamento consistem em uma série de procedimentos para verificar se o sistema foi instalado de acordo com o projeto e se o sistema foi bem projetado. Verifica-se também, se os equipamentos utilizados são compatíveis com as normas vigentes, compatíveis entre si e se são de boa qualidade, ou seja, se possuem selo de certificação. A análise é feita antes e após a instalação, e também depois da ativação da usina.

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os demais objetivos que norteiam esta pesquisa são:

- Analisar a qualidade de energia produzida pela usina;
- Inspeção visual dos danos aparente;
- Inspeção de temperatura dos equipamentos;
- Inspeção das normas em vigência.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A ELETRICIDADE NA HUMANIDADE

Desde a pré-história, o homem tem usado a inteligência para criar mecanismos que reduzam o esforço e aumentem seu conforto. Ao dominar o uso fogo, melhorou sua alimentação, iluminação e segurança, inventou a roda e outros mecanismos que multiplicaram sua força física e facilitaram o transporte. Descobriu a força das águas, dos ventos e domesticou animais, usando a força de cavalos e bois para o trabalho. Milhares de anos se passaram até que um fato marcou a história da energia: a invenção da máquina a vapor, um símbolo energético da Revolução Industrial.

O fogo foi transformado em movimento, permitindo a construção de grandes fábricas e sua aplicação nos transportes. Nesse período, os combustíveis fósseis, como por exemplo, o carvão mineral, petróleo e gás natural também evoluíram bastante, gerando tecnologias mais avançadas, surgindo então a energia elétrica, símbolo da era da Informação e da modernidade

Na Segunda Revolução Industrial, comumente associada com a eletrificação de Nikola Tesla, Thomas Alva Edison e George Westinghouse, iniciando-se na segunda metade do século XIX, envolvendo uma série de desenvolvimentos dentro da indústria química, elétrica, de petróleo e de aço.

Com o avanço da Segunda Revolução Industrial, o fornecimento de energia passou por mudanças técnica, aprimorou os recursos e permitiu a sua transmissão para localidades mais distantes, oferecendo um custo ainda menor, sendo cada vez mais acessível para toda a população, em virtude dos métodos de geração de energia. As fontes de energia podem ser divididas em duas categorias, fontes de energia renovável e fontes de energia não renovável.

As renováveis são aquelas que vêm de recursos naturais que são naturalmente reabastecidos, como o sol, o vento, maré e energia geotérmica. Contudo, nem todo recurso natural é renovável, por exemplo, o urânio, carvão e petróleo são retirados da natureza porém existem em quantidade limitada, sendo assim chamadas de fontes de energia não renováveis. As fontes de energia não renováveis são aquelas que dependem de processos em escala de tempo geológica ou de formação do sistema solar para se

tornarem disponíveis, por exemplo, o carvão mineral, o petróleo, o gás natural e a energia nuclear.

Um dos aspectos mais importantes que ajudam o desenvolvimento de um país é a sua disponibilidade de gerar energia (CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1997, p.9.3). Não existe desenvolvimento sem energia (ANEEL, 2002, p.109). Uma das formas de energia mais importante é a energia elétrica, que pode ser produzida de diversas maneiras. As mais conhecidas são através de **usinas hidrelétricas e termelétricas**. Atualmente estão sendo desenvolvidas outras formas de geração de energia, com menor impacto ambiental, mas ainda em pequena escala e a custos elevados. Como exemplo das novas tecnologias pode ser considerado: **A energia solar fotovoltaica**.

2.2. A ENERGIA HIDRELÉTRICA

Segundo Bortoleto (2001), a energia hidráulica provém da condensação, precipitação e evaporação das águas, fatores estes causados pela irradiação solar e pela energia gravitacional, sendo estes os responsáveis pela geração de energia hidráulica.

As usinas hidrelétricas têm a capacidade de transformar energia cinética em energia elétrica a partir do aproveitamento do movimento das águas. A estrutura de uma usina hidrelétrica funciona de maneira integrada e em conjunto, e é formada principalmente pelo sistema de captação e adução de água, pela barragem e pela casa de força.

A função da barragem é interromper o curso normal da água, criando um reservatório, onde será armazenada a água. Além de armazenar água, este reservatório também permite que a vazão dos rios seja adequada, tanto em períodos chuvosos, quanto de estiagem, a captação da chuva em volume adequado e uma diferença de altura que é necessária para a geração da energia hidráulica (ANEEL, 2005). As turbinas transformam energia cinética, originada do movimento das águas em energia elétrica, durante o movimento giratório das turbinas, que conectadas a geradores produzirão energia elétrica. Após passar pelas turbinas, a água é devolvida ao seu leito natural do rio, através do canal de fuga (CICOGNA, 2003).

Segundo a Atlas Nacional de Energia Elétrica, publicado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 2008, o vertedouro, tem a finalidade de permitir a saída de água quando os reservatórios estiverem com os níveis acima do recomendado. O que pode ocorrer devido ao excesso de chuva, ou de vazão. Em épocas chuvosas, o vertedouro é aberto para evitar enchentes nas suas proximidades. (FERNANDEZ; ARAUJO; ITO; 2009).

A energia hidráulica, diferente das demais fontes renováveis, representa uma significativa parcela da matriz energética mundial, embora a tendência ao aumento de outras fontes de energias seja grande, devido a fatores socioeconômicos e ambientais que restringem projetos hidrelétricos.

A figura 1 apresenta a barragem da usina Itaipu.

Figura 1- Hidrelétrica de Itaipu



Fonte: Agencia Brasil por Caio Coronel.

2.3. A ENERGIA TERMELÉTRICA

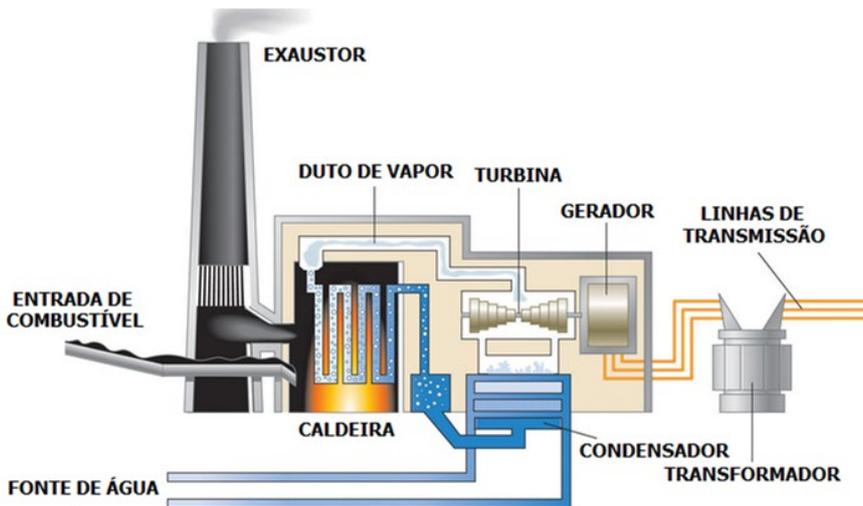
Energia termelétrica é um excelente exemplo de geração de energia elétrica a partir de fontes de energia **não renováveis**, pois é a eletricidade gerada por meio da obtenção de calor de uma determinada fonte. Esse calor em geral é proveniente da queima de combustíveis fósseis, como carvão mineral, gás natural e derivados de petróleo. As unidades geradoras desse tipo específico de energia recebem o nome de usinas termoelétricas.

Tudo tem início com a queima do combustível para geração de calor. Esse calor promovido na etapa inicial causa o aquecimento de uma caldeira com água líquida, que gradativamente é convertida em vapor d'água, esse vapor aciona turbinas que, por sua vez, movimentam os geradores que fazem a conversão da energia cinética em energia elétrica. Por fim, a energia elétrica é direcionada para as torres de transmissão, a partir das quais é distribuída até chegar ao seu consumidor final.

Após a conversão, o vapor d'água é direcionado para um condensador, dispositivo onde a água retorna para o estado líquido e, mediante o auxílio de uma bomba, é conduzida novamente à caldeira.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.**2 apresenta o esquema de uma usina térmica convencional

Figura 2 - Esquema de uma usina térmica convencional



Fonte: Reprodução internet CBIE.

2.4. A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Segundo Komp (2001), produzir eletricidade através da energia solar não é exatamente uma novidade. Em 1839, Edmond Becquerel, um físico francês, observou que duas placas de latão imersas em um eletrólito líquido produziam eletricidade quando expostas à luz solar. A esse fenômeno deu-se o nome de efeito fotovoltaico.

A energia solar fotovoltaica é, segundo Grätzle (2001), a conversão de energia solar em eletricidade, ou seja, gerada diretamente por placas solares que captam a luz do sol durante o dia e a transformam em energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico, utilizando como energia o sol, totalmente renovável, devido à sua natureza inesgotável.

Agindo como um grande reator nuclear natural, o sol libera a cada instante pequenos pacotes de energia, chamados fótons, que percorrem aproximados 150 milhões de quilômetros, em cerca de 8 minutos, para chegar a Terra. Em 26 de abril de 1954 o jornal americano The New York Times anunciou que as células fotovoltaicas de silício poderiam ser a possibilidade do futuro de aproveitamento de uma fonte de energia ilimitada, a radiação solar.

De fato, o anúncio estava correto. A quantidade de energia que o sol fornece todos os dias à Terra é suficiente para alimentar toda demanda energética diária do planeta diversas vezes, como afirma Schiermeier (2008). A superfície da Terra recebe cerca de 3×10^{24} joules por ano, ou seja, $9,5 \times 10^4$ TW (Terawatts) de energia solar, cerca de 10.000 vezes a mais do que toda população terrestre consome, de acordo com Grätzle (2001).

Os principais equipamentos que compõem o sistema são os módulos fotovoltaicos, conhecidos popularmente como placas solares, e o inversor interativo. Os módulos fotovoltaicos são compostos por muitas células solares, unidade mínima da tecnologia e responsáveis pela conversão direta da luz em eletricidade.

Quando os fótons atingem uma célula solar, eles liberam os elétrons em excesso dos átomos da camada negativa, que passam para a camada positiva criando, assim, um circuito elétrico. Quando os elétrons fluem através desse circuito, eles geram eletricidade. Múltiplas células compõem um módulo fotovoltaico e vários destes são agrupados para formar um painel solar. Quanto mais painéis você pode implantar, mais energia você pode esperar gerar, dessa forma ensina Hagfeldt (2010).

A figura 3 apresenta uma usina solar em construção.

Figura 3 - Usina solar em construção.



Fonte: Autora

2.5. COMPARATIVOS DOS IMPACTOS AMBIENTAIS

Como exposto anteriormente, as fontes de energia não renováveis são aquelas que dependem de processos em escala de tempo geológica como, por exemplo, o carvão mineral, o petróleo, o gás natural e a energia nuclear, considerando que elas demoram milhares de anos para se renovarem. Nas **usinas termelétricas** os combustíveis são queimados para aquecer a água, provocando o vapor que movimenta as turbinas e gera energia. No processo de queima, gases tóxicos são despejados na atmosfera, contribuindo para o aquecimento global, problemas respiratórios, poluição etc.

De acordo com Vasconcellos (2011), perto de 3000 diferentes compostos provenientes da ação humana já foram identificados na atmosfera, sendo a maior parte deles orgânicos. Essa mistura complexa de poluentes causa preocupação devido ao impacto que pode causar à saúde e ao ambiente. Dessa forma, a determinação sistemática da qualidade do ar deve ser, por questões de ordem prática, limitada a um restrito número de poluentes, definidos em função de sua importância e dos recursos materiais e humanos disponíveis para determiná-los.

Além disso, nas usinas à carvão, como explica Raquel Maria Rigotto (2009), de forma simplificada, o processo de produção de energia elétrica neste tipo de usina parte do carvão mineral, moído e soprado para uma fornalha, onde será queimado, para aquecer água. Este processo demanda a ocupação de áreas onde já estão instaladas comunidades humanas ou há outras comunidades de vida animal ou vegetal, relevantes para a biodiversidade e os serviços ambientais, e que sofrerão uma profunda alteração da

paisagem. A opção tecnológica pelo carvão mineral como combustível é a mais impactante do ponto de vista ambiental e da saúde humana, desde a sua extração nas minas subterrâneas que, entre outros efeitos, leva a quadros severíssimos de insuficiência respiratória, além da poluição atmosférica nas comunidades do entorno.

No que diz respeito às **usinas hidroelétricas**, muitos especialistas a apontam, como forma de reduzir os impactos ambientais da produção de energia elétrica, uma vez que utiliza como fonte geradora a força da água, um recurso renovável, contudo não é dessa forma que (INATOMI & UDEATA, 2011) aponta, afirmando que durante muito tempo falou-se que a geração de energia hidrelétrica não causava impactos ambientais negativos ao meio ambiente, no entanto segundo os autores, muitas pesquisas demonstraram que este tipo de geração de energia antes tido como “energia limpa” causa sérios impactos ambientais negativos no decorrer da sua construção até o seu funcionamento.

Entre os problemas ambientais identificados e amplamente conhecidos tem-se a modificação da paisagem, tanto pelas instalações próprias das usinas hidrelétricas e da represa, como pelas linhas de transmissão de energia, o manejo inadequado dos resíduos sólidos e líquidos, a alteração dos parâmetros físicos, químicos e biológicos das águas, a interrupção de seu curso e diminuição da vazão pela represa, a geração de campos magnéticos pelas torres de alta tensão, contaminação sonora, desmatamento e os riscos de deslizamento. A construção de uma represa e a área alagada pela mesma produz impactos ambientais, sociais e econômicos sobre o meio ambiente natural e humano existentes na área de sua influência interferindo na biologia aquática e terrestre, além de influenciar na riqueza cultural e histórica da região atuando como verdadeiras bombas biológicas (GIUSTI, 2005).

Por outro lado, **as usinas de energia solar** se apresentam como uma possível solução para tais problemas, uma vez que sua produção é totalmente sustentável, utilizando como matéria prima a captação de luz solar, podendo ser utilizada abundantemente não afetando o meio ambiente e sua eficiência permite que a geração de energia elétrica seja feita de modo consciente e econômico, não só do ponto de vista financeiro como também ambiental pois ao contrário dos combustíveis fósseis, ela não emite gases poluentes prejudiciais à saúde e ao meio ambiente tampouco necessita da

retenção de rios, desmatamentos e não tem riscos de acidentes com barragens como as usinas hidrelétricas.

2.6. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – ENERGIA ELETRICA

Lentamente e por toda parte, as sociedades começaram a reconhecer que não apenas estão destruindo seu meio ambiente, mas também estão minando seu futuro, revelando a consciência que vem aos poucos crescendo na sociedade.

Segundo MORHY (2004, p.01):

O aumento do crescimento populacional e das atividades humanas vêm trazendo como consequência graves impactos ambientais em todo o mundo, determinou importantes mudanças nas diretrizes norteadoras do desenvolvimento da sociedade humana. A população mundial mais do que triplicou nos últimos anos cem anos; as atividades agrícolas, as cidades e as atividades de produção industrial e comercial transformaram a metade da superfície do planeta; 10% da cobertura vegetal total da Terra não existe mais; cerca de 70% das florestas da Europa e da Ásia desapareceram; um quarto das espécies de aves foram extintas (...) A observação e os registros desses fatos, que cresceram assustadoramente nos últimos 50 anos, convenceram definitivamente a humanidade da insustentabilidade do modelo de desenvolvimento que vinha adotando, sem levar em conta os prejuízos ambientais.

BROWN (1990, p.218) indica que essa tarefa de criar e estabelecer uma sociedade sustentável deveria ser atingida até o prazo de 2030, pois após este prazo seria provável que a degradação dos recursos naturais juntamente com um consequente declínio econômico forme uma espécie de ciclo vicioso que culminaria em uma total desintegração também social.

As consequências da ação humana e suas atividades são inúmeras direta e indiretamente, e muitas estão correlacionadas. Não cabe ao presente estudo detalhar tecnicamente as origens e consequências desses efeitos, mas somente salientar sua relação com o desenvolvimento. Pois, são exatamente esses efeitos que fazem o atual modelo de desenvolvimento insustentável.

A geração de energia elétrica é totalmente dependente de recursos naturais e causa diversos impactos ao meio ambiente. Como aponta BANDEIRA (2002, p.01):

A produção de energia elétrica é, entre as atividades desenvolvidas pelo homem, uma das mais intensivas em recursos naturais, produzindo importantes alterações no ambiente, muitas vezes negativas. Considerando a importância crescente da energia para o bem estar da população e para a continuidade das

atividades econômicas, a busca por um desenvolvimento sustentável passa necessariamente pelo **aumento da eficiência e conservação energética, aliadas ao uso de uma variedade de fontes renováveis o mais breve possível.**

Nesse sentido o documento DIRETRIZES ESTRATÉGICAS PARA O FUNDO SETORIAL DE ENERGIA ELÉTRICA (2001, p.215) desenvolvido pela gerência do Fundo Setorial de Energia Elétrica do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos apresenta:

Os impactos ambientais associados à produção e uso de energia em geral, e de eletricidade em particular, são dos mais significativos conhecidos pela sociedade industrial. É necessário contrabalançar o contínuo crescimento da oferta e demanda com tecnologias que atendam aos crescentes requisitos de proteção ambiental e controle de emissões. Já não é possível conceber que a evolução do quadro energético possa se processar seguindo as tendências tecnológicas atuais, sem rápida introdução de inovações e crescente cooperação entre o setor público e privado para disseminação dos resultados na escala necessária para controlar os efeitos ambientais.

Com o passar do tempo e o forte desenvolvimento tecnológico, a utilização de energia foi se tornando cada vez mais indispensável ao modo de vida moderno. Sendo que se consolidou fundamental não somente no âmbito tecnológico para o processo de transformação, de produção, mas também no dia-a-dia da vida de grande parte da população mundial, em maior ou menor escala de uso. Sendo impossível pensar na dinâmica do modelo capitalista e seus grandes avanços tecnológicos sem os avanços obtidos na geração, transmissão e distribuição de energia. Isso vale não só no âmbito tecnológico, se reflete também no social, visto que como infraestrutura básica influi diretamente nas condições de vida da população e nas transformações socioeconômicas das regiões.

Como vetor de desenvolvimento nacional, fator estratégico para o crescimento da economia, os empreendimentos em energia devem ser extremamente focados, ligados à uma política energética de acordo com princípios que visem benefícios presentes e futuros para toda a nação. Por isso e outras diversas aplicações da energia nas mais diversas áreas, é que a questão energética se torna tão polêmica e alvo de tantos estudos. E se torna assim, mais que uma questão de simples suprimento, mas uma questão estratégica para o desenvolvimento de um país.

Assim, a essencialidade da energia elétrica torna o setor um pilar para o desenvolvimento nacional, que deve considerar questões sociais no que tange ao atendimento contínuo de toda a população sem deixar de lado a questão ambiental.

2.7. RELAÇÃO: BRASIL X ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Ao contrário das tradicionais fontes de energia, não há significativa utilização da energia solar no Brasil. O governo brasileiro ainda enxerga maior potencial em usinas hidrelétricas, visto que o país é rico em recursos hídricos.

Basicamente, a energia solar não é largamente explorada no Brasil pelo seu alto custo de aquisição, ainda que a Aneel tenha estabelecido uma Norma Resolutiva 482/2012 em 2013, Estabelecendo as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica, assegurando o direito de qualquer pessoa física ou jurídica a possibilidade de produzir sua própria energia, muitos dos cidadãos não geram a própria energia por não enxergarem a prática como um investimento viável.

Os escassos incentivos governamentais, falta de acesso à informação e a presença predominante de distribuidoras elétricas são os principais responsáveis por a energia solar não ser largamente explorada no Brasil.

A Alemanha, por exemplo, disponibiliza subsídios federais e estaduais para a instalação de sistemas fotovoltaicos em residências privadas e para empresas. Esses incentivos podem variar desde tarifas de alimentação de energia, onde o preço por kWh se mantém o mesmo pelo período de 20 anos, até empréstimos com juros baixos, além de subsídios para as empresas fornecedoras de energia. Segundo o Fraunhofer, maior instituto de pesquisa de energia solar da Europa, a Alemanha tem quase 2 milhões de instalações solares que fornecem cerca de 10% da eletricidade produzida no país. O crescimento do uso dessa energia renovável impediu que quase 30 milhões de toneladas de dióxido de carbono poluissem o meio ambiente, apenas em 2019, segundo dados divulgados pelo Ministério Federal de Assuntos Econômicos e Energia da Alemanha.

2.8. O COMISSIONAMENTO

O processo de comissionamento dentro da engenharia é a aplicação de um conjunto de técnicas e procedimentos na qual verifica, inspeciona e testa cada componente físico da instalação.

Na usina fotovoltaica, comissionamento é a ação que garante a integridade de todo equipamento, instalação, e sistema elétrico, que foram projetados. Após instalado os

equipamentos, o comissionamento garante através de testes a operação e observa se os resultados estão de acordo com as necessidades e requisitos operacionais do fabricante e do projeto.

No Brasil segue a Lei 14.300, onde o sistema funciona da seguinte maneira, a energia ativa é injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída na rede da distribuidora local, cedida como empréstimo gratuito e posteriormente compensado com o gasto de energia elétrica ativa ou contabilizado como crédito de energia de unidades consumidoras participantes do sistema BRASIL, (2022). Segundo a Resolução Normativa nº 687 (ANEEL, 2015) classes de potências são:

- Microgeração (Até 75 kW);
- Minigeração (De 75 kW até 5MW);
- Usinas (Acima de 5MW);

Vale lembrar que ao realizar a instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos é necessário aderir as normas e recomendações técnicas nacionais atuais, destacam-se as seguintes:

- NBR 5410-2004: determina condições que devem suprir as instalações elétricas de baixa tensão. De modo que, garanta a segurança de pessoas e animais assim como o funcionamento adequado da instalação e a conservação dos bens (ABNT, 2004);

- NR-10: Determina as condições mínimas. Tem-se como objetivo a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores, que trabalham direta ou indiretamente com instalações elétricas e serviços de eletricidade (ABNT, 2004);

- NR-35: Determina requisitos mínimos e medidas de proteção mínimas para o trabalho em altura, envolvendo o planejamento, a organização e a execução, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores envolvidos com essa atividade (ABNT, 2012).

Trabalhando dessa maneira, aliado a necessários incentivos governamentais é possível que o Brasil seja um grande produtor de energia elétrica solar nos próximos anos, desenvolvendo o país de maneira ecologicamente correta e sustentável.

3. METODOLOGIA DO ESTUDO

Neste capítulo é descrito de forma detalhada as etapas que foram desenvolvidas durante a pesquisa, apresentando de maneira objetiva o *checklist* aplicado em uma usina solar fotovoltaica, realizando testes de comissionamento com a finalidade de garantir o bom funcionamento da usina.

Inicialmente esse estudo contextualiza a história da eletricidade na humanidade, apontando como o desenvolvimento humano a partir de uma descoberta que proporcionou uma revolução na cadeia produtiva humana, a partir desse pressuposto, esse estudo traz um comparativo entre as principais fontes de geração de energia presentes no país, tais como a produção de energia hidrelétrica, termelétrica e finalmente a solar fotovoltaica.

A luz do que foi exposto, esse estudo traz um comparativo científico dos impactos ambientais resultantes das formas de produção de energia elétrica, apontando como uma forma mais eficaz, sustentável e limpa a produção de energia advinda de uma fonte renovável, a energia solar.

O estudo também aponta a ligação do desenvolvimento econômico de uma sociedade atrelada a sua capacidade de produção de energia elétrica e as tendências mundiais de se investir em uma fonte limpa, barata, sustentável e principalmente renovável de produção de energia, como também aponta a promissora capacidade de o Brasil em produzir energia elétrica a partir de usinas solares fotovoltaicas. Assim como os benefícios da expansão da produção de energia elétrica a partir da luz do sol no país.

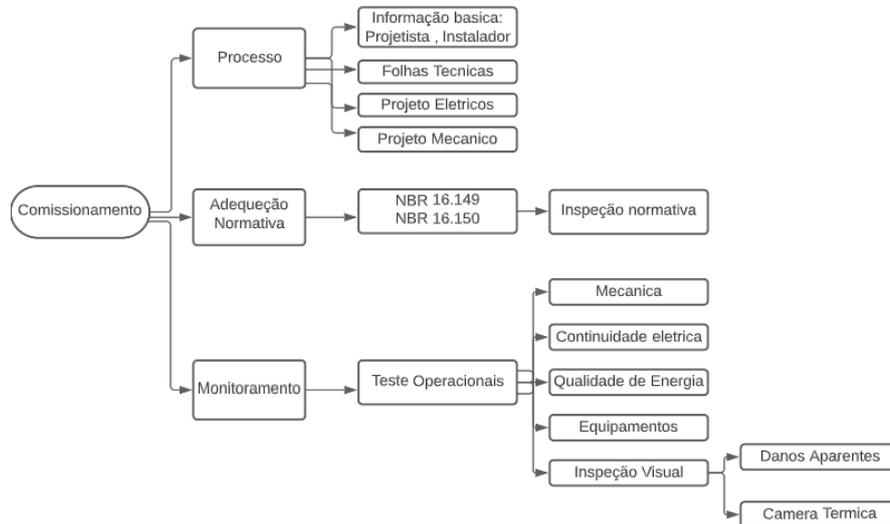
Em sequência esse estudo apresenta como os testes de comissionamento das usinas solares podem contribuir para uma maior vida útil dos equipamentos das usinas.

3.1. TESTES APLICADOS NO COMISSIONAMENTO DE USINAS

Os Testes de Comissionamento é uma série de procedimentos para verificar se o sistema foi instalado de acordo com o projeto e se o sistema foi bem projetado. Verifica-se também, se os equipamentos utilizados são compatíveis com as normas vigentes, compatíveis entre si e se são de boa qualidade, ou seja, se possuem selo de certificação.

A análise é feita antes e após a instalação, e também depois da ativação da usina, conforme observamos no fluxograma abaixo, conforme observamos na figura 4:

Figura 4 – Fluxograma do comissionamento



Fonte: Autora

Antes da instalação é verificada a qualidade da rede onde será inserida a usina, também é verificado o local de instalação onde são obtidos detalhes do ambiente como, por exemplo, o sombreamento da área, dessa forma aponta (ALMEIDA, 2012). Após a instalação é feita a fim de qualificação, manutenção preventiva ou corretiva. Com a usina em funcionamento são efetuadas inspeções visuais dos módulos, conectores, cabeamento, a fim de encontrar estruturas danificadas ou equipamentos instalados em locais inadequados.

Usando uma câmera termográfica, são analisadas as temperaturas dos equipamentos a fim de encontrar pontos com temperaturas acima da permitida por norma, que podem indicar mau contato de ligação, fuga de corrente ou problema nos conectores, invisíveis ao olho nu, etc. tudo para garantir o correto funcionamento e a eficiência de uma usina fotovoltaica.

Rodrigues, (2017) afirma que para garantir que a usina esteja apta a ser conectada na rede e que entregue a energia esperada com segurança, uma série de análises técnicas devem ser executadas, essa série de análises recebem o nome de

testes de comissionamento e devem ser realizados segundo os requisitos da (ABNT NBR 16274:2014, 2014), (IEC60364-6, 2006) e (IEC60364-7-712, 2002).

4. A EXPANSÃO DA USINA SOLAR

A expansão tem ocorrido de modo gradual, porém nas últimas décadas com maior intensidade. Um fator importante para que a expansão efetiva das instalações de usinas solares no Brasil é a capacitação de profissionais, devidamente instruídos e habilitados para suprir a demanda desse mercado. O **profissional de comissionamento** é ferramenta indispensável para assegurar a longevidade, operação eficiente e segura dos sistemas de usinas solares. Para a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) a etapa dos testes de comissionamento é fundamental e garante a qualidade da energia através de medições é elaborado um album que guie toda operação de determinado projeto, devendo ser aplicado em todos os lugares, desde grandes usinas até em pequenas residências.

4.1. COMISSIONAMENTO

O comissionamento certifica que os sistemas de proteção, equipamentos e componentes da planta estejam projetados, instalados e operando de acordo com as normas técnicas vigentes da ABNT, NBR 16274, e em conformidade com o fornecedor do equipamento. O processo consiste na verificação, vistoria e teste de equipamentos, sistema de proteção e montagem. Se há algum equipamento que precisa ser trocado, como fios, cabos, placas quebradas, etc.

4.1.1. COMISSIONAMENTO – ETAPA 1 - VERIFICAÇÃO

Ao iniciar a verificação a primeira coisa a ser feita é se certificar que a energia da planta está completamente desligada. Por se tratar de placas solares é necessário observar um período de ao menos cinco minutos após o desligamento, para o início dos procedimentos, pois há componentes como capacitores eletrolíticos que podem ter acumulado energia. A figura 5 apresenta o cubo blindado da medição.

Figura 5 - Cubo blindado da medição com a chave seccionadora e disjuntor.



Fonte: Autora

4.1.2. COMISSONAMENTO – ETAPA 2 – INSPEÇÃO VISUAL

Todo o sistema passa por uma **inspeção visual**, nessa etapa são verificados visualmente alguns componentes do sistema e a integridade física dos módulos, assim como a presença de informações e advertências no local Rodrigues, (2017), conforme figura 6. São analisados nessa inspeção, segundo a IEC 60364-7-712 (IEC60364-7-712, 2002) se há:

Figura 6 – Itens a serem verificados na verificação visual

Sujidade	Presente na superfície de incidência da luz solar.
Integridade dos cabos	Se não estão danificados ou mal encaixados
Integridade dos conectores	Se não estão danificados ou mal encaixados
Integridade da estrutura de fixação dos módulos	Se não está danificada ou mal encaixada
Presença de animais	Alojados nas instalações
Instalação em local adequado	Se instalados em local adequado conforme instruções do fabricante.

Fonte: Autora

A figura 7 apresenta detalhes de instalações de placas fotovoltaicas.

Figura 7 – Detalhes de instalações de placas fotovoltaicas.



(a) Painéis devidamente instalados

(b) Fio não devidamente isolado

Fonte: Autora

Durante a inspeção além dos possíveis danos nos equipamentos é importante observar se os mesmos estão devidamente encaixados, os fios bem plugados e devidamente organizados, se há abertura para água em local impróprio para receber chuva. Nas imagens abaixo observamos algumas falhas de instalação que foram detectadas na verificação visual ponto a ponto.

Na figura 8 é feita a correção da caixa passagem, falha detectada na verificação visual.

Figura 8 - Correção da caixa de passagem



Fonte: Autora

Na figura 9 – caixa de passagem com cabos irregular.

Figura 9 – Caixa de passagem de fios irregular



(a) Muitas voltas de fios



(b) Cabos muito compridos com muitas voltas

Fonte: Autora

A quantidade de fios em excesso sobrecarrega a caixa de passagem, com vários fios dentro dela, o calor gerado pode ser multiplicado, além de formar uma bagunça, facilitando incidentes de curto-circuito e um maior risco de superaquecimento. Como resultado, pode representar um risco potencial de incêndio.

4.1.3. COMISSIONAMENTO – ETAPA 3 – SINAIS E IDENTIFICAÇÃO

Para maior segurança e adequação as normas vigentes a sala de operações assim como os equipamentos, devem estar dentro do padrão de cores exigidas e indicadas no projeto, e devidamente sinalizado indicando possíveis riscos. A presença de etiquetas e placas com advertências de risco de choque elétrico, a presença de esquema unifilar de ligação do sistema gerador, os procedimentos de desligamento de emergência, se há ventilação por trás do arranjo fotovoltaico para evitar o risco de superaquecimento e se as entradas dos cabos são à prova de intempéries. A Figura 10 apresenta o conjunto blindado devidamente sinalizado.

Figura 10 - Conjunto blindado devidamente sinalizado.



Fonte: Autora

A figura 11 apresenta os extintores devidamente protegidos e identificados, em lugares com alta tensão elétrica é de fundamental importância tais instrumentos tanto estarem em local de fácil acesso como corretamente posicionados abaixo da placa de identificação correspondente, pois os extintores se diferem em diferentes categorias:

- **ÁGUA:** Age por resfriamento. São utilizados em incêndios Classe A, ou seja, em materiais sólidos como madeira, tecidos, papel, borracha e plástico. Em hipótese alguma deve ser usado em líquidos e gases inflamáveis e em equipamentos elétricos.

- GÁS CARBÔNICO (CO₂): O gás age por abafamento, extinguindo o oxigênio do local, impossibilitando assim, que a reação do fogo ocorra. São indicados para incêndios classe B e C. E estes são exatamente os casos em que a água não surte efeito, líquidos e gases inflamáveis e em equipamentos elétricos.
- PÓ QUÍMICO BC: São utilizados para as mesmas classes de incêndio (B e C) que o extintor de CO₂. Mas ao invés de agir por abafamento, age por meio de reações químicas do bicarbonato de sódio.
- PÓ QUÍMICO ABC: Este é o agente químico mais completo. Pode ser utilizado em qualquer classe de incêndio. Ele extingue o fogo através do abafamento por fosfato monoamônico.
- ESPUMA MECÂNICA: Combatem as classes de incêndio A e B. São muito utilizados em locais que possuem armazenagem de líquidos e gases inflamáveis. A espuma age por resfriamento e abafamento.

Figura 11 – Extintores na casinha



Fonte: Autora.

4.2. ANALISE DA QUALIDADE DE ENERGIA

O inversor é responsável por converter a energia elétrica de CC (Corrente Contínua) que sai dos módulos, em CA (Corrente Alternada), sincronizado com a rede de distribuição. Esse sincronismo só é possível se a tensão da rede estiver com a mínima qualidade exigida pelo inversor, caso a rede esteja poluída com níveis de tensão inadequados não é possível o acoplamento na rede, inabilitando o funcionamento do sistema, essa análise também é feita durante o funcionamento para garantir que o inversor está entregando para concessionária uma energia com o mínimo de qualidade exigido pelo módulo 8 do PRODIST (PRODIST 8/8, 2016). A figura 12 apresenta o teste no Inversor.

Figura 12 – teste no inversor



Fonte: Autora

4.2.1. TESTES OPERACIONAIS

Realizado a verificação e a inspeção visual, são executadas as medições de tensão na *stringbox* (caixa de ligação e associação das *strings* do sistema), onde estão presentes os dispositivos de proteção do sistema de geração do lado de corrente contínua, com a finalidade de identificar se a tensão que está sendo inserida no inversor está dentro das especificações do fabricante, além de identificar também fuga de corrente do sistema. A Figura 13 apresenta a parte interna de um combainer.

Figura 13 – Combiner



Fonte: Autora

4.2.2. INSPEÇÃO COM CÂMERA TERMOGRÁFICA

A inspeção com câmera termográfica é responsável por identificar pontos de aquecimento causados, principalmente, por mau contato nos conectores, fuga de corrente, módulos com micro trincas invisíveis ao olho nu, células aleatórias do módulo comprometidas que também não é possível a identificação a olho nu, *strings* desconectadas, sombreamento parcial ou total dos módulos, diodo de *by-pass* danificado, células reversamente polarizadas, entre outros. A Figura 14 apresenta um exemplo de inspeção térmica.

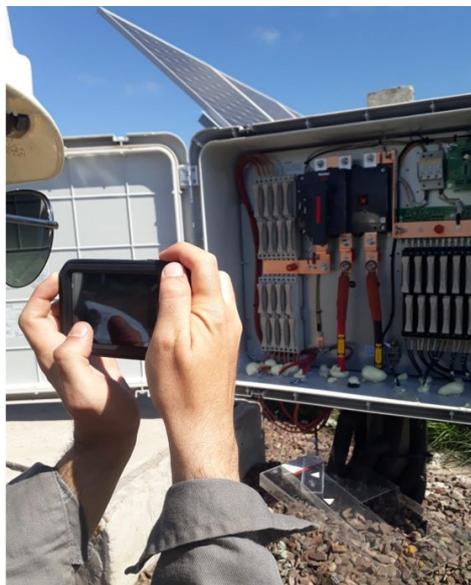
Figura 14 - Inspeção termográfica.



Fonte: Hayirton (2021)

Para efetuar o ensaio com câmera termográfica o sistema deve estar operando sob irradiância mínima de 600 W/m² (ABNT NBR 16274:2014, 2014). As imagens podem ser feitas tanto do lado frontal como traseiro do módulo, devendo ser analisado na hora do ensaio qual a melhor posição para se obter nitidamente as diferenças de temperaturas, se caso as imagens forem feitas pela frente do módulo, o operador e a câmera não podem causar sombreamento sob os módulos. A temperatura do módulo deve ser o mais uniforme possível com exceção da caixa de junção que pode estar moderadamente mais quente que o restante. A figura 15 traz outro exemplo de inspeção termográfica.

Figura 15 – inspeção termográfica



Fonte: Autora

4.3. TESTE MECÂNICO DAS CONEXÕES ELÉTRICAS DO SISTEMA DE ATERRAMENTO E EQUIPOTENCIALIZAÇÃO

Como abordado anteriormente os ensaios de comissionamento têm como objetivo identificar falhas em componentes do sistema fotovoltaico ou na montagem deste para isso os equipamentos de medição devem estar de acordo com as normas NBR 16274 a qual sugere que os ensaios sejam realizados em todos os sistemas fotovoltaicos, independentemente de tamanho, tipo (solo ou telhado), complexidade ou extensão. Observando a continuidade da ligação à terra e dos condutores de ligação equipotencial; quando condutores de aterramento de proteção e/ou de ligação equipotencial são utilizados no lado CC., como os da armação do arranjo fotovoltaico, um ensaio de

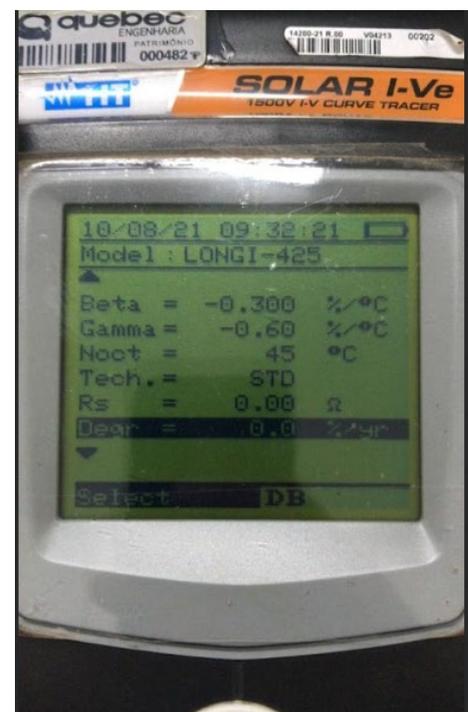
continuidade elétrica deve ser realizado em todos os condutores desse tipo e com um equipamento de medição adequado.

O teste mecânico consiste em realizar tração ao longo dos condutores, próximos às conexões. O objetivo é verificar se existe folga, pontos não conectados, conectores quebrados, ou qualquer outra anormalidade, que não proporcione o contato ideal entre os condutores. A figura 16 ilustra um teste mecânico.

Figura 16 – teste mecânico



(a) Medição em testes



(b) resultados dos testes

Fonte: Autora

4.4. TESTE DE CONTINUIDADE DO SISTEMA DE ATERRAMENTO E EQUIPOTENCIALIZAÇÃO

O teste de continuidade do sistema de aterramento e equipotencialização é realizado utilizando um multímetro com a função de continuidade. Os dois terminais do instrumento em contato com as partes metálicas referidas se dão, ou não, continuidade para corrente elétrica, ou seja, permite saber se são pontos em comum.

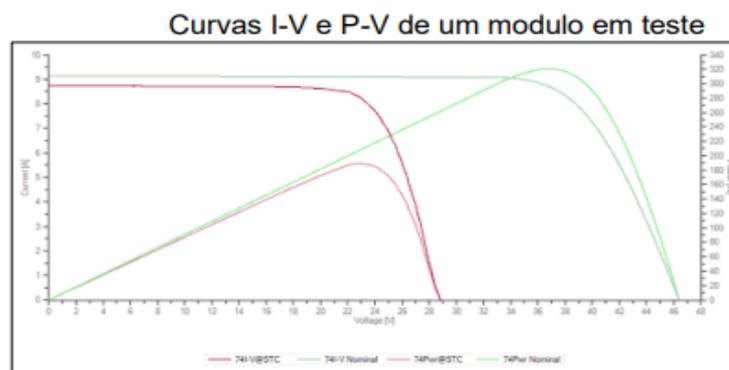
4.5. MEDIÇÃO DE TENSÃO E CORRENTE DO GERADOR PV

O ensaio de curva I-V possui uma grande importância no diagnóstico e problemas dos painéis fotovoltaicos, pois estes possuem características de corrente e tensão, sendo representadas pela curva I-V, a qual relaciona a tensão e a corrente de saída de um módulo ou de um conjunto de módulos fotovoltaico. A análise da curva permite diagnosticar se os painéis estão em bom funcionamento. Com o traçador de curva I-V é possível detectar problemas que muitas vezes não são detectáveis através equipamentos mais simples, como multímetros e amperímetros ou inspeções visuais.

Na Figura abaixo é apresentado uma curva I-V e P-V de um módulo fotovoltaico, testado através de um traçador de curva I-V por Yoiti (2020). As curvas em cor verde, representa as condições padrões de fábrica do módulo e as curvas em vermelho, as curvas realizadas na medição por Yoiti (2020). Percebe-se que as curvas reais, apresentam desempenho bem abaixo dos padrões de fabricas, e pode-se concluir-se que o módulo contém erro ou dano, pelo fato de a tensão de circuito aberto praticamente ter se reduzido a um terço do seu valor nominal. Problema que dificilmente seria diagnosticado de outra maneira, a curva I-V expõe claramente.

A Figura 7 apresenta as curvas características de um módulo fotovoltaico em teste.

Figura 17 – Curvas I-V e P-V de um módulo em teste.



Fonte: Yoiti (2020)

Fonte: (YOITI, 2020).

Na figura 18, observa-se teste quente I X V – Tensão e Corrente.

Figura 18 – Teste quente I X V – Tensão e corrente.



Fonte: Autora.

5. CHECKLIST - DOCUMENTOS E EQUIPAMENTOS

O comissionamento de verificação deve ser iniciado com os documentados em preparados em forma de relatório e após os resultados precisam ser fornecidos ao proprietário ou contratante do serviço. Sendo necessário apontar as não conformidades encontradas, e a classificar de acordo com a sua criticidade. Sendo a documentação parte essencial para acompanhamento do comissionamento, e uma exigência pois, segundo ABNT 16247 (2014), o objetivo é apontar e preparar a documentação mínima a ser aprovada após a instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede. De forma que a mesma garanta fácil acesso aos principais dados do sistema por todos, seja o cliente, operador do sistema, seja inspetor ou engenheiro de manutenção. Abaixo segue a documentação básica listada pela ABNT NBR 16247 para o comissionamento:

a) informações básicas do sistema:

- a. identificação da referência do projeto (quando aplicável);
- b. nome do proprietário do sistema;
- c. localização do sistema (endereço ou coordenadas geográficas);
- d. potência nominal do sistema (kWp e kVA)
- e. módulos fotovoltaicos e inversores – fabricante, modelo e quantidade;
- f. período da instalação;
- g. período dos ensaios de comissionamento;
- h. período dos ensaios de avaliação do desempenho (quando aplicável).

b) informações do projetista do sistema:

- a. nome da empresa;
- b. responsável técnico;
- c. endereço postal, número de telefone e endereço de correio eletrônico;
- d. atividade realizada no projeto.

c) diagramas;

- a. diagrama unifilar;
- b. especificações gerais do arranjo fotovoltaico;

c. informações da série fotovoltaico.

d) resultados dos ensaios e dados do comissionamento;

e) resultados dos ensaios de avaliação de desempenho;

f) verificação do desempenho.

Realizada a documentação a avaliação irá verificar se o sistema está entregando a energia esperada. Ao final do comissionamento, é verificado se o sistema fotovoltaico está tendo a quantidade de energia prevista em projeto.

Sugestão de *checklist* de comissionamento de sistemas fotovoltaicos, aberto a alterações, em possibilidade de peculiaridades de projeto e instalação.

- Documentação de equipe
- Permissões para desligamento
- Condições meteorológicas

Inspeções para o *checklist* de comissionamento

- Inspeção CC
- A Inspeção do tipo CA
- Inspeção dos itens especificados no projeto

Ferramentas e instrumentos

Ferramentas e instrumentos necessários para o comissionamento com segurança:

- Multímetros
- Alicates amperímetros
- Traçador de curva IV
- Testadores de polarização
- Testador de isolação
- Computador (com os devidos softwares instalados)
- Câmera termográfica
- Ferramentas de montagem e desmontagem de módulos e estruturas
- Equipamentos e ferramentas para trabalho em *string box*
- Ferramentas gerais de montagem e desmontagem

Medições

As medições indicadas anteriormente no uso dos equipamentos para atender devidamente as necessidades, é necessário atenção aos critérios, e condições dos procedimentos, para que assim os instrumentos sejam capazes de cumprir os requisitos da ABNT NBR 16274. Ou seja, os parâmetros para realização dos testes, as configurações dos instrumentos e os resultados esperados.

5.1. CHECKLIST COMISSIONAMENTO NA OBRA:

A figura 19 apresenta o *Checklist* para Comissionamento desenvolvido neste trabalho.

Figura 19 – Checklist para Comissionamento desenvolvido neste trabalho.

Checklist Comissionamento		Cod.:	
		Nº Contrato	
		Pagina:	
Obra:	Mês/Ano:	Nº de Checklist:	
IDENTIFICAÇÃO EQUIPE		IDENTIFICAÇÃO DA CONTRATADA	
Quantidade na Equipe:	Empresa Responsável:		
Técnico Responsável:	Engenheiro Responsável:		
Cliente:	CNPJ:	Validade:	

Etapa 1 - Verificação	Em Conformidade	Alterar	Responsável
Desligamento total de Energia na planta			

Etapa 2 - Inspeção Visual	Em Conformidade	Alterar	Responsável
Integridade dos Módulos			
Integridade dos cabos			
Integridade dos conectores			
Integridade da estrutura de fixação dos módulos			
Presença de animais nas instalações			
Instalação em local adequado			
Sujidade na superfície de incidência da luz solar			
Encaixe e organização dos cabos			
Caixa de passagem			
Local apropriado de passagem da água de chuva			
Cabos a prova de intempéries			

Etapa 3 – Sinais e Identificação		Alterar	Responsável
Sala de operações devidamente sinalizada			
Caixa de alta tensão sinalizado			
Conjunto blindado sinalizado			
Sistema gerador com esquema unifilar de ligação			
Procedimento para desligamento de emergência			
Ventilação por trás do arranjo fotovoltaico			

Análise da Qualidade da Energia	Em Conformidade	Alterar	Responsável
Gerador PV			
Modulo Pv - Condutor			
Condutor - Condutor			
Condutor - dispositivo seccionamento			

Conexões elétricas da instalação	Em Conformidade (cc / ca)	Alterar	Responsável
Dispositivo - condutor			
Condutor - condutor			
Condutor - condutor			
Condutor - barramento			
Condutor Inversor			
Inspeção com a câmera termográfica			

		Alterar	Responsável
Ensaio de comissionamento andamento			
Ensaio de comissionamento final			

Fonte: Autora.

6. CONCLUSÃO

Com o trabalho foi possível observar que a sociedade começa a entender a necessidade de novas fontes de energia que sejam limpas e completamente renováveis, e com essa percepção, o tímido, mas crescente aumento das instalações fotovoltaicas.

Podemos concluir que a flagrante necessidade de expansão da produção de energia solar fotovoltaica, diante da necessidade de uma produção de energia limpa e sustentável é necessárias iniciativas mais amplas do poder público como, por exemplo, linhas de crédito para financiar a instalação desses sistemas como ocorre na Alemanha, uma vez que o Brasil tem irradiação solar bastante significativa e o desenvolvimento de tecnologia nacional aliada à utilização de sistemas fotovoltaicos em larga escala poderia reduzir o investimento em usinas hidrelétricas e termelétricas que exigem um grande aporte de recursos além de ter um forte impacto socioambiental.

Pensando nessa nova demanda foram apresentados alguns dos principais métodos e normas que regem o comissionamento aplicados nos sistemas fotovoltaicos. Observando que a aplicação do comissionamento de sistema fotovoltaico é algo relativamente simples, na qual a sua correta aplicação pode evitar problemas no funcionamento do equipamento, assim como também acidentes operacionais, minimizando custos futuros de alta demanda como a queima de placas por instalação malfeita, incêndios e outros.

Sendo assim, com esse estudo demonstramos a necessidade de aplicação dos Testes de Comissionamento para garantir o bom funcionamento da usina solar fotovoltaica, verificando se os equipamentos utilizados são compatíveis com as normas vigêntes e através do Check-list, observar possíveis falhas, melhorando a estrutura operacional, realizando eventuais manutenções e reparos ampliando a vida-útil dos equipamentos, assegurando que esteja apta a ser conectada na rede e que entregue a energia esperada com segurança, causionando confiança ao investidor que acredita na produção de energia elétrica a partir da luz solar.

Observa que em alguns casos por falta de informação do cliente ou do profissional que faz a instalação, é saltada a etapa do comissionamento estabelecida nas Normas Regulamentadoras, ABNT 16247, a qual existe para trazer maior segurança a todas as partes envolvidas em uma usina fotovoltaica. Também conforme abordamos no decorrer

do trabalho é possível observar que o comissionamento dentro da categoria 1 é possível ser realizado com equipamentos de fácil acesso e relativamente de baixos custos.

Por fim como todo trabalho organizado, o comissionamento realizado corretamente tem corretamente documentado e estruturado suas planilhas e resultados seguindo devidamente as orientações da ABNT NBR 16247, de modo simples e de fácil entendimento.

Assim através deste trabalho, podemos concluir que, o trabalho de comissionamento é essencial a todos envolvidos com os sistemas fotovoltaicos, e necessário a realização de todos envolvidos. Afinal é um método de segurança simples que pode gerar economia futura e prevenção de acidentes de categoria grave.

7. REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil)- ANEEL. 2º Ed. Brasília-DF: **Atlas de energia elétrica do Brasil: Energia Hidráulica**. 2005 P. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/04-Energia_Hidraulica\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/04-Energia_Hidraulica(2).pdf)> Acesso em: 27/07/2022.
- ABNT NBR 16274. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede** — Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho. 2014.
- AGENCIA BRASIL. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/foto/2020-08/usina-hidreletrica-de-itaipu-1598488531-0> .Acesso em: 11/06/2023.
- BANDEIRA. E. M. **Benefícios ambientais derivados dos programas de conservação de energia elétrica: proposta de avaliação**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.
- BRASIL, **Lei 14.300 Marco legal da microgeração e minigeração distribuída**. Disponível em:<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2022/lei-14300-6-janeiro-2022-792217-publicacaooriginal-164335-pl.html> Acesso em: 15/05/2023.
- BORTOLETO, E.M. 2010; **A Implantação de Grandes Hidrelétricas: Desenvolvimento, Discurso e Impactos**.
- BROWN, L.R. **O Planejamento de uma sociedade sustentável. Salve o Planeta! Qualidade de vida** -1990-Worldwatch Institute. Ed. Globo, São Paulo, 1990.
- CASA CIVIL. **Cresce a geração de energia solar e eólica no Brasil**. Disponível em: <https://www.gov.br/casacivil/pt-br/assuntos/noticias/2022/julho/cresce-a-geracao-de-energia-solar-e-eolica-no-pais>. Acesso em: 12/06/2023.
- CBIE. **Esquema de usina térmica convencional**. Disponível em: <https://cbie.com.br/como-funcionam-usinas-termicas>. Acesso em: 10/05/2023.
- CICOGNA, M.A. 2003. **Sistema de Suporte á Decisão para o Planejamento e Programação da Operação de Sistemas de Energia Elétrica**. Disponível em: <http://www.cose.fee.unicamp.br/cose/it511/teses%20unicamp/tese%20Doutorado%20marcelo.pdf>. Acesso em: 27/07/2022.
- FERNADEZ, M. ; ARAUJO R.; ITO A.E.; 2009. **Manual de hidráulica**. Cap. 6 vertedouros. Pg87. 8ª edição.6ª reimpressão. Editora EDGARD BLU-CHER.

GIUSTI, M. del C. H. **Conflictos Ambientales en la Gestión del Santuario Histórico de Machupicchu: El Caso de la Instalación y Manejo de la Central Hidroeléctrica Machupicchu**. 2005. 189f. Tese (Master en Ciencias Sociales con Mención en Gestión Ambiental y Desarrollo)- Escuela Andina de Post-Grado Maestría en Gestión Ambiental y Desarrollo. Cusco, 2005.

GRÄTZEL, M. **Photoelectrochemical cells**. Nature, 2001.

GUARIEIRO, L. L. N.; VASCONCELLOS, P. C.; SOLCI, M. C. **Poluentes Atmosféricos Provenientes da Queima de Combustíveis Fósseis e Biocombustíveis: Uma Breve Revisão**. Rev. Virtual Quim., 2011, 3 (5), 434-445. Data de publicação na Web: 16 de novembro de 2011.

HAGFELDT, A.; BOSCHLOO, G.; KLOO, L.; PETTERSSON, H.; **Dye-Sensitized Solar Cells**. Chemical Reviews. 2010.

Hayrton 2021. Disponível em: <https://qualidadeonline.wordpress.com/2021/07/21/a-conformidade-da-aplicacao-do-metodo-da-termografia-infravermelha/>. Acesso: 05/05/2023.

INATOMI, T. A. H.; UDAETA, M. E. M. **Análise Dos Impactos Ambientais na Produção de Energia Dentro do Planejamento Integrado de Recursos**. Seção de estudos estratégicos de energia e de desenvolvimento sustentável do GEPEA/EPUSP, p. 14. 2011.

KOMP, R. J. 2001. **Practical photovoltaics: eletricity from solar cells**, 3a. ed., aatec publications: Ann Arbor.

MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S. **Energia Solar Fotovoltaica: Uma Breve Revisão**. Rev. Virtual Quim., 2015,7 (1), 126-143. Data de publicação na Web: 14 de outubro de 2014.

MORHY, L **Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento Sustentável**. Resumo da Conferência proferida na Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal. UNIDERP, Campo Grande, Mato Grosso do Sul. 18 out de 2000.

RIGOTTO, R. M.; 2009. **Inserção da saúde nos estudos de impacto ambiental: o caso de uma termelétrica a carvão mineral no Ceará**. Núcleo Tramas – Trabalho, Meio Ambiente e Saúde para a Sustentabilidade.

RODRIGUES, T. B.; 2017. **Comissionamento de Usinas Fotovoltaicas**. Centro Universitário do Sul de Minas

ALMEIDA, M. P.; 2012. **Qualificação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. São Paulo: s.n.

ONU. **A população mundial chegará a 8 bilhões em 2022.** Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/189756-popula%C3%A7%C3%A3o-mundial-chegar%C3%A1-8-bilh%C3%B5es-em-novembro-de-2022>. Acesso 12/06/2023.

PRODIST 8/8, Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. 2016. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional** – PRODIST. Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica. 2016.

YOITI, Elson. **Entendendo o traçador de curva I-V para comissionamento de sistemas Fotovoltaicos.** Agosto 23, 2020. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/entendendo-o-tracador-de-curva-i-v-para-comissionamento-de-sistemas-fv-2/>. Acesso em 04/05/2023.