

**CENTRO PAULA SOUZA
ETEC São José do Rio Preto
Curso Técnico em Eletrotécnica**

**Juan Garcia Longhini
Luan Rogério de Paula Silva
Rhian de Souza Sant'Anna
Breno Carlos de Souza
Miguel Miranda Biar Francisco
Marcos Eduardo Dias Teixeira**

**O&M - OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO EM USINAS
FOTOVOLTAICAS**

**São José do Rio Preto / SP
2025**

Juan Garcia Longhini

Luan Rogério de Paula Silva

Rhian de Souza Sant'Anna

Breno Carlos de Souza

Miguel Miranda Biar Francisco

Marcos Eduardo Dias Teixeira

O&M - OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO EM USINAS FOTOVOLTAICAS

Trabalho de Conclusão de
Curso apresentado ao Curso
Técnico em Eletrotécnica da
Etec Philadelpho Gouvêa
Netto, orientado pelo Prof.
Mario Kenji Tamura, como
requisito parcial para
obtenção do título de Técnico
em Eletrotecnica.

São José do Rio Preto / SP

2025

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho a todos que contribuíram de maneira significativa para a realização desta jornada acadêmica.

Aos professores, pela dedicação, paciência e pela transmissão de conhecimentos que foram fundamentais para a formação e crescimento ao longo do curso.

Aos colegas de classe, pela parceria, amizade e companheirismo durante os desafios enfrentados. Cada troca de experiência e apoio mútuo foram essenciais para tornar esta trajetória mais leve e enriquecedora.

A todos que, de alguma forma, participaram desta caminhada, fica registrada nossa sincera gratidão.

RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso tem como foco a operação e manutenção (O&M) de uma usina fotovoltaica de 90 MWp, destacando a importância da gestão adequada para assegurar desempenho máximo, confiabilidade e sustentabilidade no setor de energia solar. A negligência na operação e manutenção de sistemas fotovoltaicos pode resultar em perdas significativas de desempenho energético, reduzindo a eficiência da geração e comprometendo a viabilidade econômica do investimento.

O estudo justifica-se não apenas pela crescente relevância das usinas de grande porte no cenário energético brasileiro, mas também pela necessidade de conscientização sobre a correta manutenção em sistemas de menor escala, como os instalados em residências e comércios. Tanto em larga quanto em pequena escala, falhas na gestão de O&M podem gerar prejuízos consideráveis ao produtor ou consumidor final de energia solar.

A finalidade do projeto é analisar e propor práticas eficientes de operação e manutenção que evitem tais perdas, promovendo a otimização dos indicadores de performance e a segurança operacional. Entre os objetivos estão a identificação dos principais sistemas e componentes envolvidos, a análise de indicadores de desempenho, o estudo de falhas recorrentes e a proposição de melhorias contínuas, com base em inovações tecnológicas como monitoramento remoto, drones e Internet das Coisas (IoT).

Dessa forma, o trabalho não se limita a apresentar estratégias para grandes usinas, mas também busca sensibilizar o pequeno consumidor sobre a importância da manutenção preventiva e corretiva, demonstrando que o cuidado adequado com os sistemas fotovoltaicos é essencial para garantir o retorno esperado, a eficiência energética e a contribuição efetiva para a sustentabilidade.

Palavras-chave: Operação. Manutenção. Investimento.

ABSTRACT

This Final Graduation Project focuses on the operation and maintenance (O&M) of a 90 MWp photovoltaic power plant, emphasizing the importance of proper management to ensure maximum performance, reliability, and sustainability in the solar energy sector. Neglecting O&M practices in photovoltaic systems can lead to significant performance losses, reducing generation efficiency and compromising the economic viability of the investment.

The study is justified not only by the growing relevance of large-scale solar power plants in the Brazilian energy scenario, but also by the urgent need to raise awareness of proper maintenance in smaller-scale systems, such as those installed in residential and commercial units. In both large and small installations, inadequate O&M practices may result in considerable losses for producers and end consumers of solar energy.

The purpose of this project is to analyze and propose efficient operation and maintenance strategies that prevent such losses, while promoting optimized performance indicators and operational safety. The main objectives include identifying the key systems and components of photovoltaic plants, analyzing performance indicators, studying recurrent failures, and proposing continuous improvement strategies supported by technological innovations such as remote monitoring, drones, and the Internet of Things (IoT).

Thus, this work does not restrict itself to strategies for large-scale plants, but also aims to raise awareness among small-scale consumers about the importance of preventive and corrective maintenance, showing that proper care of photovoltaic systems is essential to ensure expected returns, energy efficiency, and effective contribution to sustainability.

Keywords: Operation, Maintenance, Investment

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	6
1.1 Operação em Manutenção.....	6
1.2 Origem e Conceito.....	7
1.3 Popularização do termo.....	7
1.4 Representação na Cultura Popular.....	8
1.5 Impacto e Relevância Atual.....	8
1.6 Resumo.....	9
2. DESENVOLVIMENTO.....	10
2.1 Serviço 01 - Limpeza mecanizada de módulos fotovoltaicos.....	11
2.2 Serviço 02 - Roçagem mecanizada.....	13
2.3 Planta da usina fotovoltaica.....	16
2.4 Imagens de satélite.....	18
2.5 Imagens áereas.....	19
2.6 Imagens de dados.....	20
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	22
4. Referências bibliográficas.....	24

1. INTRODUÇÃO

1.1 Operação e Manutenção (O&M)

O termo Operação e Manutenção (O&M) refere-se ao conjunto de atividades sistemáticas destinadas a assegurar o funcionamento adequado, seguro e eficiente de sistemas, equipamentos ou instalações ao longo de sua vida útil. A operação envolve o monitoramento, o controle e a gestão do desempenho diário dos ativos, garantindo que estes executem suas funções de acordo com os parâmetros projetados. Já a manutenção compreende as ações preventivas e corretivas voltadas à preservação ou à restauração da capacidade funcional do sistema, reduzindo falhas, prolongando a durabilidade dos componentes e assegurando a continuidade dos serviços prestados.

No contexto da energia solar fotovoltaica, O&M desempenha papel essencial para manter a máxima eficiência de geração, uma vez que negligências podem ocasionar perdas significativas de desempenho, comprometer a viabilidade econômica e reduzir a vida útil da usina. Dessa forma, a adoção de estratégias adequadas de operação e manutenção torna-se fundamental tanto em empreendimentos de grande porte quanto em sistemas de menor escala, como os instalados em residências e comércios

1.2 Origem do Conceito

O conceito de Operação e Manutenção (O&M) tem sua origem no setor industrial e militar, especialmente durante e após a Segunda Guerra Mundial (1939–1945), quando a confiabilidade e a disponibilidade contínua de equipamentos eram fatores críticos para o sucesso das operações. A necessidade de manter veículos, sistemas de comunicação, aeronaves, navios e instalações militares em pleno funcionamento levou ao desenvolvimento de práticas sistemáticas que uniam dois aspectos complementares: a operação, voltada ao controle e uso eficiente dos sistemas, e a manutenção, destinada a assegurar a conservação e o reparo dos equipamentos.

Com o avanço da industrialização no período pós-guerra, o conceito foi amplamente incorporado em setores de infraestrutura e energia, como hidrelétricas, ferrovias, sistemas de

transporte e indústrias de base, consolidando-se como disciplina fundamental para garantir desempenho, segurança e longevidade de ativos.

A partir da década de 1970, o termo O&M passou a ser difundido em normas e manuais técnicos internacionais, especialmente na área de engenharia elétrica, nuclear e de petróleo, em que a falha operacional representava riscos elevados. Mais recentemente, com a expansão das energias renováveis, em particular a energia solar e eólica, o conceito foi adaptado para atender às especificidades desses sistemas, tornando-se elemento central para assegurar a viabilidade técnica e econômica de usinas de grande e pequeno porte.

1.3 Popularização do Termo

O termo Operação e Manutenção (O&M), embora tenha se originado no contexto militar e industrial, começou a se popularizar a partir da década de 1960, especialmente nos setores de energia elétrica, petróleo, petroquímica e nuclear, onde a confiabilidade e o desempenho contínuo dos ativos eram fatores críticos para a segurança e a viabilidade econômica.

Nos anos 1970 e 1980, com a expansão da infraestrutura industrial e energética global, normas e manuais técnicos passaram a incorporar O&M como disciplina estruturada, consolidando o conceito na prática profissional e na literatura técnica. A necessidade de padronização e de melhoria contínua de processos fez com que o termo fosse cada vez mais utilizado em gestão de ativos, engenharia de manutenção e operação de sistemas complexos.

Com o advento das energias renováveis no final do século XX e início do século XXI, especialmente com a rápida expansão da energia solar e eólica, o termo O&M passou a ser amplamente reconhecido em usinas de grande porte e sistemas distribuídos, tornando-se parte essencial do vocabulário de engenheiros, gestores e operadores. Atualmente, a expressão é utilizada em praticamente todos os setores que envolvem sistemas complexos, desde indústrias tradicionais até pequenas instalações residenciais de energia solar, consolidando-se como conceito-chave para garantir eficiência, durabilidade e segurança.

1.4 Representações na Cultura Popular

Embora o termo Operação e Manutenção (O&M) seja predominantemente técnico e utilizado no meio industrial e de engenharia, seus princípios estão refletidos de forma indireta

na cultura popular. Filmes, séries, documentários e jogos frequentemente apresentam situações em que a operação contínua e a manutenção adequada de sistemas complexos são cruciais, mesmo que o termo não seja explicitamente citado.

Exemplos incluem produções cinematográficas e televisivas ambientadas em usinas, plataformas de petróleo, centrais nucleares ou naves espaciais, como as séries Chernobyl e filmes de ficção científica que abordam falhas mecânicas ou tecnológicas, evidenciando a importância de monitoramento e reparos contínuos. Jogos de simulação, como SimCity, Factorio e Cities: Skylines, também reproduzem o conceito na prática: o jogador deve não apenas construir estruturas, mas mantê-las operando eficientemente, aplicando medidas preventivas e corretivas.

Além disso, no cotidiano, a ideia de O&M aparece em expressões comuns, como “não basta comprar, é preciso cuidar”, refletindo a noção de que o desempenho de qualquer sistema depende de atenção contínua e manutenção adequada. Dessa forma, embora o termo seja técnico, sua lógica e princípios permeiam a percepção popular sobre o funcionamento e conservação de equipamentos e sistemas complexos.

1.5 Impacto e Relevância Atual

Atualmente, o conceito de Operação e Manutenção (O&M) possui grande relevância em diversos setores, especialmente na energia renovável, infraestrutura urbana, indústria e tecnologia da informação. Em sistemas de geração de energia, como usinas solares fotovoltaicas, O&M desempenha papel estratégico na maximização da eficiência energética, redução de perdas e prolongamento da vida útil dos equipamentos. Estudos indicam que a negligência na manutenção pode ocasionar perdas de desempenho de até 20% a 25% em poucos anos, comprometendo a viabilidade econômica do empreendimento.

Além das grandes usinas, o O&M tornou-se relevante também para pequenos sistemas solares residenciais e comerciais, pois a correta operação e manutenção desses sistemas impacta diretamente o retorno financeiro e a eficiência energética do consumidor. Nesse contexto, a conscientização do pequeno consumidor sobre práticas adequadas de manutenção é essencial para garantir que o investimento em energia solar seja sustentável e eficiente a longo prazo.

Dessa forma, O&M não apenas garante o funcionamento seguro e eficiente de sistemas complexos, como também contribui para a sustentabilidade ambiental, econômica e

social, reforçando seu papel como elemento central na gestão de ativos energéticos e infraestrutura moderna.

1.6 Resumo

O conceito de Operação e Manutenção (O&M) surgiu no contexto militar e industrial, especialmente durante e após a Segunda Guerra Mundial, quando a continuidade do funcionamento de veículos, equipamentos e instalações era essencial para a eficácia das operações. Inicialmente aplicado a sistemas militares e industriais complexos, o termo consolidou-se no pós-guerra em setores de infraestrutura, energia e transporte, tornando-se disciplina fundamental para garantir desempenho, segurança e durabilidade de ativos.

A popularização do termo ocorreu a partir da década de 1960, com a expansão da indústria elétrica, nuclear e petrolífera. A necessidade de padronização de procedimentos e melhoria contínua de processos levou à incorporação de O&M em normas técnicas, manuais e literatura especializada. Com o advento das energias renováveis, especialmente a solar e eólica, o conceito passou a ser amplamente reconhecido em usinas de grande porte e sistemas distribuídos, sendo também relevante para pequenos consumidores.

Embora O&M seja essencialmente técnico, seus princípios aparecem de forma indireta na cultura popular. Filmes, séries, documentários e jogos de simulação frequentemente abordam situações em que a operação contínua e a manutenção adequada de sistemas complexos são cruciais, mesmo sem mencionar o termo explicitamente. Expressões do cotidiano, como “não basta comprar, é preciso cuidar”, refletem a lógica do conceito.

Atualmente, O&M possui grande relevância estratégica, principalmente no setor de energia solar, onde a negligência na manutenção pode gerar perdas de desempenho de até 25%, comprometendo a eficiência e a viabilidade econômica de sistemas de grande e pequeno porte. A correta operação e manutenção contribuem para a sustentabilidade econômica, energética e ambiental, reforçando a importância do conceito tanto para grandes empreendimentos quanto para consumidores residenciais e comerciais.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Serviço 01 - Limpeza dos módulos fotovoltaicos

Imagen 01,02,03 - Ilustram a limpeza dos módulos por meio automatizado com implemento mecanizado (SUNBRUSH) com escova profissional.

Imagen 1:



Fonte: Eduardo, CEO Comitiva Facilities

Imagen 2:



Fonte: Eduardo, CEO Comitiva Facilities

Imagen 3:



Fonte: Eduardo, CEO Comitiva Facilities

2.2 Serviço 02 – Roçagem da usina com tratores e roçadeiras mecanizadas.

Imagen 04,05,06 - Ilustra a roçagem da usina por meio de trator e roçadeira.

Imagen 4:



Fonte: Eduardo, CEO Comitiva Facilities

Imagen 5:



Fonte: Eduardo, CEO Comitiva Facilities

Imagen 6:



Fonte: Eduardo, CEO Comitiva Facilities.

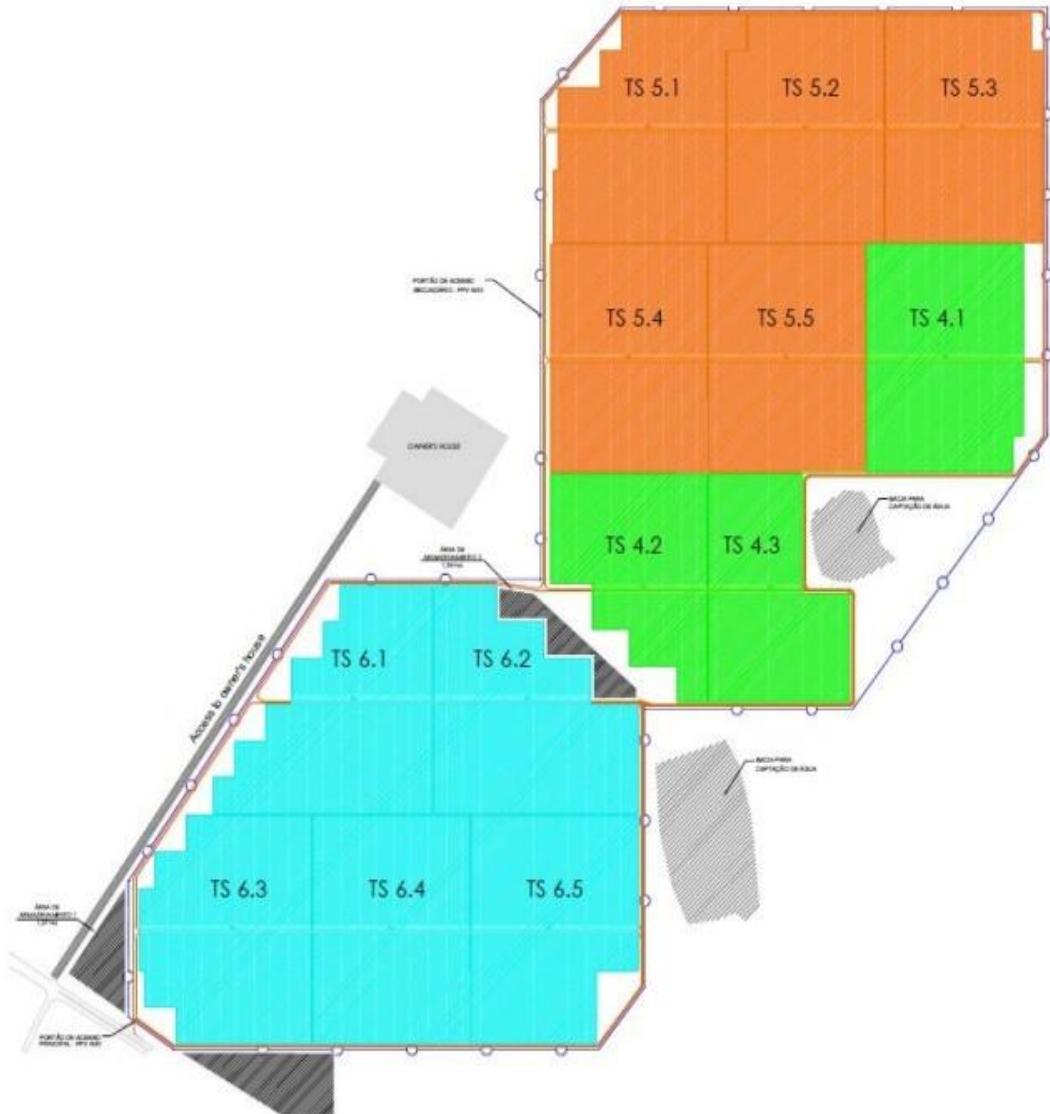
2.3 Plantas

Planta 1:



Fonte: Eduardo, CEO Comitiva Facilities

Planta 2:



Fonte: Eduardo, CEO Comitiva Facilities

2.4 Imagens de Satelite

Imagen aérea 1: UFV Boa Hora



Fonte: Eduardo, CEO Comitiva Facilities

Imagen área 2: Subestação



Fonte: Eduardo, CEO Comitiva Facilities

2.5 Imagens Áerea

Imagen área 1:



Fonte: Eduardo, CEO Comitiva Facilities

Imagen área 2:



Fonte: Eduardo, CEO Comitiva Facilities

Análise Financeira: Impacto da Manutenção

Usina Fotovoltaica de 90 MWp

Usina de Estudo: 90 MWp | Localização: Ouroeste, SP | Operador: Comitiva Fáctilites

Período	geração (kWh)	Tarifa (R\$/kWh)	Receita	Status
Mensal (Otimizado)	11.475.000	0,75	R\$ 8.606.250,00	✓ Máxima eficiência
Anual (Otimizado)	137.700.000	0,75	R\$ 103.275.000,00	✓ Desempenho ideal
Mensal (Com Negligência)	8.606.250	0,75	R\$ 6.454.688,00	⚠ -25% eficiência
Anual (Com Negligência)	103.275.000	0,75	R\$ 77.456.250,00	⚠ Perda crítica
Perda Mensal				
R\$ 2.151.562,00				
Perda Anual				
R\$ 25.818.750,00				
Diferença entre cenário otimizado e negligente				
Impacto financeiro da falta de manutenção				

Fonte: Autoria própria

Imagen de dados 2:



Fonte: Autoria própria

3. Considerações Finais

A análise comparativa entre a operação de uma usina fotovoltaica de 90 MWp com manutenção adequada e a mesma usina operando com acúmulo de sujeira demonstra de forma expressiva o impacto financeiro da negligência no processo de limpeza dos módulos. Considerando a geração mensal da usina limpa, estimada em 11.475.000 kWh, tem-se uma receita média mensal de R\$ 8.606.250,00, o que resulta em um faturamento anual aproximado de R\$ 103.275.000,00.

Por outro lado, quando a usina opera com acúmulo de poeira, resíduos e detritos fatores que reduzem em até 25% a eficiência dos módulos a geração mensal cai para 8.606.250 kWh, reduzindo a receita para R\$ 6.454.687,00 por mês, totalizando apenas R\$ 77.456.250,00 ao ano. Essa diferença evidencia uma perda financeira anual de R\$ 25.818.750,00 valor diretamente associado à falta de limpeza e manutenção preventiva dos painéis.

Esses dados confirmam que a limpeza periódica não é apenas uma recomendação técnica, mas um requisito econômico essencial para a preservação da performance energética e da viabilidade financeira da usina. Negligenciar esse processo compromete o retorno do investimento e reduz significativamente a eficiência operacional total do sistema.

4. Referências Bibliográficas:

1. VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. *Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações*. São Paulo: Érica, 2012.
2. CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito). *Energia Solar Fotovoltaica*. Rio de Janeiro: CEPEL/Eletrobras, 2014. Disponível em: <https://www.creesb.cepel.br>.
3. FERREIRA, André de Castro et al. *Cleaning schedule optimization for solar photovoltaic panels*. Renewable Energy, v. 160, p. 23–35, 2020.
4. JORDAN, Dirk C. ; KURTZ, Sarah R. *Photovoltaic degradation rates—an analytical review*. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, v. 21, n. 1, p. 12–29, 2013.
5. NOGUEIRA, Luiz Alberto et al. *Manual de Operação e Manutenção de Sistemas Fotovoltaicos*. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2017.
6. SOUZA, T. M. ; OLIVEIRA, R. C. ; PEREIRA, M. A. P. *Análise do impacto da sujeira no desempenho de módulos fotovoltaicos*. Revista Energia na Agricultura, v. 34, n. 3, p. 301–308, 2019.
7. KAZEM, Hussein A. ; CHAICHAN, Miqdam T. *Effect of dust on photovoltaic utilization in Iraq: Review Article*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 37, p. 734–749, 2014.
8. ALMEIDA, J. C. ; PEREIRA, A. O. *Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede: projeto e instalação*. Rio de Janeiro: Interciência, 2019.
9. FARIA, Eduardo Amaral. *Eficiência energética e sistemas solares fotovoltaicos*. São Paulo: Blucher, 2015.
10. ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. *Procedimentos de Distribuição – PRODIST – Módulo 3: Acesso ao Sistema de Distribuição*. Brasília: ANEEL, 2023