



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Análise de Desempenho e Eficiência Energética de Usinas Fotovoltaicas

Graziela Fernanda Oliveira Monteiro

Orientador: Douglas Bressan Riffel

São Cristóvão, Sergipe, Brasil
Dezembro de 2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Graziela Fernanda Oliveira Monteiro

Análise de Desempenho e Eficiência Energética de Usinas Fotovoltaicas

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica da Universidade Federal
de Sergipe, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em Engenharia
Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Douglas Bressan Riffel.

São Cristóvão, Sergipe, Brasil
Dezembro de 2025

Graziela Fernanda Oliveira Monteiro

Análise de Desempenho e Eficiência Energética de Usinas Fotovoltaicas

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Sergipe, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Aprovado em DD de MMMM de AAAA.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Douglas Bressan Riffel
Orientador – UFS

Prof. Dr. Nome do Membro 1
Membro da Banca – Instituição

Prof. Dr. Nome do Membro 2
Membro da Banca – Instituição

São Cristóvão, Sergipe, Brasil
Dezembro de 2025

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, pelo apoio incondicional, incentivo constante e compreensão durante toda a minha trajetória acadêmica.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por conceder saúde, força e sabedoria ao longo de toda esta caminhada, permitindo superar os desafios e alcançar mais esta etapa da minha formação acadêmica.

Aos meus queridos estagiários **Ayslan, Gustavo e Gabriel**, pela dedicação, comprometimento e colaboração ao longo do desenvolvimento deste trabalho, bem como pela troca de conhecimentos, apoio nas atividades realizadas e contribuição significativa para o andamento das etapas da pesquisa.

À minha família, pelo apoio incondicional, incentivo constante, compreensão e confiança depositada em mim durante todo o período de desenvolvimento deste trabalho. Sem esse suporte, esta conquista não seria possível.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Douglas Bressan Riffel, pela orientação segura, paciência, disponibilidade e valiosas contribuições técnicas e acadêmicas, que foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Sergipe, pelos ensinamentos transmitidos, pela dedicação e pela contribuição para a minha formação acadêmica e profissional.

Aos colegas de curso, pelo companheirismo, troca de conhecimentos e apoio mútuo ao longo desta trajetória.

À Universidade Federal de Sergipe e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, pela infraestrutura e pelas condições oferecidas para o desenvolvimento desta pesquisa.

Por fim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

EPÍGRAFE

*“A verdadeira viagem de descobrimento
não consiste em procurar novas paisagens,
mas em ter novos olhos.”*

- Marcel Proust

RESUMO

O aumento da demanda global por energia, aliado à escassez de combustíveis fósseis e às preocupações ambientais relacionadas às emissões de gases de efeito estufa, tem impulsionado a busca por fontes alternativas de energia, com destaque para as fontes renováveis. Nesse contexto, a energia solar fotovoltaica se consolida como uma solução estratégica, devido à sua natureza limpa, ampla disponibilidade e à expressiva redução dos custos dos sistemas ao longo dos últimos anos. No Brasil, embora a matriz elétrica seja majoritariamente renovável, a geração solar ainda apresenta significativo potencial de expansão, favorecida pelos elevados índices de irradiação solar e pelos incentivos governamentais.

No Estado de Sergipe, a energia solar tem se destacado como uma alternativa promissora, impulsionada pelas condições climáticas favoráveis e por políticas de incentivo ao setor. O Sergipe Parque Tecnológico (SergipeTec), dispõe de uma área de aproximadamente 3.000 m² destinada a estacionamento e com elevada incidência solar, implantou uma usina fotovoltaica do tipo carport solar, que alia a geração de energia elétrica à otimização do uso do espaço urbano.

Diante da carência de estudos específicos voltados à avaliação do desempenho e da viabilidade econômica de usinas fotovoltaicas do tipo carport, esta dissertação propõe a análise da eficiência energética, do desempenho operacional e da viabilidade econômica da usina carport solar instalada no SergipeTec. A avaliação é realizada por meio da análise de dados reais de geração, utilizando indicadores-chave de desempenho (Key Performance Indicators – KPIs), calculados a partir do monitoramento dos 53 microinversores do sistema. Os resultados obtidos visam validar o funcionamento da usina, mensurar seus benefícios energéticos e econômicos, bem como avaliar a confiabilidade do sistema, contribuindo para a tomada de decisões e para a disseminação de soluções sustentáveis em ambientes tecnológicos e inovadores.

Palavras Chave: Energia solar fotovoltaica; Carport solar; Eficiência energética; Indicadores-chave de desempenho; Microinversores.

ABSTRACT

The growing global demand for energy, combined with the scarcity of fossil fuels and environmental concerns related to greenhouse gas emissions, has driven the search for alternative energy sources, particularly renewable ones. In this context, photovoltaic solar energy has emerged as a strategic solution due to its clean nature, wide availability, and the significant reduction in system costs over recent years. In Brazil, although the electric power matrix is predominantly renewable, solar generation still presents considerable potential for expansion, supported by high solar irradiation levels and government incentive policies.

In the State of Sergipe, solar energy has gained prominence as a promising alternative, driven by favorable climatic conditions and sector incentive policies. The Sergipe Technology Park (SergipeTec), which has an area of approximately 3,000 m² allocated for parking and high solar incidence, implemented a photovoltaic power plant based on the solar carport model, combining electricity generation with the optimization of urban space use.

Given the lack of specific studies focused on evaluating the performance and economic feasibility of solar carport photovoltaic systems, this dissertation proposes an analysis of the energy efficiency, operational performance, and economic viability of the solar carport plant installed at SergipeTec. The assessment is carried out through the analysis of real generation data using key performance indicators (KPIs), calculated from the monitoring of the system's 53 microinverters. The results aim to validate the operation of the plant, quantify its energy and economic benefits, and assess system reliability, contributing to decision-making processes and to the dissemination of sustainable solutions in innovative and technological environments.

Keywords: Photovoltaic solar energy; Solar carport; Energy efficiency; Key performance indicators; Microinverters.

LISTA DE FIGURAS

4.1	Estrutura da usina solar modelo carport.	11
4.2	Usina solar modelo carport no estacionamento do SergipeTec	13
4.3	Diagrama de blocos da proposta de dissertação.	14
6.1	Cronograma de atividades previstas.	17

LISTA DE TABELAS

3.1 Indicadores chave de desempenho (KPIs)	8
4.1 Especificações dos módulos fotovoltaicos.	12
4.2 Especificações dos microinversores	12

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.1.1 Objetivo Geral	2
1.1.2 Objetivos Específicos	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
3.1 GERAÇÃO DISTRIBUIDA	5
3.2 CARPORT SOLAR	5
3.3 ÍNDICES DE DESEMPENHO	5
3.4 OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	8
4 METODOLOGIA	10
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	10
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	10
4.3 PROCEDIMENTO DE COLETA E TRATAMENTO DE DADOS	13
4.4 DIAGRAMA DE BLOCOS	14
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	15
6 CRONOGRAMA DE ATIVIDADES	16
7 Conclusões	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19
Referências Bibliográficas	20
APÊNDICE 1 - CATALOGAÇÃO DA USINA SOLAR	22
ANEXO 1 - MANUAL E DATASHEET DO CARPORT SOLAR	26
ANEXO 2 - DATASHEET DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	35
ANEXO 3 - DATASHEET DOS MICROINVERSORES	38

1 INTRODUÇÃO

O crescente aumento da demanda global por energia, a escassez de combustíveis fósseis e as preocupações ambientais, como as emissões de gases de efeito estufa, têm impulsionado a busca por fontes alternativas de energia, destacando-se as energias renováveis (GULATI et al., 2023). Entre as energias renováveis, a energia solar fotovoltaica se consolidou como uma das principais soluções, devido à sua natureza limpa, ampla disponibilidade e a significativa redução dos custos dos módulos e sistemas ao longo da última década.

No Brasil, apesar da matriz elétrica ser predominantemente renovável, a participação da energia solar ainda apresenta um vasto potencial de crescimento, impulsionado por altos níveis de irradiação solar e devido à redução dos preços dos módulos fotovoltaicos e aos incentivos governamentais (PARENTE, 2021).

A energia solar tem ganhado cada vez mais espaço no Estado de Sergipe como uma fonte promissora e sustentável de geração de energia, apresentando um grande potencial para o aproveitamento da energia solar devido à sua localização geográfica privilegiada, com alta incidência solar ao longo do ano, somado às políticas e incentivos implementados, as quais vêm impulsionando os investimentos no setor. Essas medidas incluem a criação de linhas de financiamento com taxas de juros favoráveis, programas de incentivo fiscal, simplificação dos processos burocráticos para a obtenção de licenças e autorizações, além da promoção de campanhas de conscientização sobre os benefícios da energia solar (SANTOS, et al., 2024).

O Sergipe Parque Tecnológico (SergipeTec) possuía uma área livre para estacionamento de aproximadamente 3.000 m², sendo um espaço com uma irradiação solar diária média anual de 5,29 $\frac{kWh}{(m^2.dia)}$ (CRESESB,2025). Essa área disponível foi então utilizada para a criação da usina solar fotovoltaica para alimentação de energia do parque. Dessa forma, surgiu a ideia da utilização do modelo carport solar que une a geração de energia fotovoltaica à otimização do uso do espaço.

A problemática central reside na carência de estudos específicos que avaliem a eficiência energética e a viabilidade econômica de usinas solares do tipo carport solar, nesse contexto, esta proposta de dissertação analisa a viabilidade, o desempenho e eficiência energética da usina de estrutura carport Solar localizada no Sergipe Parque Tecnológico (SergipeTec). A motivação para a escolha do tema surgiu da oportunidade de realizar um estudo analisando os dados gerados pela usina instalada, justifica-se pela necessidade de integrar soluções sustentáveis em ambientes inovadores e tecnológicos. Com o objetivo de validar o funcionamento da usina, mensurar seus benefícios energéticos, economicos financeiros e verificar a

confiabilidade do sistema através da análise de desempenho dos 53 microinversores. Para isso, são definidos *Key Performance Indicators (KPIs)*, para o português indicadores chave de desempenho, que serão calculados e monitorados através da coleta, tratamento e análise de dados gerados, permitindo avaliar sua confiabilidade e apoiar a tomada de decisões.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Esta proposta de dissertação almeja o desenvolvimento de um estudo de caso para análise de desempenho e eficiência energética da usina fotovoltaica em modelo carport solar, instalada no Sergipe Parque Tecnológico (SergipeTec). Portanto, será utilizada como base a metodologia dos indicadores chave de desempenho (KPIs) para verificar a confiabilidade do sistema e auxiliar na detecção de possíveis falhas.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral desta proposta, são elencados os seguintes objetivos específicos:

- Escolha de indicadores chave de desempenho (KPIs);
- Coleta de dados e análise de dados gerados na usina solar;
- Avaliação de desempenho da usina do SergipeTec;
- Verificar a eficiência energética e a confiabilidade do sistema;
- Modelar o sistema fotovoltaico em ambiente de simulação computacional para obtenção dos possíveis impactos do sombreamento sobre os painéis solares;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A crescente participação dos sistemas fotovoltaicos (FV) na matriz energética mundial e brasileira evidencia a necessidade de monitoramento rigoroso para garantir sua confiabilidade e eficiência econômica (LINDIG et al., 2024; REDISKE et al., 2024). Tendo em vista a longa vida útil desses sistemas, que pode ultrapassar 20 anos, a análise contínua do seu desempenho é essencial para manter a geração de eletricidade conforme o esperado pelos investidores e para assegurar o retorno sobre o investimento (REDISKE et al., 2024; OLIVEIRA, 2021). Este processo de avaliação é fundamental, pois falhas podem ocorrer com periodicidade em períodos estimados de anos, por planta, impactando a performance do sistema (OLIVEIRA, 2021). A avaliação precisa requer uma metodologia robusta de análise que vá além da mera observação, utilizando indicadores padronizados que consigam quantificar a saúde e a performance dos ativos FV (REDISKE et al., 2024; LINDIG et al., 2024).

Para realizar a quantificação do desempenho são utilizados os KPIs, que são ferramentas cruciais para a avaliação da eficiência energética e do estado operacional dos sistemas FV, sendo frequentemente utilizados em acordos contratuais e análises técnicas (LINDIG et al., 2024). A International Electrotechnical Commission (IEC), por meio da norma IEC 61724 e suas partes, é a principal referência na definição de terminologia e métodos para monitoramento e análise de dados em geradores fotovoltaicos (LINDIG et al., 2024; REDISKE et al., 2024).

Dentre os indicadores mais importantes para a análise de desempenho energético e medição de perdas, destacam-se: Performance Ratio (PR) ou Taxa de Desempenho (TD) (GULATI et al., 2021); Fator de Capacidade (Capacity Factor - CF) (REDISKE et al., 2024; OLIVEIRA, 2021; GULATI et al., 2021); Produtividade do Sistema (Yf) ou Rendimento Final, que é útil para a comparação de sistemas de potências distintas (PARENTE, 2021; REDISKE et al., 2024); Rendimento de Referência (Yr), essencial para o cálculo do PR (REDISKE et al., 2024); Perdas do Sistema (Ls).

Para que a análise de desempenho e a estimativa de KPIs sejam confiáveis, é imprescindível a alta qualidade dos dados de entrada (LINDIG et al., 2024). O processo de cálculo de KPIs, como o Performance Ratio (PR) e o Fator de Utilização de Capacidade (CUF), requer um procedimento rigoroso de coleta e tratamento de dados, o que é denominado Rotinas de Qualidade de Dados (DQR) (GULATI et al., 2021; LINDIG et al., 2024). A confiabilidade dos KPIs depende da: 1º Precisão, ligada à qualidade das medições; 2º Completude, referente à ausência de dados faltantes; e 3º Consistência, que garante a integridade dos dados em diferentes fontes (LINDIG et al., 2024). A perda de dados e a variabilidade climática podem introduzir vieses significativos nos cálculos do PR, afetando os resultados contratuais.

e as decisões de Operação de Manutenção O&M (LINDIG et al., 2024).

Outro aspecto importante para o estudo da eficiência de um gerador, é a gestão eficaz da Operação e Manutenção (O&M) do mesmo, sendo vital para manter a performance esperada e assegurar a eficiência energética a longo prazo (REDISKE et al., 2024). Os KPIs de O&M se concentram em medir a qualidade do serviço prestado, cobrindo tempo de resposta e disponibilidade de peças, sendo complementares aos KPIs de desempenho energético (REDISKE et al., 2024).

Para completar a análise de desempenho e realizar o estudo da viabilidade econômica, onde são utilizados indicadores como Levelized Cost of Energy (LCOE) (em português Custo Nivelado de Energia) e Período de Retorno (Payback Period), que são cruciais para determinar a viabilidade financeira, se faz necessário comparar a eficiência de diferentes tecnologias e configurações de projeto, o que auxilia na tomada de decisão.

Efetuar a comparação de diferentes tipos estruturas e diferentes modelos de Inversores é necessária, como pode ser demonstrado que a instalação de microinversores proporciona um desempenho superior em cerca de 8% em relação ao inversor com string em alguns indicadores calculados (Yf, PR, FC) (PARENTE, 2021). Esse ganho é atribuído, principalmente, à individualização dos módulos, já com relação à estruturas, a tecnologia Carport (estacionamento solar) representa uma solução sustentável e estratégica para a infraestrutura de carregamento de veículos elétricos (VEs), pois utiliza áreas de estacionamento existentes para propiciar sombreamento, gerar energia limpa e integrar estações de recarga (RIAKHI; KHALDOUN, 2021; KULIK, 2024).

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste Capítulo é apresentada a fundamentação teórica dos principais conceitos relacionados à análise de desempenho e à eficiência energética de usinas fotovoltaicas. Na Seção 3.1 é discutido sobre geração distribuída, na Seção 3.2 é discutido acerca carport solar e na Seção 3.3 é discutido acerca os principais índices de desempenho.

3.1 GERAÇÃO DISTRIBUIDA

Na geração distribuída, os microinversores são comumente utilizados para realizar o monitoramento da geração de energia em sistemas de pequeno e médio porte. Os microinversores, em particular, têm ganhado espaço por permitir o rastreamento individualizado do Ponto de Máxima Potência (MPPT) por módulo, mitigando as perdas por sombreamento parcial e por incompatibilidade (PARENTE, 2021), que são fatores críticos para a eficiência neste tipo de estrutura.

3.2 CARPORT SOLAR

O carport é uma estrutura metálica, que serve como cobertura para áreas de estacionamento, com os painéis fotovoltaicos instalados em seu telhado inclinado. As estruturas carport aproveitam espaços já construídos, como estacionamentos, para integrar a geração fotovoltaica, oferecendo sombreamento e, frequentemente, servindo como ponto de recarga para veículos elétricos (KULIK, 2024).

3.3 ÍNDICES DE DESEMPENHO

Para avaliar a viabilidade e o desempenho dessas instalações, são utilizados indicadores chave de desempenho (KPIs). Os KPIs são fundamentais para identificação de falhas (REDISKE et al., 2024). Dentre os KPIs mais relevantes, destacam-se a Produtividade Final (Y_f), o Fator de Capacidade (CUF) e a Taxa de Desempenho (PR). Estes índices permitem diagnosticar a qualidade da conversão da energia solar em elétrica, identificar perdas operacionais, e comparar o desempenho de sistemas em diferentes localidades e com distintas tecnologias.

Os indicadores chave de desempenho (KPIs) desse trabalho estão descritos a seguir:

a. Taxa de Desempenho (PR)

A taxa de desempenho é um importante indicador para apontar a eficiência geral do sistema fotovoltaico em relação a incidência de irradiação (PARENTE, 2021). Esse KPI consiste na divisão entre a produtividade final (Y_f) e o rendimento de referência (Y_r) que é dado pela divisão entre a irradiação no plano do módulo em kW/m^2 (H_t) e a irradiação de referência (G) no valor de 1 kW/m^2 (REDISKE et al., 2024). Assim sua equação é dada por:

$$PR = \frac{Y_f \cdot G}{H_t}$$

Os valores de irradiação no plano do módulo (H_t) para a cidade de São Cristóvão, onde está localizado o Sergipe Parque Tecnológico - SergipeTec, foram coletados mensalmente através do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB, 2025) utilizando os dados de latitude e longitude colocados no programa SunData.

b. Fator de Utilização de Capacidade (CUF)

O fator de utilização de capacidade é definido como a razão entre a produção anual real de energia e a quantidade de energia que a usina solar fotovoltaica geraria se fosse operada na potência nominal máxima por 24 horas por dia durante um ano (REDISKE et al., 2024). Assim sua equação é dada por:

$$CUF = \frac{Y_f}{8760} = \frac{E_{pv}}{P_{nom} \cdot 8760}$$

Sendo a potência dos módulos fotovoltaicos conectados ao seu respectivo microinversor como a potência nominal utilizada.

c. Rendimento Final ou Produtividade (Y_f)

A produtividade final é um indicador bastante disseminado no mercado de energia fotovoltaico devido a sua objetividade, pois permite uma comparação justa entre sistemas que possuem potências ou áreas diferentes (PARENTE, 2021). Esse KPI indica o número de horas necessárias para que o conjunto fotovoltaico opere em sua potência nominal para fornecer a mesma energia (REDISKE et al., 2024). Além disso, consiste na divisão entre a energia CA gerada pelo sistema (kWh) e a potência nominal dos módulos fotovoltaicos (kW). Assim sua equação é dada por:

$$Y_f = \frac{E_{ca}}{P_{nom}}$$

d. Rendimento ou Produtividade do Arranjo (Y_a)

Esse KPI indica o número de horas necessárias para operar o sistema em sua capacidade nominal de geração de energia real, sendo responsável por avaliar o desempenho em corrente contínua (DC) do sistema fotovoltaico (REDISKE et al., 2024). A sua equação é dada por:

$$Y_a = \frac{E_{cc}}{P_{nom}}$$

Sendo $E_{cc} = \frac{E_{ca}}{0,95}$ e 0,95 sendo o valor da eficiência CEC do microinversor Deye modelo SUN2000G3-US-220 que é um parâmetro utilizado para quantificar o verdadeiro desempenho de um microinversor.

e. Perdas (Pc e Ps)

As perdas de captura é um KPI que indica as perdas devido à operação dos módulos fotovoltaicos, indicando o número de horas em que o sistema não captou a irradiação total (REDISKE et al., 2024). Essas perdas podem ser de dois tipos: as perdas por captura térmica são causadas quando a temperatura do painel fotovoltaico está acima de 25 °C, já as perdas por captura diversas são causadas por problemas de fiação, sombreamento parcial, sujeiras, baixa irradiação e erros no MPPT (YALAWAR et al., 2018). Sua equação é dada por:

$$P_c = Y_r - Y_a$$

Já as perdas de sistema é um outro KPI que indica as perdas que ocorrem no restante do sistema fotovoltaico durante o processo de transmissão de eletricidade, indicando o número de horas que o sistema perdeu durante a conversão de energia CC para CA por causa da condução e elementos passivos do circuito elétrico (REDISKE et. al, 2024). Sua equação é dada por:

$$24h \cdot 365d = 8760$$

$$P_s = Y_a - Y_f$$

f. Eficiência Global do Sistema (Egs)

A Eficiência global do sistema indica a porcentagem de eficiência do sistema em converter energia solar em energia elétrica. Esse KPI consiste na divisão entre a energia elétrica gerada pelo sistema e o produto da área da usina pela irradiação solar média ao longo do período de estudo considerado. Assim, sua equação é dada por:

$$24h \cdot 365d = 8760$$

$$E_{gs} = \frac{E_{el}}{A \cdot H_t}$$

Sendo E_{el} a energia gerada pelo sistema kWh, H_t a irradiação no plano do módulo em kW/m^2 e A a área dos módulos que compõe o sistema.

Na Tabela 3.1 apresenta a relação dos principais KPIs utilizados neste trabalho, bem como a finalidade, os cálculos empregados conforme os artigos científicos e as legendas com as identificações de cada elemento.

Tabela 3.1: Indicadores chave de desempenho (KPIs)

KPIs	Finalidade	Cálculo	Legenda
Taxa de Desempenho (PR)	Avaliar a eficiência operacional do sistema considerando todas as perdas	$PR = \frac{Y_f}{\left(\frac{H_t}{G} \right) 24h * 365d} = 8760$	PR = Taxa de desempenho [%] Yf = Produtividade [kWh/ kWp] Ht = Irradiância no plano do módulo [kW/m ²] G = Irradiância de referência [1kW/m ²].
Fator de Utilização de Capacidade (CUF)	Medir o quanto da capacidade instalada é usada ao longo do tempo	$CUF = \frac{Y_f}{8760} = \frac{E_{ca}}{(P_{nom})}$	CUF = Fator de capacidade [%] Yf = produtividade [kWh/ kWp] Epv = Energia gerada pelo sistema[kWh] Pnom = Potência nominal do sistema
Rendimento Final ou Produtividade (Yf)	Verificar a geração real por unidade de potência instalada	$Y_f = \frac{E_{ca}}{P_{nom}}$	Yf = produtividade [kWh/ kWp] Eca = Energia CA gerada pelo sistema [kWh] Pnom = Potência nominal do gerador fotovoltaico [kWp]
Rendimento ou Produtividade do Arranjo (Ya)	Verificar a geração de uma planta em fase de estudo/pesquisa	$Y_a = \frac{E_{cc}}{P_{nom}}$	Ya = produtividade do arranjo [kWh/ kWp] Ecc = Energia DC gerada pelo sistema [kWh] Pnom = Potência nominal do sistema [kWp]
Perdas (Pc e Ps)	Identificar perdas no processo de geração até a conexão com a rede	$P_c = Y_r - Y_a$ $P_s = Y_a - Y_f$	Pc = perdas de captura Ps = perdas do sistema Yr = Ht/G
Eficiência Global do Sistema (Egs)	Medir a porcentagem da energia solar total convertida em energia elétrica útil	$E_{gs} = \left[\frac{E_{el}}{(A * H_t)} \right] *$	Egs = Eficiência global [%] Eel = Energia gerada pelo sistema[kWh] Ht = Irradiância no plano do módulo [kW/m ²] A = Área dos módulos que compõe o sistema [m ²].

Fonte: Próprio Autor, 2025.

Esses 7 KPIs listados acima são de extrema importância para comparar e analisar o desempenho dos 53 microinversores presentes na usina a fim de detectar falhas ou mau funcionamento em alguma operação.

3.4 OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

Em todo o processo relacionado a equipamentos, infraestrutura e serviços, deve-se ter práticas e atividades para garantir a melhor operação possível, atentando aos parâmetros de funcionamento do equipamento e prevendo as manutenções necessárias para manter as características nominais dos mesmos.

Trazendo para a geração fotovoltaica, além do comissionamento e estudo da eficiência por meio de indicadores, em todas as outras etapas de desenvolvimento, desde o projeto até o momento em que o sistema se encontra gerando, deve haver todo um processo e rotina de O&M, alguns desses só são necessários no início, como é o caso da análise do impacto do sombreamento do local de interesse sobre o gerador fotovoltaico, para tanto podem ser utilizadas ferramentas de simulação (como é o caso do software PV*SOL), onde é feita a modelagem 3D do local, atentando-se aos objetos

que possam fazer sombra, pois o sombreamento impacta diretamente na eficiência da geração de energia, com isso, para uma operação eficiente é de suma importância escolher um local adequado, que também implica numa melhor manutenibilidade, pois envolve a facilidade de acesso e análise das influências do meio.

4 METODOLOGIA

Neste Capítulo é apresentado a metodologia da proposta para analisar o desempenho e a eficiência energética da usina fotovoltaica instalada e certificar a confiabilidade do sistema. Além do cumprimento dos objetivos do trabalho e o cronograma das atividades.

Dessa forma, para garantir o desenvolvimento e a confiabilidade do presente trabalho, a metodologia foi dividida em seções. Na Seção 4.1 é discutido sobre caracterização da pesquisa, na Seção 4.2 caracterização do sistema fotovoltaico, na Seção 4.3 é discutido sobre procedimento de coleta e tratamento de dados, na Seção 4.4 acerca de cálculo dos índices de performance e análise dos resultados; e na Seção 4.5. é discutido sobre o diagrama de blocos do projeto. CORRIGIR

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A natureza do estudo é do tipo quantitativa e exploratória, que compreende o levantamento da literatura existente sobre o desenvolvimento de estudo para análise de desempenho e eficiência energética de usinas fotovoltaicas. Esta etapa consiste em levantamento do material a partir de livros, artigos científicos, periódicos, datasheet dos equipamentos instalados, tutoriais, definições de parâmetros utilizados e delinearção do projeto.

Para Lakatos; Marconi (2009b, p. 269) quanto à abordagem (tratamento) dos dados, uma pesquisa pode ser quantitativa, qualitativa e quantqualitativa, nesse sentido, optou-se pela quantitativa: Por ser um estudo de caso que foi expresso através da coleta de dados, utilizando indicadores chave de desempenho (KPIs) e exploratório realizado por meio de levantamento bibliográfico necessário para conhecimento.

Inicialmente fez-se uma revisão bibliográfica sobre os Indicadores chave de desempenho (KPIs), com foco em usinas solares. Essa etapa é essencial para a análise dos dados proveniente da usina instalada no Sergipe Parque Tecnológico (SergipeTec).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

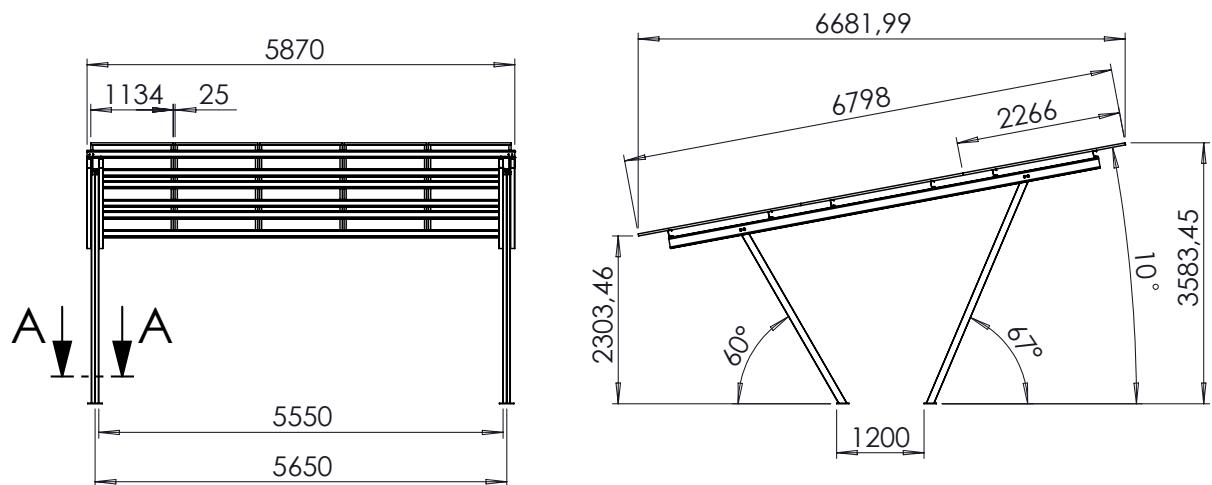
CORRIGIR TEXTO: Inicialmente realizou-se um estudo de referencial teórico e revisão bibliográfica acerca de usinas solares carport, usina solares com microinversores e indicadores chave de desempenho (KPIs). Em seguida, efetuou-se o mapeamento da usina de carport solar com os 53 microinversores e 210 módulos fotovoltaicos que são conectados em cada microinversor, mapeamento completo

encontra-se apresentado no APÊNDICE 1. Em conjunto com essa atividade, realizou-se a coleta de dados gerais da usina solar em um intervalo de 1 ano, entre janeiro e dezembro de 2025, contendo as informações de energia produzida (kWh), potência (kW), tensão (V) e corrente (A) de todos as placas solares e microinversores durante esse intervalo de tempo utilizando o software SOLARMAN Smart. Além disso, também verificou-se o monitoramento de forma online o funcionamento de cada módulo e microinversor da usina a fim de detectar possíveis erros e falhas no sistema.

Para a realização deste trabalho, analisou - se uma usina solar do tipo carport de minigeração distribuída, composta por 210 módulos fotovoltaicos e 53 microinversores. A usina está instalada no estacionamento do Sergipe Parque Tecnológico - SergipeTec, localizado no município de São Cristóvão-SE. Foram utilizados dados completos de geração referentes a um período de um ano, compreendido entre janeiro e dezembro de 2025. Os dados da usina analisada foram disponibilizados e monitorados por meio de duas plataformas: SolarView e SOLARMAN Smart.

Um dos componentes do carport solar é a estrutura de longarinas em aço destinada à sustentação dos módulos fotovoltaicos, configurada no modelo de garagem solar com duas vagas. Apresentado no ANEXO 1 o manual de instalação e o datasheet do carport solar. A Figura 4.1 apresenta as dimensões da estrutura e alguns aspectos do modelo adotado.

Figura 4.1: Estrutura da usina solar modelo carport.



Fonte: Manual de instalação do carport solar

Esta estrutura conta com um sistema de calhas destinado ao escoamento da água da chuva entre os carports solares, além de uma fita de vedação fixada entre os módulos fotovoltaicos. Adicionalmente, há um fixador intermediário que se estende por todo o comprimento da fileira de módulos e os fixador final que serve para prender

com segurança o painel solar à estrutura metálica nos pontos de extremidade.

O sistema da usina é composto por 14 carports solares, sendo que cada carport contém 15 módulos solares policristalinos modelo JKM575N-72HL4-V da fabricante Jinko Solar e possuem 575 Wp cada um, totalizando um sistema de 120,75 kWp. A instalação ainda inclui 53 microinversores modelo SUN2000G3-US-220 da fabricante Deye de 2 kW cada, totalizando um sistema de 106 kW com monitoramento integrado.

Na Tabela 4.1 e Tabela 4.2 são apresentadas as informações técnicas, nas condições padrão de teste (STC), dos módulos fotovoltaicos e dos microinversores utilizados respectivamente e a vista aérea da usina solar na Figura 4.2:

Tabela 4.1: Especificações dos módulos fotovoltaicos.

Características Técnicas dos Módulos Fotovoltaicos	
Fabricante	Jinko Solar
Modelo	JKM575N-72HL4-V
Potência (STC)	575 Wp
Tensão Máxima (STC)	43,17 V
Corrente Máxima (STC)	13,32 A
Irradiação (STC)	1.000 W/m ²
Eficiência (STC)	22,26%
Dimensões	2278mm x 1134mm x 35mm

Fonte: Datasheet Tiger Neo N-type 72HL4-(V) 570-590 Watt

No ANEXO 2 são apresentadas as características técnicas dos 210 módulos fotovoltaicos utilizados na usina solar do SergipeTec, com os dados obtidos do Datasheet Tiger Neo N-type 72HL4-(V) 570-590 Watt.

Tabela 4.2: Especificações dos microinversores

Características Técnicas dos Microinversores	
Fabricante	Deye
Modelo	SUN2000G3-US-220
Potência de Saída Máxima	2000 W
Corrente de Saída Máxima	8,8 A
Tensão Nominal	176 ~ 242 V
Eficiência Ponderada CEC	95%
Dimensões	267mm x 300mm x 42,5mm
Grau de Proteção	IP67

Fonte: Datasheet MicroInversor SUN2000G3-US-220

Já no ANEXO 3 são apresentadas as características técnicas dos 53 microinversores utilizados na usina solar do SergipeTec, com os dados obtidos do Datasheet MicroInversor SUN2000G3-US-220.

Figura 4.2: Usina solar modelo carport no estacionamento do SergipeTec



Fonte: Próprio Autor, 2025

Acima podemos ver a usina localizada no SergipeTec composta por 210 módulos fotovoltaicos divididos em 14 estruturas carport servindo para a geração de energia elétrica e também como um estacionamento sombreado para veículos.

4.3 PROCEDIMENTO DE COLETA E TRATAMENTO DE DADOS

Na etapa seguinte, efetuou-se os levantamentos dos dados coletados no monitoramento da usina, dos valores médios de irradiação solar obtidos pelo CRESESB e também das faturas de energia de todas as unidades consumidoras (UCs) presentes no SergipeTec. A partir daí serão utilizados diferentes programas e softwares para realização de cálculos e simulações. O Excel será utilizado para criação de planilhas contendo os cálculos dos KPIs de cada microinversor da usina e os cálculos de análise financeira e econômica, contendo os dados de retorno sobre o investimento e o tempo de retorno financeiro (payback) do sistema fotovoltaico. Já o software PV*SOL será utilizado para efetuar a análise do sombreamento sobre o gerador fotovoltaico e análise do retorno econômico quanto a eficiência do conjunto gerador, por meio de uma simulação 3D do gerador fotovoltaico, atentando-se aos objetos que possam vir a fazer sombra, agregando ao estudo da eficiência da inserção do gerador no local escolhido.

Em seguida, utilizando os programas Excel e Power BI serão gerados gráficos mostrando o resultado das informações mais importantes desse trabalho, como a comparação de desempenho dos KPIs entre cada um dos 53 microinversores, desempenho geral da usina com base no KPI da Taxa de Desempenho (PR) e também o gráfico de retorno financeiro, mostrando em quanto tempo a usina solar começa a ter um retorno financeiro positivo em relação ao valor investido para sua construção. Já utilizando o PV*SOL, após o final da simulação 3D de sombreamento da usina, será gerado um relatório de eficiência contendo informações acerca da eficiência da geração quanto a características técnicas e financeiras, mostrando também um prazo de amortização e eficiência do gerador ao longo dos anos com

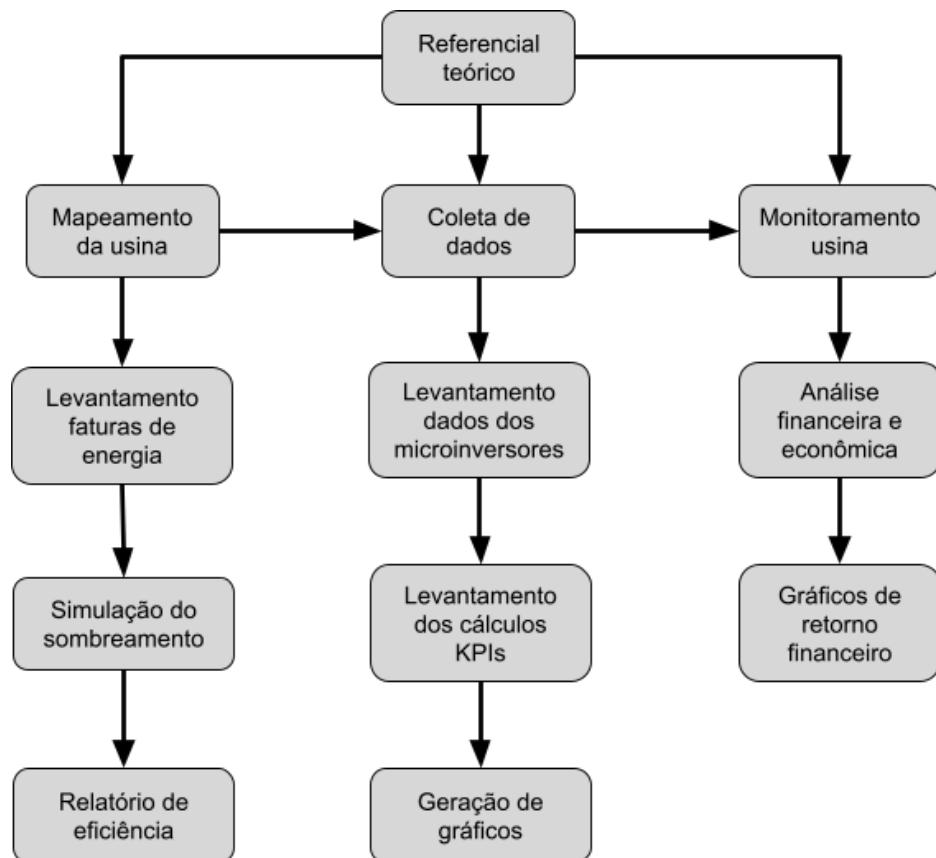
base no consumo anual médio estipulado.

Por fim, após a obtenção dos resultados acima, será necessário analisar o sistema fotovoltaico a fim de comparar o desempenho de cada microinversor, observar o efeito causado pelo sombreamento ao longo dos meses e avaliar a economia e o retorno financeiro referente à usina solar. A partir desses resultados será possível detectar falhas ou mau funcionamento da usina, seja por problemas em algum componente específico ou por conta de sombreamento elevado e também obter a projeção de quanto tempo falta para a usina abater o investimento para sua construção apenas com a economia nas faturas de energia.

4.4 DIAGRAMA DE BLOCOS

O diagrama de bloco mostra de forma simplificada toda a estrutura e os passos dessa dissertação, ilustrada na Figura 4.3: Diagrama de Blocos da Proposta de Dissertação.

Figura 4.3: Diagrama de blocos da proposta de dissertação.



Fonte: Próprio Autor, 2025

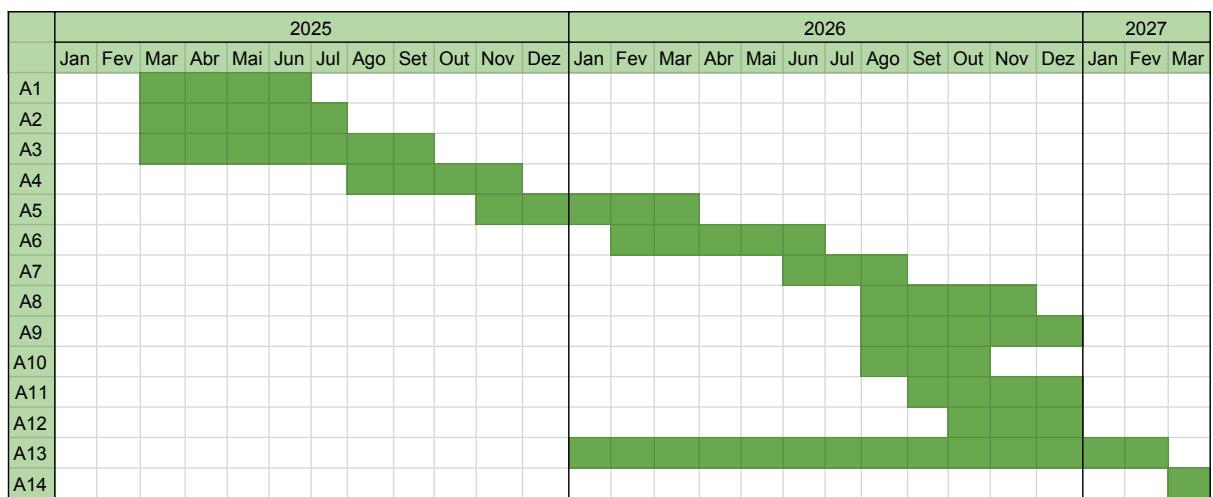
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6 CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

O cronograma das atividades propostas para a realização deste trabalho é disposto na Figura 6.1, sendo elas:

- A1: Referencial teórico e revisão bibliográfica acerca de usinas solares carport, usina solares com microinversores e indicadores chave de desempenho (KPIs);
- A2: Mapeamento da usina de carport solar;
- A3: Monitoramento da usina e coleta de dados de geração via Solarman Smart;
- A4: Estudo da fundamentação teórica sobre indicadores chave de desempenho (KPIs);
- A5: Levantamento dos dados dos indicadores chave de desempenho (KPIs) em planilha Excel, preparação para cálculos de KPIs;
- A6: Cálculos dos indicadores chave de desempenho (KPIs), cálculo de payback e economia anual;
- A7: Levantamento das faturas de energia, através da coleta de informações durante um período de 1 ano antes e 1 ano após a primeira etapa da usina;
- A8: Simulação de sombreamento (PV*SOL), modelagem 3D da usina, análise de sombreamento e impacto no desempenho;
- A9: Levantamento bibliográfico sobre energia solar, sombreamento, microinversores, KPIs, análises financeiras, usinas fotovoltaicas;
- A10: Análise financeira e econômica, geração de gráficos de desempenho, KPIs por microinversor, gráficos financeiros (payback);
- A11: Geração de gráficos de KPIs (Excel e Power BI) e gráficos de retorno financeiro;
- A12: Relatório de eficiência; consolidação dos resultados técnicos e financeiros, análise final da usina;
- A13: Escrita da dissertação;
- A14: Defesa de dissertação.

Figura 6.1: Cronograma de atividades previstas.



Fonte: Próprio Autor, 2025

7 Conclusões

Esta proposta de dissertação estrutura-se como um estudo abrangente sobre o desempenho, a eficiência energética e a viabilidade econômica da usina de carport solar já instalada no Sergipe Parque Tecnológico (SergipeTec), sendo as atividades executadas até o momento, as supracitadas no cronograma de atividades. Estas atividades forneceram uma base necessária para compreender o funcionamento do sistema e identificar parâmetros relevantes para as próximas fases da pesquisa.

Diante do que foi apresentado e por se tratar de uma pesquisa em andamento. As atividades subsequentes contemplam desde o aprofundamento teórico sobre indicadores chave de desempenho (KPIs), simulações de sombreamento em ambiente 3D via PV*SOL e levantamentos complementares de dados das faturas de energia, até a consolidação dos cálculos de eficiência energética, análises financeiras e geração dos principais KPIs por microinversor. A integração dos resultados técnicos e econômicos permitirá uma avaliação da performance da usina e do seu retorno energético e financeiro ao longo dos anos.

Em síntese, a elaboração dos gráficos e relatórios finais, bem como a análise consolidada de eficiência, constituirá um avanço significativo no estudo. Por fim, a fase de escrita da dissertação e a posterior defesa integrarão todas as evidências, cálculos, simulações e interpretações construídas ao longo de quase dois anos de pesquisa.

Assim, esta proposta de dissertação demonstra o avanço já alcançado até o momento e mostra o planejamento detalhado das atividades que ainda serão desenvolvidas até 2027.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BENEDETTI, David; AGNELLI, Jacopo; GAGLIARDI, Alessio; DINI, Pierpaolo; SAPONARA, Sergio. *Design of an off-grid photovoltaic carport for a full electric vehicle recharging*. In: **2020 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2020 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe)**. Anais [...]. IEEE, 2020. p. 1–6.
- [2] CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. *CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito*. Disponível em: <https://www.cresesb.cepel.br>. Acesso em: 25 nov. 2025.
- [3] GULATI, Himanshu; UPADHYAY, Prashant Kumar; REDDY, Yellasiri Bharath Kumar. *PV Plant Performance Review Methodology: Key Performance Indicators (KPI) Estimation*. In: **2023 IEEE 50th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)**. Anais [...]. IEEE, 2023. p. 1–4.
- [4] KROTH, Geovio; RAMPINELLI, Giuliano Arns. *Análise de indicadores de desempenho de um sistema fotovoltaico com distintos fatores de dimensionamento de inversor e diferentes ângulos azimutais*. In: **Congresso Brasileiro de Energia Solar (CBENS)**. Anais [...]. 2020.
- [5] KULIK, Ana Carolina. *Análise técnica e de desempenho do CARPORT instalado na UTFPR campus Neoville associado a diferentes veículos elétricos em Curitiba*. 2024. Dissertação (Mestrado) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2024.
- [6] LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. *Metodologia científica*. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- [7] LINDIG, Sascha et al. *Review of technical photovoltaic key performance indicators and the importance of data quality routines*. **Solar RRL**, v. 8, n. 24, p. 2400634, 2024.
- [8] ODEH, Saad. *Analysis of the performance indicators of the PV power system*. **Journal of Power and Energy Engineering**, v. 6, n. 6, p. 59–75, 2018.
- [9] OLIVEIRA, Breno de. *Análise de desempenho através do cálculo de índices de mérito de sistemas fotovoltaicos conectados à rede*. 2021. Trabalho

de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) — Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2021.

- [10] RAIMO, Patricia Abdala; SOBREIRA, Rodrigo Leonel; BUENO, Edilson Aparecido. *Análise de desempenho da usina fotovoltaica de 70 kWp: estudo de caso do Instituto Federal — Campus São Paulo*. In: **Congresso Brasileiro de Energia Solar (CBENS)**. Anais [...]. 2018.
- [11] REDISKE, Graciele et al. *A proposed set of indicators for evaluating the performance of the operation and maintenance of photovoltaic plants*. **Applied Energy**, v. 354, p. 122158, 2024.
- [12] RIAKHI, Fatima-Ezzahra; KHALDOUN, Asmae. *PV sizing of a grid connected solar carport system linked to charging stations and its economic analysis*. In: **9th International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)**. Anais [...]. IEEE, 2021. p. 1–6.
- [13] SANTOS, Marcos Felipe Sobral dos et al. *Energia solar: um panorama sobre o estado de Sergipe*. In: **Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. Anais [...]. Aracaju: Centro de Convenções de Sergipe, 2024. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/vconeptro/810351-ENERGIA-SOLAR-UM-PANORAMA-SOBRE-O-ESTADO-DE-SERGIPE>. Acesso em: 28 nov. 2025.
- [14] SILVA, Fausto Batista Felix; SILVEIRA, Nicolli Sperança. *Análise de desempenho de carports com diferentes tecnologias fotovoltaicas*. In: **Congresso Brasileiro de Energia Solar (CBENS)**. Anais [...]. 2022. p. 1–7.
- [15] SILVA, Raquel Xavier. *Análise de desempenho de usina solar fotovoltaica utilizando simulações com dados de entrada medidos*. 2022.
- [16] THEOCHARIDES, Spyros et al. *Characterization of voltage fluctuations: a methodology to KPI analysis and anomaly diagnosis*. In: **3rd International Conference on Energy Transition in the Mediterranean Area (SyNERGY MED)**. Anais [...]. IEEE, 2024. p. 1–6.
- [17] YALAWAR, Akshata; NAYAK, Shravankumar. *Evaluation of performance parameters and economic analysis of 1 MW grid connected solar PV plant*. In: **4th International Conference for Convergence in Technology (I2CT)**. Anais [...]. IEEE, 2018. p. 1–5.

APÊNDICE 1

CATALOGAÇÃO DA USINA SOLAR

PESQUISADORA: GRAZIELA FERNANDA OLIVEIRA MONTEIRO

Este estudo se originou devido à Meta física 9 - Realizar pesquisas acadêmicas em Energias Renováveis "Atividade 2 – Publicação do estudo das pesquisas desenvolvidas " do Contrato de Gestão acordado entre o Sergipe Parque Tecnológico (SergipeTec) e a Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e da Ciência e Tecnologia (Sedetec).

IDENTIFICAÇÃO POR NÚMERO DE SÉRIE DOS MICROINVERSORES DA 1ª ETAPA DA USINA SOLAR



Legenda:

● 2208243249 (05)	● 2208244209 (27)	● 2208243260 (02)	● 2208243712 (10)	● 2208244135 (16)	● 2208243214 (49)	● 2208242304 (51)	● 2208244310 (24)	● 2208246026 (53)
● 2208243619 (09)	● 2208244078 (15)	● 2208250180 (32)	● 2208243954 (17)	● 2208244094 (37)	● 2208243236 (01)	● 2208243190 (07)	● 2208244249 (26)	● 2208244048 (19)
● 2208250181 (45)	● 2208250449 (34)	● 2208244248 (42)	● 2208244323 (28)	● 2208243854 (13)	● 2208243838 (11)	● 2208244307 (39)	● 2208243195 (06)	● 2208246051 (25)
● 2208244287 (29)	● 2208244311 (44)	● 2208243250 (46)	● 2208244350 (35)	● 2208244158 (18)	● 2208246045 (20)	● 2208244250 (50)	● 2208242250 (30)	
● 2208243256 (04)	● 2208244055 (14)	● 2208243565 (08)	● 2208242245 (36)	● 2208244106 (31)	● 2208244346 (48)	● 2208244328 (52)	● 2208246018 (23)	
● 2208244231 (22)	● 2208250464 (43)	● 2208244348 (40)	● 2208242272 (33)	● 2208243849 (12)	● 2208243266 (03)	● 2208244273 (47)	● 2208244341 (21)	
● 2208250459 (41)			● 2208242270 (38)					

Observação: A legenda indica o número de série de cada microinversor, e o número entre parênteses representa sua posição na ordem crescente de organização tanto no site SOLARMAN Smart quanto na planilha Excel referente aos 53 microinversores.

IDENTIFICAÇÃO DOS MICROINVERSORES DA 1ª ETAPA DA USINA SOLAR



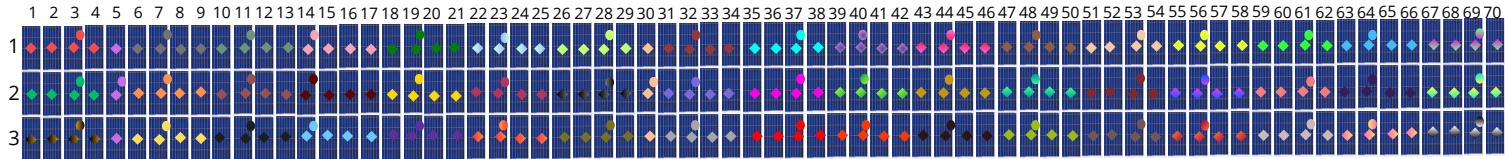
Legenda:

● MI_1_3	● MI_1_11	● MI_1_19	● MI_1_28	● MI_1_37	● MI_1_44	● MI_1_53	● MI_1_61	● MI_1_69
● MI_2_3	● MI_2_11	● MI_2_19	● MI_2_28	● MI_2_37	● MI_2_44	● MI_2_53	● MI_2_61	● MI_2_69
● MI_3_3	● MI_3_11	● MI_3_19	● MI_3_28	● MI_3_37	● MI_3_44	● MI_3_53	● MI_3_61	● MI_3_69
● MI_2_5	● MI_1_14	● MI_1_23	● MI_2_30	● MI_1_40	● MI_1_48	● MI_1_56	● MI_1_64	
● MI_1_7	● MI_2_14	● MI_2_23	● MI_1_32	● MI_2_40	● MI_2_48	● MI_2_56	● MI_2_64	
● MI_2_7	● MI_3_14	● MI_3_23	● MI_2_32	● MI_3_40	● MI_3_48	● MI_3_56	● MI_3_64	
● MI_3_7			● MI_3_32					

Observação: O código MI_1_3 lê-se da seguinte forma: Microinversor na 1ª linha e 3ª coluna e o mesmo serve para os outros.

Resumo: A 1ª etapa da usina possui 53 microinversores de 2 kW e 210 módulos fotovoltaicos de 575 Wp, totalizando uma potência de 120,75 kWp

MAPEAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DA 1^a ETAPA DA USINA SOLAR COM SEUS RESPECTIVOS MICROINVERSORES

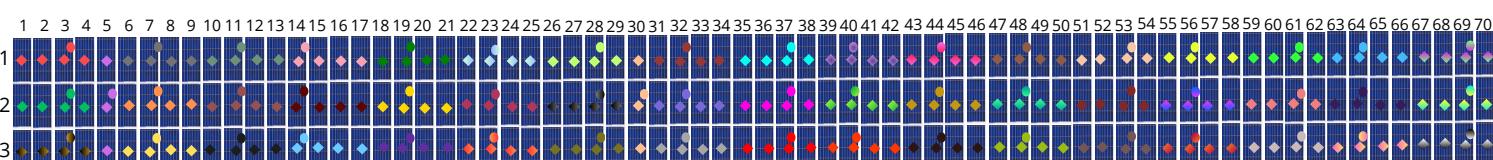


Legenda:

◆ P1 = L1C1 (MI_1_3)	◆ P16 = L1C6 (MI_1_7)	◆ P32 = L2C10 (MI_2_11)	◆ P48 = L3C14 (MI_3_14)	◆ P64 = L1C22 (MI_1_23)	◆ P80 = L2C26 (MI_2_28)	◆ P95 = L2C31 (MI_2_32)
◆ P2 = L1C2 (MI_1_3)	◆ P17 = L1C7 (MI_1_7)	◆ P33 = L2C11 (MI_2_11)	◆ P49 = L3C15 (MI_3_14)	◆ P65 = L1C23 (MI_1_23)	◆ P81 = L2C27 (MI_2_28)	◆ P96 = L2C32 (MI_2_32)
◆ P3 = L1C3 (MI_1_3)	◆ P18 = L1C8 (MI_1_7)	◆ P34 = L2C12 (MI_2_11)	◆ P50 = L3C16 (MI_3_14)	◆ P66 = L1C24 (MI_1_23)	◆ P82 = L1C28 (MI_2_28)	◆ P97 = L2C33 (MI_2_32)
◆ P4 = L1C4 (MI_1_3)	◆ P19 = L1C9 (MI_1_7)	◆ P35 = L2C13 (MI_2_11)	◆ P51 = L3C17 (MI_3_14)	◆ P67 = L1C25 (MI_1_23)	◆ P83 = L1C29 (MI_2_28)	◆ P98 = L2C34 (MI_2_32)
◆ P5 = L2C1 (MI_2_3)	◆ P20 = L2C6 (MI_2_7)	◆ P36 = L3C10 (MI_3_11)	◆ P52 = L1C18 (MI_1_19)	◆ P68 = L2C22 (MI_2_23)	◆ P84 = L2C26 (MI_3_28)	◆ P99 = L3C31 (MI_3_32)
◆ P6 = L2C2 (MI_2_3)	◆ P21 = L2C7 (MI_2_7)	◆ P37 = L3C11 (MI_3_11)	◆ P53 = L1C19 (MI_1_19)	◆ P69 = L2C23 (MI_2_23)	◆ P85 = L3C27 (MI_3_28)	◆ P100 = L3C32 (MI_3_32)
◆ P7 = L2C3 (MI_2_3)	◆ P22 = L2C8 (MI_2_7)	◆ P38 = L3C12 (MI_3_11)	◆ P54 = L1C20 (MI_1_19)	◆ P70 = L2C24 (MI_2_23)	◆ P86 = L3C28 (MI_3_28)	◆ P101 = L3C33 (MI_3_32)
◆ P8 = L2C4 (MI_2_3)	◆ P23 = L2C9 (MI_2_7)	◆ P39 = L3C13 (MI_3_11)	◆ P55 = L1C21 (MI_1_19)	◆ P71 = L2C25 (MI_2_23)	◆ P87 = L3C29 (MI_3_28)	◆ P102 = L3C34 (MI_3_32)
◆ P9 = L3C1 (MI_3_3)	◆ P24 = L3C6 (MI_3_7)	◆ P40 = L1C14 (MI_1_14)	◆ P56 = L2C18 (MI_2_19)	◆ P72 = L3C22 (MI_3_23)	◆ P88 = L1C30 (MI_1_30)	◆ P103 = L1C35 (MI_1_37)
◆ P10 = L3C2 (MI_3_3)	◆ P25 = L3C7 (MI_3_7)	◆ P41 = L1C15 (MI_1_14)	◆ P57 = L2C19 (MI_2_19)	◆ P73 = L3C23 (MI_3_23)	◆ P89 = L2C30 (MI_2_30)	◆ P104 = L1C36 (MI_1_37)
◆ P11 = L3C3 (MI_3_3)	◆ P26 = L3C8 (MI_3_7)	◆ P42 = L1C16 (MI_1_14)	◆ P58 = L2C20 (MI_2_19)	◆ P74 = L3C24 (MI_3_23)	◆ P90 = L2C30 (MI_2_30)	◆ P105 = L1C37 (MI_1_37)
◆ P12 = L3C4 (MI_3_3)	◆ P27 = L3C9 (MI_3_7)	◆ P43 = L1C17 (MI_1_14)	◆ P59 = L2C21 (MI_2_19)	◆ P75 = L3C25 (MI_3_23)	◆ P91 = L1C31 (MI_3_32)	◆ P106 = L1C38 (MI_1_37)
◆ P13 = L1C5 (MI_2_5)	◆ P28 = L1C10 (MI_1_11)	◆ P44 = L2C14 (MI_2_14)	◆ P60 = L3C18 (MI_3_19)	◆ P76 = L1C26 (MI_1_28)	◆ P92 = L1C32 (MI_3_32)	◆ P107 = L2C35 (MI_2_37)
◆ P14 = L2C5 (MI_2_5)	◆ P29 = L1C11 (MI_1_11)	◆ P45 = L2C15 (MI_2_14)	◆ P61 = L3C19 (MI_3_19)	◆ P77 = L1C27 (MI_1_28)	◆ P93 = L1C33 (MI_3_32)	◆ P108 = L2C36 (MI_2_37)
◆ P15 = L3C5 (MI_2_5)	◆ P30 = L1C12 (MI_1_11)	◆ P46 = L2C16 (MI_2_14)	◆ P62 = L3C20 (MI_3_19)	◆ P78 = L1C28 (MI_1_28)	◆ P94 = L1C34 (MI_3_32)	◆ P109 = L2C37 (MI_2_37)
◆ P31 = L1C13 (MI_1_11)	◆ P47 = L2C17 (MI_2_14)	◆ P48 = L2C17 (MI_2_14)	◆ P63 = L3C21 (MI_3_19)	◆ P79 = L1C29 (MI_1_28)	◆ P95 = L1C35 (MI_3_32)	◆ P110 = L2C38 (MI_2_37)

Observação: O código P1 = L1C1 (MI_1_3) lê-se da seguinte forma: A placa solar 1 está localizada na 1^a linha e 1^a coluna e está conectada no Microinversor da 1^a linha e 3^a coluna e o mesmo serve para os outros.

MAPEAMENTO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DA 1^a ETAPA DA USINA SOLAR COM SEUS RESPECTIVOS MICROINVERSORES

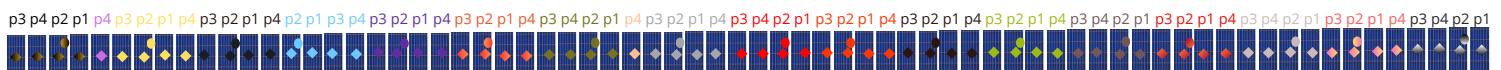
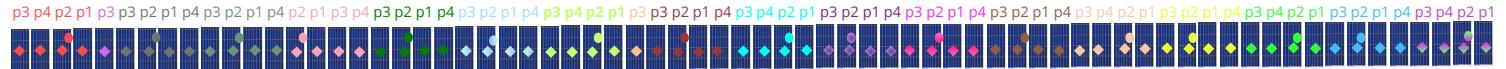


Legenda:

◆ P111 = L3C35 (MI_3_37)	◆ P127 = L1C43 (MI_1_44)	◆ P143 = L2C47 (MI_2_48)	◆ P159 = L3C51 (MI_3_53)	◆ P175 = L1C59 (MI_1_61)	◆ P191 = L2C63 (MI_2_64)	◆ P207 = L3C67 (MI_3_69)
◆ P112 = L3C36 (MI_3_37)	◆ P128 = L1C44 (MI_1_44)	◆ P144 = L2C48 (MI_2_48)	◆ P160 = L3C52 (MI_3_53)	◆ P176 = L1C60 (MI_1_61)	◆ P192 = L2C64 (MI_2_64)	◆ P208 = L3C68 (MI_3_69)
◆ P113 = L3C37 (MI_3_37)	◆ P129 = L1C45 (MI_1_44)	◆ P145 = L2C49 (MI_2_48)	◆ P161 = L3C53 (MI_3_53)	◆ P177 = L1C61 (MI_1_61)	◆ P193 = L2C65 (MI_2_64)	◆ P209 = L3C69 (MI_3_69)
◆ P114 = L3C38 (MI_3_37)	◆ P130 = L1C46 (MI_1_44)	◆ P146 = L2C50 (MI_2_48)	◆ P162 = L3C54 (MI_3_53)	◆ P178 = L1C62 (MI_1_61)	◆ P194 = L2C66 (MI_2_64)	◆ P210 = L3C70 (MI_3_69)
◆ P115 = L1C39 (MI_1_40)	◆ P131 = L2C43 (MI_2_44)	◆ P147 = L3C47 (MI_3_48)	◆ P163 = L1C55 (MI_1_56)	◆ P179 = L2C59 (MI_2_61)	◆ P195 = L3C63 (MI_3_64)	
◆ P116 = L1C40 (MI_1_40)	◆ P132 = L2C44 (MI_2_44)	◆ P148 = L3C48 (MI_3_48)	◆ P164 = L1C56 (MI_1_56)	◆ P180 = L2C60 (MI_2_61)	◆ P196 = L3C64 (MI_3_64)	
◆ P117 = L1C41 (MI_1_40)	◆ P133 = L2C45 (MI_2_44)	◆ P149 = L3C49 (MI_3_48)	◆ P165 = L1C57 (MI_1_56)	◆ P181 = L2C61 (MI_2_61)	◆ P197 = L3C65 (MI_3_64)	
◆ P118 = L1C42 (MI_1_40)	◆ P134 = L2C46 (MI_2_44)	◆ P150 = L3C50 (MI_3_48)	◆ P166 = L1C58 (MI_1_56)	◆ P182 = L2C62 (MI_2_61)	◆ P198 = L3C66 (MI_3_64)	
◆ P119 = L2C39 (MI_2_40)	◆ P135 = L3C43 (MI_3_44)	◆ P151 = L1C51 (MI_1_53)	◆ P167 = L2C55 (MI_2_56)	◆ P183 = L3C59 (MI_3_61)	◆ P199 = L1C67 (MI_1_69)	
◆ P120 = L2C40 (MI_2_40)	◆ P136 = L3C44 (MI_3_44)	◆ P152 = L1C52 (MI_1_53)	◆ P168 = L2C56 (MI_2_56)	◆ P184 = L3C60 (MI_3_61)	◆ P200 = L1C68 (MI_1_69)	
◆ P121 = L2C41 (MI_2_40)	◆ P137 = L3C45 (MI_3_44)	◆ P153 = L1C53 (MI_1_53)	◆ P169 = L2C57 (MI_2_56)	◆ P185 = L3C61 (MI_3_61)	◆ P201 = L1C69 (MI_1_69)	
◆ P122 = L2C42 (MI_2_40)	◆ P138 = L3C46 (MI_3_44)	◆ P154 = L1C54 (MI_1_53)	◆ P170 = L2C58 (MI_2_56)	◆ P186 = L3C62 (MI_3_61)	◆ P202 = L1C70 (MI_1_69)	
◆ P123 = L3C39 (MI_3_40)	◆ P139 = L1C47 (MI_1_48)	◆ P155 = L2C51 (MI_2_53)	◆ P171 = L3C55 (MI_3_56)	◆ P187 = L1C63 (MI_1_64)	◆ P203 = L2C67 (MI_2_69)	
◆ P124 = L3C40 (MI_3_40)	◆ P140 = L1C48 (MI_1_48)	◆ P156 = L2C52 (MI_2_53)	◆ P172 = L3C56 (MI_3_56)	◆ P188 = L1C64 (MI_1_64)	◆ P204 = L2C68 (MI_2_69)	
◆ P125 = L3C41 (MI_3_40)	◆ P141 = L1C49 (MI_1_48)	◆ P157 = L2C53 (MI_2_53)	◆ P173 = L3C57 (MI_3_56)	◆ P189 = L1C65 (MI_1_64)	◆ P205 = L2C69 (MI_2_69)	
◆ P126 = L3C42 (MI_3_40)	◆ P142 = L1C50 (MI_1_48)	◆ P158 = L2C54 (MI_2_53)	◆ P174 = L3C58 (MI_3_56)	◆ P190 = L1C66 (MI_1_64)	◆ P206 = L2C70 (MI_2_69)	

Observação: O código P111 = L3C35 (MI_3_37) lê-se da seguinte forma: A placa solar 111 está localizada na 3^a linha e 35^a coluna e está conectada no Microinversor da 3^a linha e 37^a coluna e o mesmo serve para os outros.

IDENTIFICAÇÃO DAS PORTAS DO MICROINVERSOR EM QUE CADA PLACA ESTÁ CONECTADA



Observação: Cada microinversor possui 4 portas sendo possível conectar 1 placa solar em cada porta, ou seja, 4 módulos por microinversor. Apenas 2 microinversores possuem apenas 3 portas conectadas. Os termos p1, p2, p3 e p4 indicam as portas em que cada módulo foi conectado.



ANEXO 1

MANUAL E DATASHEET DO CARPORT SOLAR

MANUAL DE INSTALAÇÃO

Garagem Modulável **RS-401**

Longarinas em aço

Garagem **Cód. 412.633**Extensor **Cód. 412.634**

Ferramentas/Equipamentos

- Taquímetro ou parafusadeira com controle de torque;
- Chave Soquete estriada ½" ou 13mm (para os parafusos sextavado do clamp) – 1 unidade;
- Chave Soquete estriada 17mm (para os parafusos sextavado M10) – 2 unidades;
- Chave Soquete estriada 19mm (para os parafusos sextavado M12) – 2 unidades;
- Chave adaptador para soquete de ½" – 1 unidade.

Torque de aperto

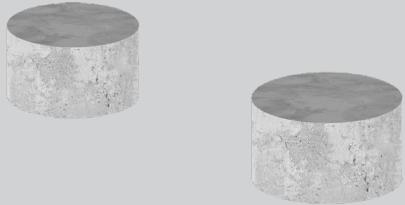
- Parafuso francês M8 torque 1 daN.m;
- Parafuso sextavado M10 torque 3.6 daN.m;
- Parafuso sextavado M12 torque 5 daN.m;
- Parafuso M16 torque 9.8 daN.m.

Cuidados

- Verificar o correto esquadrejamento da estrutura;
- Ao final da instalação realizar inspeção visual, a fim de verificar a correta fixação de todos os elementos.

DICA DO FABRICANTE

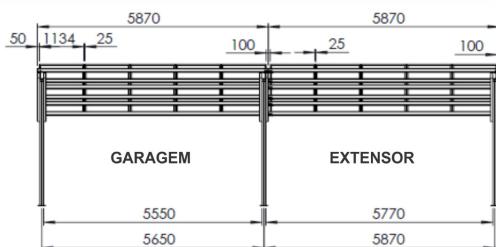
- Faça primeiramente as brocas e a alvenaria, lembrando que é importante fazer o gabarito das sapatas antes e alinhar as perfurações das brocas (detalhes da broca na pág. 3);



- Construa as bases de concreto com os 6 parafusos M16x400mm ancorados à armadura da fundação (em cada base), de acordo com o gabarito de furação das sapatas;



- Depois das pilastras encaixadas na base é só colocar as porcas e dar o torque necessário (parafusos não inclusos no kit).



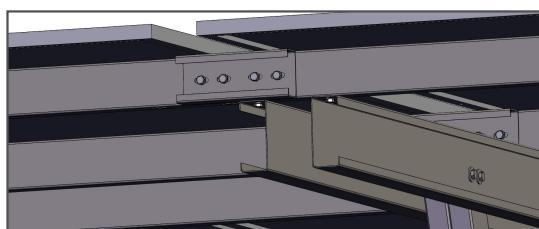
- Caso o projeto tenha mais de 2 vagas em paralelo, atentar para as distâncias diferentes entre a garagem inicial e o extensor;

Conectando a estrutura

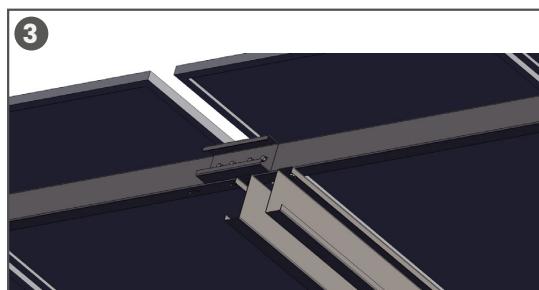
- Fixe as travessas na parte superior com parafuso M12, uma de cada lado, de forma que a parede da travessa fique apoiada na pilaster, conforme desenho abaixo:



- Monte as longarinas de aço por cima da travessa C, fixando-as com os parafusos.

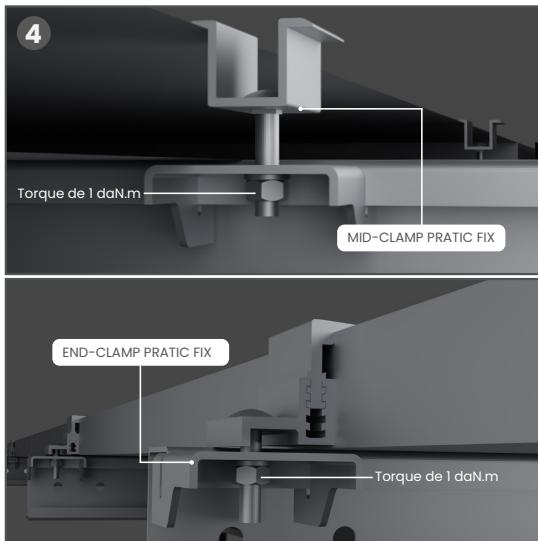


- Ao instalar a primeira longarina da parte mais baixa da estrutura, deixar a emenda apoiada em cima da travessa, conforme a imagem acima, isso dará maior firmeza e um melhor alinhamento.



- Para emenda, conecte-a nas pontas das longarinas, parede com parede, ou de "costas" uma para a outra, de forma que fiquem encaixados dois oblongos em cada longarina, conforme imagem acima, depois, fixe-a com quatro parafusos por emenda.

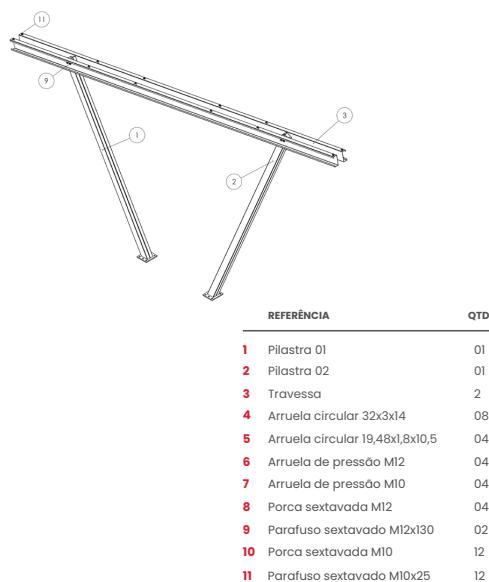
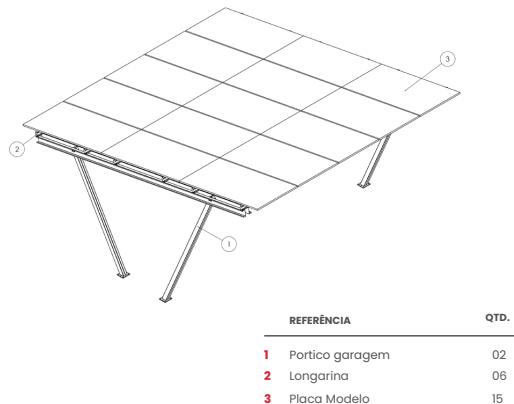
- Com toda a estrutura montada e finalizada, coloque os módulos sobre as longarinas e fixe-os com os mid-clamps e end-clamps.



Sugestão de fundação:

- Uma broca a cada pilastra, com 300mm de diâmetro e 3.000mm de profundidade;
- Encabeçamento das brocas com um bloco de 500mm de profundidade nas dimensões das bases de aço;
- Concreto armado com ferros de 3/8" e estribos de 1/4" a cada 150mm;
- Utilizar chumbadores M-16 ou equivalente com 400mm de comprimento concretado junto a sapata.

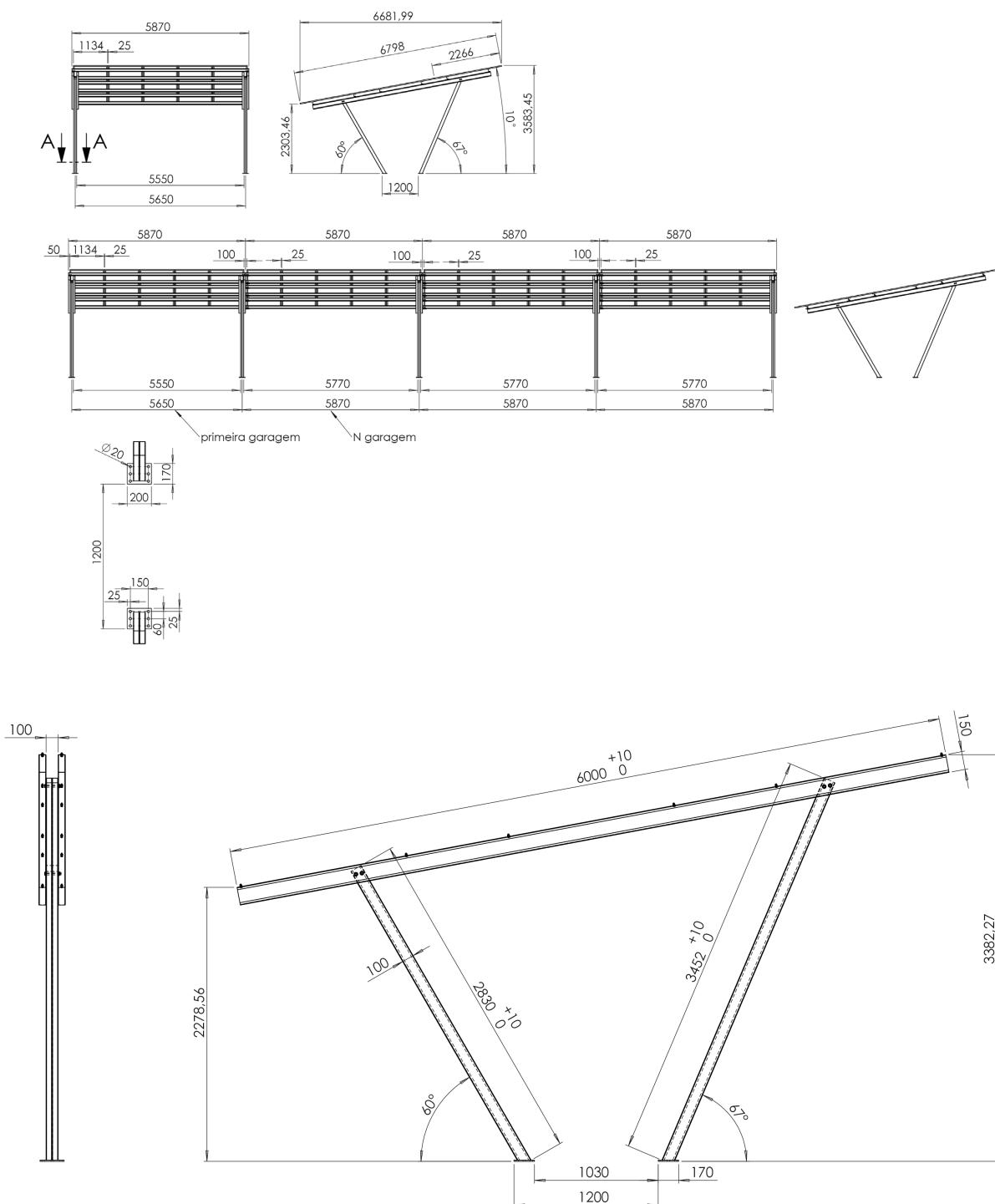
Projeto Executivo



OBSERVAÇÃO

O DUAL CLAMP END e DUAL CLAMP MID atendem a módulos com altura de 30 a 40mm e são dotados de engate rápido, que permite o encaixe utilizando-se apenas uma mão, seguido de aperto.

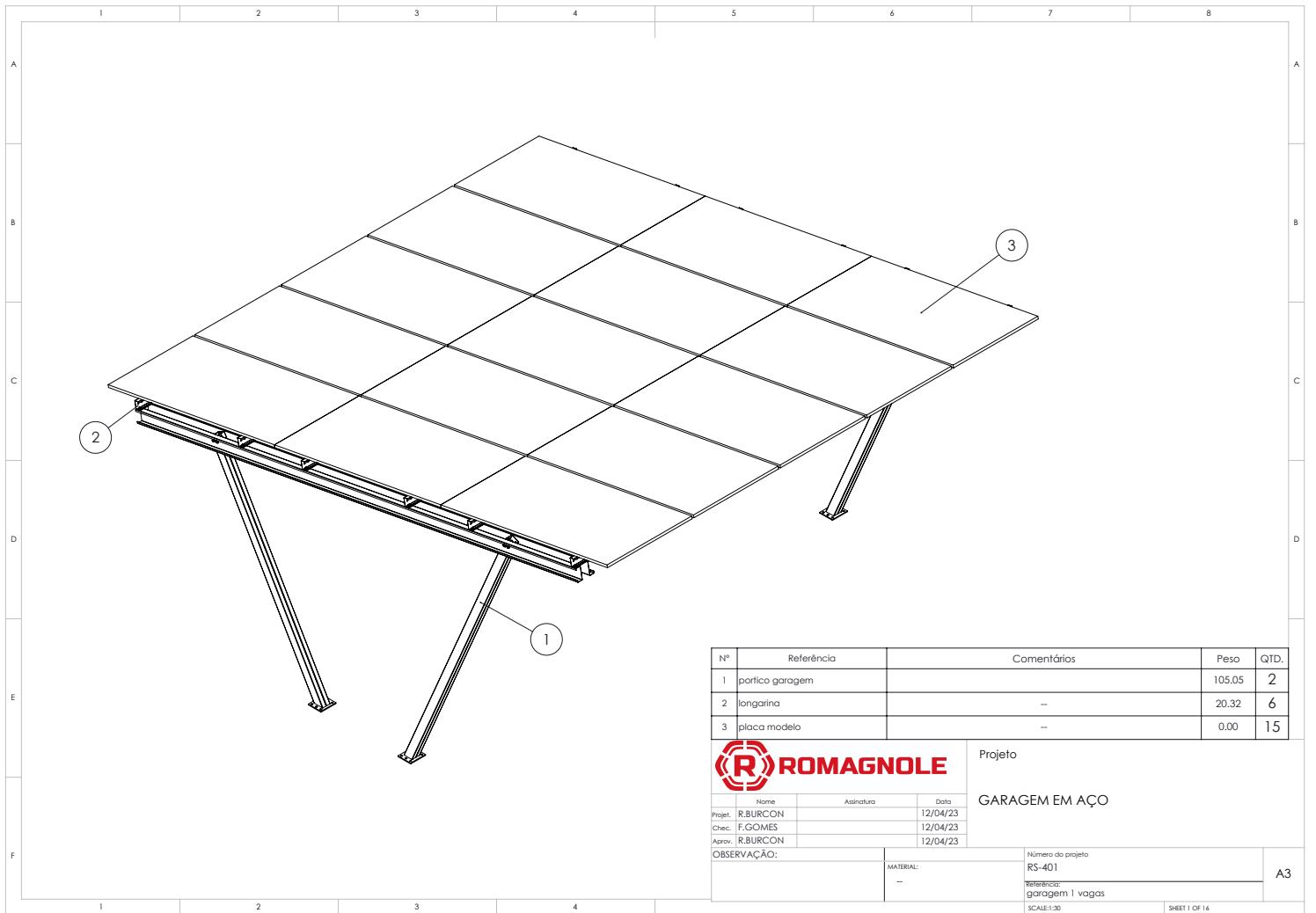
Projeto executivo

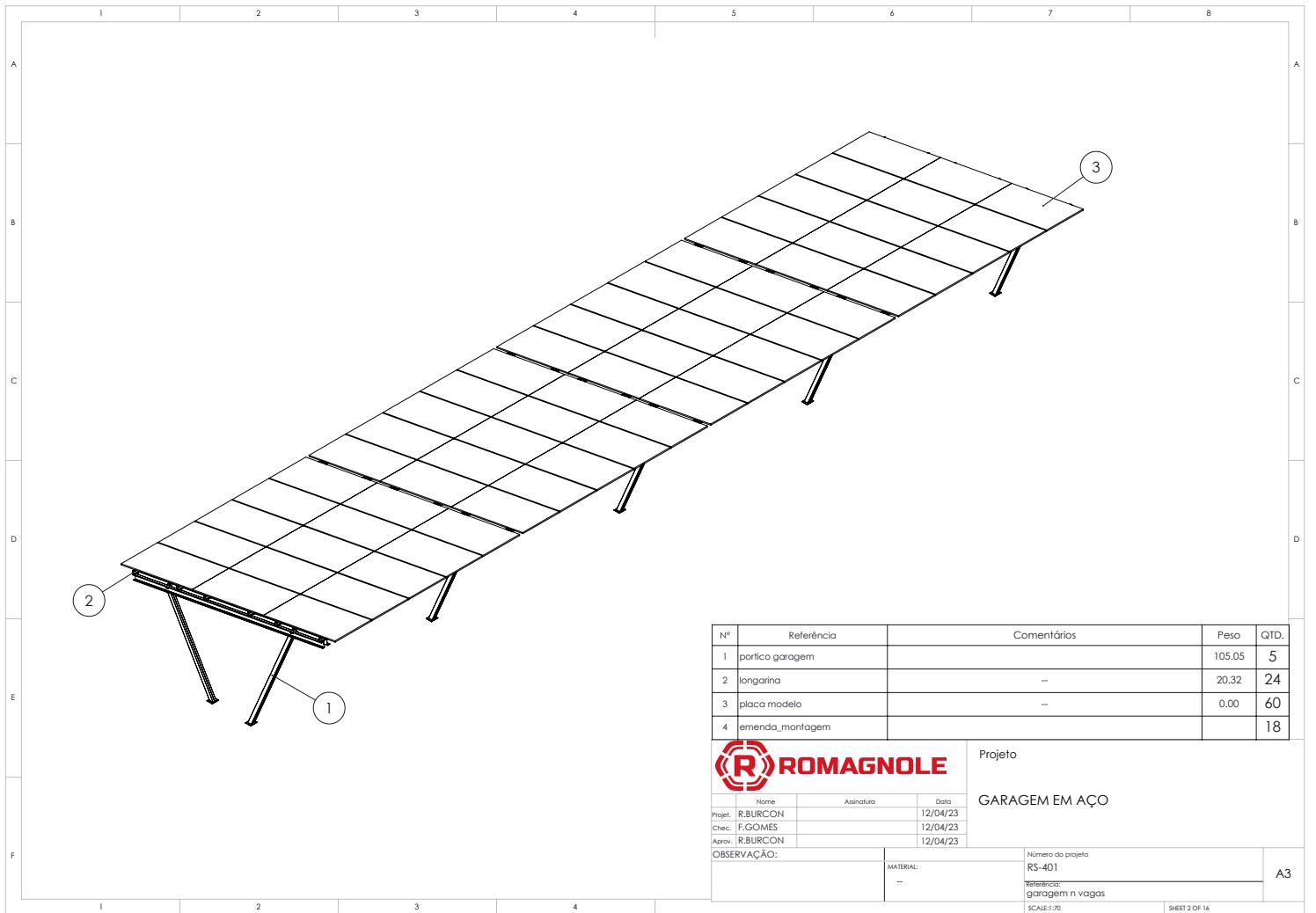


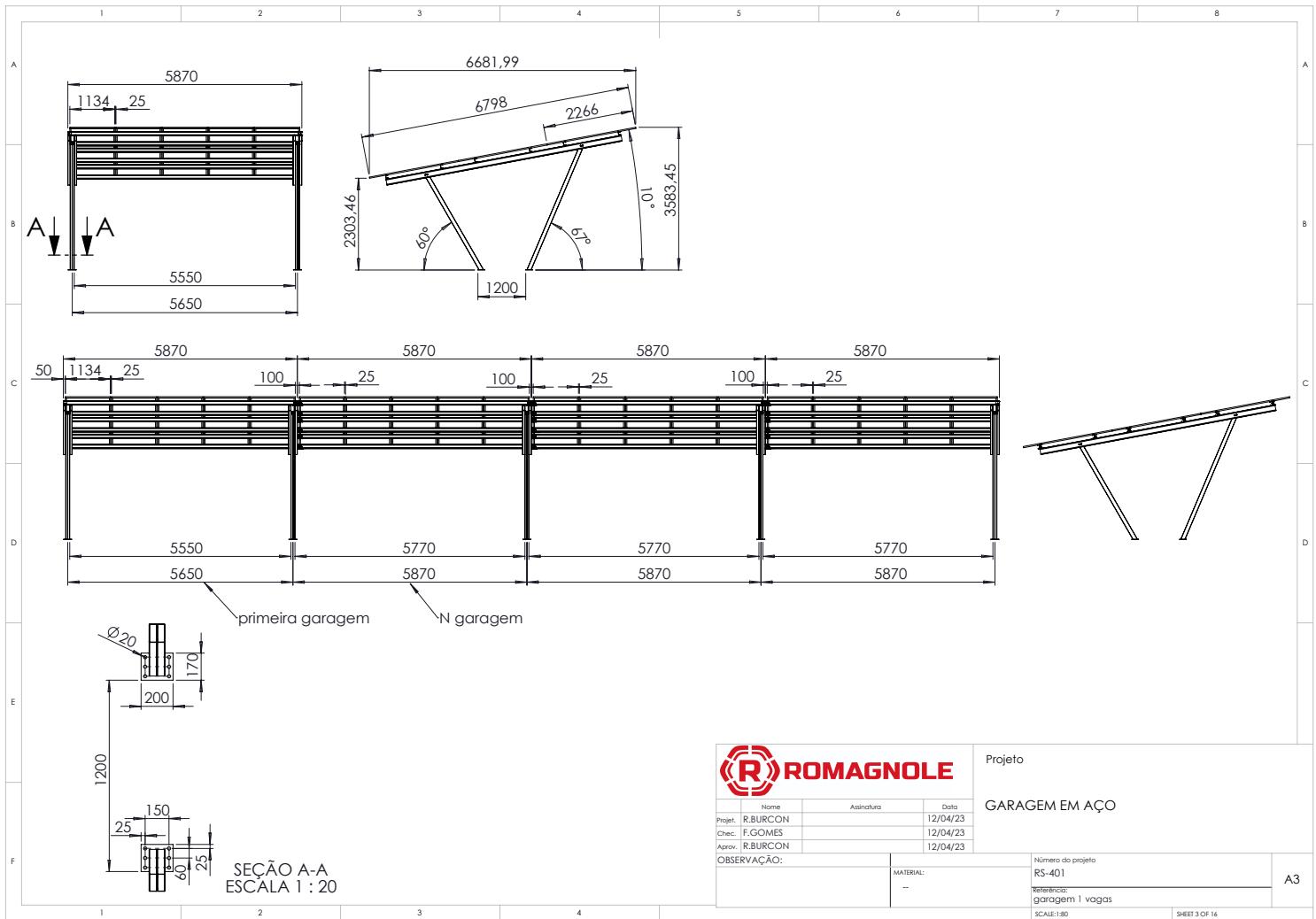
O torque de fixação das pilastras de ocorrer somente após a fixação das travessas.

Todos os direitos reservados. Proibida a reprodução total ou parcial do conteúdo.

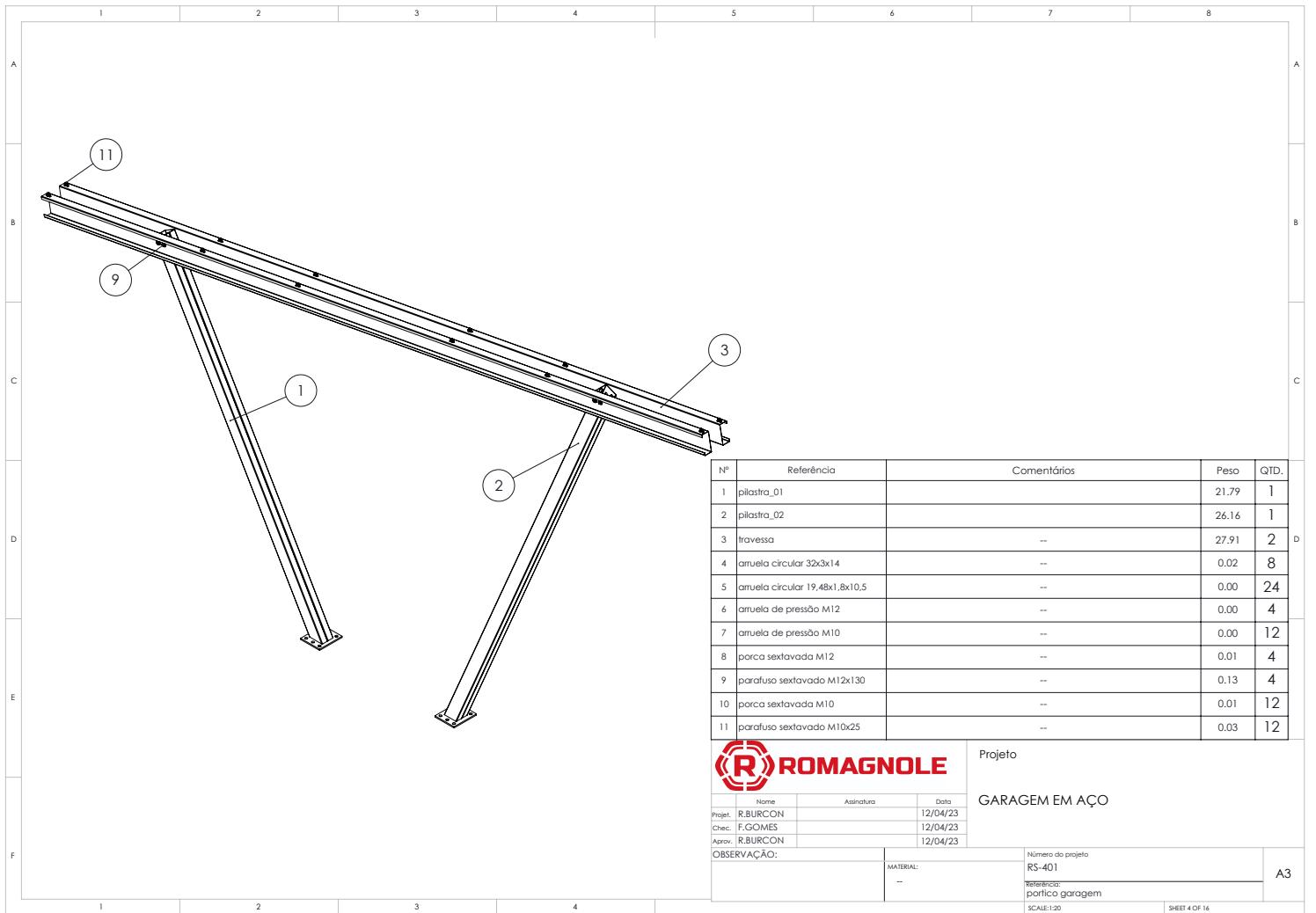
As informações contidas neste material (incluindo, sem limitação, imagem, textos e demais informações) são de propriedade da Romagnole Produtos Elétricos S.A. que reserva o direito de alterar, modificar ou atualizar este documento a qualquer momento, sem aviso prévio.







Projeto		
GARAGEM EM AÇO		
Proj. R.BURCON	Nome	Asturado
Chec. F.GOMES		12/04/23
Aprov. R.BURCON		12/04/23
OBSERVAÇÃO:	MATERIAL:	Número do projeto RS-401
	--	Referência: garagem 1 vagas
		SCALE:1:50 SHEET 3 OF 16



ANEXO 2

DATASHEET DO MÓDULO FOTOVOLTAICO

Tiger Neo N-type

72HL4-(V)

570-590 Watt

MONO-FACIAL MODULE

N-Type

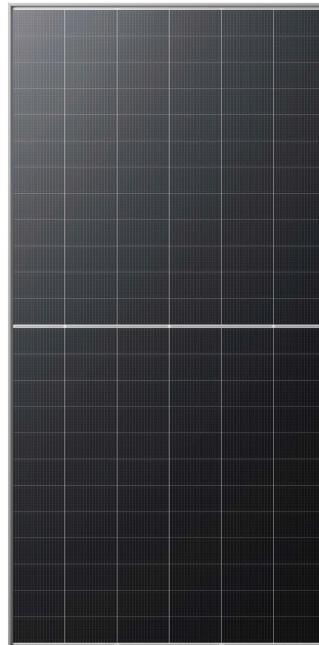
Positive power tolerance of 0~+3%

IEC61215(2016), IEC61730(2016)

ISO9001:2015: Quality Management System

ISO14001:2015: Environment Management System

ISO45001:2018
Occupational health and safety management systems



Key Features



SMBB Technology

Better light trapping and current collection to improve module power output and reliability.



PID Resistance

Excellent Anti-PID performance guarantee via optimized mass-production process and materials control.



Durability Against Extreme Environmental Conditions

High salt mist and ammonia resistance.



Hot 2.0 Technology

The N-type module with Hot 2.0 technology has better reliability and lower LID/LETID.

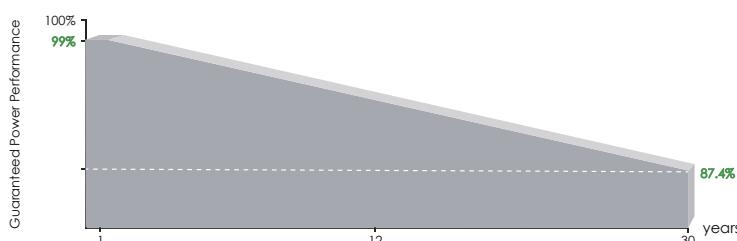


Enhanced Mechanical Load

Certified to withstand: wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).



LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

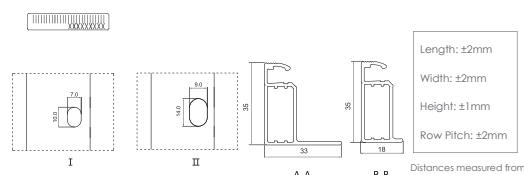
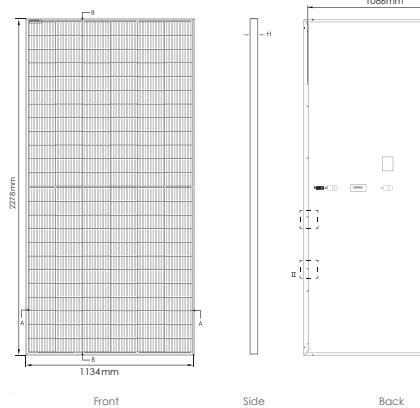


12 Year Product Warranty

30 Year Linear Power Warranty

0.40% Annual Degradation Over 30 years

Engineering Drawings



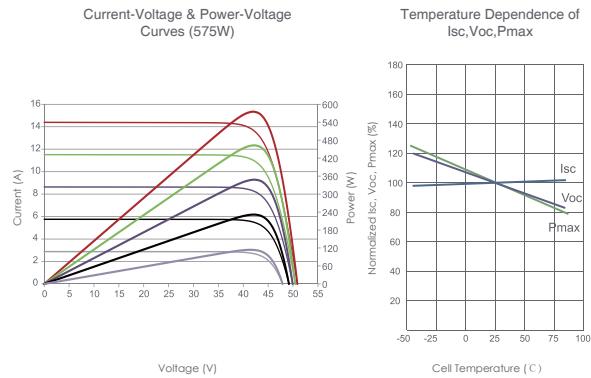
*For detailed sizes and tolerance specification, please consult detailed module drawing

Packaging Configuration

(Two pallets = One stack)

31pcs/pallets, 62pcs/stack, 620pcs/ 40'HQ Container

Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	N type Mono-crystalline
No. of cells	144 (6x24)
Dimensions	2278x1134x35mm (89.69x44.65x1.38 inch)
Weight	27 kg (59.52 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Output Cables	TUV 1x4.0mm ² (+): 400mm, (-): 200mm or Customized Length

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM 570 N-72 HL 4		JKM575N-72HL4		JKM580N-72HL4		JKM585N-72HL4		JKM590N-72HL4	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	570Wp	430Wp	575Wp	433Wp	580Wp	437Wp	585Wp	441Wp	590Wp	445Wp
Maximum Power Voltage (Vmpp)	42.99 V	40.37 V	43.17 V	40.54 V	43.35 V	40.70 V	43.53 V	40.86 V	43.71 V	41.05 V
Maximum Power Current (Impp)	13.26A	10.64A	13.32A	10.69A	13.38A	10.74A	13.44A	10.79A	13.50A	10.83A
Open-circuit Voltage (Voc)	51.99V	39.51V	52.15V	39.63V	52.31V	39.76V	52.47V	39.88V	52.63V	40.00V
Short-circuit Current (Isc)	13.89A	11.21A	13.95A	11.26A	14.01A	11.31A	14.07A	11.36A	14.13A	11.41A
Module Efficiency STC (%)	22.07%		22.26%		22.45%		22.65%		22.84%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1000/1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	25A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.29%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.25%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.045%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

*STC: ☀ Irradiance 1000W/m²

Cell Temperature 25°C

☁ AM=1.5

NOCT: ☀ Irradiance 800W/m²

Ambient Temperature 20°C

☁ AM=1.5

Wind Speed 1m/s

ANEXO 3

DATASHEET DO MICROINVERSOR

Micro Inversor

SUN1600G3-US-220

SUN2000G3-US-220



Micro Inversor

SUN1600G3-US-220

SUN2000G3-US-220

	SUN1600G3-US-220	SUN2000G3-US-220
Entrada (CC)		
Potência de entrada recomendada (STC)		
Máx Tensão CC de Entrada		
Faixa de Operação do MPPT	210–600W (4 Pieces)	25–55V
Faixa de Tensão Operacional CC	20–60V	16A
Máx Corrente de curto-círculo CC	1600W	12.5A×4
Máx Corrente de Entrada	1600W	2000W
Dados de Saída	1600W	2000W
Potência de saída máxima	1600W	2000W
Máx. Potência de Saída	1600W	2000W
Máx. Corrente de Saída	7.3A	8.8A
Tensão Nominal / Faixa	176–242V	
Frequência Nominal / Faixa	60.0 / 59.3–60.5Hz	
Frequência estendida / Faixa	60.0 / 55–65Hz	
Fator de Potência	>0.99	
Máxima Unidades por Cabo Tronco	3	2
Eficiência		
Eficiência Ponderada CEC	95%	
Eficiência máxima do inversor	96.5%	
Eficiência Estática do MPPT	99%	
Consumo Noturno	50mW	
Dados Mecânicos		
Temperatura Ambiente de Operação	-40–65°C	
Dimensões (L × A × P)	267×300×42.5 mm (Sem suporte e cabo)	
Peso (kg)	4.8	
Arefecimento	Conveção Natural	
Grau de Proteção	IP67	
Características		
Compatibilidade	Compatível com módulos fotovoltaicos de 60–144 cell	
Comunicação	Power line/WIFI/Zigbee	
Conformidade	UL1741, VDE0126, VDE4105, IEC62109, CE, INMETRO	
Garantia	12 anos	

Função de desligamento rápido

Comunicação PLC, Zigbee or WIFI

Proteção IP67
12 anos de garantia

4 MPPT (MLPE), Monitoramento a Nível de Módulo

12.5 Máx. Corrente CC de 12.5A, apto para módulo fotovoltaico de 600W