



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

CARLOS EDUARDO SANTIAGO MAURICIO

**Análise de fatores que proporcionam a redução
de desempenho em sistemas fotovoltaicos: Um estudo de caso**

MOSSORÓ

2022

CARLOS EDUARDO SANTIAGO MAURICIO

**Análise de fatores que proporcionam a redução
de desempenho em sistemas fotovoltaicos: Um estudo de caso**

Monografia apresentada a Universidade Federal
Rural do Semi-Árido como requisito para
obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Ednardo Pereira da Rocha, Prof. Dr.

MOSSORÓ

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M
454a Mauricio, Carlos Eduardo Santiago .
 Análise dos fatores que proporcionam a redução
 de desempenho em sistemas fotovoltaicos: Um
 estudo de caso / Carlos Eduardo Santiago
 Mauricio. - 2022.
 43 f. : il.

 Orientador: Ednardo Pereira da Rocha.
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
 Rural do Semi-árido, Curso de , 2022.

 1. Energia. 2. Solar. 3. Fotovoltaico. 4.
 Geração. 5. Rendimento. I. Rocha, Ednardo
 Pereira da, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

CARLOS EDUARDO SANTIAGO MAURICIO

**Análise de fatores que proporcionam a redução
de desempenho em sistemas fotovoltaicos: Um estudo de caso**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Engenheiro Eletricista.

Defendida em: 10 / 06 / 2022.

BANCA EXAMINADORA



Ednardo Pereira da Rocha, Prof. Dr. (UFERSA)

Presidente

Idalmir De Souza Queiroz Júnior, Prof. Dr. (UFERSA)

Membro Examinador



Thomas Tadeu de Oliveira Pereira, Prof. Me. (UFERSA)

Membro Examinador

RESUMO

O mercado de energia solar no Brasil começou efetivamente em 2012 quando entrou em vigor a Resolução Normativa nº482/2012 da ANEEL, que estabeleceu 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, e vem crescendo de forma exponencial nos últimos anos. Ao final de 2021 o Brasil ultrapassou os 13 GW de potência instalada em geradores fotovoltaicos, dos quais 8,7 GW correspondem a micro e minigeração distribuídas registrado um aumento de 79% em relação a 2020. A geração centralizada cresceu 50% com pouco mais de 4,6 GW instalados. (ANEEL/ABSOLAR, 2022). Com a geração distribuída em alta, o mercado tem se tornado cada vez mais competitivo, estimulando as empresas a oferecerem ao cliente um serviço cada vez melhor com um preço mais atrativo que o dos concorrentes. O problema é quando os cortes nos custos refletem em uma diminuição da qualidade do serviço prestado e o sistema fotovoltaico acabe não operando de forma plena e falhas causadas por fatores negligenciados durante o projeto e a instalação do sistema acabam vindo à tona posteriormente, causando prejuízos e transtornos tanto para o cliente quanto para a empresa contratada. O foco principal deste trabalho é abordar de forma técnica cada causa que contribuiu para um rendimento abaixo do esperado em um gerador fotovoltaico de 25 kWp ao longo dos meses que sucederam a ativação do sistema, mostrar o embasamento teórico por trás das soluções adotadas em cada circunstância, observando o efeito negativo de cada inconformidade sobre o rendimento do sistema assim como o resultado positivo de cada medida tomada. Este estudo evidencia a importância do compromisso com a técnica nas instalações dessas usinas, dando a real noção do quanto certos fatores, por vezes negligenciados ou subestimados, influenciam diretamente no rendimento e integridade de um sistema fotovoltaico.

Palavras chave: Energia Solar Fotovoltaica, Geração Distribuída, Rendimento.

ABSTRACT

The solar energy market in Brazil effectively began in 2012 when ANEEL Normative Resolution No. 482/2012 came into force, which established general conditions for the access of microgeneration and minigeneration distributed to electricity distribution systems and the electric power compensation system, and has been growing exponentially in recent years. At the end of 2021, Brazil exceeded 13 GW of installed power in photovoltaic generators, of which 8.7 GW corresponded to distributed micro and minigeneration, with a 79% increase in 2020. Centralized generation grew 50% with just over 4.6 GW installed (ANEEL/ABSOLAR, 2022). With the generation distributed on the rise the market has become increasingly competitive, encouraging companies to offer the customer an increasingly better service with a more attractive price than competitors. The problem is when the cost cuts reflect a decrease in the quality of the service provided and the photovoltaic system ends up not operating fully and failures caused by neglected factors during the design and installation of the system end up coming to light, cause losses and inconvenience sprees for both the client and the contracted company. The main focus of this work is to technically address each cause that contributed to a below-expected yield in a 25 kWp photovoltaic generator over the months that followed the activation of the system, showing the theoretical basis behind the solutions adopted in each circumstance, observing the negative effect of each non-conformity on the system yield as well as the positive result of each measure taken. This study highlights the importance of the commitment to the technique in the facilities of these plants, giving the real idea of how certain factors, sometimes neglected or underestimated, directly influence the performance and integrity of a photovoltaic system.

Keywords: Solar Energy Photovoltaic, Distributed Generation. Yield.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Crescimento da energia solar no Brasil.	9
Figura 2 - Estrutura de uma célula fotovoltaica (corte).	12
Figura 3 - Junção PN.	13
Figura 4 - Capacidade instalada no Brasil.	14
Figura 5 - Growatt MID25KTL3-X.	15
Figura 6 - Esquema de ligação das proteções CA.	18
Figura 7 - Distribuição das strings nos telhados.	19
Figura 8 - Ponto de conexão com a rede.	19
Figura 9 - Terminais das strings ligados de forma invertida.	21
Figura 10 - Representação da ligação invertida de dois módulos.	23
Figura 11 - Gráfico de potência instantânea durante o dia 05 de julho.	24
Figura 12- Gráfico de potência instantânea durante o dia 06 de julho.	25
Figura 13 - Potência instantânea ao longo do dia 07 de julho.	31
Figura 14- Potência instantânea ao longo do dia 08 de julho.	31
Figura 15 - Geração diária no mês de Junho.	32
Figura 16 - Geração diária no mês de Julho.	32
Figura 17 - Cabos de 4mm ² de cobre rígido entre medição e disjuntor geral.	33
Figura 18 - Cabos de 10mm ² de cobre flexível entre medição e disjuntor geral.	34
Figura 19 - Cabo rígido 10mm ² de alumínio usado nos ramais de conexão com a rede da Enel-CE.	34
Figura 20 - Realocação de equipamentos.	35
Figura 21 - String 5 sob sombreamento dos coqueiros.	36
Figura 22 - Potência instantânea ao longo do dia 10/07.	37
Figura 23 - Potência instantânea durante o dia 11/07.	38
Figura 24 - String 5 após a remoção dos coqueiros.	38
Figura 25 - Potência instantânea ao longo do dia 28/08.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados de entrada MID 25KTL3-X.	16
Tabela 2 - Dispositivos de proteção incorporados ao MID25KTL-3X.	17
Tabela 3 - Especificações para conexões CC do MID 25KTL3-X.	22
Tabela 4 - Proteções incorporadas ao MID25KTL3-X.	26
Tabela 5 - Banco de dados do sistema via monitoramento remoto (parte1).	26
Tabela 6 - Banco de dados do sistema via monitoramento remoto (parte2).	27
Tabela 7 - Lista de faltas no dia 05 de julho.....	27
Tabela 8 - Log de dados em 05/07/2021.	28
Tabela 9 - Tamanho recomendados para os cabos CA.....	30

SUMÁRIO

RESUMO	5
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS	8
SUMÁRIO.....	9
1 INTRODUÇÃO.....	9
1.1 Aspectos conceituais.....	11
1.2 Energia solar no Brasil	13
2 SISTEMA FOTOVOLTAICO ESTUDADO.....	15
2.1 Módulos Fotovoltaicos	15
2.2 Inversor.....	15
2.3 Proteções e condutores	16
2.4 Instalação dos componentes	18
3 PROBLEMAS ENCONTRADOS NO SISTEMA.....	21
3.1 Conexões invertidas.....	21
3.2 Disparos por sobretensão.....	24
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
REFERÊNCIAS	41
ANEXO 1: DATA SHEET 335P6K	42
ANEXO 2: CARACTERISTICAS DO INVERSOR.....	43
ANEXO 3: PROTEÇÕES INCORPORADAS NO INVERSOR	44

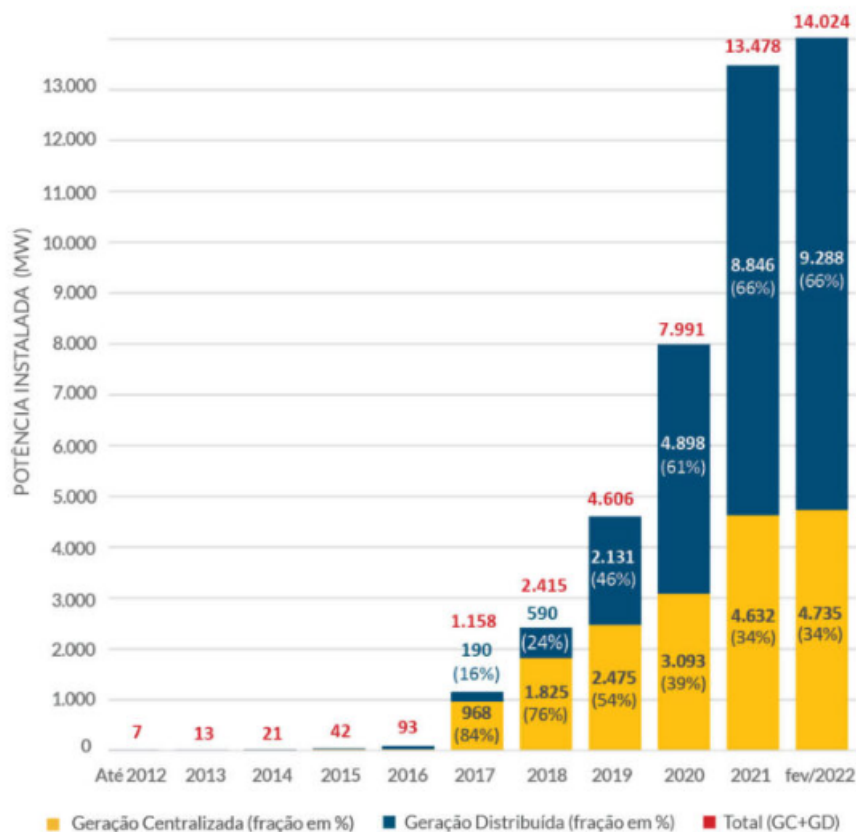
1 INTRODUÇÃO

A intensa utilização de combustíveis fósseis ao longo de décadas vem causando cada vez mais danos ao meio ambiente, fazendo com que o mundo busque uma transição energética sustentável através do uso cada vez maior de fontes renováveis e limpas, como a energia solar fotovoltaica.

Nos últimos anos muito foi investido em geração fotovoltaica, em 2020 o mundo investiu cerca de 150 bilhões de dólares no setor, 12% a mais que no ano anterior, (BLOOMBERGNEF, 2021) no Brasil, entre grandes usinas e geração distribuída foram empregados 21,8 bilhões de reais em energia solar durante o ano de 2021. (ABSOLAR, 2022)

Com a tecnologia tornando-se cada vez mais viável e acessível, surgimento de linhas de financiamento facilitado e incentivos fiscais para o setor, a energia solar tem um crescimento exponencial a cada ano. Como mostra o gráfico da Figura 1, (ABSOLAR 2022) o Brasil ultrapassou a marca de 14 GW de potência instalada em sistemas de geração fotovoltaica, praticamente o dobro do que se tinha no ano de 2020.

Figura 1 - Crescimento da energia solar no Brasil.



Fonte: ABSOLAR, 2022

O acelerado desenvolvimento do mercado de energia solar no Brasil, se deve em grande parte à geração distribuída, a geração que ocorre junto à carga, quando o consumidor gera sua própria energia, seja em uma residência, comércio ou indústria.

As primeiras empresas de energia solar do Brasil surgiram nos grandes centros, mas hoje em dia até em regiões interioranas o mercado já apresenta forte competitividade. A concorrência no setor cresceu muito nos últimos anos, muitos profissionais de outros ramos decidiram investir em energia solar e começar a oferecer o serviço de instalação de sistemas de geração fotovoltaica para geração distribuída.

O mercado competitivo tem suas vantagens, dentre elas a elevação da qualidade do serviço e a diminuição dos preços, mas observando o atual cenário encontram-se casos em que esses dois fatores não andam paralelamente e o segundo acaba se sobressaindo. Com o surgimento de muitas empresas de energia solar em um espaço de tempo relativamente curto, criou-se em muitos locais uma concorrência entre empresas *sem no hall* que focam apenas em oferecer o menor preço possível para ganhar o cliente que geralmente não entende do assunto e se baseia principalmente pelo valor financeiro do projeto. Na busca por uma margem maior de lucro em contrapartida ao esforço para oferecer um preço menor que o concorrente, algumas empresas acabam deixando a desejar na qualidade do serviço oferecido, seja através da admissão de profissionais subcapacitados, falta de supervisão técnica adequada, ou no uso de equipamentos de qualidade questionável, dentre outros fatores que podem causar problemas que posteriormente comprometerão o rendimento do sistema.

Quando certos fatores são negligenciados durante instalação, problemas podem surgir nos sistemas de geração fotovoltaica, seja por causas naturais como painéis encobertos por sujeiras ou sombreamentos, ou não, como em uma distribuição equivocada de painéis solares, no mau uso de dispositivos de proteção, subdimensionamento de condutores ou falhas nas conexões, sobretensão, ilhamento, dentre outros problemas.

Este trabalho consiste no levantamento e descrição das inconformidades encontradas em uma usina fotovoltaica de 25 kWp, que foi observada durante seus primeiros meses de operação desde a sua ativação.

No segundo capítulo é feita uma revisão bibliográfica apontando os pontos importantes que envolvem a geração fotovoltaica, direcionando o estudo para o foco

principal, são apresentados os conceitos por trás da captação da energia solar para então chegarmos ao centro do estudo, as falhas no sistema de energia solar observado.

No terceiro capítulo estão dispostas as características do sistema que é foco deste estudo, trazendo toda a descrição do projeto, desde o dimensionamento do arranjo fotovoltaico, cabos e proteções, a distribuição e orientação geográfica dos módulos de acordo com o espaço disponível, além da descrição de todos os equipamentos usados no gerador FV.

No quarto capítulo são descritas as inconformidades encontradas no sistema fotovoltaico, desde a sua ativação e durante seus primeiros meses de operação, são discutidas individualmente as causas de cada problema encontrado, assim como as medidas adotadas para contornar cada falha, mostrando a influência que cada cenário exerce sobre a eficiência do sistema, descrevendo o comportamento do gerador antes e depois de cada problema ser contornado, através de gráficos, dados de medições e outros elementos.

1.1 Aspectos conceituais

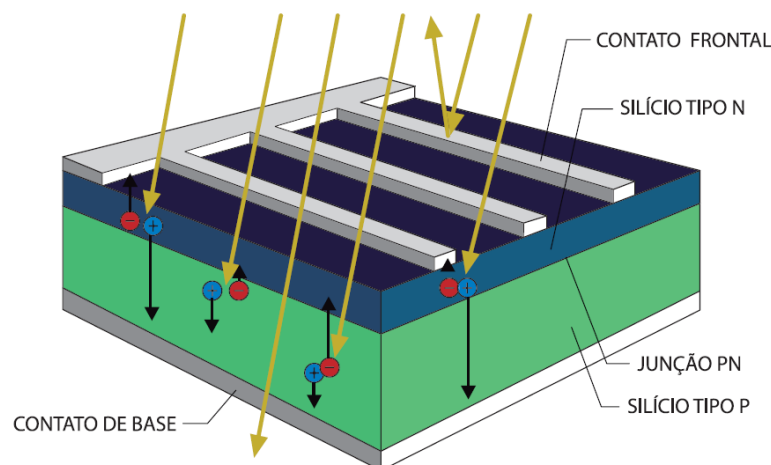
Energia solar fotovoltaica consiste na geração de energia elétrica através da conversão direta de luz solar em eletricidade, processo este chamado de Efeito Fotovoltaico, que ocorre em um dispositivo chamado de célula fotovoltaica, a unidade básica de um sistema fotovoltaico, essencialmente constituída de materiais semicondutores, o Silício é o material mais empregado, e mesmo ele sendo o segundo elemento mais abundante no mundo, há uma intensa busca por materiais alternativos como os filmes finos de silício amorfo hidrogenado, que diferentemente do Silício cristalino, tem uma estrutura desordenada na qual as falhas estruturais são corrigidas por átomos de hidrogênio, produzindo um material com eficiência suficiente para viabilizar a produção de células fotovoltaicas com um boa eficiência e custo se comparadas às células de silício cristalino. (RENATA BRAGA, 2018) Um corte transversal de uma célula fotovoltaica de silício é mostrado na

Figura 2.

“O efeito fotovoltaico, relatado por Edmond Becquerel, em 1839, é o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz. A

célula fotovoltaica é a unidade fundamental do processo de conversão.”
(CRESESB, 2015, p.6)

Figura 2 - Estrutura de uma célula fotovoltaica (corte).



Fonte: CRESESB, 2015.

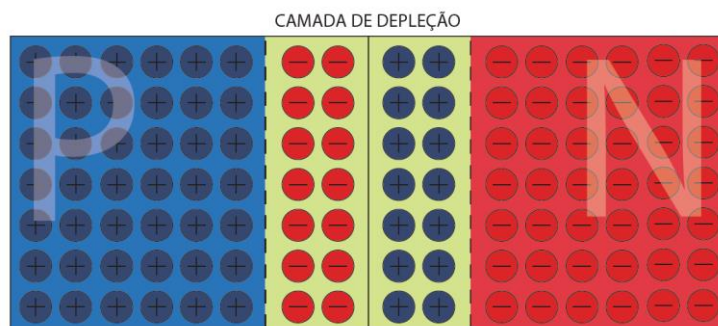
Os átomos do Silício possuem quatro elétrons em sua camada de valência que se ligam aos elétrons dos átomos vizinhos, formando uma rede cristalina.

Com a adição de átomos (dopagem) com 5 elétrons de valência, como o Fósforo, um dos elétrons do Fósforo não conseguirá se ligar aos átomos de silício e permanecerá fracamente ligado ao seu átomo de origem, submetido a energia térmica este elétron se desliga facilmente do átomo de Fósforo e vai para a banda de condução, gerando um potencial negativo. O fósforo é um dopante doador, também chamado de dopante N, o Silício dopado por átomos de fósforo é chamado de Silício tipo N. Por outro lado, quando adicionamos ao Silício átomos com três de ligação, como Boro, faltarão elétrons para lidar-se com os átomos de silício. Esta falta de elétron é denominada lacuna, que é preenchida pelo elétron de um átomo vizinho facilmente quando submetida à energia térmica, fazendo com que a lacuna se desloque. O Boro é um dopante tipo P.

Partindo do silício puro, introduzindo átomos de boro em uma metade e de fósforo na outra, será formado o que se chama junção PN, representada na Figura 3 - Junção PN. Alguns elétrons livres do lado N migrarão para o lado P atraídos pelas lacunas e preenchendo-as, criando uma camada de depleção sem elétrons livres e sem lacunas na região da junção PN. Com a migração dos elétrons, a fronteira do lado N torna-se levemente carregada positivamente, enquanto a fronteira do lado P torna-se

negativamente carregada, formando um campo elétrico entre as regiões. (JACOBUS W. SWART, 2016)

Figura 3 - Junção PN.



Fonte: Autoria própria.

Quando a luz incide sobre o lado N da célula fotovoltaica e penetra até atingir a parte superior da camada de depleção. Os fótons devem ter energia suficiente para gerar pares de elétrons e lacunas na camada de depleção, gerando uma região com um campo elétrico permanente, que dificulta a passagem de mais elétrons do lado N para o lado P. O campo elétrico da camada de depleção movimenta os elétrons e lacunas para fora da região. Fazendo com que a quantidade de elétrons no lado N e de lacunas no lado P aumenta consideravelmente, gerando uma diferença de potencial entre os lados. Quando ligada uma carga nas fronteiras externas dos dois lados os elétrons passarão pela carga do lado N para o lado P. (JACOBUS W. SWART, 2016). Um módulo fotovoltaico consiste em um arranjo de células fotovoltaicas ligadas em série e paralelo. A ligação série é feita para que se alcance um nível de tensão desejado, enquanto a ligação paralela aumenta a corrente elétrica fornecida (Hecktheuer, 2001)

1.2 Energia solar no Brasil

Em 2012 entrou em vigor a Resolução Normativa N° 482 da Aneel, que criou o sistema de compensação energética e regulamentou o acesso à micro e minigeração tornando viável o crescimento da energia solar no Brasil. Nos últimos anos a geração fotovoltaica vem se tornando cada vez mais atrativa para os consumidores que desejam gerar sua própria energia e fugir dos constantes aumentos nas tarifas praticadas pelas concessionárias.

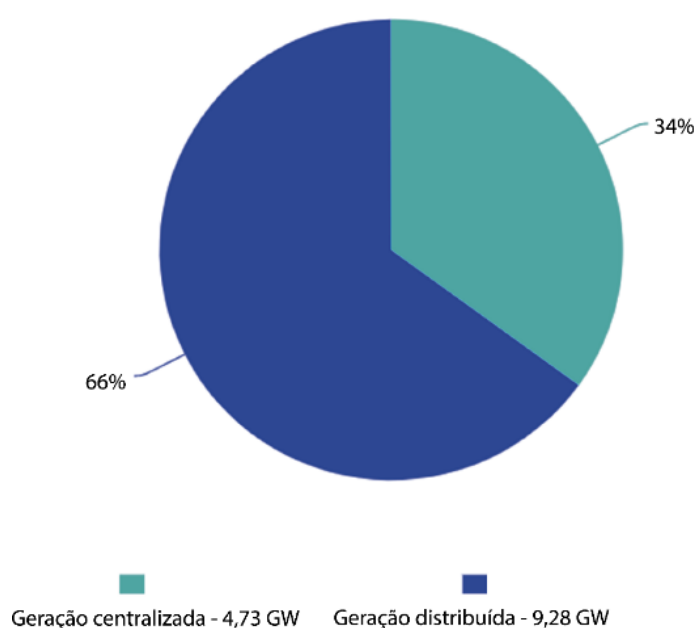
Na prática, o parágrafo anterior define que toda a energia que o sistema fotovoltaico gerar e não for utilizada por nenhuma carga elétrica no momento da geração, será registrada pelo medidor de energia e enviada para a rede pública de energia elétrica.

No final do mês, esse valor medido será devolvido para o consumidor na forma de créditos energéticos, através da fatura de energia elétrica, e então o consumidor terá um desconto no total a pagar. (ANEEL, 2012)

Em 2021 o Brasil ultrapassou a marca de 13 GW instalados em energia solar, assumindo a quarta posição entre os países que mais acrescentaram capacidade à fonte fotovoltaica em sua matriz energética no ano passado, foram cerca de 5,7 GW de capacidade adicionados, nos deixando atrás apenas da China que acrescentou 52,9 GW, dos Estados Unidos, com 19,9 GW adicionados, e da Índia, com expansão de 10,3 GW. (IRENA, 2021)

Desde 2012 foram investidos 52,7 bilhões de reais no setor, e estimativas apontam que até 2030 sejam investidos cerca de 65 bilhões em geração solar no Brasil nos levando a marca de 22,7 GW instalados em energia solar distribuída. (BEN, Aneel, 2021) Em fevereiro de 2022 chegamos aos 14 GW em potência instalada, dos quais 66% correspondem à geração distribuída enquanto a geração centralizada forma os outros 34%, como mostra a Figura 4. (ABSOLAR, 2022)

Figura 4 - Capacidade instalada no Brasil.



Fonte: ABSOLAR, 2022

2 SISTEMA FOTOVOLTAICO ESTUDADO

Este capítulo descreve o sistema de geração de energia solar alvo desse estudo, instalado na cidade de Quixeré, no interior do Ceará.

2.1 Módulos Fotovoltaicos

A potência instalada é de 30.15 kWp, são 90 módulos modelo BYD335-P6K-36-5B de 335 Wp, com eficiência de 19,2%, fabricado pela chinesa Byd. Todas as especificações do BYD335-P6K-36-5B estão no *datasheet* do equipamento no Anexo 1.

2.2 Inversor

O inversor usado nesse sistema é o MID25KTL3-X, mostrado na Figura 5, fabricado pela alemã Growatt, com 25kWp. O equipamento dispõe de duas MPPTs (do inglês *Maximum Power Point Tracking*, ou **Rastreamento do Ponto de Máxima Potência** em português), dois sistemas lógicos operando de forma simultânea e independente em busca do ponto de máxima potência dos arranjos fotovoltaicos ligados a eles, viabilizando o rastreamento do ponto de maior geração de *strings* com características diferentes, o que não seria possível com uma MPPT apenas. Para um inversor de 25 kW esse número de MPPTs é relativamente baixo já que é comum encontrar duas MPPTs já em inversores de 5 kW, por exemplo.

Figura 5 - Growatt MID25KTL3-X.



Fonte: Growatt

Nesse caso duas MPPTs foram suficientes, pois os telhados utilizados possuem apenas duas orientações diferentes e todas as *strings* são iguais em número de módulos. O MID25KTL3-X possui 5 entradas com limite de 1100 V_{cc} cada, sendo três entradas na MPPT 1 e duas na MPPT 2. A faixa de operação de MPPT é de 180V_{cc} a 1000V_{cc}, como mostra a Tabela 1, extraída do manual do fabricante do inversor, que está na íntegra no ANEXO 1.

Tabela 1 - Dados de entrada MID 25KTL3-X.

Dados de entrada MID 25KTL3-X	
Máxima potência fornecida recomendada	37000 W
Máxima tensão CC	1100 V
Tensão de partida	250 V
Faixa de tensão de MPPT	180 V – 1000 V
Número de MPPT / <i>Strings</i> por MPPT	2 / 2 + 3
Máxima corrente de entrada por <i>string</i>	
Máxima corrente de entrada	32 A / 48 A

Fonte: Growatt, 2022.

2.3 Proteções e condutores

Apesar de a NBR ABNT 16690 no tópico 4.3.4.3 indicar a necessidade da instalação de seccionadores em cada *string*, no lado CC não foi utilizada nenhuma *string box*, pois as proteções que existiriam na *string box*, sobrecorrente, sobretensão, proteção contra correntes residuais, polaridade reversa entre outras, já vem incorporadas no próprio inversor, diante disso a empresa responsável se absteve da instalação de uma *string box* CC.

Quando os múltiplos circuitos de entrada de uma UCP forem conectados em paralelo internamente em um barramento em corrente contínua comum, cada setor do arranjo fotovoltaico conectado a cada uma das entradas deve ser tratado, para os efeitos desta Norma, como um subarranjo fotovoltaico e todos os setores combinados devem ser tratados como um arranjo fotovoltaico completo.

Cada subarranjo fotovoltaico deve possuir um dispositivo interruptor-seccionador para prover a isolação do inversor. (ABNT, 2019)

O lado CA do inversor também tem proteções incorporadas, todas as proteções que o que inversor possui estão listadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Dispositivos de proteção incorporados ao MID25KTL-3X.

Dispositivos de proteção	
Proteção de polaridade reversa CC	Sim
Interruptor CC	Sim
Proteção de sobretensão CC	Tipo II
Monitoramento de falta a terra	Sim
Proteção contra curto-circuito de saída	Sim
Monitoramento a falta de terra	Sim
Proteção de sobretensão CA	Tipo II

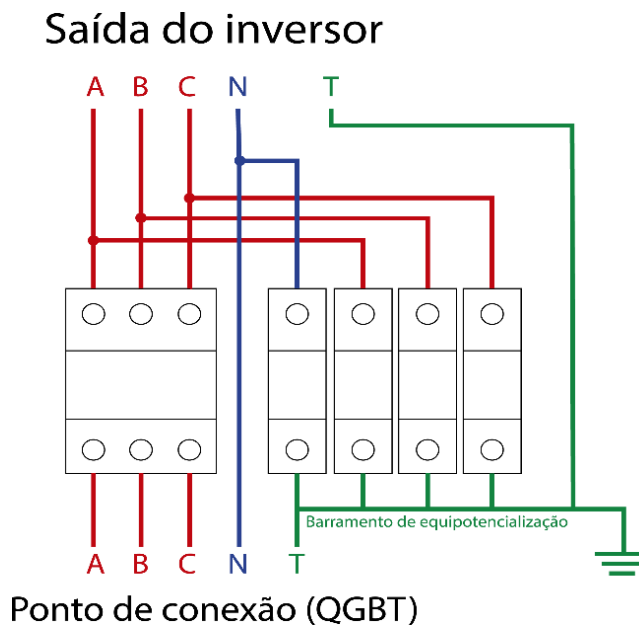
Fonte: Growatt, 2022.

De acordo com o fabricante a corrente máxima de saída do inversor é de 36,2 A, mas, para a escolha do disjuntor, foi considerada Equação 1 com 30,15 kWp em potência instalada, que resultou em uma corrente de 45 A, decorrendo na escolha de um disjuntor trifásico de 50 A com curva de atuação tipo C para compor a proteção CA contra sobrecargas. Junto ao disjuntor foram instalados 4 DPS's, dispositivos de proteção contra surtos, de 275V-40kA instalados entre cada uma das três fases e o terra e um para o neutro, conectados como mostra esquema de ligação mostrado na Figura 6.

$$I_{CA} > \frac{\left(\frac{Pot. instalada_{CC}}{380 V} \right)}{\sqrt{3}} \quad (1)$$

Dessa forma o lado CA do sistema está protegido contra surtos de tensão e sobrecargas. As proteções CA serão novamente citadas no capítulo que descreve os problemas encontrados no sistema.

Figura 6 - Esquema de ligação das proteções CA.



Fonte: Autoria própria.

No lado de corrente alternada foram usados condutores de cobre flexíveis com seção transversal de 10mm² e isolamento XLPE 90°C 1kV para as fases, neutro e terra até o ponto de conexão no quadro geral do cliente. No lado de corrente contínua, as *strings* estão conectadas por cabos fotovoltaicos com seção de 4,0 mm² às MPPTs do inversor, usando cabos vermelhos para os polos positivos *das strings* e cabos pretos para os polos negativos.

2.4 Instalação dos componentes

Os 90 módulos fotovoltaicos foram distribuídos em cinco *strings* iguais de 18 módulos distribuídas nos telhados da propriedade como mostra a

Figura 7.

Figura 7 - Distribuição das *strings* nos telhados.

Fonte: Autoria própria

Foram agrupadas nas mesmas MPPTs as *strings* com orientações iguais, foram ligadas às *strings* 1, 3 e 4 na MPPT 1 e na MPPT 2 foram ligadas as *strings* 2 e 5.

No lado CA, o sistema foi conectado à rede do cliente através do quadro de distribuição geral, localizado abaixo do telhado onde estão as *strings* 1 e 2. O inversor foi instalado próximo ao quadro de distribuição do cliente facilitando a conexão, como mostrado na Figura 8.

Figura 8 - Ponto de conexão com a rede.



Fonte: Autoria própria.

No lado CC foram usados eletrodutos de 2 polegadas, já no lado CA o eletroduto usado foi de 1 polegada.

3 PROBLEMAS ENCONTRADOS NO SISTEMA

O sistema fotovoltaico aqui estudado apresentou alguns problemas frutos de falhas durante a instalação, decorrentes de falta de atenção durante o trabalho, provável falta de experiência dos envolvidos no projeto e instalação, pouca familiaridade com equipamentos, entre outras possíveis causas. Neste capítulo foram pontuados cada problema detectado desde o final da instalação, no comissionamento do sistema, até outros problemas que se estenderam por mais tempo, influenciando negativamente no rendimento do sistema por um prazo mais longo, gerando significativos prejuízos energéticos e financeiros

3.1 Conexões invertidas

O primeiro problema na instalação do sistema foi detectado logo após o término da instalação, quando o inversor seria inicializado pela primeira vez. Ao girar a chave seccionadora do inversor o mesmo não inicializou.

Logo foi evidenciada a causa do inversor não ter inicializado, checando as conexões CC do inversor, notou-se que os polos das strings foram invertidos, conectores MC4 machos foram colocados nas pontas dos cabos pretos, polos negativos das strings e conectores fêmeas nos cabos vermelhos, polos positivos das *strings* e todas elas foram conectadas com as polaridades invertidas nos conectores CC do inversor, como é mostra a Figura 9, fotografada enquanto ainda se investigava a causa da não inicialização do inversor.

Figura 9 - Terminais das *strings* ligados de forma invertida.



Fonte: Aatoria própria, 2022.

Alguns inversores acusam esse tipo de problema no próprio display, porém não é o caso do MID 25KTL3-X, pois seu circuito eletrônico interno é totalmente alimentado pela conexão com os painéis fotovoltaicos. O inversor não inicializar sob uma polarização invertida, pois é um mecanismo de proteção do próprio equipamento. Embora tenha essa proteção contra inversão de polaridade, uma conexão CC com polaridade invertida pode ser prejudicial ao equipamento se mantida por um tempo mais prolongado, a Tabela 3, retirada do manual de instalação fornecido pelo fabricante, enfatiza a necessidade de cuidado na hora de conectar o lado CC do inversor ao arranjo fotovoltaico. No caso em estudo, as strings invertidas permaneceram ligadas ao inversor por cerca de 45 minutos.

Tabela 3 - Especificações para conexões CC do MID 25KTL3-X.

 Nota	➤ Antes de conectar o painel, certifique-se de que a polaridade da entrada CC está correta, ou seja, o polo positivo do módulo FV está conectado ao terminal de entrada CC do inversor marcado com "+" e o polo negativo está conectado ao terminal de entrada CC marcado com "-". ➤ A corrente máxima de entrada CC e a tensão do inversor não devem exceder os seguintes limites:		
	Modelo	Corrente máxima de entrada única	Tensão máxima de entrada
	MID 6-12KTL3-XL	25A	1100V
	MID 10-22KTL3-X	25A	1100V
	MID 25KTL3-X	25A/37.5A	1100V

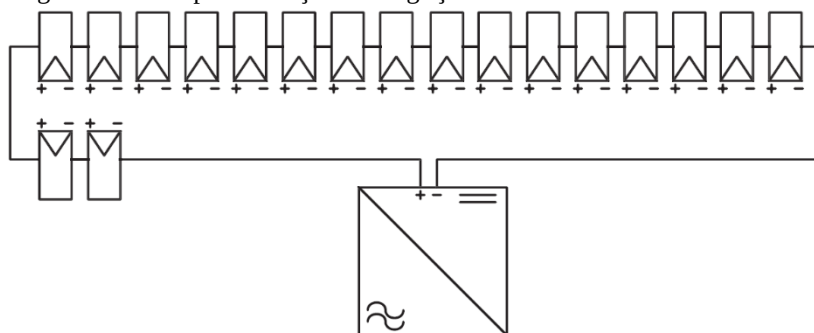
Fonte: Growatt, 2022.

Constatada a inversão das polaridades das *strings*, decidiu-se desconectá-las do inversor para adequar os conectores MC4, possibilitando a polarização direta das *strings*. Com a chave CC do inversor na posição OFF, começando pela MPPT 2, da esquerda para a direita, as *strings* foram removidas, primeiro a *string* 1, depois a 4 e por fim a 3.

No momento da desconexão das *strings* da MPPT 1, ao desconectar o primeiro polo da *string* 5 foi gerado um arco elétrico significativo, mais um indício de irregularidade na instalação. De imediato, revisando as conexões dos módulos da *string* 5 foi encontrado mais um erro nas conexões; os dois módulos do telhado 2 haviam sido ligados de forma invertida, como representado o diagrama da Figura 10. A conexão realizada dessa forma gerou uma diferença de potencial entre as *strings* 2 e 5 ligadas na MPPT 1, a tensão dos dois módulos ligados de forma invertida em relação aos outros anula a tensão de outros dois módulos, fazendo com que a tensão resultante na *string* 5

seja equivalente a tensão de apenas 14 módulos, que em circuito aberto com a chave seccionadora desligada representa cerca de 180 V a menos que a tensão gerada pelos 18 módulos da *string* 2. Essa diferença entre as duas *strings* ligadas na MPPT 1 foi a causadora da formação do arco elétrico no momento da desconexão da *string* 5. Caso o problema não fosse detectado e o inversor entrasse em operação com os dois módulos na polaridade reversa, seria gerada uma corrente reversa nos módulos da *string*, fazendo com que a *string* afetada se comportasse como uma carga, elevando a temperatura dos módulos e afetando toda a *string*, a médio ou longo prazo podendo danificar o equipamento ou perdê-lo totalmente.

Figura 10 - Representação da ligação invertida de dois módulos.



Fonte: Autoria própria.

A corrente reversa é um efeito indesejado e perigoso que pode ocorrer numa string de painéis fotovoltaicos. A corrente reversa é o fluxo de corrente no sentido contrário ao fluxo de corrente de operação normal de um módulo fotovoltaico.

Esse fenômeno pode ocorrer em conjuntos de módulos com strings em paralelo quando a tensão de circuito aberto (V_{oc}) de uma string é menor do que a tensão de circuito aberto das outras strings.

Quando isto ocorre a string afetada se comporta de forma análoga a uma carga do sistema, dissipando o calor gerado por essa passagem de corrente reversa. Em um gerador fotovoltaico devidamente dimensionado e operando sem defeitos não há corrente reversa significativa. (VENTURINI, 2019)

Conectados de forma correta os módulos invertidos da *string* 5 e revertidas as polaridades das cinco *strings* no inversor, estavam solucionados dois problemas relacionados às conexões do arranjo fotovoltaico e o inversor finalmente entrou em operação.

Estes dois problemas poderiam ter sido facilmente evitados com o mínimo de cuidado por parte da equipe de instalação. Além da falta de atenção no momento de realizar as conexões, claramente não foi realizado nenhum teste de polaridade ou medição das tensões nas *strings* antes de realizar de fato as conexões. Com o uso apenas de um multímetro seria muito fácil detectar tanto a polaridade invertida das *strings* como a diferença de potencial entre as duas *strings* da MPPT 1. A elaboração de processos de acompanhamento e medições durante a realização da instalação dos sistemas fotovoltaicos é de suma importância para evitar riscos e desconfortos entre empresas e seus clientes.

3.2 Disparos por sobretensão

Algum tempo depois da ativação do sistema, através do aplicativo de monitoramento remoto, foram detectados momentos de afundamento da potência entregue pelo sistema com a mesma vindo a zero, o que acontecia várias vezes ao dia, como mostrado na Figura 11 e na Figura 12.

Figura 11 - Gráfico de potência instantânea durante o dia 05 de julho.



Fonte: Growatt

Esses momentos de disparo estavam diminuindo significativamente a geração do sistema, pois durante o disparo o inversor entra em *standby*, para de operar, mas continua a colher todas as informações de parâmetros da rede CA como: frequência,

níveis de tensão, eficiência do aterramento, e também parâmetros CC como tensões e correntes contínuas recebidas do arranjo fotovoltaico pelo inversor e não volta a operar até todos os parâmetros estejam dentro das condições de operação parametrizadas no equipamento, o que pode levar alguns minutos, dependendo da causa do disparo pode levar até horas ou dias. Além disso, quando o inversor retorna ao estado de operação, ele não volta à toda potência instantaneamente podendo levar alguns minutos até o regime permanente. O fato dos disparos acontecerem várias vezes ao dia agrava mais ainda a situação.

Figura 12- Gráfico de potência instantânea durante o dia 06 de julho.



Fonte: Growatt

Esses disparos acontecem para proteger o equipamento, impedindo-o de operar em condições extremas que podem danificá-lo ou comprometer a instalação ou equipamentos do cliente. Esses disparos podem acontecer por diversos motivos, o MID 25KTL3-X possui proteções contra polaridade CC reversa, sobretensão CC, falha de aterramento, contra curtos-circuitos de saída, sobretensão CA, controle de frequência, entre outras proteções listadas no Anexo 1, reproduzidas na

Tabela 4.

Tabela 4 - Proteções incorporadas ao MID25KTL3-X.

Dispositivos de proteção	
Proteção de polaridade reversa CC	Sim
Interruptor CC	Sim
Proteção de sobretensão CC	Tipo II
Monitoramento de falta a terra	Sim
Proteção contra curto-circuito de saída	Sim
Monitoramento a falta de terra	Sim
Proteção de sobretensão CA	Tipo II

Fonte: Growatt (Adaptado).

Quando algum parâmetro excede as faixas de valores predefinidos, o inversor para de operar imediatamente, seja por uma elevação na tensão CC proveniente dos módulos fotovoltaicos ou quando tensão CA da rede onde o inversor está conectado ultrapassam as faixas de tensão ou de frequência de operação determinadas pelo fabricante, seja por descargas elétricas de curtos-circuitos ou atmosféricas que elevam a tensão além do limite superior ou falha em conexões, quedas de energia na rede da concessionária, falhas de aterramento, entre outras possíveis causas, o inversor só voltará a operar quando detectar a que a causa da falha foi extinta.

Um aliado na detecção da causa dessas falhas é sistema de monitoramento remoto da Growatt, pois atualiza e armazena todos os parâmetros a cada cinco minutos, obtendo dados de energia gerada, tensão e corrente CC em cada MPPT, frequência, tensão e corrente CA nas três fases da rede do cliente, além de outros parâmetros, e todos os dados podem ser exportados a qualquer momento em formato de planilha eletrônica. Como mostram a Tabela 5 e a Tabela 6.

Tabela 5 - Banco de dados do sistema via monitoramento remoto (parte1).

● History Data(PKE3A33041)									
		Time	Day	2021-10-19 - 2021-10-19		Search			
No.	Serial number	Time	Status	EacToday(kWh)	EacTotal(kWh)	Vpv1(V)	Vpv2(V)	Ipv1(A)	Ipv2(A)
68	PKE3A33041	2021-10-19 12:03:00	Normal	99.2	38635.9	659.4	657.7	15.1	24.4
69	PKE3A33041	2021-10-19 11:57:59	Normal	97.2	38633.9	662.3	660.7	15.2	24.2
70	PKE3A33041	2021-10-19 11:52:59	Normal	95.1	38631.7	653.8	652.2	15.3	24.5
71	PKE3A33041	2021-10-19 11:47:59	Normal	93.0	38629.6	657.5	656.0	15.4	24.4
72	PKE3A33041	2021-10-19 11:42:58	Normal	90.9	38627.5	671.3	669.7	15.0	23.9
73	PKE3A33041	2021-10-19 11:37:58	Normal	89.2	38625.9	701.2	699.5	14.4	22.9
74	PKE3A33041	2021-10-19 11:32:58	Normal	88.4	38625.1	612.4	611.6	4.6	6.9
75	PKE3A33041	2021-10-19 11:27:57	Normal	86.5	38623.2	704.6	702.8	14.6	22.2

Fonte: server.growatt.com

Tabela 6 - Banco de dados do sistema via monitoramento remoto (parte2).

● History Data(PKE3A33041)										
		Time	Day	2021-10-19 - 2021-10-19		Search				
VacRS(V)	VacST(V)	VacTR(V)	IacR(A)	IacS(A)	IacT(A)	PacR(W)	PacS(W)	PacT(W)	Fac(Hz)	Pac(W)
424.4	414.1	425.1	33.5	34.0	34.1	8281.2	8262.0	8173.7	60.0	25162.9
426.1	415.3	426.4	33.4	33.8	34.1	8266.5	8281.0	8184.0	60.0	25162.3
424.9	414.1	425.4	33.1	33.5	33.8	8165.7	8170.6	8112.0	60.0	25005.9
423.9	412.6	424.9	33.4	34.0	34.1	8259.8	8251.8	8136.2	60.0	25190.5
425.1	414.1	425.6	33.3	33.9	34.0	8235.0	8288.5	8129.4	60.0	25183.5
422.9	411.8	422.6	32.5	32.9	33.2	7965.7	8011.1	7898.2	60.0	25147.6
408.4	396.9	407.0	9.0	9.0	9.0	2122.2	2116.8	2065.5	60.0	6862.8
424.4	413.1	423.6	33.3	33.7	34.1	8175.1	8209.3	8163.5	60.0	25300.0

Fonte: server.growatt.com

O sistema de monitoramento do inversor registrou que a tensão CA da rede na qual o sistema está conectado estava saindo da faixa aceita pelo inversor, como mostra a

Tabela 7, que é o registro dos faltas mostradas no gráfico da Figura 11, referentes ao dia 05/07/2021.

Tabela 7 - Lista de faltas no dia 05 de julho.

Fault Log					
			2021-07-05	Day	Month
Device Serial Number	Alias	Device Type	Time	Event Sn	Fault Description
PKE3A33041	PKE3A33041	Max	2021-07-05 09:06:11	300(00)	AC V Outrange
PKE3A33041	PKE3A33041	Max	2021-07-05 10:40:08	300(02)	AC V Outrange
PKE3A33041	PKE3A33041	Max	2021-07-05 11:35:22	300(00)	AC V Outrange
PKE3A33041	PKE3A33041	Max	2021-07-05 11:50:07	300(02)	AC V Outrange
PKE3A33041	PKE3A33041	Max	2021-07-05 12:20:41	300(00)	AC V Outrange
PKE3A33041	PKE3A33041	Max	2021-07-05 12:55:40	300(02)	AC V Outrange

Fonte: server.growatt.com

Ao analisar os parâmetros registrados ao longo do dia, pôde-se perceber que nos momentos que antecederiam a interrupção da operação do sistema, foram registrados níveis elevados de tensão na rede do cliente, chegando a quase 430 Volts em algumas das fases, como aconteceu no dia 05 de julho de 2021, mostrado na Tabela 8, exportada do site de monitoramento do fabricante. O MID 25KLT3-X vem de fábrica com o limite superior de tensão em 415 V, 35 V a mais em relação aos 380 V entre fases das redes trifásicas de baixa tensão usuais em região.

O inversor suportaria níveis mais elevados de tensão CA, estes limites são definidos para manter a segurança da instalação do cliente e a integridade dos aparelhos elétricos conectados a ela.

Tabela 8 - Log de dados em 05/07/2021.

	A	B	C	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Serial number	address	datalog_sn	inner_vers	lastUpdateTime						
2	PKE3A33041		1 XGD4A3333V	TJAA0302	2021-10-19 17:36:49						
3											
4	Serial number	Time	Status	Ppv1(W)	Ppv2(W)	Ppv(W)	Epv1Tod	Epv2Tod	VacRS(V)	VacST(V)	VacTR(V)
47	PKE3A33041	2021-07-05 09:01:30	Normal	6384,2	7021,4	14740,2	13,8	11	429,1	428,1	417,6
48	PKE3A33041	2021-07-05 09:06:30	Waiting	0	0	0	14	11,3	414,9	418,3	407
49	PKE3A33041	2021-07-05 09:11:30	Normal	2930,8	5489,6	8420,4	14,2	11,4	414,9	412,8	408,9
50	PKE3A33041	2021-07-05 09:16:31	Normal	9227,4	9885,9	19113,3	14,7	12	412,4	408,1	412,1
51	PKE3A33041	2021-07-05 09:21:31	Normal	9861,1	10363,3	20224,4	15,5	12,9	414,4	406,6	414,9
52	PKE3A33041	2021-07-05 09:26:31	Normal	9915,3	10611,2	20526,5	16,3	13,7	412,9	406,8	414,6
53	PKE3A33041	2021-07-05 09:31:32	Normal	10197,9	10938,8	21136,7	17,2	14,6	412,1	414,8	414,6
54	PKE3A33041	2021-07-05 09:36:32	Normal	10218,8	11147,2	21366	18	15,5	412,9	414,3	414,4
55	PKE3A33041	2021-07-05 09:41:32	Normal	10278,7	11457,7	21736,4	18,8	16,5	413,9	413,1	414,9
56	PKE3A33041	2021-07-05 09:46:33	Normal	10399,9	11681,1	22081	19,7	17,4	413,1	414,9	412,9
57	PKE3A33041	2021-07-05 09:51:33	Normal	10573,9	11999,2	22573,1	20,6	18,4	410,9	412,8	416,6
58	PKE3A33041	2021-07-05 09:56:34	Normal	10523	12097,4	22620,4	21,4	19,4	412,6	413,8	414,1
59	PKE3A33041	2021-07-05 10:01:34	Normal	10681,1	12302,7	22983,8	22,3	20,4	413,9	415,1	414,9
60	PKE3A33041	2021-07-05 10:06:34	Normal	11359	13016,6	24375,6	23,1	21,3	416,4	414,8	414,1
61	PKE3A33041	2021-07-05 10:11:35	Normal	10963,7	12726,4	23690,1	24	22,3	414,1	414,8	414,6
62	PKE3A33041	2021-07-05 10:16:35	Normal	2391,8	3457,7	6381,8	24,9	23,4	416,1	408,8	406,7
63	PKE3A33041	2021-07-05 10:21:35	Normal	10892	13170,4	24062,4	25,7	24,3	412,1	414,8	414,6
64	PKE3A33041	2021-07-05 10:26:36	Normal	11172,1	13576,1	24748,2	26,6	25,4	413,1	412,8	408,4
65	PKE3A33041	2021-07-05 10:31:36	Normal	6957,8	0	6957,8	26,9	25,6	413,1	410,8	407
66	PKE3A33041	2021-07-05 10:36:37	Normal	7197,2	10943,2	18140,4	27,3	26,2	427,8	426,8	420,7
67	PKE3A33041	2021-07-05 10:41:40	Waiting	0	0	0	28	27,1	408,1	409,1	401,2
68	PKE3A33041	2021-07-05 10:46:40	Normal	4260,1	5779,6	10039,7	28,3	27,2	412,9	414,3	414,4
69	PKE3A33041	2021-07-05 10:51:45	Normal	1622,9	2172,9	3795,8	28,6	27,6	410,9	410,8	403,5
70	PKE3A33041	2021-07-05 10:56:52	Normal	2341,9	5458,7	8644,6	28,8	27,8	414,1	415,3	407

Fonte: server.growatt.com

Detectada que a causa dos disparos era a elevação da tensão da rede CA onde o inversor foi conectado, haviam duas medidas a serem tomadas: uma delas seria aumentar a seção dos cabos desde a rede elétrica de baixa tensão da Enel até o ponto onde foi feita a conexão com o inversor. Uma das causas para a elevação de tensão na rede CA é quando os cabos não têm capacidade de condução suficiente para a corrente entregue pelo inversor, então para continuar entregando a mesma potência, a tensão acaba se elevando, já que o valor da corrente está limitado pela ampacidade do cabo usado, a tensão CA do circuito no qual o sistema fotovoltaico está conectado aumenta. Cabos elétricos sobrecarregados geram perdas por sobreaquecimento, além de terem sua estrutura danificada com o tempo.

O efeito da elevação na tensão ocorre devido ao fato de que para injetar potência o gerador, nesse caso o inversor, precisa que a sua tensão seja levemente mais alta que a da tensão de funcionamento da carga que este alimenta. (COELHO, 2020)

No manual do fabricante é indicado o uso de cabos de cobre com seção transversal de no mínimo 10 mm², como mostra a Tabela 9, mas apesar de terem sido usados cabos de cobre de 10 mm² do inversor até o quadro de distribuição do cliente, os cabos do quadro geral até o medidor e do medidor até a rede de distribuição eram de alumínio com 10 mm² de seção transversal, cabos com capacidade de condução inferior a recomendada pelo

fabricante. E ainda com o agravante de a distância entre o quadro geral onde o inversor está conectado e rede elétrica da concessionária ser de mais de 30 metros, o que tornaria recomendável uma seção transversal de 16 mm² em cabos de cobre do lado CA.

Tabela 9 - Tamanho recomendados para os cabos CA.

Seção transversal	Comprimento máximo do fio					
	MID 6-8K	MID 10-11K	MID 12K	MID 10-15K	MID 17-20K	MID 22-25K
10 mm ²	50m	40m	30m	50m	40m	30m
16 mm ²	60m	50m	35m	60m	50m	35m

Fonte: Growatt

No entanto, a empresa não se responsabiliza pela instalação elétrica do cliente, e o mesmo não se mostrou disposto a investir na compra dos cabos de cobre, pois seriam 4 cabos, três fases e neutro, com comprimento de 35 metros até a medição. Esses detalhes teriam que ser observados antes da execução da instalação durante a fase de projeto, claramente não foi realizada uma visita prévia ao local para constatar a viabilidade técnica da instalação fotovoltaica e detecção das adequações necessárias.

Então foi adotada uma segunda alternativa para contornar o problema dos disparos por sobretensão, alargar a faixa de tensão de operação do equipamento elevando o nível superior de tensão que era de 415 V para 440 V. O procedimento de alargamento da faixa de tensão do inversor foi feito de forma remota, pelo site shinemonitor.com da própria Growatt de forma simples, apenas seguindo o passo a passo fornecido pelo fabricante.

Elevado o limite superior de tensão aceitável pelo inversor, realmente o de disparos por sobretensão foi contornado, nos dias seguintes já pode ser observada a extinção dos mesmos e, por consequência, também pode-se observar a já esperada melhora na geração do sistema, como mostram os gráficos das Figuras

Figura 13 - Potência instantânea ao longo do dia 07 de julho. e

Figura 14- Potência instantânea ao longo do dia 08 de julho.. E nas Figuras Fonte: server.growatt.com

Figura 15 - Geração diária no mês de Junho. e Figura 16 - Geração diária no mês de Julho. é possível ver a melhora na média de geração do sistema após o alargamento da faixa de tensão de operação realizado no dia 06/07/2021.

Figura 13 - Potência instantânea ao longo do dia 07 de julho.



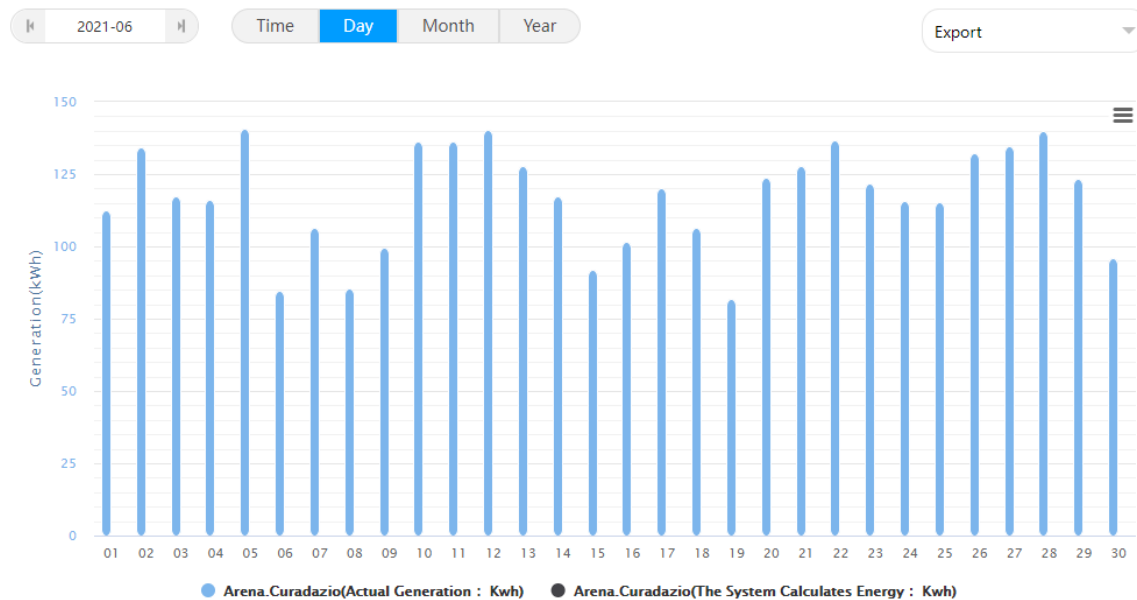
Fonte: server.growatt.com

Figura 14- Potência instantânea ao longo do dia 08 de julho.



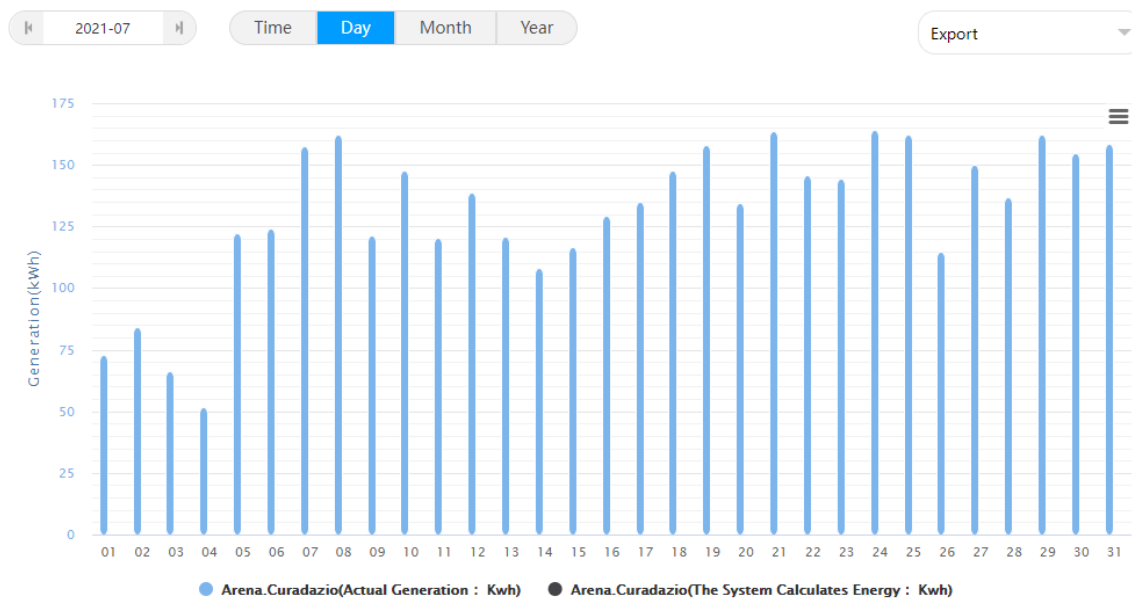
Fonte: server.growatt.com

Figura 15 - Geração diária no mês de Junho.



Fonte: server.growatt.com

Figura 16 - Geração diária no mês de Julho.



Fonte: server.growatt.com

Aumentar a margem de tensão aceita pelo sistema foi uma medida, pois a tensão da instalação continua elevada, o que foi feito só permite que o sistema opere conectado a uma rede CA com tensão elevada.

Para regular o nível da tensão, teríamos que voltar à primeira medida, trocar os cabos dos ramais do cliente pelos cabos indicados pelo fabricante, ou superiores. Porém nem o cliente nem a empresa se propuseram a assumir o custo dessa troca.

Ainda havia um agravante quanto a isso, os cabos entre o medidor de energia e seu disjuntor geral eram cabos com seção de 4 mm² em cobre rígido, como mostrado na Figura 17.

Figura 17 - Cabos de 4mm² de cobre rígido entre medição e disjuntor geral.



Fonte: Autoria própria.

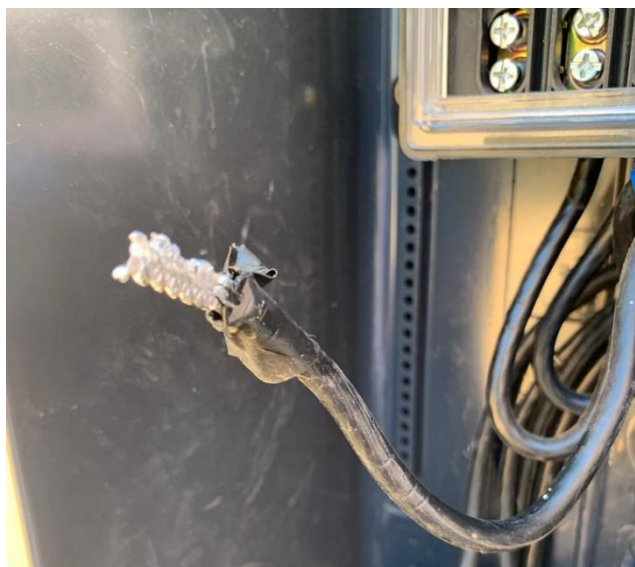
Os cabos de 4mm² foram trocados por cabos de cobre com 10mm² de seção transversal, como mostrado na Figura 18, o que não surtiu muito efeito na tensão no ponto de conexão com o inversor, pois todo o resto do caminho continuou sendo de cabos de alumínio, como o mostrado na Figura 19.

Figura 18 - Cabos de 10mm² de cobre flexível entre medição e disjuntor geral.



Fonte: Autoria própria.

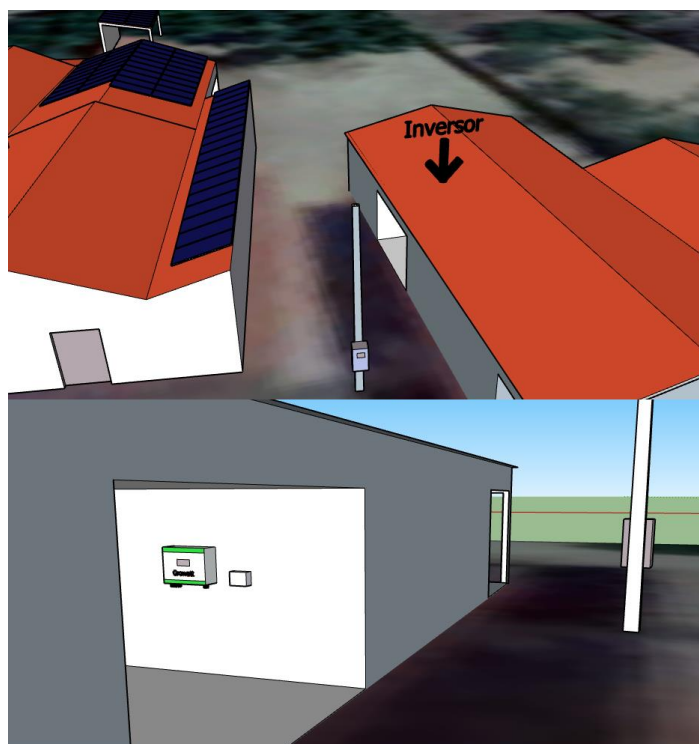
Figura 19 - Cabo rígido 10mm² de alumínio usado nos ramais de conexão com a rede da Enel-CE.



Fonte: Autoria própria.

Uma solução proposta pela empresa para esse problema seria a realocação do inversor e proteções CA para um local mais próximo a medição, como mostra a Figura 20 - Realocação de equipamentos., e o ponto de conexão do gerador com a rede passaria a ser diretamente no disjuntor geral, no quadro abaixo de medição, desde que o cliente se responsabilizasse pela solicitação do aumento do ramal entre a medição e a rede da Enel-CE junto à concessionária ou pela realização da troca do ramal de forma independente contratando um eletricitista capacitado, substituindo o ramal de cabos de alumínio com seção de 10mm^2 por cabos de cobre com seção de 10mm^2 ou superior. Desse modo o inversor estaria a menos de 20 metros da rede urbana e não seria mais necessária a substituição do ramal de 35 metros entre a medição e o quadro geral do cliente.

Figura 20 - Realocação de equipamentos.



Fonte: Autoria própria.

3.3 Sombreamento

Para a instalação *string* 5, a equipe ficou em dúvida em relação à escolha de em qual telhado instalar os módulos, algo que já deveria estar definido desde a etapa de projeto. A maioria dos telhados que ainda restavam necessitavam de um reforço prévio em sua estrutura, quando não tinham problemas de sombreamento. Diante das opções, o

telhado escolhido para instalar os módulos da *string* 5 tinha boa estrutura, mas era rodeado por coqueiros que certamente prejudicariam a geração da *string*.

A decisão foi tomada em conjunto com o cliente, que se comprometeu a fazer o corte dos coqueiros para que a sombra deles não chegasse aos módulos. A

Figura 21 mostra a *string* 5 rodeada de coqueiros.

Figura 21 - *String* 5 sob sombreamento dos coqueiros.



Fonte: Autoria própria.

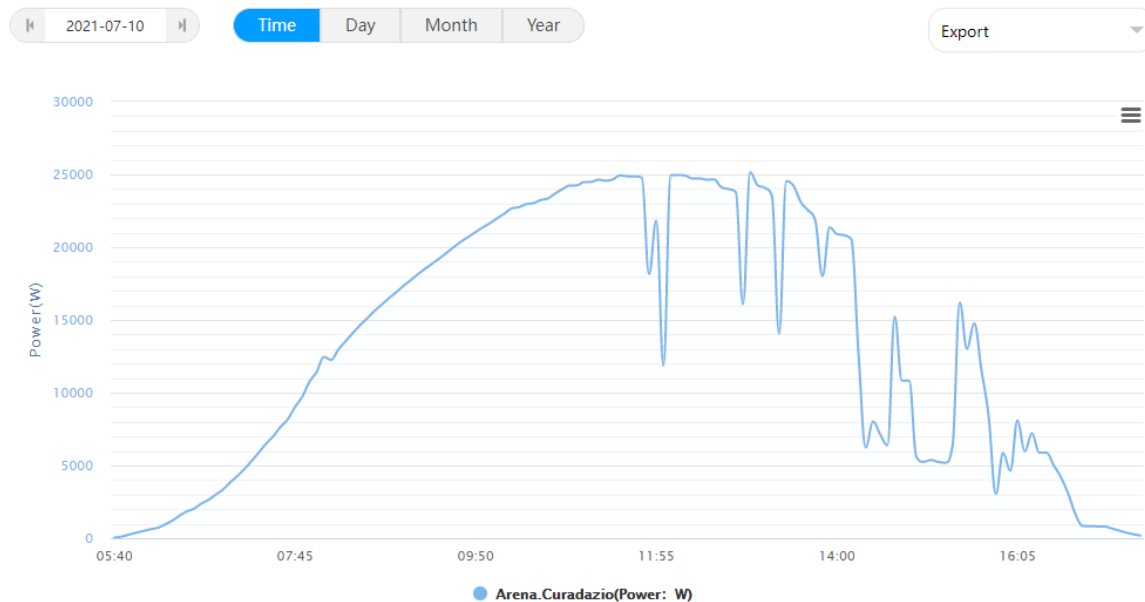
Porém o cliente relutou bastante para efetuar o corte dos coqueiros, achando que a influência da sombra produzida por eles na geração do sistema não era relevante. Ele só concordou em finalmente remanejar os coqueiros para outra área depois de muitas tentativas de explicá-lo que uma vez que houver sombreamento em um dos módulos da *string*, aquele módulo fornecerá menos potência e os outros módulos ligados em série com o módulo sombreado também teriam sua potência diminuída, reduzindo a potência entregue pela *string* como um todo, e por consequência reduzindo também a potência de outra (s) *string*(s) conectada(s) na mesma MPPT, no caso a *string* 2. Módulos sombreados

geram diferentes pontos de máxima potência, diminuindo a eficiência do sistema de rastreamento, fazendo com que a MPPT opere em um ponto de máximo local diferente daquele que seria o ponto de máxima potência do conjunto de módulos. (Hecktheuer, 2001). Além de diminuir a geração do sistema, o sombreamento pode danificar os módulos fotovoltaicos diminuindo sua eficiência e vida útil.

Os raios de Sol que estão na metade do painel acabam provocando um efeito na área sombreada: eles se dissipam como calor – aquecendo o painel, pois se uma célula solar está com sombra, ela está inversamente polarizada e acaba atuando como uma carga que converte energia em calor. (Reevisa, 2021)

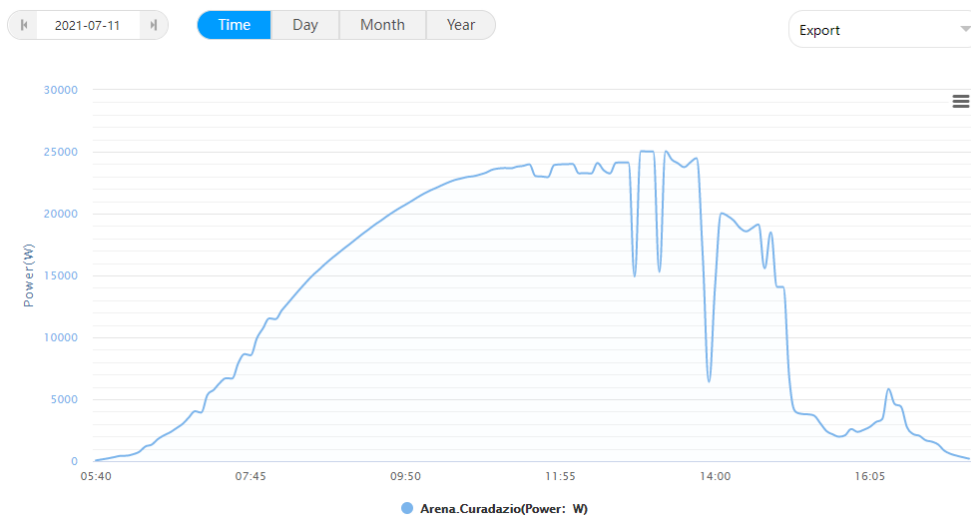
Através dos gráficos de potência ao longo do dia, era possível notar que a partir do momento que a sombra começava a avançar sobre os módulos da *strings*, começando por volta das 14 horas e 45 minutos, o sistema apresentava um decréscimo agudo na potência cc recebida, como mostram as Figuras 22 e 23.

Figura 22 - Potência instantânea ao longo do dia 10/07.



Fonte: server.growatt.com

Figura 23 - Potência instantânea durante o dia 11/07.



Fonte: server.growatt.com

Quando finalmente o cliente replantou os coqueiros em outra área e foi resolvido o problema do sombreamento na *string* 5, como mostra a Figura 24, foi possível observar um aumento na geração diária do sistema, foi quando o sistema chegou à valores de geração próximos aos valores para os quais ele foi dimensionado. como mostra o gráfico da Figura 25.

Figura 24 - String 5 após a remoção dos coqueiros.



Fonte: Autoria própria.

Figura 25 - Potência instantânea ao longo do dia 28/08.



Fonte: server.growatt.com

Comparando as médias de geração dos trinta dias que antecederam a poda dos coqueiros com média dos trinta dias que a sucederam foi observada um aumento de 6,42%.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo desse caso foi realizado ao longo dos primeiros meses de operação do sistema e agregou consideráveis experiências práticas para os envolvidos.

Todos os problemas enfrentados pela equipe relatados nesse estudo tiveram algo em comum: desde que o sistema foi ativado eles estavam lá, não foram problemas que apareceram com o tempo, mas a falta de experiência da empresa contratada como um todo fez com que levasse um tempo desnecessário para os problemas serem detectados e que viesse à tona a influência que cada um deles teve na redução da geração do sistema durante esses meses para só então investigar quais medidas deveriam ser tomadas a respeito de cada um dos problemas.

Uma equipe experiente e devidamente capacitada haveria detectado e/ou impedido que ocorressem os problemas aqui citados e o impacto negativo que cada um deles teve sobre o sistema, no projeto, durante a montagem e em um comissionamento do sistema feito corretamente poderiam ter sido evitados todos esses problemas. Mas as inconformidades foram detectadas e resolvidas uma de cada vez, apenas quando era solucionado um problema e era observado que o sistema ainda se comportava aquém do esperado, era que se tinha uma noção real do impacto de cada um deles e surgia a necessidade de investigar um outro fator que influenciava negativamente no comportamento do sistema.

Sem dúvidas os envolvidos diretamente na instalação e manutenção do sistema absorveram bastante experiência em relação ao que se deve fazer e quais cuidados tomar antes, durante e após a instalação de um sistema fotovoltaico, além de ver na prática a forma que cada situação influencia no comportamento de um sistema fotovoltaico.

REFERÊNCIAS

- ANEEL.; **Micro e Minigeração Distribuída**. Brasília: ANEEL. 2014.
- ANEEL. **Resolução Normativa nº 482, Pub. L. No. 482/2012**. Brasília. 2012.COELHO, A. K.;Artur K. Coelho. **Sobretensão ca em inversores**. Fotus Solar, 2020.
- COUTINHO, R. A.; NARDOTO, A. F.; PROVETI, J. R. C.; COURA, D. J. C.; **Efeito de sombreamento em módulos fotovoltaicos**. Belo Horizonte, 2016
- CRESESB. **ENERGIA SOLAR: Principios e aplicações**. Cepel - Sistema Eletrobras, 2015
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional**. Ministério de Minas e Energia, 2021.
- GROWATT (s.d.). **Manual de Operação e Instalação**, 2021
- HECKTHEUER. L. A.; **Análise de Associações de Módulos Fotovoltaicos**. UFRGS. 2001.
- TORTELLI. C.; **O efeito do sombreamento na eficiência do sistema**. *Universidade Tecnologica Federeal do Paraná*. 2016.
- Villalva, M. G., & Gazoli, J. R.; **Energia Solar Fotovoltaica** (1st ed.). São Paulo: Érica. 2012.
- Vinturini, M.; **Causas e efeitos da corrente reversa nos módulos fotovoltaicos**. 2016. <https://canalsolar.com.br/>.

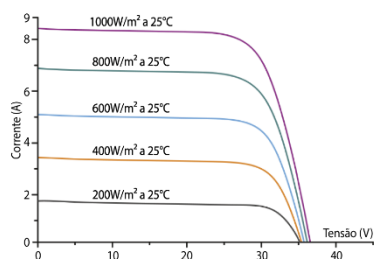
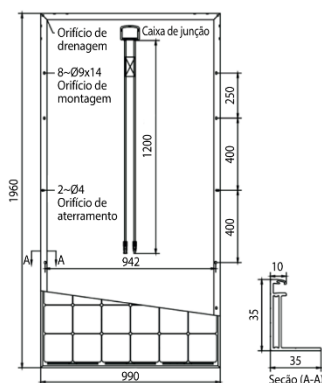
ANEXO 1: DATA SHEET 335P6K



P6K-36-SÉRIE-5BB

310 - 340W

156.75P



FICHA TÉCNICA

Célula	Policristalinas 156,75 x 156,75 mm (6,17 polegadas)
Número de células	72 (6 x 12) unidades
Dimensão do módulo	1960 x 990 x 35 mm (77,24 x 39,0 x 1,38 polegadas)
Peso	22,1 kg (48,62 Lb)
Vidro frontal	Vidro temperado de 3,2 mm com revestimento de AR
Estrutura	Liga de alumínio anodizado
Caixa de junção	IP67
Conector	IP67
Diodos bypass	3 unidades
Tipo de conector	Compatível com MC4
Área de seção do cabo	4 mm² (0,0062 Sq in)
Comprimento do cabo	2 x 1200 mm (2 x 47,2 polegadas)

COEFICIENTES DE TEMPERATURA

Condições nominais de temperatura de funcionamento da célula (NOCT)	45°C±2°C
Coefficiente de temperatura da corrente de curto-circuito	0,07%/°C
Coefficiente de temperatura da tensão de circuito aberto	-0,31%/°C
Coefficiente de temperatura de potência de pico	-0,39%/°C

INFORMAÇÕES SOBRE A EMBALAGEM

Embalagem	40' HC
Unidades / palete	26
Paleta / contêiner	22
Unidades / contêiner	660

ESPECIFICAÇÕES ELÉTRICAS – BYD P6K-36-SÉRIE-5BB

Tipo de módulo	310P6K-36	315P6K-36	320P6K-36	325P6K-36	330P6K-36	335P6K-36	340P6K-36
Tensão de circuito aberto (Voc)	45,79V	46,09V	46,39V	46,69V	46,98V	47,28V	47,58V
Tensão máxima de funcionamento (Vmp)	36,38V	36,58V	36,78V	36,98V	37,16V	37,35V	37,53V
Corrente de curto-circuito (Isc)	8,99A	9,07A	9,15A	9,23A	9,31A	9,39A	9,47A
Corrente de potência de pico (Imp)	8,52A	8,61A	8,70A	8,79A	8,88A	8,97A	9,06A
Potência máxima em STC (Pmax)	310 Wp	315 Wp	320 Wp	325 Wp	330 Wp	335 Wp	340 Wp
Eficiência do módulo	15,9%	16,2%	16,4%	16,7%	17,0%	17,2%	17,5%
Temperatura de operação	-40°C ~ 85°C						
Valor nominal da corrente máxima do fusível	15A						
Tensão máxima do sistema	1500 VCC						
Tolerância de saída de potência	0 ~ 5 W						
Classe de aplicação	Classe A						

Valores em condições de teste normalizadas STC: IRRADIÂNCIA de 1000W/m², temperatura do módulo de 25°C, AM (massa de ar) = 1,5. Redução média de eficiência de 4,5% a 200 W/m².



BYD ENERGY DO BRASIL

Av. Antônio Buscato, 230 – Terminal Intermodal de Cargas – CEP: 13069-119 – Campinas/SP

T +55 19 3514-2550
0800 942-8088

@ vendas@byd.com
sac@byd.com

e http://en.byd.com/br/

Versão 1.0.2018

ANEXO 2: CARACTERÍSTICAS DO INVERSOR

Modelo	Especificações		
	MID 20KTL3-X	MID 22KTL3-X	MID 25KTL3-X
Dados de entrada (CC)			
Máx. energia FV recomendada (para o módulo STC)	26000W	28600W	325000W
Máx. Tensão CC	1100V		
Tensão de partida	250V		
Tensão nominal	580V		
Faixa de tensão MPP	160-1000V		
Faixa de tensão em carga máxima	480-850V	520-850V	520-850V
Número de rastreadores MPP	2		
Número de cabos FV por rastreador MPP	2	2	2/3
Máx. corrente de entrada por rastreadores MPP	25	25	25/37.5
Máx. corrente de curto-circuito por rastreadores MPP	32	32	32/48
Dados de saída (CA)			
Potência nominal CA	20000W	22000W	25000W
Máxima CA aparente	22000VA	24400VA	27700VA
Tensão CA nominal/Faixa	230V/400V 340-440V		
Frequência da rede CA/Faixa	50/60 Hz 45~55Hz/55-65 Hz		
Máx. corrente de saída	31,9A	35,5A	40,2A
Fator de potência (@ potência nominal)	>0,99		
Fator de potência ajustável	0,8 capacitivo... 0,8 indutivo		
THDi	<3%		
Tipo de conexão da rede CA	3W+N+PE		
Eficiência			
Eficiência máx.	98,65%		
Euro-eta	98,3%		

ANEXO 3: PROTEÇÕES INCORPORADAS NO INVERSOR

Modelo	MID 20KTL3-X	MID 22KTL3-X	MID 25KTL3-X
Especificações			
Dispositivos de proteção			
Proteção de polaridade reversa CC	SIM		
Chave CC	SIM		
Proteção contra sobretensão CC	Tipo II		
Monitoramento de resistência de isolamento	SIM		
Proteção contra sobretensão CA	Tipo II		
Proteção contra curto-circuito CA	SIM		
Monitoramento de rede	SIM		
Proteção anti-ilhamento	SIM		
Unidade de monitoramento de corrente residual	SIM		
Fusível de proteção da sequência	SIM		
Monitoramento das séries	OPCIONAL		
Proteção AFCI	OPCIONAL		
Dados gerais			
Dimensões (L/A/P) em mm	525*395*222mm		
Peso	23 kg		
Faixa de temperatura operacional	-25°C... +60°C (> 45°C há redução da capacidade)		
Emissão de ruídos (típica)	≤40dB(A)		
Altitude	4000m		
Consumo interno à noite	1W		
Topologia	Transformerless		
Resfriamento	Arrefecimento por ventilador		
Grau de proteção dos eletrônicos	IP65		
Umidade relativa	0~100%		
Conexão CC	H4/MC4 (OPCIONAL)		
Conexão CA	Prensa-cabos + terminal OT		
Interfaces			
Tela	OLED+LED/WIFI+APP		
USB/RS485	SIM		
WIFI/GPRS/4G	OPCIONAL		