UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROJETO DE GRADUAÇÃO

THIAGO SALES ROCHA

ANÁLISE *EX SITU* E DETECÇÃO DE FALHAS EM *STRINGS* DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA *ON GRID*

VITÓRIA
2019

THIAGO SALES ROCHA

ANÁLISE *EX SITU* E DETECÇÃO DE FALHAS EM *STRINGS* DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA *ON GRID*

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Thiago Sales Rocha**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Domingos Sávio Lyrio Simonetti
Coorientador: Eng. Giullio Mazzocco Machado Silva

VITÓRIA
2019

THIAGO SALES ROCHA

ANÁLISE *EX SITU*E DETECÇÃO DE FALHAS EM *STRINGS* DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA *ON GRID*

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Thiago Sales Rocha**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Aprovada em 19 de dezembro de 2019.

COMISSÃO EXAMINADORA:

_____

Prof. Dr. Domingos Sávio Lyrio Simonetti
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES
Orientador

_____

Eng. Giullio Mazzocco Machado Silva
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES
Coorientador

_____

Prof. Dr. Hélio Marcos André Antunes
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES
Examinador

_____

Eng.ª Ana Luiza Corte
Aevo Solar
Examinadora

À minha família.

Agradeço primeiramente à Deus por tudo que conquistei até o momento. À minha mãe Marilda, meu pai Evai e minha irmã Juliette por tudo, desde o meu nascimento. Agradeço à minha namorada Dayane, pela compreensão nos momentos que estive ausente e por sempre me apoiar. Agradeço ao meu querido irmão Sargento Jomar Barbosa (em memória), que sempre esteve presente em minha vida e que hoje se faz presente em meu coração.

Ao meu orientador Prof. Dr. Domingos, por todo o conhecimento que compartilhou comigo no decorrer dos anos, por sempre conseguir horários para me atender, pelos momentos de cafés e comemorações nas vitórias do Flamengo. Um grande amigo que abriu portas quando muitas estavam fechadas. Pessoa que tem minha eterna gratidão e respeito, e que tenho orgulho de chamar de “chefe”.

Ao meu coorientador Giullio, pela amizade de alguns anos e pela ajuda neste projeto de graduação.

À Prof. Dra. Raquel Frizera Vassallo, pelas conversas, conselhos e brincadeiras.

À minha queria avó Dra. Marlene e seu filho Rodrigo, por sempre me darem suporte, me inspirarem e me tratarem como se eu realmente fosse membro da família deles.

As amizades que fiz no decorrer dos anos durante a graduação e que se tornaram amigos do peito, Alefe, Fabricio, Fran, Hebertt, João Paulo, Leonardo, Mari Birro e Rodolpho.

Aos amigos que fiz nos ambientes de trabalho, Ângelo, Diego, Daniel, Gustavo, Jeferson, Mamutty, PC, Penélope e Vitor.

Aos professores, pelos conhecimentos transmitidos que se tornaram pilares para a minha formação. Aos companheiros do LEPAC, Arthur, Carletti, Odair e Thiago Amorim.

RESUMO

Este projeto de graduação apresenta um sistema computacional para análise *ex situ* (análise fora do local) dos dados provenientes de uma microusina de geração fotovoltaica. Este trabalho propõe uma solução para identificação de anomalias entre as *strings* (encadeamento de módulos fotovoltaicos) conectadas ao inversor. Para um acompanhamento mais detalhado de usinas de micro e minigeração fotovoltaica, faz-se necessário gerar outras informações além das obtidas por meio dos sistemas de monitoramento que incorporam os inversores. Os sistemas incorporados nos inversores atuais são capazes de emitirem alguns tipos de alertas, para indicar se o inversor está desconectado, se está sendo atualizado, se está operando normalmente ou não porém, não possuem alertas que avaliam a produção das *strings* que compõe a usina fotovoltaica. Uma pessoa que possui um sistema de geração ou uma empresa que acompanha as usinas geradoras próprias e de seus clientes, não consegue ter acesso às informações se uma ou mais *strings* de seu sistema estão com um rendimento inferior em relação às outras. Se uma *string* operar constantemente com rendimento menor que as demais, irá gerar prejuízo financeiro para o usuário aumentando, assim, o tempo de retorno do investimento feito para implantar o sistema. Esta proposta, ao ser utilizada, irá auxiliar na previsão de manutenções preventivas e corretivas e acompanhar o rendimento dos sistemas dos clientes que buscam os serviços da empresa na área de geração fotovoltaica de energia. Exemplos são apresentados empregando dados adaptados, e também dados reais, permitindo a compreensão da proposta.
A pesquisa foi desenvolvida em cima de dados fictícios de geração e comparadas com dados reais de uma microusina fotovoltaica.

Palavras-Chave: Geração Fotovoltaica. Painel Solar. Análise CC. Monitoramento de Geração.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ranking dos países que mais investiram em energia solar em 2017 15
Figura 2 – Célula solar monocristalina, policristalina e cristal amorfo, respectivamente 17
Figura 3 – Circuito equivalente do painel solar 19
Figura 4 – Painéis associados em série 22
Figura 5 – Painéis associados em paralelo 23
Figura 6 – *Strings:* painéis associados conectados ao inversor 23
Figura 7 – Sombreamento temporário diário causado pela edificação 25
Figura 8 – Referência para disparo do alerta (3,28 A) 26
Figura 9 – Alerta através do *dashboard* 27
Figura 10 – Alerta por e-mail. 27
Figura 11 – Fluxograma funcionamento do sistema 28
Figura 12 – Notificação do sistema por e-mail 41
Figura 13 – Notificação do sistema por aplicativo 41
Figura 14 – Notificação do sistema pelo *dashboard* 42
Figura 15 – Usina instalada no telhado 43
Figura 16 – Painel solar e inversor que compõe a usina 44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Matriz energética brasileira – decomposição nas diversas fontes de energia. 13
Gráfico 2 – Potência instalada de geração fotovoltaica distribuída no Brasil 14
Gráfico 3 – Geração distribuída por classe de consumo no Brasil 16
Gráfico 4 – Curva característica da corrente em função da tensão em um painel solar 18
Gráfico 5 – Curva característica da potência em função da tensão de um painel solar 18
Gráfico 6 – Efeito da irradiação na corrente entregue pelo painel solar 19
Gráfico 7 – Efeito da irradiação na potência fornecida pelo painel solar 20
Gráfico 8 – Influência da temperatura na tensão entregue pelo painel solar 20
Gráfico 9 – Influência da temperatura na potência fornecida pelo painel solar 21
Gráfico 10 – Irradiância solar em um dia de céu aberto 21
Gráfico 11 – Comportamento da corrente, potência e tensão de acordo com a irradiância ... 29
Gráfico 12 – Isc, Voc e Pmax em função da temperatura 30
Gráfico 13 – Correntes (a) e potências (b) do primeiro dia da primeira semana 31
Gráfico 14 – Correntes (a) e potências (b) do segundo dia da primeira semana 32
Gráfico 15 – Correntes (a) e potências (b) do quinto dia da primeira semana 33
Gráfico 16 – Correntes (a) e potências (b) do segundo dia da segunda semana 34
Gráfico 17 – Correntes (a) e potências (b) do terceiro dia da segunda semana 35
Gráfico 18 – Correntes (a) e potências (b) do sétimo dia da segunda semana 36
Gráfico 19 – Correntes (a) e potências (b) do primeiro dia da terceira semana 38
Gráfico 20 – Correntes (a) e potências (b) do segundo dia da terceira semana 39
Gráfico 21 – Correntes (a) e potências (b) do sexto dia da terceira semana 40
Gráfico 22 – Painel I do *dashboard* 45
Gráfico 23 – Painel II do *dashboard* 45
Gráfico 24 – Histórico de geração diária da *string I* 46
Gráfico 25 – Histórico de geração diária da *string II* 46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo da Simulação..... 42
Quadro 2 – Dados dos módulos e inversor que compõe a planta.....44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados levantados para simulação do sistema 51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
DPS	Dispositivo de Proteção Contra Surtos
IGBT	*Insulated Gate Bipolar Transistor*
IGCT	*Integrated Gate-Commutated Thyristors*
MOSFET	*Metal Oxide Semiconductor Field Effet Transistor*
MPP	*Maximum Power Point*
MPPT	*Maximum Power Point Tracking*
PN	Semicondutores do tipo P e do tipo N
Wp	Watt-pico

LISTA DE SÍMBOLOS

P_{mp}	Ponto de máxima potência
I_{SC}	Corrente de curto circuito (A)
V_{oc}	Tensão de circuito aberto (V)
I_f	Corrente da fonte (A)
I_D	Corrente que circula pelo diodo (A)
R_p	Resistência conectada em paralelo (Ω)
I_{RP}	Corrente que circula no diodo em paralelo (A)
I_L	Corrente de saída do painel (A)
R_s	Resistência conectada em séria (Ω)
V	Tensão (V)
Io	Corrente de saturação reversa do diodo (A)
N	Número de painéis por *string*
ns	Número de células solares em série que constituem um módulo fotovoltaico
m	Fator de idealidade do diodo (adimensional), sendo $m \in [1,2]$
k	Constante de Boltzmann ($1{,}380 \times 10^{-23}$ J/K)
T	Temperatura do painel solar (K)
q	Carga elementar do elétron ($1{,}6 \times 10^{-19}$ C)
P_{max}	Potência máxima em função da temperatura
P(t)	Potência em função da temperatura (W)
T_c	Temperatura do painel (ºC)
G	Irradiância, W/m^2
Vmpp	Tensão no ponto de máxima potência (V)
V_{MPP}(str)	Tensão de máxima potência por *string* simulada (V)
V_{MPP}	Tensão de máxima potência por painel simulado (V)
I_{MPP}	Corrente de máxima potência por painel simulado (A)
P_{MPP}	Potência máxima por painel simulado (W)

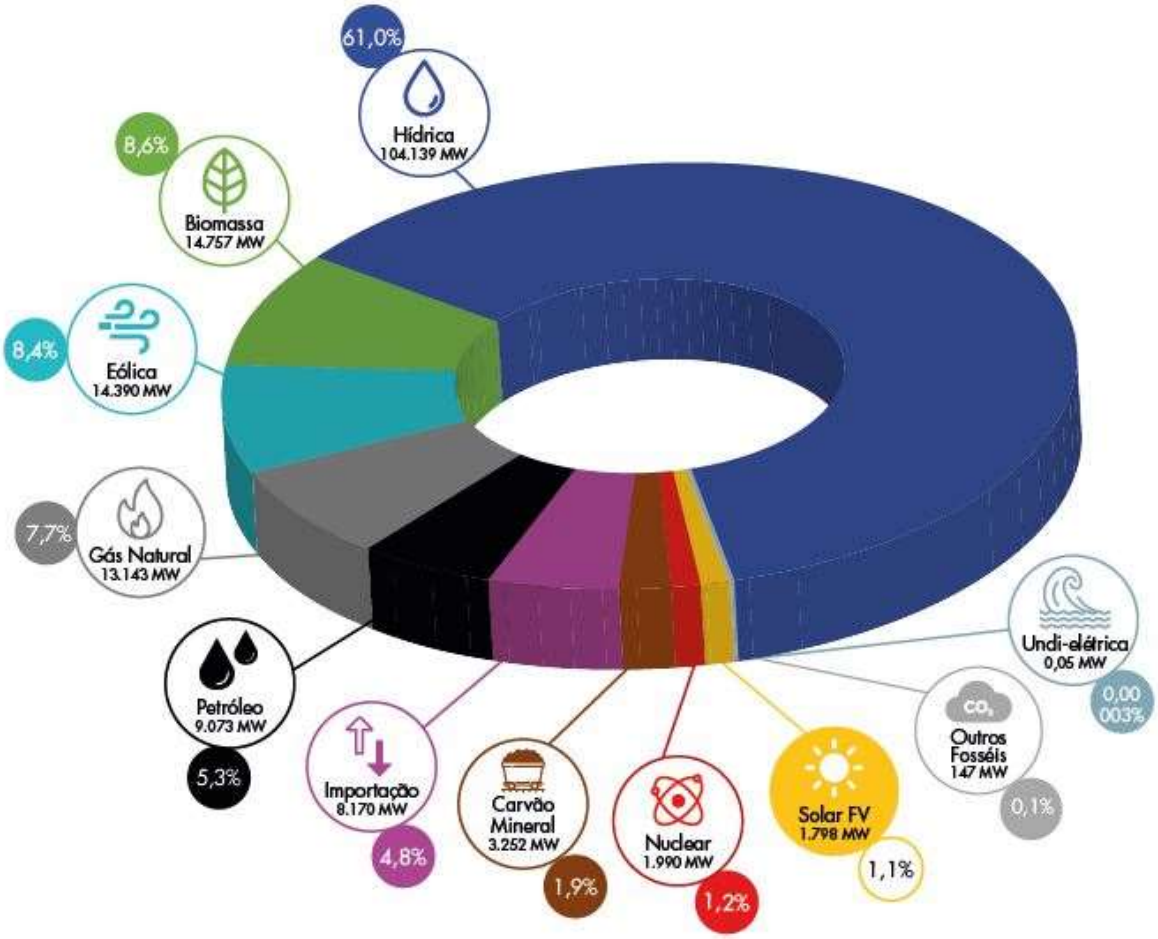
SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **13**
1.1 Objetivos do Trabalho **16**
1.1.1 Objetivo Geral 16
1.1.2 Objetivos Específicos 16
2 COMPOSIÇÃO DO SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA **17**
2.1 Painel Fotovoltaico **17**
2.1.1 Associação de Painéis Fotovoltaicos 22
2.2 Inversor **23**
2.3 Proteção do Sistema de Geração Fotovoltaica **24**
3 PROBLEMA E DETALHAMENTO DA PROPOSTA **25**
3.1 Problema **25**
3.2 Detalhamento da Proposta **26**
4 ANÁLISE COM DADOS DE SIMULAÇÃO **29**
4.1 Análise da Primeira Semana **31**
4.2 Análise da Segunda Semana **34**
4.3 Análise da Terceira Semana **37**
5 PLANTA ANALISADA **43**
5.1 Localização da Usina **43**
5.2 Composição da Usina **43**
5.3 Aplicação na Planta **44**
6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS **47**
6.1 Conclusão **47**
6.2 Trabalhos Futuros **48**
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **49**
APÊNDICE A – DADOS LEVANTADOS PARA SIMULAÇÃO **51**
APÊNDICE B – DIAGRAMA UNIFILAR DA PLANTA **58**
APÊNDICE C – IMPLEMENTAÇÃO DO *DASHBOARD* **69**
ANEXO A – *DATASHEET* MÓDULO FOTOVOLTAICO DA PLANTA **60**
ANEXO B – *DATASHEET* INVERSOR DA PLANTA **62**
ANEXO C – *DATASHEET* MÓDULO FOTOVOLTAICO SIMULAÇÃO 64

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a matriz energética brasileira é bem diversificada no que se diz respeito a fontes primária de geração de energia elétrica. Apesar da variedade, a hídrica é responsável por mais de 60% da geração de energia elétrica do país, como pode ser visto no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Matriz energética brasileira – decomposição nas diversas fontes de energia

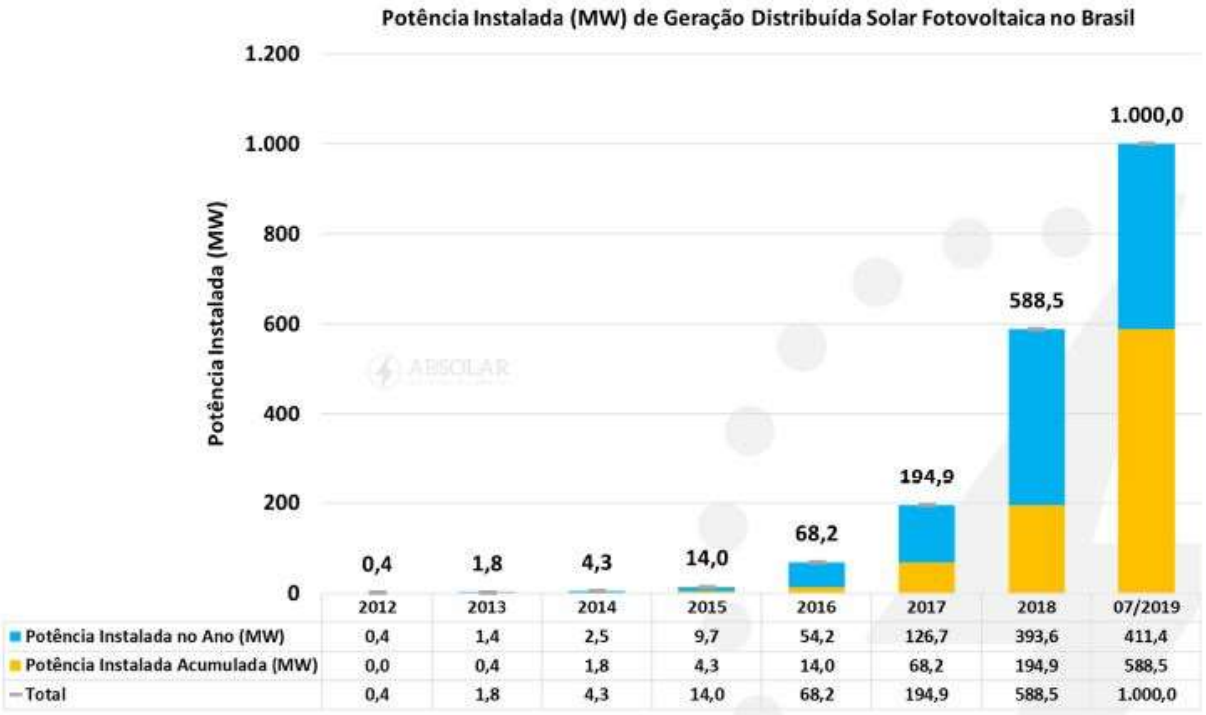


Fonte: ABSOLAR (2019).

Dia a dia aumenta-se o consumo de energia elétrica. E, juntamente a isso, também aumenta a necessidade de gerar e distribuir essa geração de energia de modo que atenda à demanda e, além disso, de maneira que preserve o meio ambiente. Com isso, o uso de painéis fotovoltaicos vem crescendo significativamente nos últimos anos por meio da geração fotovoltaica (EPE, 2016), sistema de geração dependente do sol, que é uma fonte inesgotável de energia, e de baixo impacto ambiental (COSTA, 2010).

Em 2012, a ANEEL publicou a Resolução Normativa 482 que, basicamente, configurou o sistema de energia solar fotovoltaica no Brasil por meio dos minis e microgeradores que passaram a ficar interligados à rede elétrica da concessionária local. Com isso, o ano 2012 passou a ser a base para cálculos e análises de potência instalada no Brasil. O Gráfico 2 mostra o desenvolvimento da potência instalada de geração distribuída de energia fotovoltaica no Brasil desde então, e nota-se que em oito anos ocorreu um aumento muito significante, chegando a 1.000 MW de potência instalada.

Gráfico 2 – Potência instalada de geração fotovoltaica distribuída no Brasil



Fonte: ABSOLAR (2019).

No fim de 2017, o Brasil ocupava a décima posição do Top-10 dos países que mais investiram em energia solar, com uma diferença bem grande entre os quatro primeiros do *ranking* conforme mostrado na Figura 1.

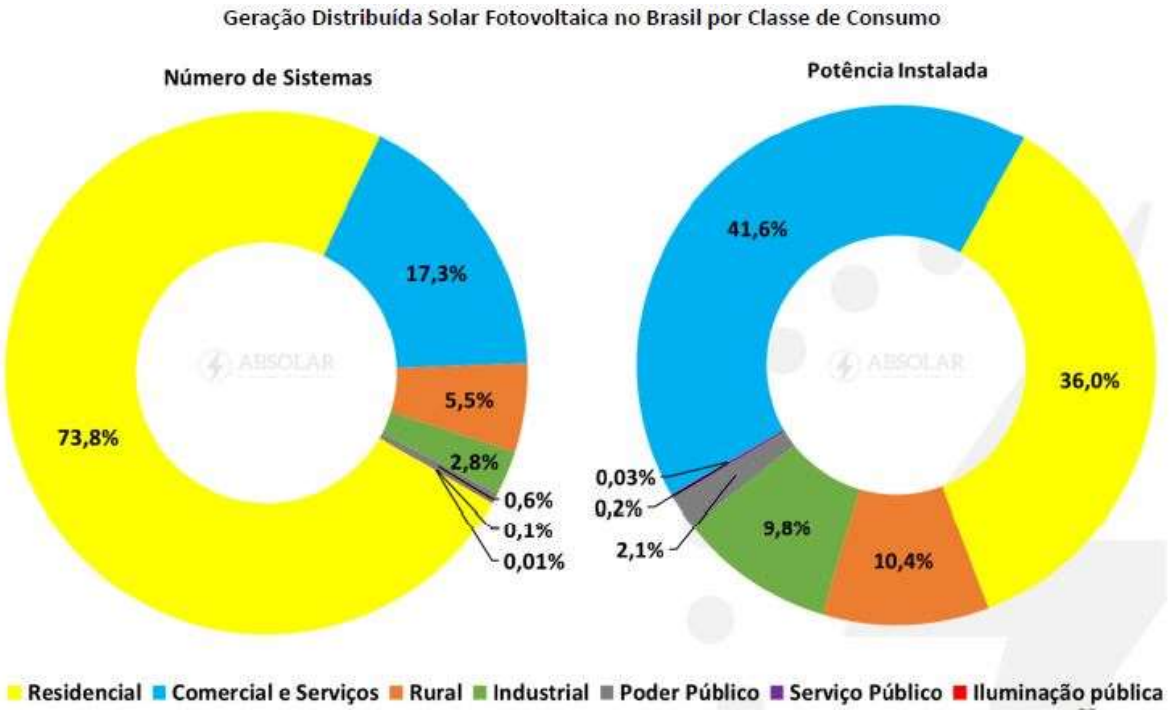
Figura 1 – *Ranking* dos países que mais investiram em energia solar em 2017

Fonte: ABSOLAR (2018).

Já em 2018, o Brasil passou a ser o décimo primeiro país que mais investiu em energia solar no ano instalando 1,2 GW e totalizando 2,4 GW de capacidade instalada.

O Gráfico 3, é mostrada a distribuição da geração fotovoltaica por faixa de consumo. Mostra-se que o Brasil possui, em sua grande maioria, sistemas instalados em residências, porém, ao analisar a quantidade de potência instalada, ela é maior nos comércios e serviços. A área pública é a que menos investe e usufrui da geração fotovoltaica.

Gráfico 3 – Geração distribuída por classe de consumo no Brasil



Fonte: ANEEL/ABSOLAR, (2019).

A produção de energia em uma usina solar depende, como será detalhado no capítulo três, da irradiância solar que alcança os painéis fotovoltaicos bem como da temperatura. Em muitas situações a ocorrência de sombreamento em parte dos painéis que compõem a usina compromete significativamente a produção total. Conseguir identificar tais situações permite que de forma mais rápida se consiga sanar o problema, se tiver característica persistente.

1.1 Objetivos do Trabalho

1.1.1 Objetivo Geral

Identificou-se sombreamento persistente em encadeamentos de painéis fotovoltaicos (*strings*).

1.1.2 Objetivos Específicos

- Analisou-se a geração de corrente e potência em strings fotovoltaicos.

- Verificou-se a ocorrência de sombreamento permanente em alguma string por comparação com os pares.

- Gerou-se sinais de alerta sempre que a disparidade de geração ultrapassar limites estabelecidos como normais.

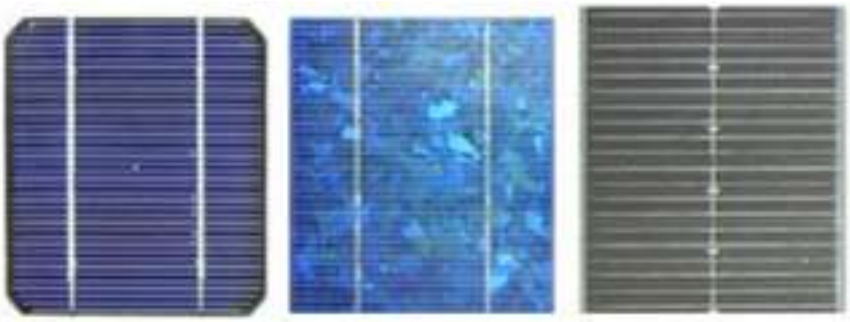
2 COMPOSIÇÃO DO SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Neste capítulo será abordado os itens que fazem parte da composição de um sistema de geração fotovoltaica *on grid*, juntamente com suas devidas funções.

2.1 Painel Fotovoltaico

Painéis solares são constituídos por uma associação de células solares, em sua grande maioria fabricadas com silício, e constituídas principalmente de cristais monocristalinos, policristalinos e amorfos, conforme mostrado na Figura 2. Células solares são dispositivos semicondutores responsáveis por converter a energia solar (eletromagnética) em energia elétrica.

Figura 2 – Célula solar (a) monocristalina, (b) policristalina e (c) cristal amorfo

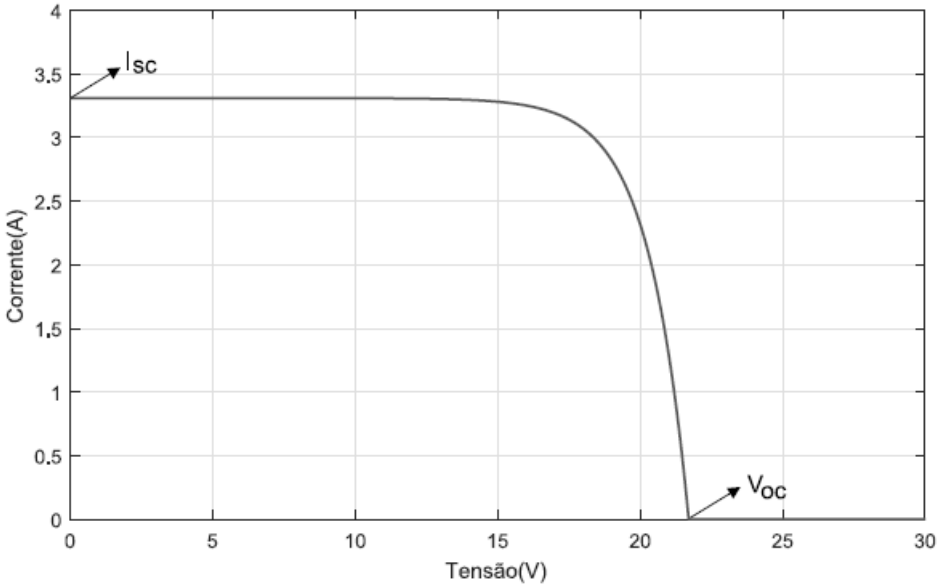


(a) (b) (c)

Fonte: Valente (2011).

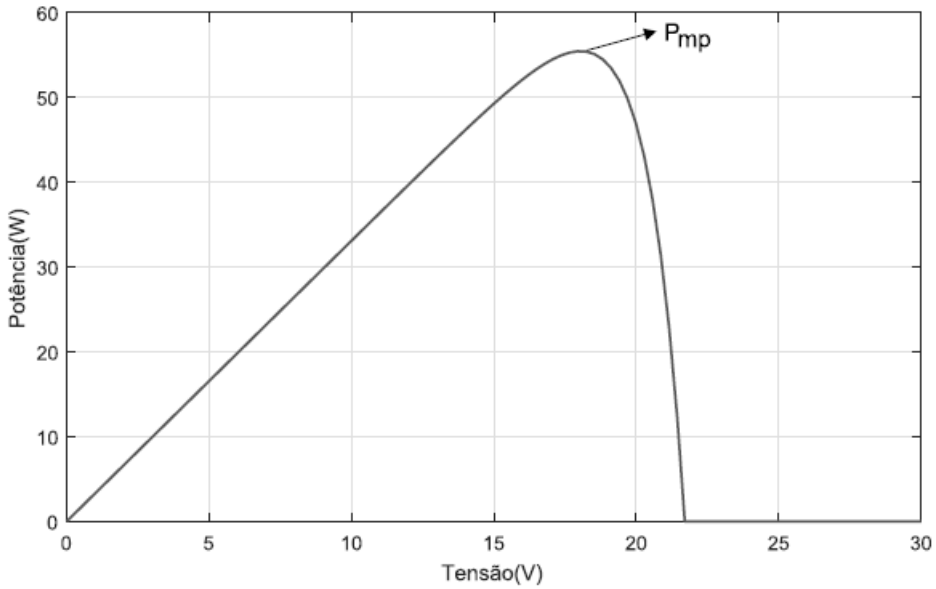
A eficiência de geração de um painel solar é afetada pela influência de mecanismos de perda que dependem da temperatura e da radiação. Para melhor aproveitamento dos painéis, reduzem-se ao máximo as perdas das células, que ocorrem devido à junção PN, às impurezas do cristal, às perdas por corrente parasita e, também, às perdas ôhmicas do material semicondutor. Em operação, a tensão de saída nos terminais não é constante, bem como a corrente de saída, pois dependem da temperatura e irradiância que chegam ao painel, respectivamente e do seu ponto de operação (curva de carga associada). Com isso, o melhor ponto de operação do painel (ponto onde se consegue maior eficiência energética) varia de acordo com radiação solar e temperatura. Em cada instante da variação solar, existe apenas um ponto de máximo. O Gráfico 4 apresenta o comportamento típico da corrente em função da tensão em um painel fotovoltaico para uma dada condição de irradiância e temperatura, e o Gráfico 5 apresenta o comportamento da potência em função da tensão do painel. P_{mp} é o ponto em que a potência gerada será máxima.

Gráfico 4 – Curva característica da corrente em função da tensão em um painel solar



Fonte: Heringer (2016).

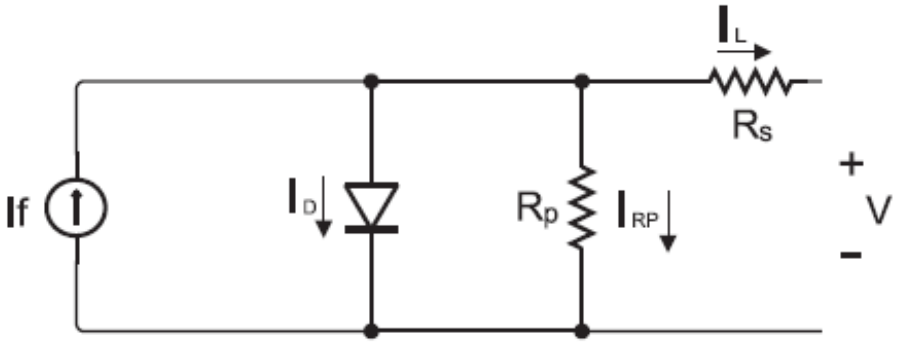
Gráfico 5 – Curva característica da potência em função da tensão de um painel solar



Fonte: Heringer (2016).

Dentre algumas topologias usuais de circuitos equivalentes de um painel solar, a mais utilizada é a do modelo com um diodo (VILLALVA; GRAZOLI, 2015), mostrado na Figura 3.

Figura 3 – Circuito equivalente do painel solar



Fonte: Heringer (2016).

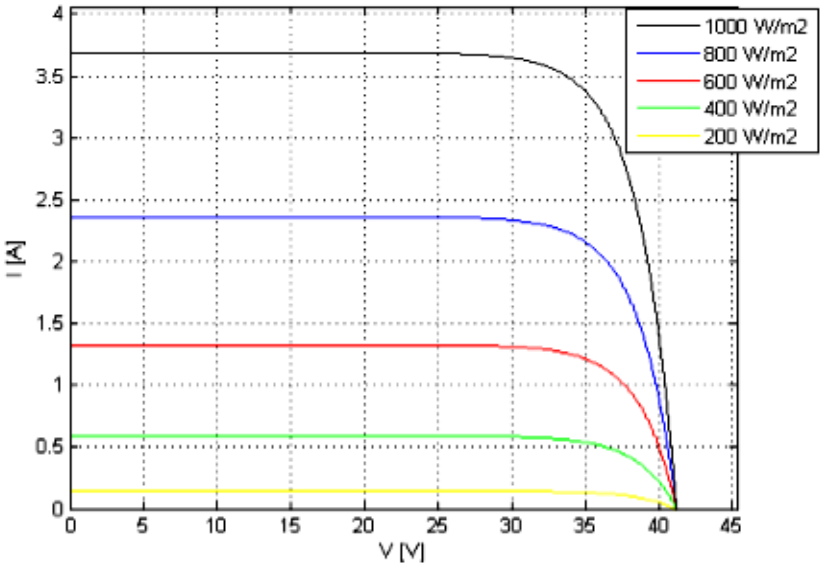
Segundo Heringer (2016), este circuito pode ser equacionado conforme mostrado nas equações (1) e (2).

$$I_L = I_f - I_O.[e^{\left(\frac{V+I.Rs}{ns.m.Vt}\right)-1}] - \frac{V + I.R_S}{R_p} \quad (1)$$

$$V_t = \frac{k.T}{q} \quad (2)$$

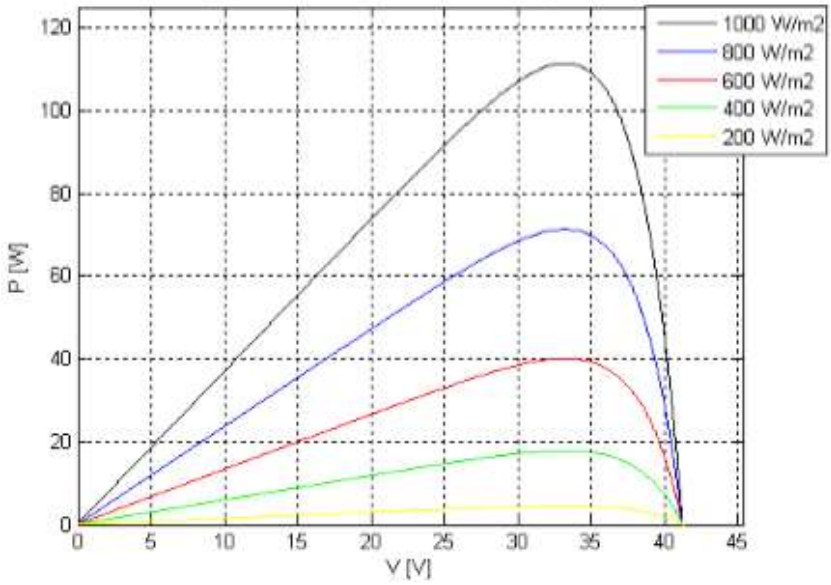
A irradiação solar impacta diretamente na corrente fornecida pelo painel solar. Os Gráficos 6 e 7 mostram o efeito da irradiância na corrente fornecida pelo painel e na potência gerada, respectivamente, para alguns valores de irradiância. Quanto menor for a irradiação, menor será a corrente gerada e, consequentemente, menor será a potência fornecida pelo painel.

Gráfico 6 – Efeito da irradiação na corrente entregue pelo painel solar



Fonte: Valente (2011).

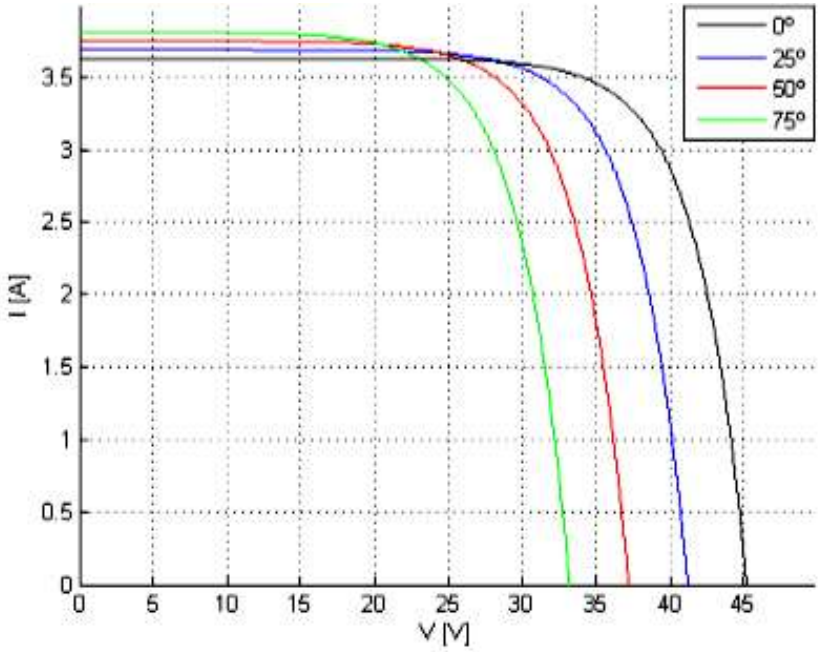
Gráfico 7 – Efeito da irradiação na potência fornecida pelo painel solar



Fonte: Valente (2011).

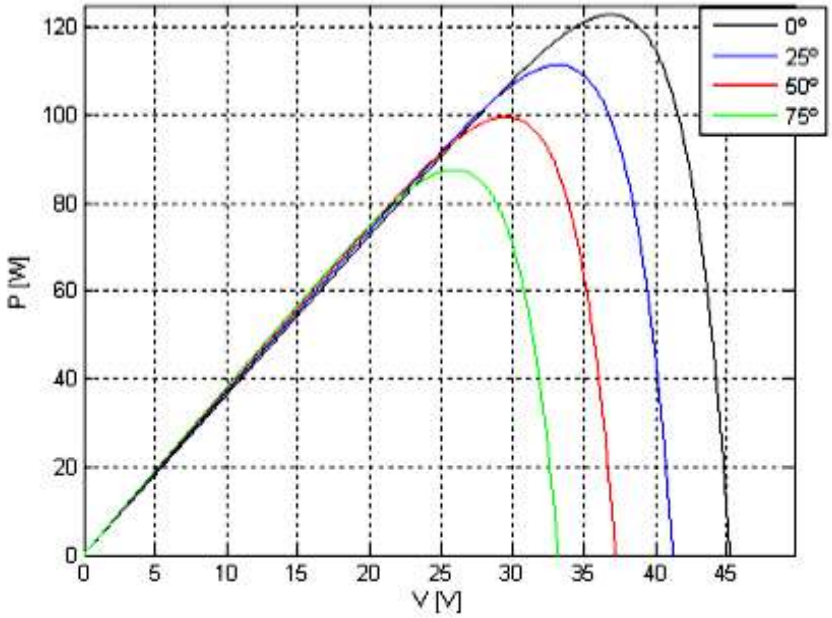
A temperatura influencia diretamente na variação da tensão entregue pelo painel. Temperatura e tensão do painel são grandezas inversamente proporcionais, como mostrado nos Gráficos 8 (tensão) e 9 (potência).

Gráfico 8 – Influência da temperatura na tensão entregue pelo painel solar



Fonte: Valente (2011).

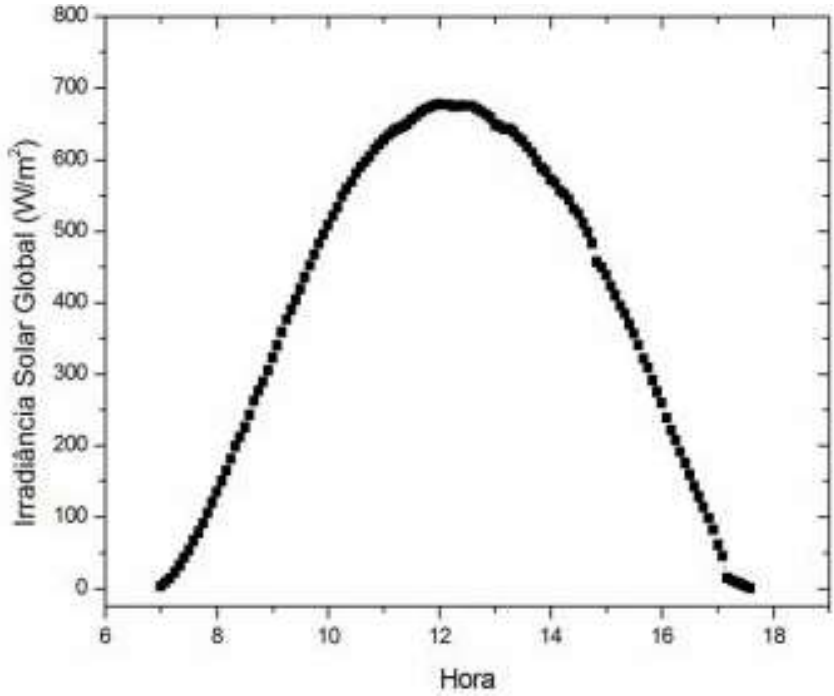
Gráfico 9 – Influência da temperatura na potência fornecida pelo painel solar



Fonte: Valente (2011).

Apesar da irradiação solar estar presente em grande parte do dia, a sua intensidade e seu ângulo de incidência no painel variam. Não é possível obter potência constante durante todo o período do dia, havendo assim horários de máxima e mínima potência gerada. Como exemplo, o Gráfico 10 mostra a curva de irradiância no dia 02/07/2005, em um dia de céu aberto.

Gráfico 10 – Irradiância soar em um dia de céu aberto (02/07/2005)



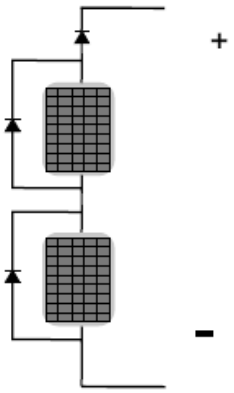
Fonte: Penteado, Escobedo e Pai (2011).

2.1.1 Associação de Painéis Fotovoltaicos

Para geração em escalas elevadas, necessita-se efetuar associação de painéis. Para obter tensões de saída maiores, faz-se uma associação em série, conforme ilustrado na Figura 4. A tensão de saída se dá pela soma de tensão entregue por cada painel (CASARO; MARTINS, 2008). Neste caso, a corrente entregue pela associação será a corrente do painel com menor capacidade de geração de corrente. Com isso, tem-se a necessidade de sempre usar painéis de mesma potência e fabricante.

Para reduzir o efeito por sombreamento, é utilizado, em paralelo com os módulos os diodos de *by-pass*, ou também chamado de diodo de passagem, para desviar painéis parcialmente ou completamente sombreados para evitar que a queda da corrente produzida por um painel devido à sombra afete os outros módulos.

Figura 4 – Painéis associados em série

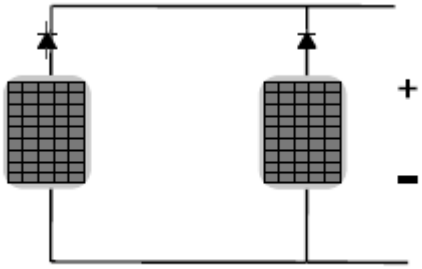


Fonte: Heringer (2016).

Para aplicações com maiores demandas de corrente, utiliza-se a associação em paralelo, conforme ilustrado na Figura 5. A tensão de saída quase não se altera (podendo ser desconsiderada a alteração), já a corrente total entregue pela associação será a soma das correntes de cada módulo associado (CASARO; MARTINS 2008).

Com o intuito de não correr o risco de ter uma possível corrente no sentido inverso circulando pelo painel (painel operando como carga), é usado um diodo em série com as células chamado diodo de bloqueio, impedindo correntes reversas que podem ocorrer quando por exemplo, conecta-se módulos diretamente a uma bateria.

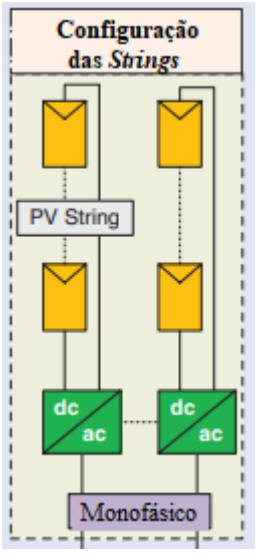
Figura 5 – Painéis associados em paralelo



Fonte: Heringer (2016).

Usualmente, utiliza-se as duas configurações para se obter maiores valores de tensão e corrente simultaneamente. A Figura 6 ilustra uma das possíveis configurações de associação.

Figura 6 – *Strings:* painéis associados conectados ao inversor



Fonte: Cadaval e outros (2013).
Nota: Adaptada pelo próprio autor.

2.2 Inversor

Também chamado de "coração do sistema de geração fotovoltaica", é um equipamento que tem como principal função a conversão da corrente CC em CA. Além dessa função, ele também tem a responsabilidade de otimizar a energia produzida através do algoritmo de rastreamento da máxima potência e fornecer dados da produção, se conectado à *internet* .

Ele possui em sua composição chaves eletrônicas como transistores tipo IGBT, IGCT ou MOSFET, além de um sistema inteligente embarcado capaz de se conectar com uma rede local e fornecer dados momentâneos de sua geração.

Existem dois tipos de inversores voltados para a geração fotovoltaica. O inversor *Off-Grid* é utilizado em sistemas autônomos e desconectados da rede elétrica. Para sistemas que fazem uso deste inversor, deve-se também fazer uso de um banco de baterias para o armazenamento da energia gerada e um controlador de carga para fazer o gerenciamento da corrente elétrica que alimenta a bateria e o inversor (BESSO, 2017). Já o outro modelo é o inversor *On Grid* ou *Grid Tie*, que é utilizado em sistemas de micro e minigeração e que é conectado à rede elétrica de distribuição, podendo ser híbridos (preparado para futuramente acoplar baterias) ou não. Ele opera em sincronia com a rede elétrica, que serve como referência de tensão e frequência. Quando há falta na rede elétrica, ele ativa sua função de anti-ilhamento e se auto desconecta da rede. Para compor um sistema de geração *On Grid*, deve atender à norma NBR IEC 60529 – Graus de proteção para invólucros de equipamentos elétricos, no mínimo IP-55. Além disso, devem possuir eficiência mínima de 94% (RESENDE, 2017).

Os inversores utilizam conversores CC-CC com um algoritmo chamado de MPPT que é capaz de rastrear o ponto de máxima potência do sistema, de acordo com os diferentes valores de irradiância e temperatura. Com isso permitem o aumento da eficiência energética das *strings* conectadas a estes equipamentos e maior geração de energia.

2.3 Proteção do Sistema de Geração Fotovoltaica

Um item importante no sistema fotovoltaico é a proteção do sistema que é feito através da *string box*. A *string box* é um equipamento de proteção composto por uma chave seccionadora, DPS e fusíveis, que isolam o sistema de geração com a função de impedir que se propague no sistema acidentes de natureza elétrica como curto-circuito e surtos elétricos. É obrigatório o uso da *string box* nos sistemas de geração *On Grid*, tanto no lado CC quando CA do inversor.

3 PROBLEMA E DETALHAMENTO DA PROPOSTA

3.1 Problema

O problema abordado neste projeto de graduação consiste na produção energética diferenciada entre *strings* presentes em um mesmo sistema fotovoltaico.

Considerando que, a princípio e exceto por fatores aleatórios e rápidos, as *strings* localizadas em um mesmo setor devem apresentar mesma resposta de geração de energia, quando ocorre diferença significativa e persistente entre a produção das *strings* é indicativo de problema na *string* menos produtiva.

Quando, por algum fator adverso, um painel em uma *string* é danificado de um módulo ou setor de módulos é submetido a sombreamento permanente devido a deposição de fezes de pássaros e falhas, na superfície do painel há uma queda na produção de energia do sistema que deve ser identificada o quanto antes para evitar maiores prejuízos financeiros ao cliente. Outros fatores que também afetam a produção de energia são árvores, ampliação/construção de edificações no entorno da usina fotovoltaica, pois também causam sombreamento parcial em parte do dia, como mostrado na Figura 7.

Figura 7 – Sombreamento temporário diário causado pela edificação

Fonte: Produzido pelo próprio autor.

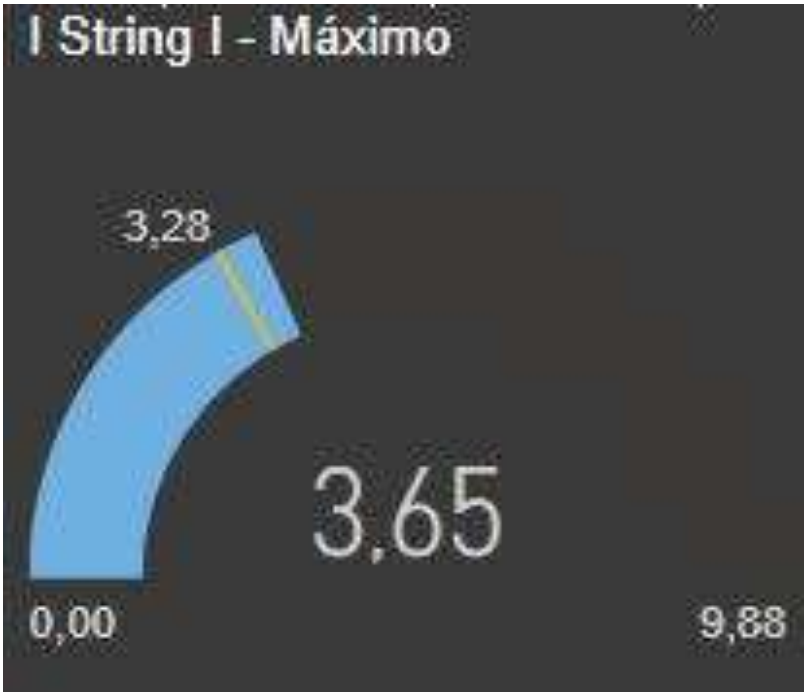
Em tais situações, o sistema operará com geração abaixo de sua possibilidade, o que leva a um aumento do tempo de retorno do investimento.

3.2 Detalhamento da Proposta

A proposta consiste em acompanhar diariamente a geração de energia elétrica das diversas *strings* que compõem um sistema fotovoltaico por meio de painéis de um *dashboard* criado no *software Microsoft Power Bi*.

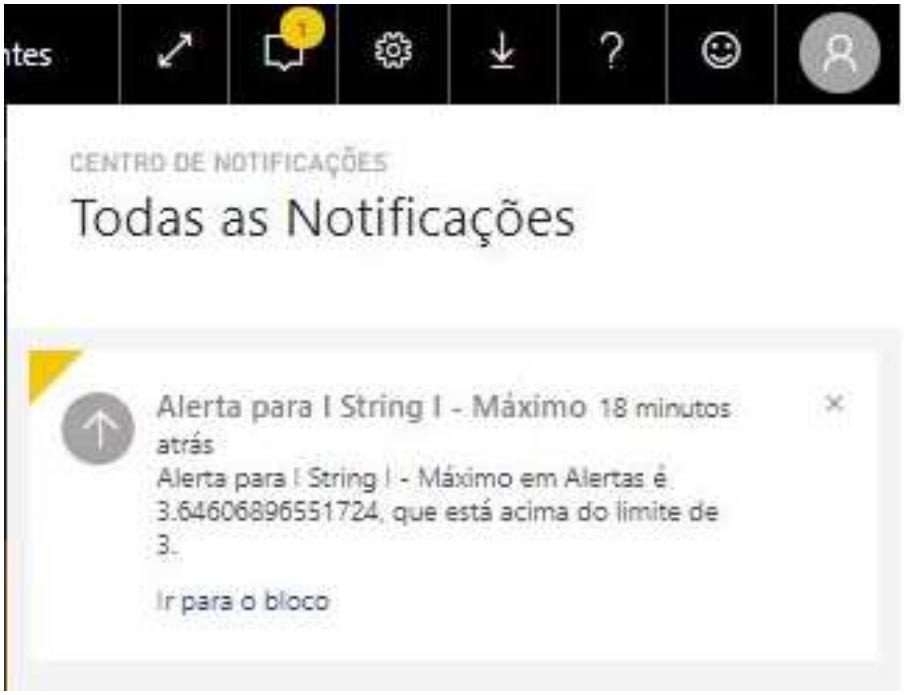
Define-se um percentual aceitável de diferença na média diária de geração entre as *strings* que poderá ser considerado operação equivalente entre elas. Quando a diferença de geração ultrapassar o nível definido com referência (marcação em laranja), como mostrado na Figura 8, ocorrerá a sinalização do ocorrido ao gestor da unidade. Este alerta será do tipo visual no *dashboard* e também pelo e-mail, conforme apresentado nas Figuras 9 e 10.

Figura 8 – Referência para disparo do alerta (3,28 A)



Fonte: Produzido pelo próprio autor.

Figura 9 – Alerta através do *dashboard*



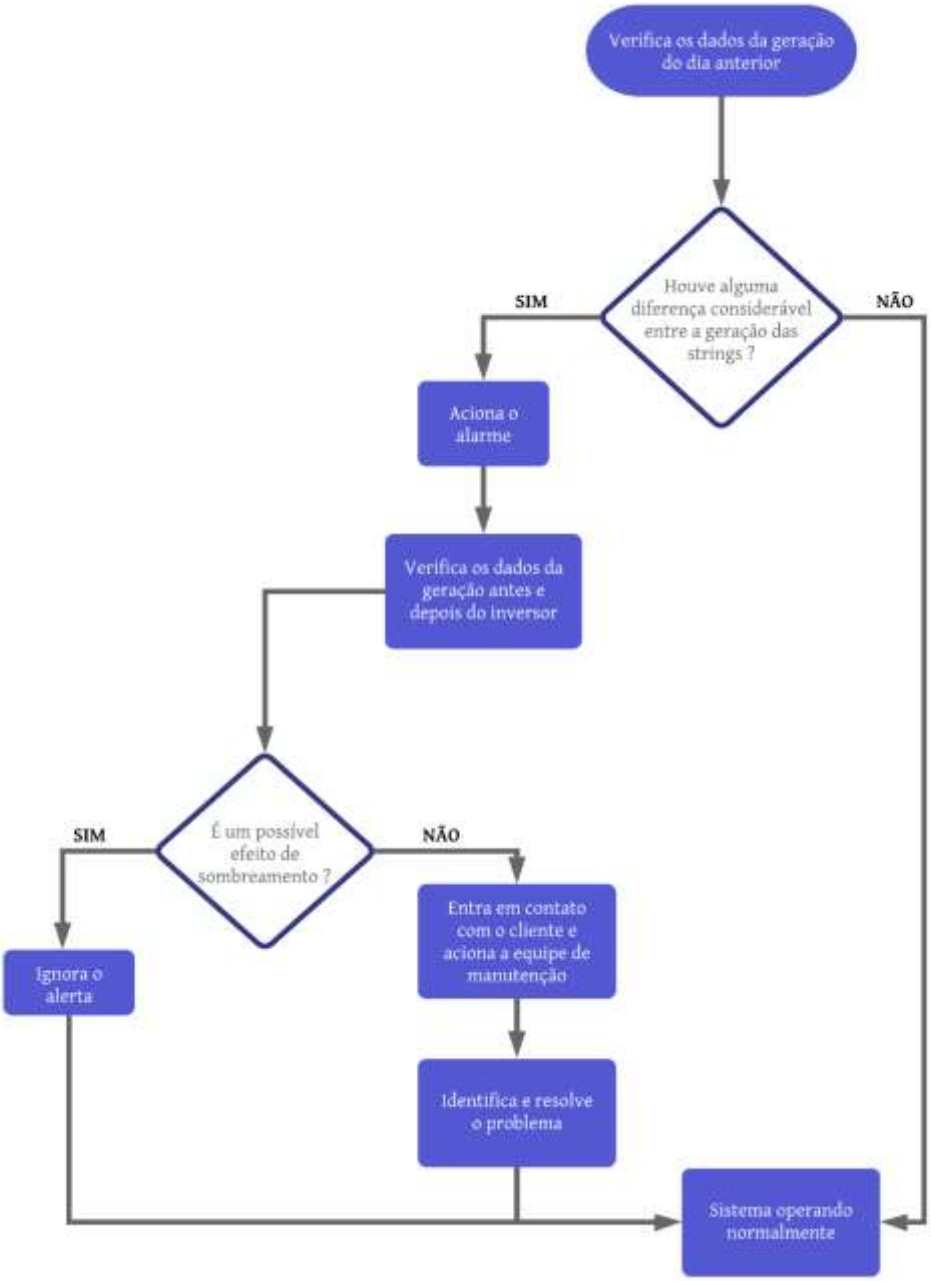
Fonte: Produzido pelo próprio autor.

Figura 10 – Alerta por e-mail

Fonte: Produzido pelo próprio autor.

Para a execução desta análise, aplicou-se o programa Excel, já que as medições diárias são convertidas em planilhas e possibilitando, assim, o tratamento dos dados obtidos para identificação de possíveis falhas. No fluxograma apresentado na Figura 11 é mostrado o princípio de funcionamento do sistema e a interação com a empresa responsável pelo monitoramento do sistema.

Figura 11 - Fluxograma funcionamento do sistema

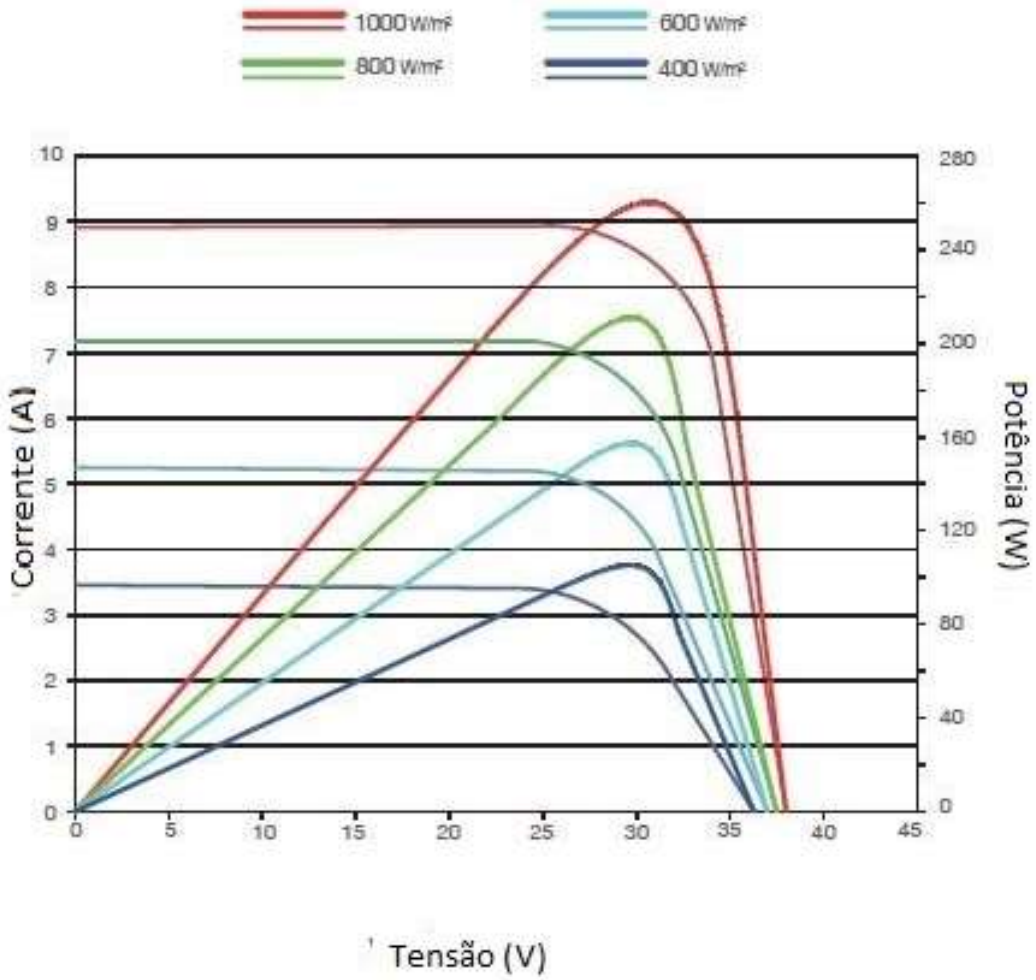


Fonte: Produzido pelo próprio autor.

4 ANÁLISE COM DADOS DE SIMULAÇÃO

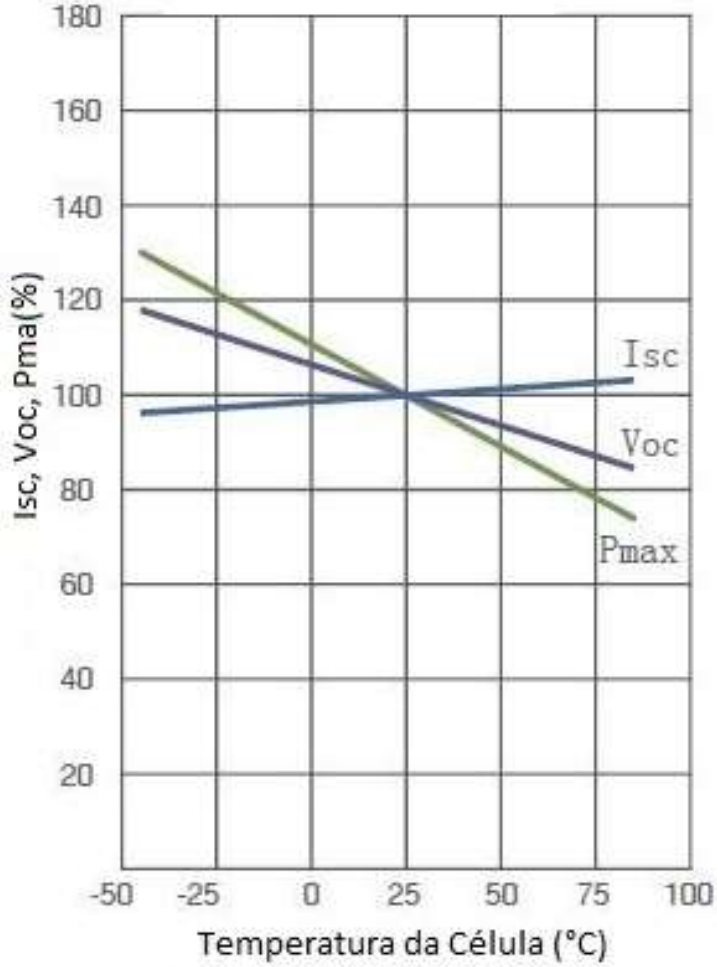
Para verificar a aplicabilidade do sistema, foi necessário criar situações em que fosse possível testar o funcionamento e sua utilidade. Para efetuar as simulações com a maior precisão possível, utilizou-se módulos policristalinos de 260 Wp da marca Jinko Solar, modelo JKM260PP. Este foi escolhido pois o fabricante disponibiliza o comportamento do módulo com diversos níveis de irradiação bem como, o comportamento da corrente de curto-circuito, tensão de circuito aberto e potência máxima de acordo com a temperatura, conforme apresentado nos Gráficos 11 e 12, respectivamente.

Gráfico 11 – Comportamento da corrente, potência e tensão de acordo com a irradiância



Fonte: Jinko Solar (2015).
Nota: Adaptada pelo próprio autor.

Gráfico 12 – Isc, Voc e Pmax em função da temperatura



Fonte: Jinko Solar (2015).
Nota: Adaptada pelo próprio autor.

Analisando os gráficos, aproximando que a tensão do MPP não varia e levantando a equação desta reta da dependência com a temperatura, obtém-se a equação (3) (SIMONETTI, 2019)

$$P(t) = (110 - 0{,}4T_c) * P(25) * \frac{G}{100} \tag{3}$$

É possível efetuar uma análise mais completa utilizando os dados de tensão e corrente em função da temperatura, (Figura 23), e da irradiância, (Figura 22). Por meio de análise das curvas, obtêm-se as equações (4) que fornece a tensão de máxima potência em função de irradiância e temperatura em um painel, e (5) (SIMONETTI, 2019), que se refere a tensão de máxima potência por *string*.

$$Vmpp(G, T_c) = (0{,}0033 * G + 27{,}7) * \frac{(32{,}5 - 0{,}074 * T_c)}{31} \quad (4)$$

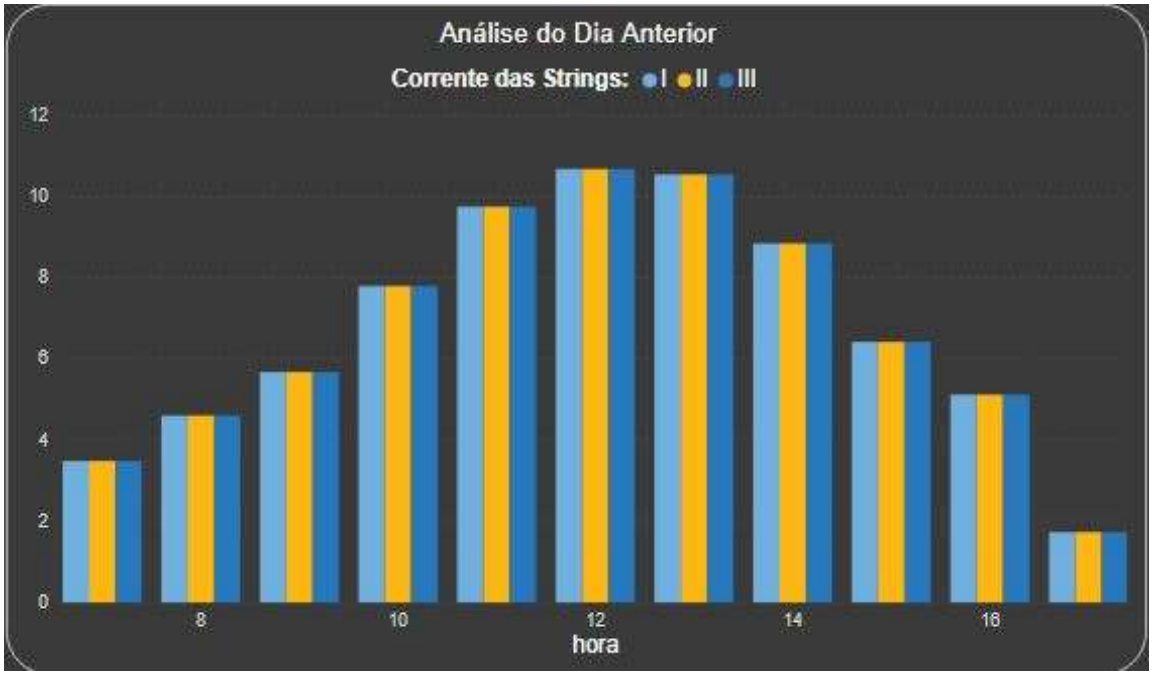
$$Vmpp(string) = N * Vmpp(G, T_c) \quad (5)$$

Para o estudo e demonstração do método, considerou-se um sistema de geração fotovoltaica com três *strings*, cada uma com cinco painéis em série. Com o equacionamento, foram gerados dados e analisou-se três semanas hipotéticas com valores inventados e de características diferentes, como um sombreamento constante e diferentes valores de temperatura, conforme apresentado no APÊNDICE A. Para evitar excesso de dados, adotou-se variação horária de medição, das 7h da manhã até às 17h.

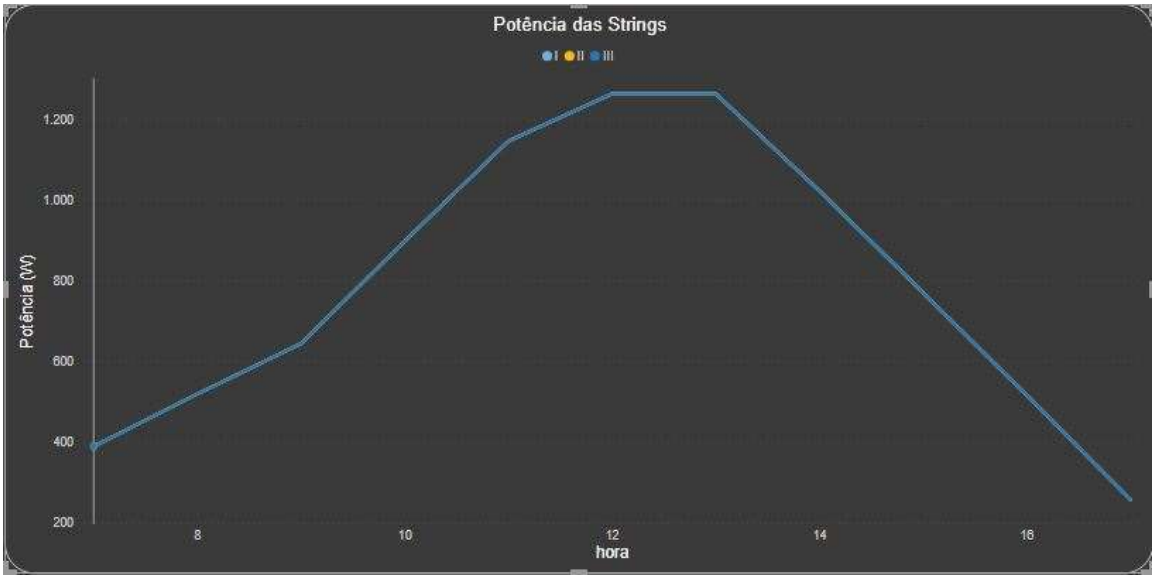
4.1 Análise da Primeira Semana

Na primeira semana, a irradiância que incide em todas as *strings* é a mesma. Para evitar excesso de figuras muito similares, nos Gráficos 13, 14 e 15 são apresentados os valores de correntes e potências nas *strings* em três dos dias.

Gráfico 13 – Correntes (a) e potências (b) do primeiro dia da primeira semana



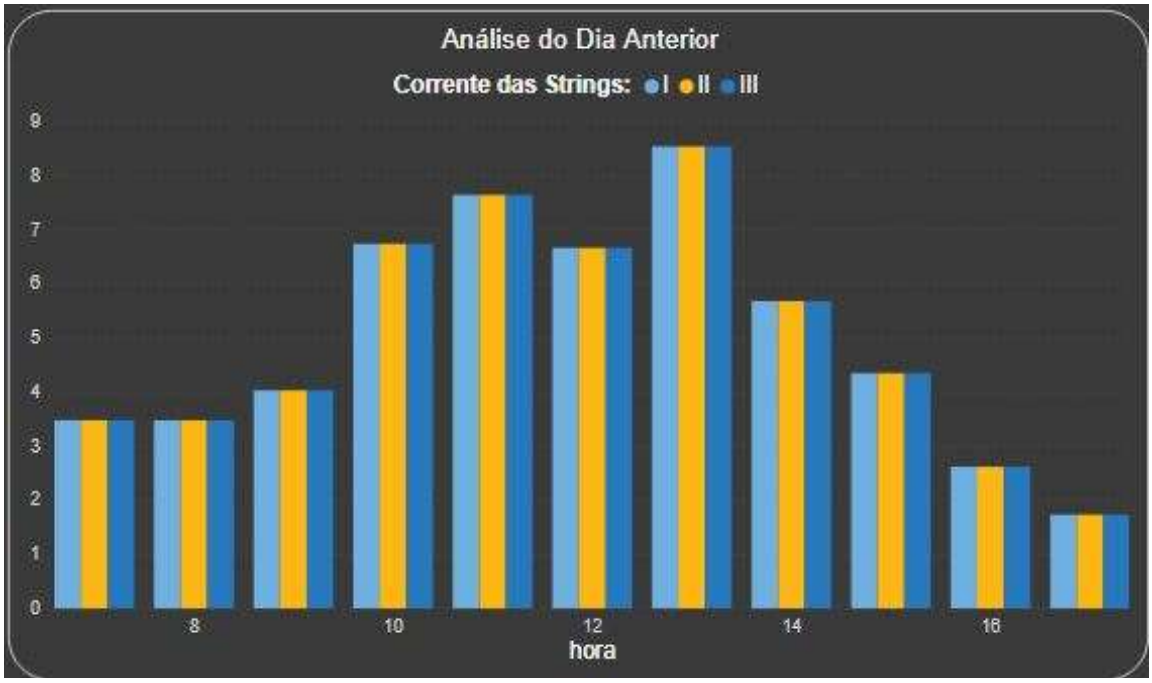
(a)



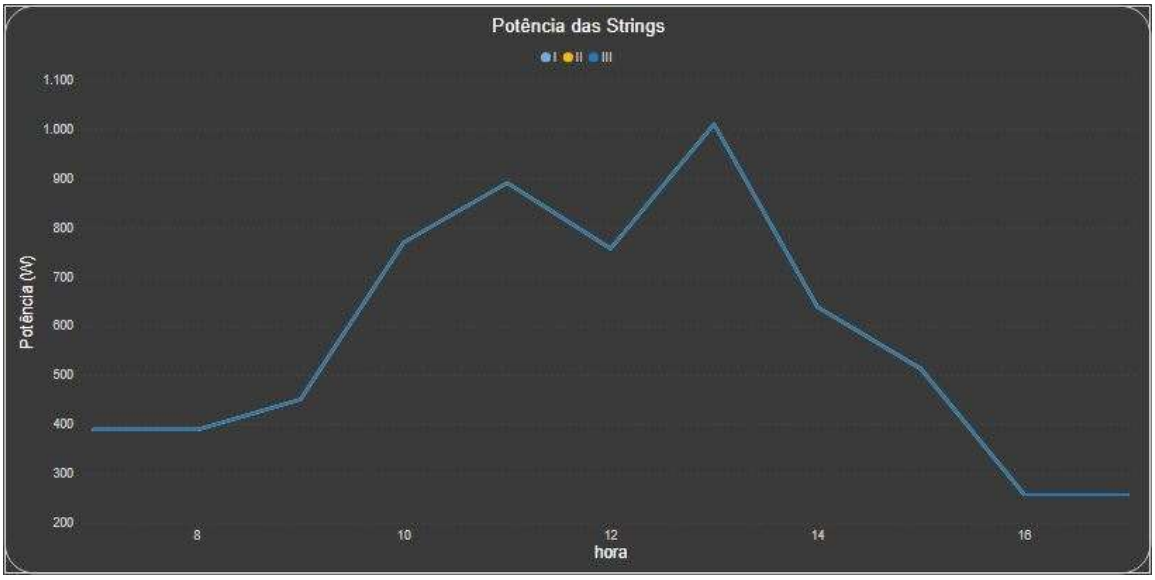
(b)

Fonte: Produzido pelo próprio autor.

Gráfico 14 – Correntes (a) e potências (b) do segundo dia da primeira semana



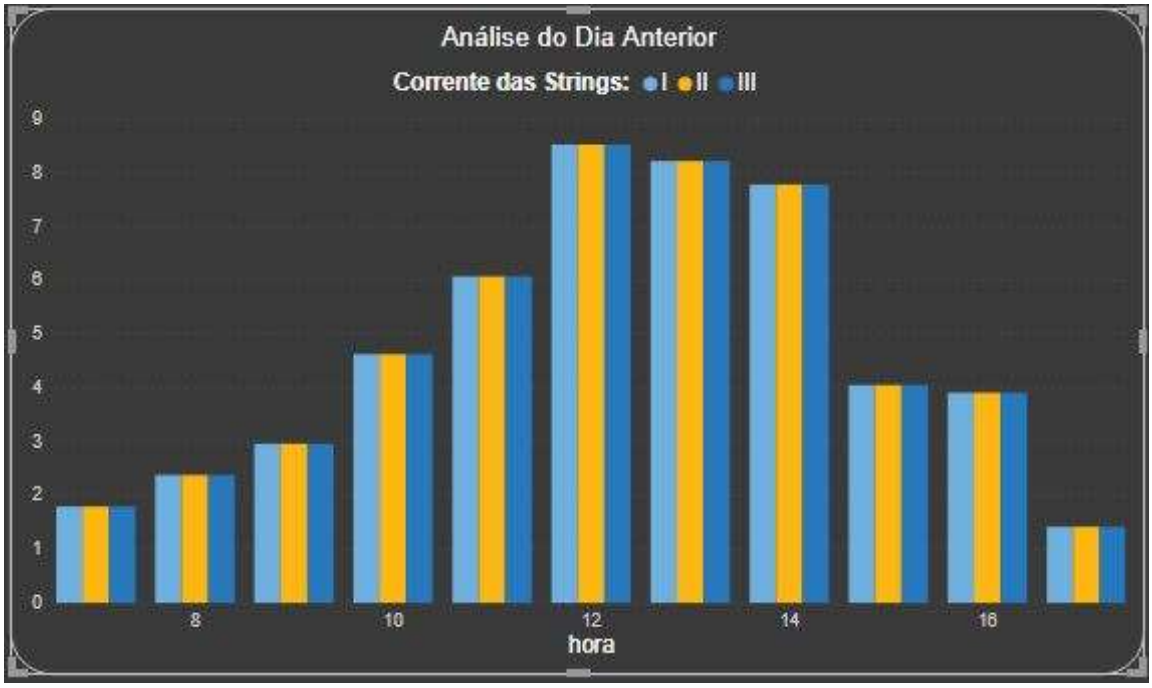
(a)



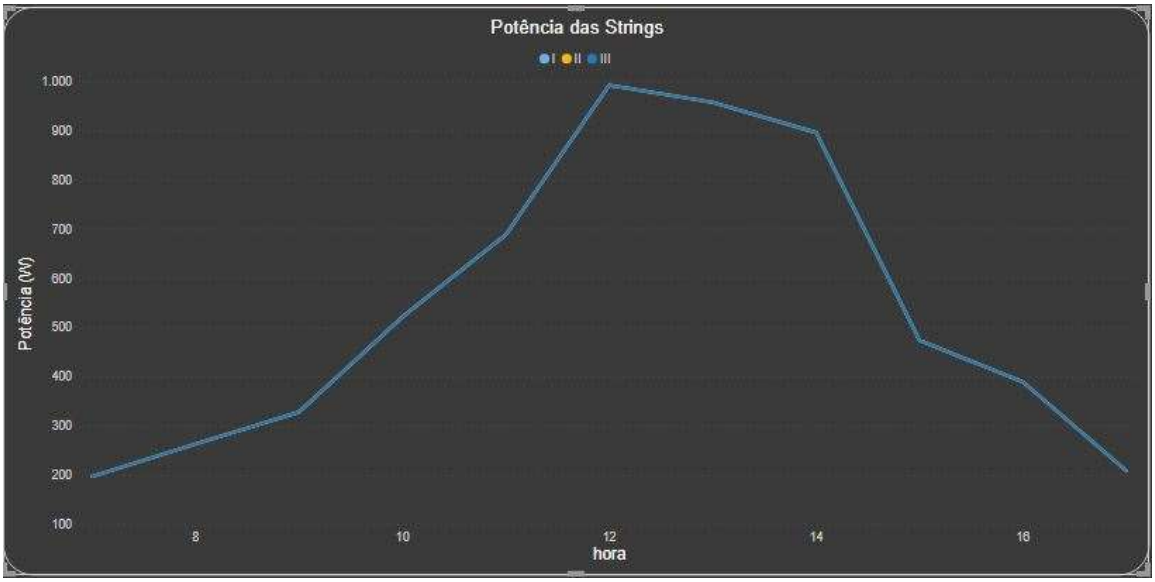
(b)

Fonte: Produzido pelo próprio autor.

Gráfico 15 – Correntes (a) e potências (b) do quinto dia da primeira semana



(a)



(b)

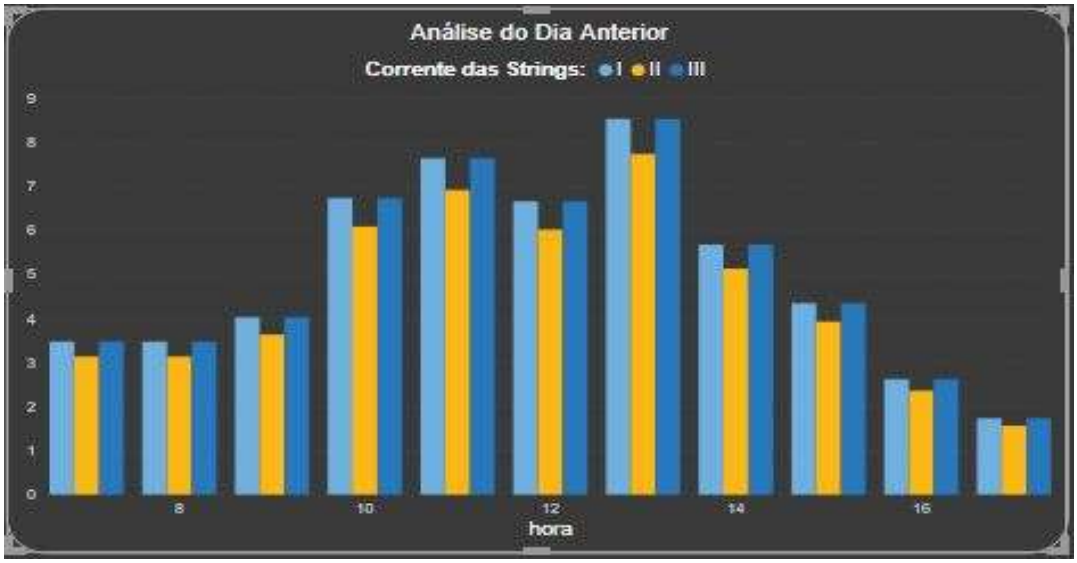
Fonte: Produzido pelo próprio autor.

As correntes são idênticas e as curvas de potência não se diferenciam devido às três *strings* estarem sob mesmas condições de operação.

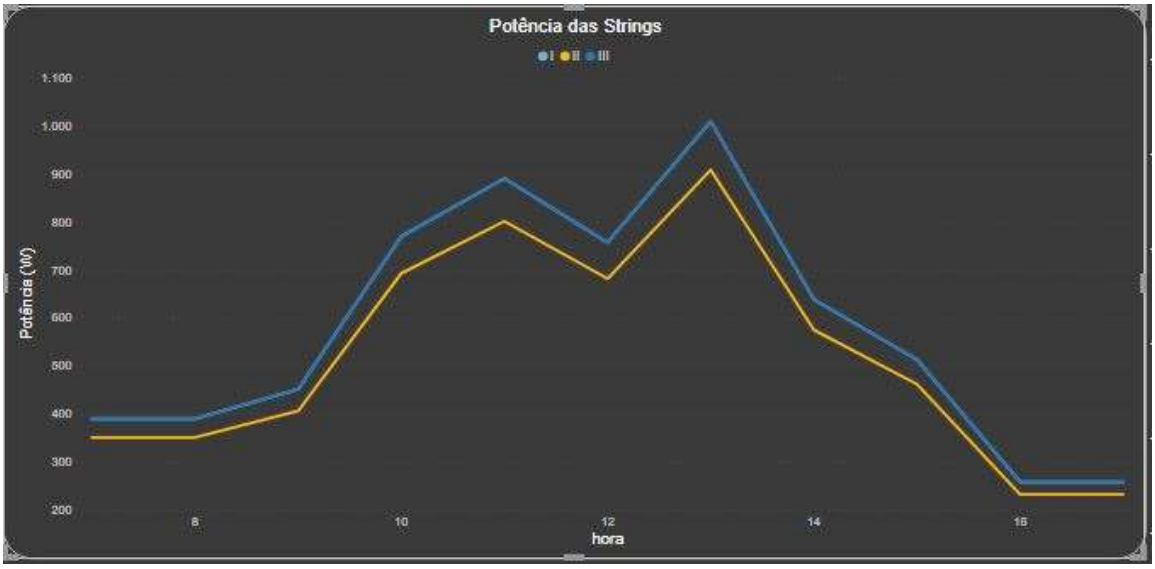
4.2 Análise da Segunda Semana

Na segunda semana, selecionou-se a *string II* para estar submetida a 90% da irradiância das *strings I e III*. Os Gráficos 16, 17 e 18 mostram as correntes e potências no segundo, terceiro e sétimo dia da semana.

Gráfico 16 – Correntes (a) e potências (b) do segundo dia da segunda semana



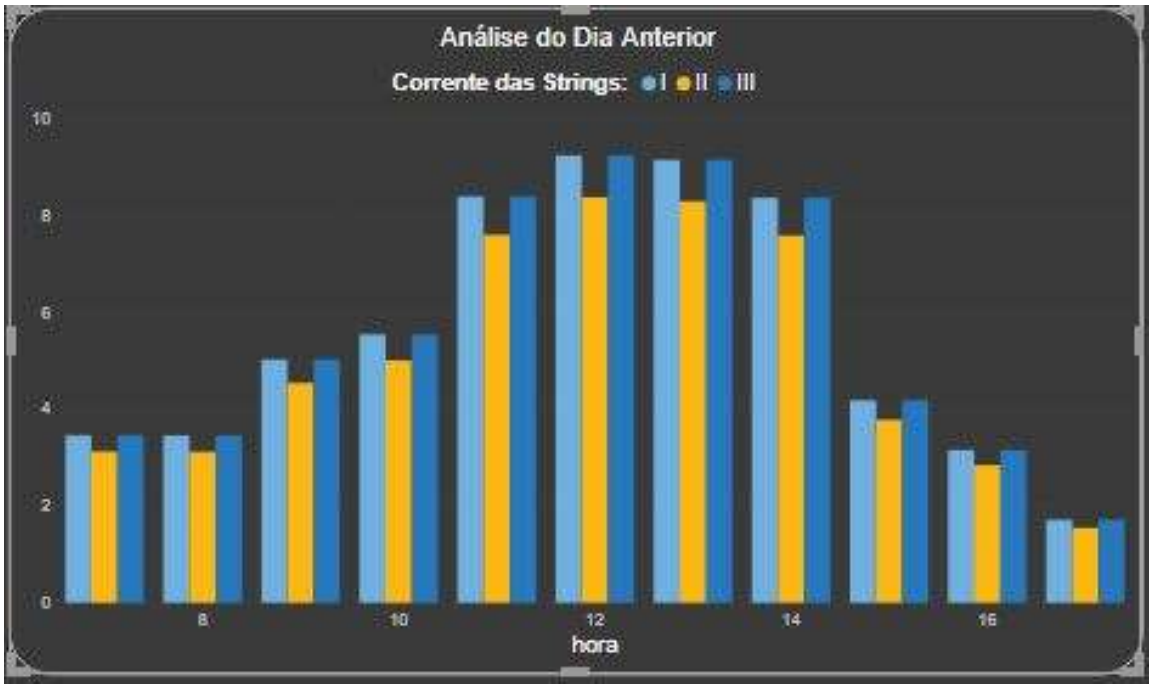
(a)



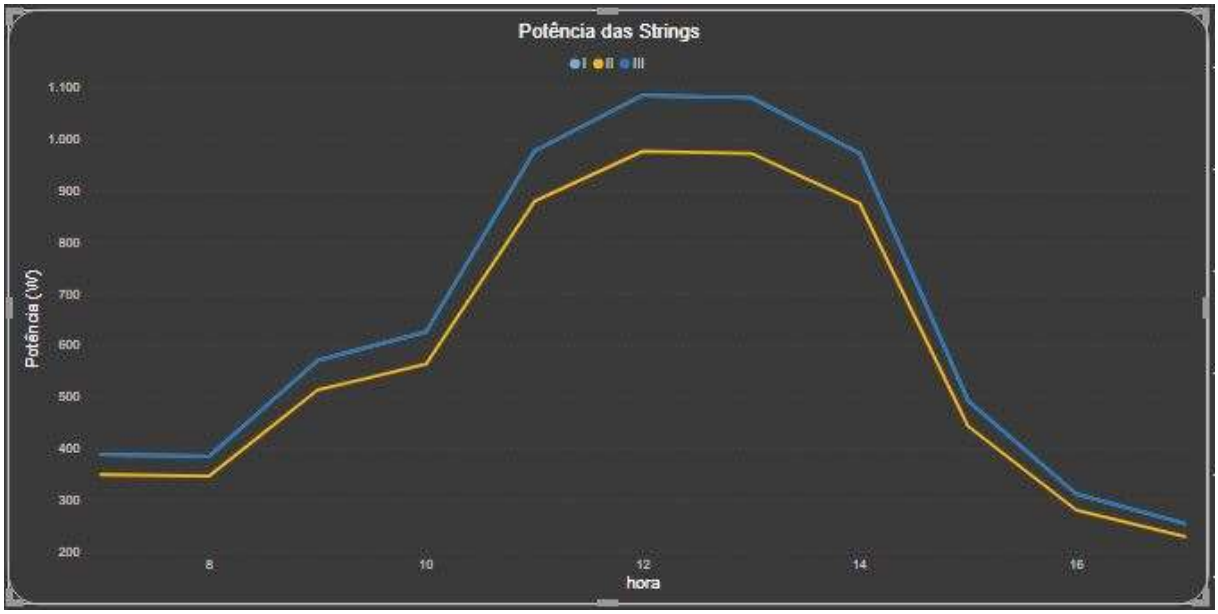
(b)

Fonte: Produzido pelo próprio autor.

Gráfico 17 – Correntes (a) e potências (b) do terceiro dia da segunda semana



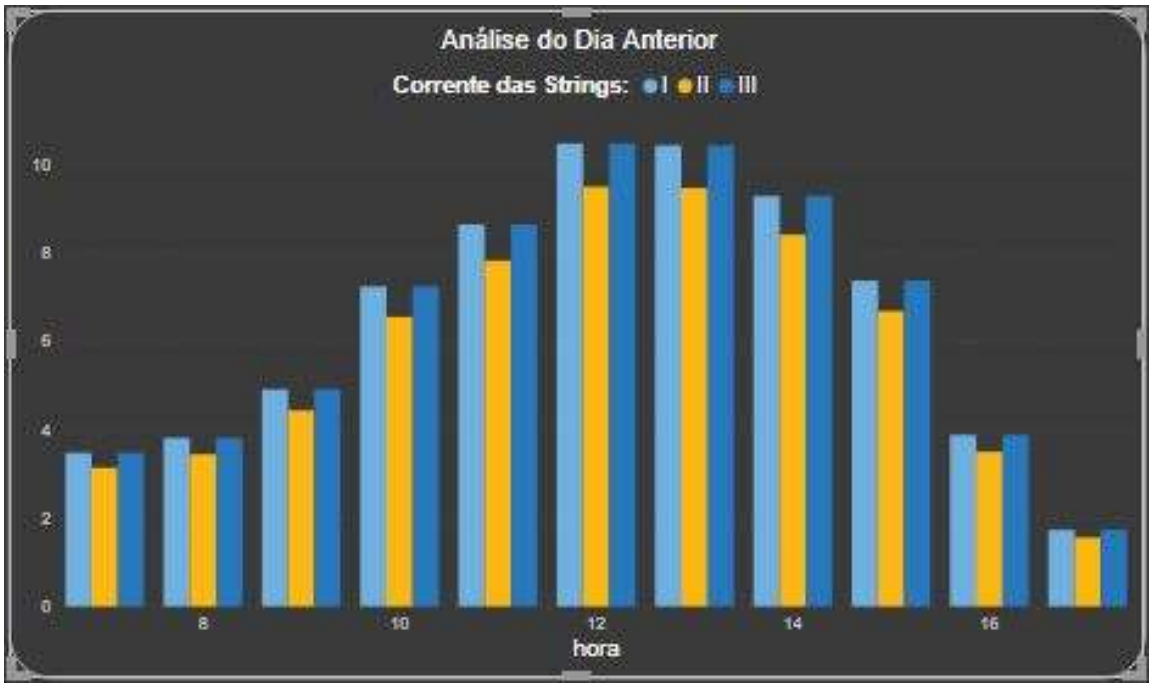
(a)



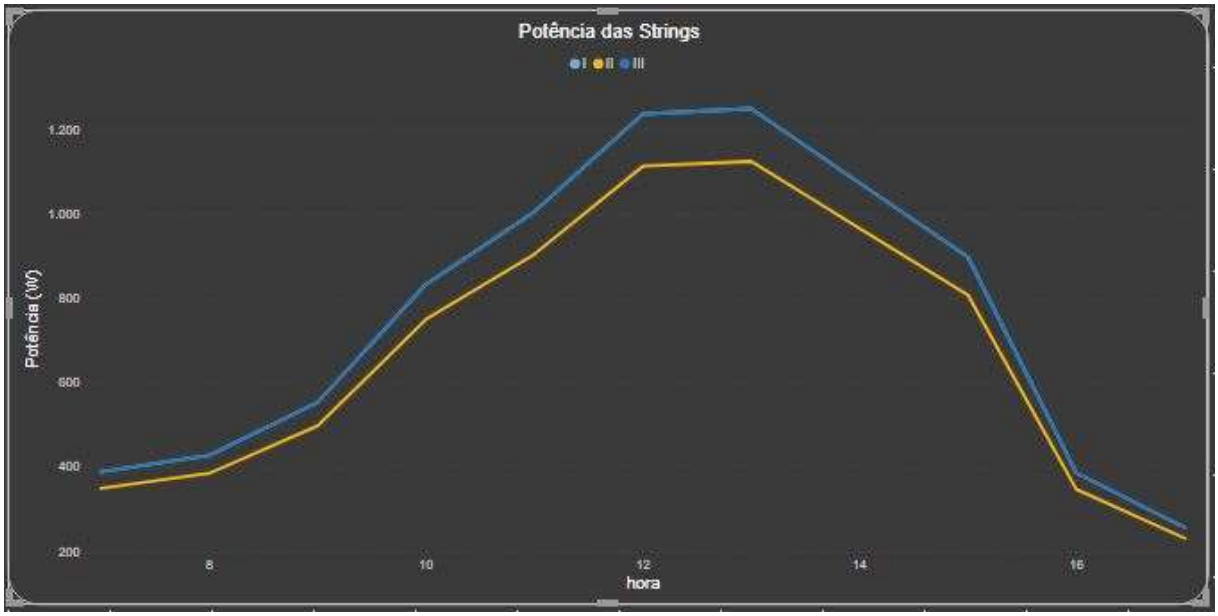
(b)

Fonte: Produzido pelo próprio autor.

Gráfico 18 – Correntes (a) e potências (b) do sétimo dia da segunda semana



(a)



(b)

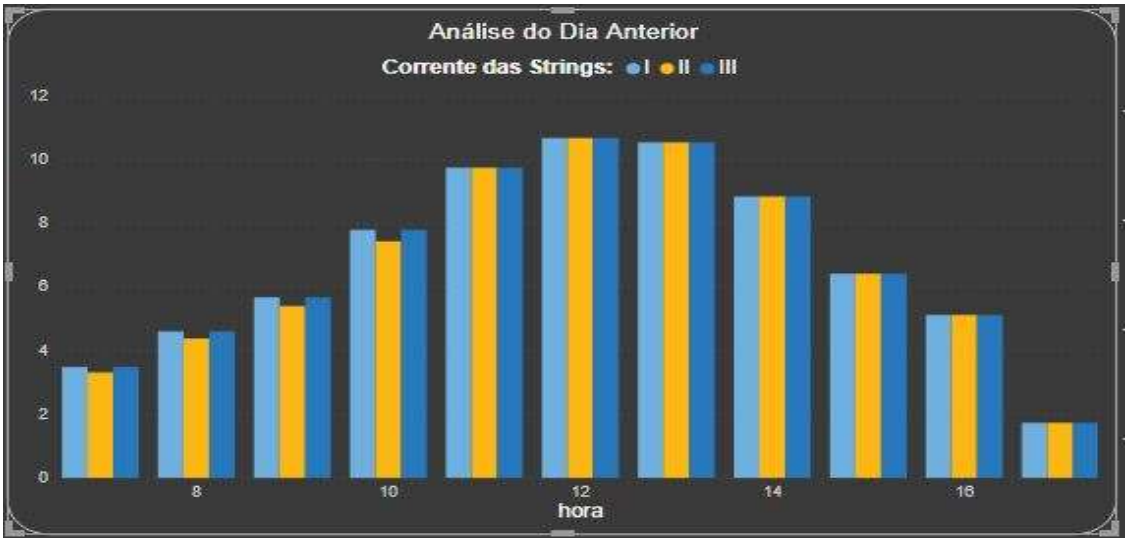
Fonte: Produzido pelo próprio autor.

Em todos os dias da segunda semana a produção de energia da *string II* foi menor do que a das *strings I* e *III*.

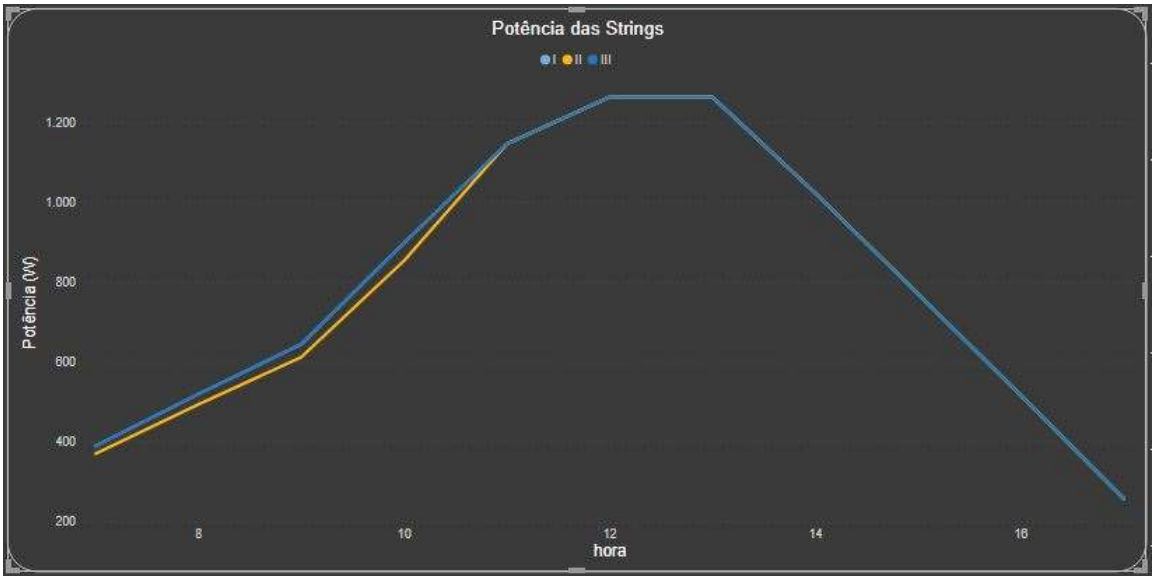
4.3 Análise da Terceira Semana

Na terceira semana, atribuiu-se à *string II* irradiância 5% menor que a das *strings I* e *III* de 7h às 10h. Consequentemente, a produção dessa *string* caiu em 5% nesse intervalo de tempo. Posteriormente, passa a incidir na *string II* a mesma irradiância das *strings I* e *III*. Nos Gráficos 19, 20 e 21 são apresentadas as correntes e potências em três dos sete dias da terceira semana.

Gráfico 19 – Correntes (a) e potências (b) do primeiro dia da terceira semana



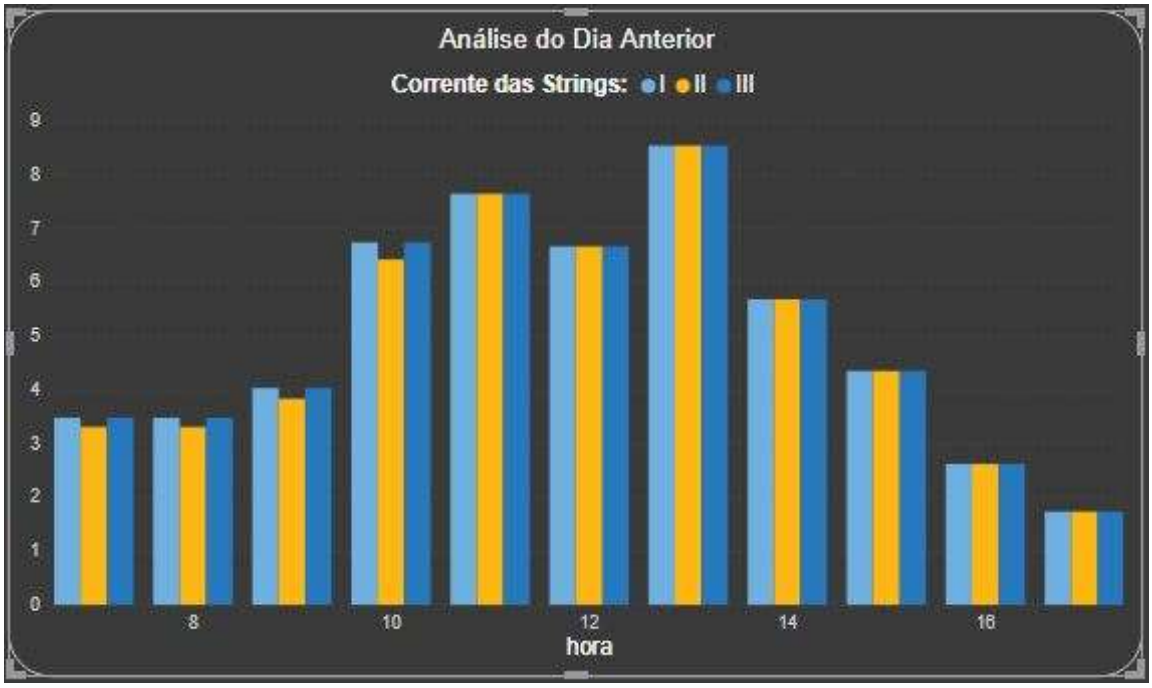
(a)



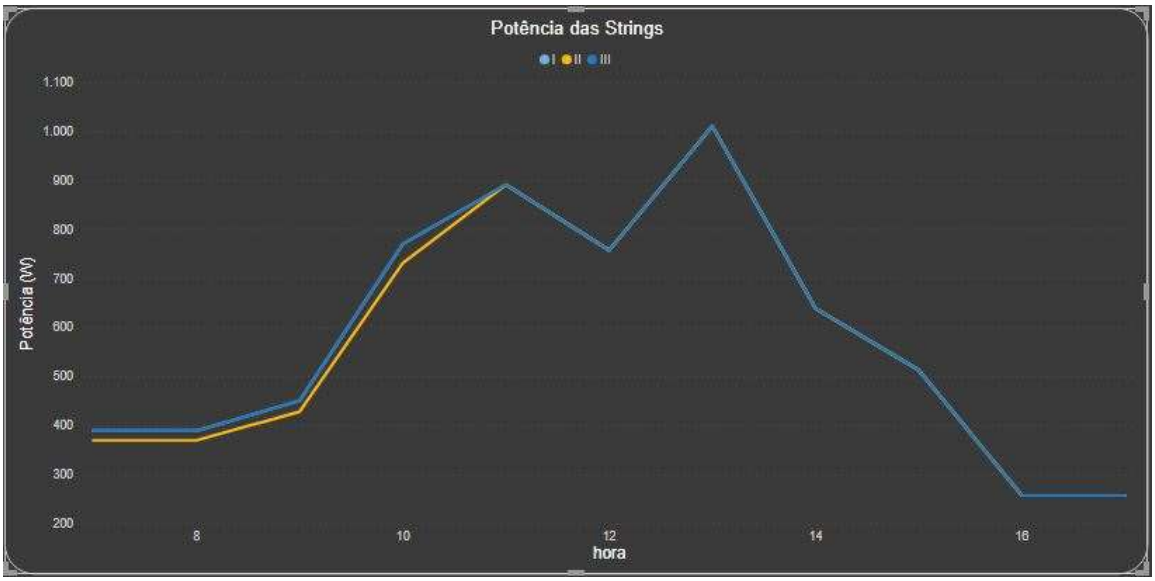
(b)

Fonte: Produzido pelo próprio autor.

Gráfico 20 – Correntes (a) e potências (b) do segundo dia da terceira semana



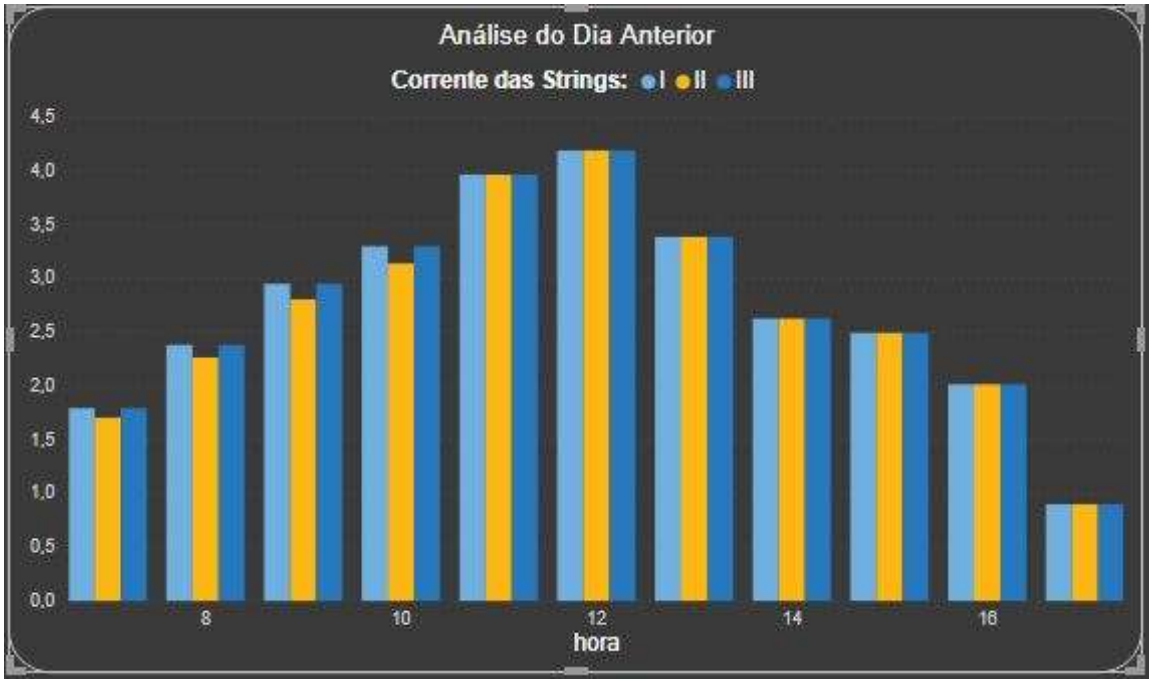
(a)



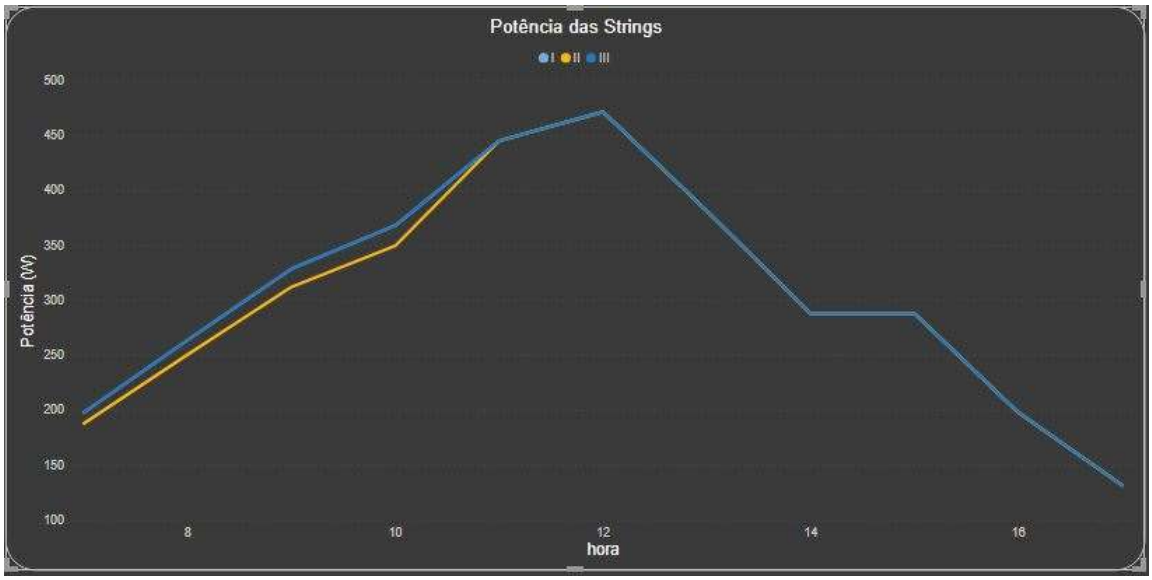
(b)

Fonte: Produzido pelo próprio autor.

Gráfico 21 – Correntes (a) e potências (b) do sexto dia da terceira semana



(a)



(b)

Fonte: Produzido pelo próprio autor.

Assim, observa-se uma menor produção de energia pela manhã da *string II*, como esperado.

Dentre todas as simulações do sistema em diferentes condições de sombreamento, foi definido um alerta do gestor da usina caso houvesse alguma *string* com uma diferença média diária de produção de energia superior a 8% das outras.

Como na primeira semana não houve efeito de sombreamento, todas as *strings* produziram a mesma quantidade de energia. Logo, não houve qualquer tipo de notificação do sistema.

Na segunda semana, como o sistema operou sob efeito de sombreamento na *string II* com rendimento de 10% à menos na produção comparada com as outras *strings*, houve notificação do sistema conforme mostrado nas Figuras 12, 13 e 14.

Figura 12 – Notificação do sistema por e-mail

Fonte: Produzido pelo próprio autor.

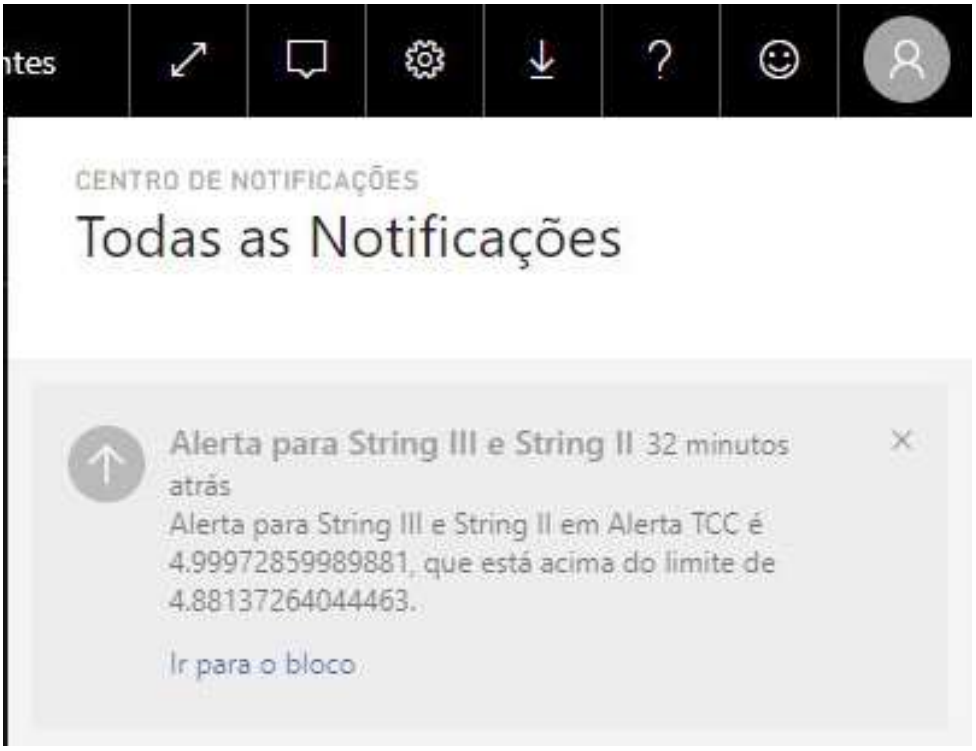
A Figura 13 mostra a notificação no *smartphone* através do aplicativo do *software*.

Figura 13 – Notificação do sistema por aplicativo

Fonte: Produzido pelo próprio autor.

A Figura 14 mostra a notificação no *dashboard*.

Figura 14 – Notificação do sistema pelo *dashboard*



Fonte: Produzido pelo próprio autor.

Já na terceira semana, apesar do efeito de sombreamento existir de 7 às 10h da manhã, a diferença de produção entre as *strings* não chegou à 8%. Com isso, não houve necessidade de emitir o alerta. O Quadro 1 apresenta o resumo dessas simulações efetuadas.

Quadro 1 – Resumo da Simulação

Semana	Análise	Atuação
1	Geração idêntica das *strings, variação média de corrente igual à zero.*	Sem emissão de alerta
2	*String II* com 10% menos de geração todos os dias, variação média de corrente igual à e 10%	Emissão de alerta
3	*Strings II* com menor geração pela manhã, variação média menor que 8%	Sem emissão de alarme

Fonte: Produzido pelo próprio autor.

5 PLANTA ANALISADA

5.1 Localização da Usina

A usina de microgeração analisada localiza-se em Serra Dourada I, município da Serra, no Espírito Santo, e está instalada no telhado da residência do Sr. Diego Cazzotto Pedro, conforme mostrado na Figura 15, sob responsabilidade da Prime Engenharia.

Figura 15 – Usina instalada no telhado

Fonte: Produzido pelo próprio autor.

5.2 Composição da Usina

A usina tem uma potência de 7,5 kWp, composta por duas *strings*, cada uma composta por 10 módulos associados em série que são conectados na entrada do conversor CC, interno ao inversor que é capaz de realizar 2 mppts paralelamente. Sua *string box* CA é composta por: DPS classe II 275V – 12,5kA e disjuntor bipolar 40A, curva B, ambos fabricado pela empresa Weg. O modelo de inversor possui o sistema de proteção do lado CC internamente em sua entrada, por este motivo a planta dispensa *string box* CC. O Quadro 2 mostra os detalhes dos módulos e do inversor e a Figura 16 os itens instalados.

Quadro 2 – Dados dos módulos e inversor que compõem a planta

Item	Fabricante	Modelo	Potência
Módulo	Astronergy	Monocristalino CHSM72M-375	375 Wp
Inversor	Weg	Hibrido - SIW300H – M050	5,0 kW

Fonte: Produzido pelo próprio autor.

Figura 16 – (a) Painéis solares e (b) inversor que compõem a usina

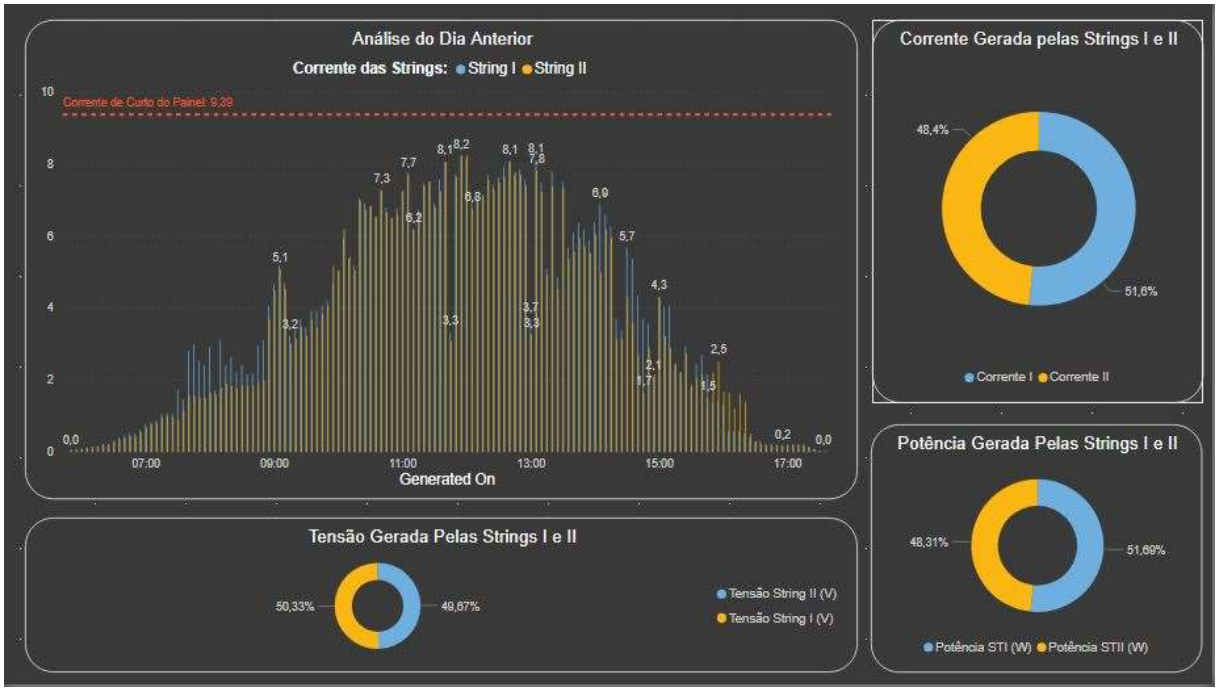
(a) (b)

Fonte: Produzido pelo próprio autor.

5.3 Aplicação na Planta

A planta é monitorada pela empresa de acordo com os dados gerados no dia anterior. Esses dados são incorporados em um *dashboard* (painel de visualização, termo utilizado em análise de dados) preparado para analisar os dados. Conforme mostrado no Gráfico 22, no Painel I é possível comparar a corrente fornecida durante o dia, o percentual da tensão, corrente e potência fornecidos por cada *string*.

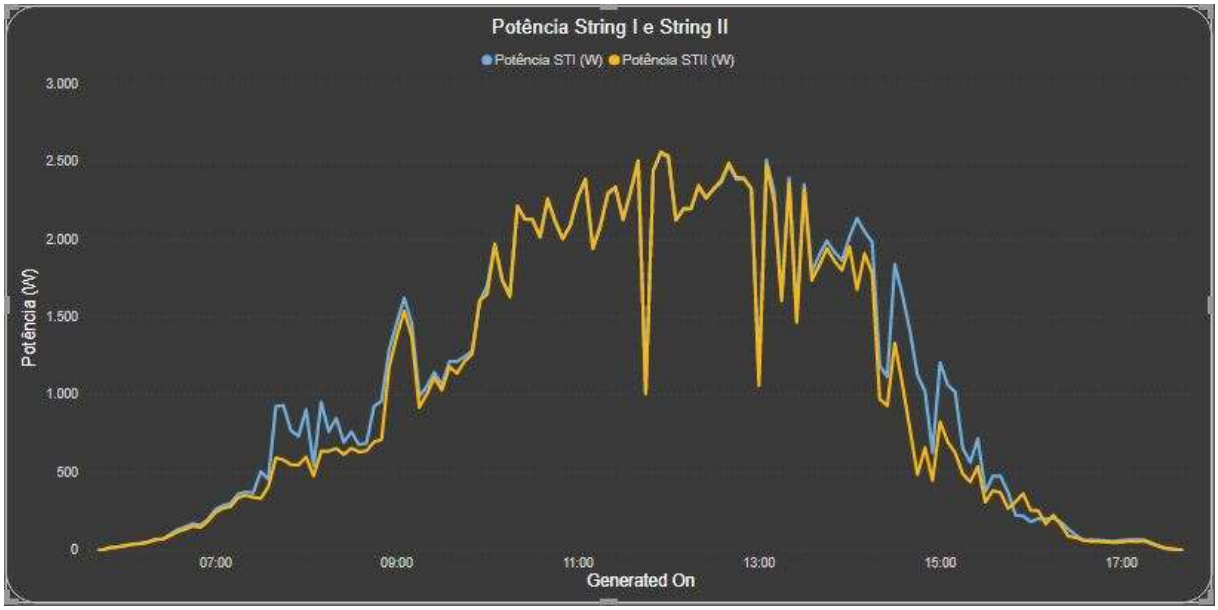
Gráfico 22 – Painel I do dashboard



Fonte: Produzido pelo próprio autor.

No Gráfico 23 mostra que é possível acompanhar com precisão as potências geradas por cada *string*.

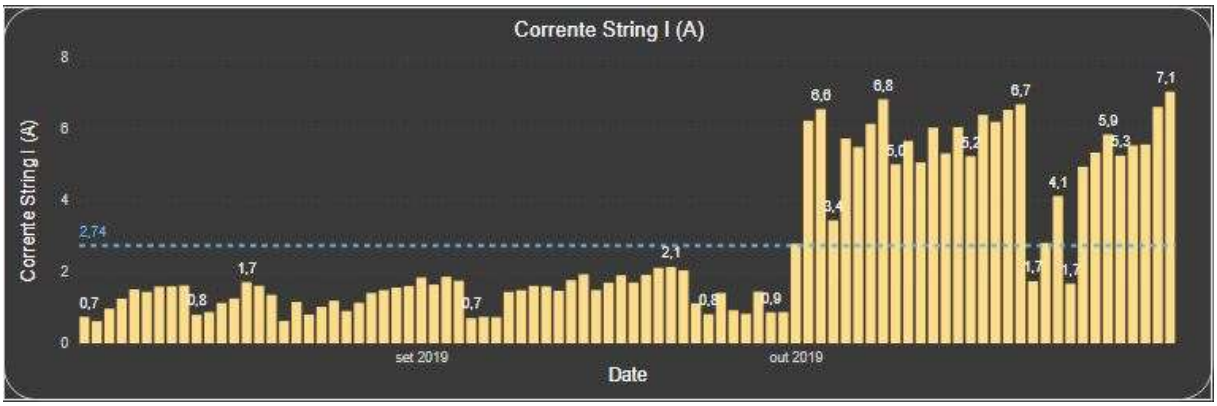
Gráfico 23 – Painel II do dashboard



Fonte: Produzido pelo próprio autor.

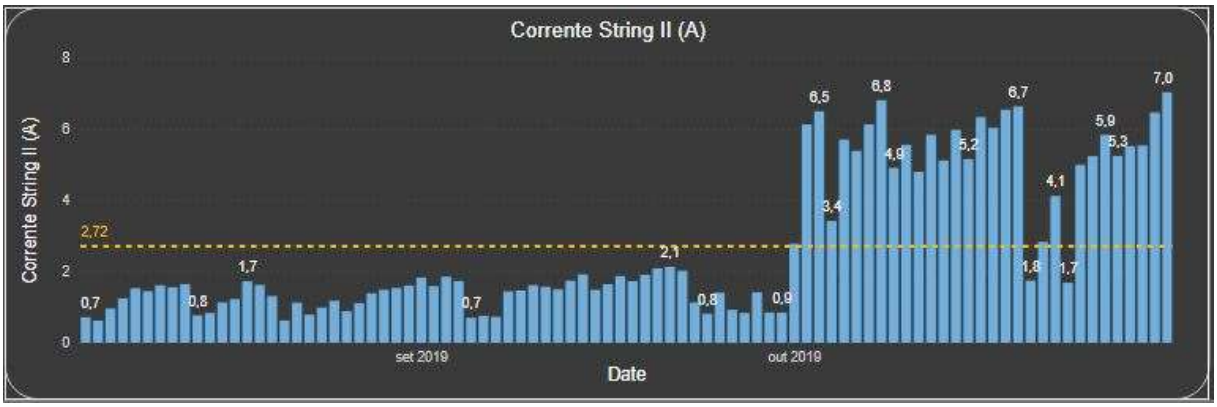
O *dashboard* também conta com um painel que permite visualizar o histórico das médias diárias das correntes de cada *string* nos meses anteriores. Os Gráficos 24 e 25 são exibidas as médias diárias e a média geral de produção nos meses de setembro e outubro de 2019.

Gráfico 24 – Histórico de geração diária da *string I*



Fonte: Produzido pelo próprio autor.

Gráfico 25 – Histórico de geração diária da *string II*



Fonte: Produzido pelo próprio autor.

Durante as análises da planta pela empresa, não houve diferenças significativas entre as gerações das *strings*. Com isso, não houve o acionamento do alarme e nem notificações geradas.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

6.1 Conclusão

Este trabalho apresentou uma proposta para análise e detecção de falhas e defeitos em *strings* de geração fotovoltaica *on grid*.

Inicialmente, foi feito uma consulta a vários fornecedores e fabricantes de inversores homologados e que possuem mercado no Brasil para saber a respeito do reconhecimento e notificação do inversor caso haja diferença entre geração das *strings* que são conectadas a eles. Todas as respostas foram unanimes, nenhum inversor possui essa característica. Para empresas responsáveis por usinas, é de extrema importância ter acesso a maior quantidade de dados possíveis da planta, isso facilita na tomada de decisão. Uma planta bem gerida, evita prejuízos financeiros para o cliente devido ao baixo rendimento de energia de sua usina.

Foi simulado uma instalação hipotética de geração solar considerando diferentes tipos de operação, com dias de sol pleno sem sombreamento, dias com sombreamento parcial em certos horários e dias com sombreamento constante diferenciando o rendimento de certa *string* comparada com as outras a fim de se obter os resultados da função de alerta, conforme apresentado nas Figuras 12, 13 e 14. O sistema desenvolvido mostrou-se capaz de fazer a detecção conforme as definições dadas.

A aplicação do sistema desenvolvido em um ambiente onde foi possível acompanhar as informações de uma planta de uma microusina real, que era o principal objetivo do trabalho, também foi atendido conforme apresentado nos Gráficos 22, 23, 24 e 25. Neste caso, não ocorreu nenhuma situação que ultrapassasse os limites impostos de operação similar.

Por fim, o sistema proposto correspondeu às expectativas. O fato de possuir uma aparência intuitiva e principalmente sem custo adicional para implantação na usina, é um fator a ser considerado pois, quaisquer gastos a mais em usinas implica em aumentar o tempo de retorno do investimento e, talvez, deixando um sistema inviável de ser implantado.

6.2 Trabalhos Futuros

Apesar do sistema proposto ter respondido às expectativas, ainda há campos que podem ser melhorados, possibilitando assim uma análise mais completa de uma usina fotovoltaica. A indicação a seguir de alguns itens são peças para trabalhos futuros:

- Associar os registros fornecidos pelo inversor a um banco de dados de forma que agilize o acesso em tempo real e deixe o sistema mais automático possível;
- Associar ao *dashboard* dados referentes à parte CA da usina;
- Criação de um aplicativo próprio contendo informações necessárias e de fácil interpretação para que o proprietário da usina tenha acesso e seja capaz de entender o que estiver ocorrendo, mesmo sendo leigo.
- Disponibilizar a solução para empresas gestoras de usinas de geração fotovoltaica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **Energia Fotovoltaica: Panorama, Oportunidades e Desafios**. 2017. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/documents/10184/15266087/painel+3+ap+7+2017.10.19+ABSOLAR+-+Energia+Solar+Fotovoltaica+-+Dr.+Rodrigo+Lopes+Sauaia.pdf/54f8b161-751b-0639-bd04-77a60cac45c3. Acesso em: 25 nov. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 60529**: Informação e documentação – referências – elaboração. Rio de Janeiro, 2017.

BESSO, R. **Sistema Solar Fotvoltaico Conectado à Rede – Estudo de Caso no Centro de Tecnologia da UFRJ**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

CADAVAL, R. E; FRANQUELO, L. L.; XIAO, W. M.; SUNTIO, T.; PAJA, C. A. R.; SPAGNUOLO, G. Grid-Conenected Photovoltaic Generation Plants: Components and Operation. **IEEE Industrial Electronics Magazine**, v. 7, p. 6-20, set. 2013.

CASARO, M. M.; MARTINS, D. C. Modelo de arranjo fotovoltaico destinado a análises em eletrônica de potência via simulação. **Revista Eletrônica de Potência**, v. 13, n. 3, p. 141-146. 2008.

COSTA, W. T. **Modelagem, Estimação de Parâmetros e Método MPPT Para Módulos Fotovoltaicos**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional 2015**. Ano base 2014. Rio de Janeiro: EPE, 2015. Disponível em: http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Balanco-Energetico-Nacional-2015. Acesso em: 22 nov. 2019.

HERINGER, N. F. M. **Modelagem de Arranjo Fotovoltaico com Sombreamento Parcial para Referência de Emuladores Estáticos**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016.

JINKO SOLAR. **Datasheet JKM270PP-60 Poly Crystalline Module**. 2015. Disponível em: https://www.jinkosolar.com/ftp/US-Eagles-270PP-60.pdf. Acesso em: 29 nov. 2019.

LOPES, C. J. R. **Efeito do Sombreamento nos Painéis Fotovoltaicos**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Área Departamental de Engenharia de Sistemas de Potência e Automação, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2013.

PENTEADO, S. X; ESCOBEDO, J. F.; PAI, D. A. Utilização do Método Numérico Interpolador de Lagrange Para Correção de Bases de Dados de Radiometria Solar. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 26, n. 3, p. 118-126, 2014.

RESENDE, C. **O Que é o Inversor e Qual a Sua Função Em Um Sistema Fotovoltaico?**. 2017. Disponível em: https://sharenergy.com.br/o-que-e-o-inversor-e-como-ele-funciona/. Acessado em: 25 nov. 2019.

SIMONETTI, D. S. L. **Representação de Módulos Fotovoltaicos.** 12 de ago. 2019, 10 de dez. 2019. 5 p. Notas de Aula.

VALENTE, M. A. S. **Caracterização Automática de um Painel Fotovoltaico**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e Computadores) – Departamento de Engenharia Eletrotécnica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.

VILLALVA, M. G.; GRAZOLI, J. R. **Energia Solar Fotovoltaica**: **Conceitos e Aplicações - Sistemas Isolados e Conectados à rede.** 2. ed. São Paulo: Érica, 2015.

APÊNDICE A – DADOS LEVANTADOS PARA SIMULAÇÃO

Tabela 1 – Dados levantados para simulação do sistema

(continua)

	String I						String II						String III					
hora	G	T	V_{MPP}(str)	V_{MPP}	I_{MPP}	P_{MPP}	G	T	V_{MPP}(str)	V_{MPP}	I_{MPP}	P_{MPP}	G	T	V_{MPP}(str)	V_{MPP}	I_{MPP}	P_{MPP}
Primeiro dia da primeira semana																		
7	300	25	120,76	111,76	3,49	390,00	300	25	120,76	111,76	3,49	390,00	300	25	120,76	111,76	3,49	390,00
8	400	25	120,51	112,81	4,61	520,00	400	25	120,51	112,81	4,61	520,00	400	25	120,51	112,81	4,61	520,00
9	500	27	119,87	113,49	5,68	644,80	500	27	119,87	113,49	5,68	644,80	500	27	119,87	113,49	5,68	644,80
10	700	28	119,02	115,22	7,80	899,08	700	28	119,02	115,22	7,80	899,08	700	28	119,02	115,22	7,80	899,08
11	900	30	118,77	117,50	9,76	1146,60	900	30	118,77	117,50	9,76	1146,60	900	30	118,77	117,50	9,76	1146,60
12	1000	32	118,20	118,20	10,69	1263,60	1000	32	118,20	118,20	10,69	1263,60	1000	32	118,20	118,20	10,69	1263,60
13	1000	32	119,72	119,72	10,55	1263,60	1000	32	119,72	119,72	10,55	1263,60	1000	32	119,72	119,72	10,55	1263,60
14	800	29	118,12	115,61	8,85	1023,36	800	29	118,12	115,61	8,85	1023,36	800	29	118,12	115,61	8,85	1023,36
15	600	28	125,27	119,93	6,43	770,64	600	28	125,27	119,93	6,43	770,64	600	28	125,27	119,93	6,43	770,64
16	400	27	107,50	100,63	5,13	515,84	400	27	107,50	100,63	5,13	515,84	400	27	107,50	100,63	5,13	515,84
17	200	27	162,50	148,66	1,73	257,92	200	27	162,50	148,66	1,73	257,92	200	27	162,50	148,66	1,73	257,92
Segundo dia da primeira semana																		
7	300	25	121,03	112,01	3,48	390,00	300	25	121,03	112,01	3,48	390,00	300	25	121,03	112,01	3,48	390,00
8	300	25	121,10	112,07	3,48	390,00	300	25	121,10	112,07	3,48	390,00	300	25	121,10	112,07	3,48	390,00
9	350	27	120,22	111,90	4,03	451,36	350	27	120,22	111,90	4,03	451,36	350	27	120,22	111,90	4,03	451,36
10	600	28	119,36	114,28	6,74	770,64	600	28	119,36	114,28	6,74	770,64	600	28	119,36	114,28	6,74	770,64
11	700	30	120,44	116,59	7,65	891,80	700	30	120,44	116,59	7,65	891,80	700	30	120,44	116,59	7,65	891,80
12	600	32	118,73	113,67	6,67	758,16	600	32	118,73	113,67	6,67	758,16	600	32	118,73	113,67	6,67	758,16
13	800	32	120,88	118,30	8,54	1010,88	800	32	120,88	118,30	8,54	1010,88	800	32	120,88	118,30	8,54	1010,88
14	500	29	118,82	112,49	5,69	639,60	500	29	118,82	112,49	5,69	639,60	500	29	118,82	112,49	5,69	639,60
15	400	28	126,11	118,06	4,35	513,76	400	28	126,11	118,06	4,35	513,76	400	28	126,11	118,06	4,35	513,76
16	200	27	107,50	98,34	2,62	257,92	200	27	107,50	98,34	2,62	257,92	200	27	107,50	98,34	2,62	257,92
17	200	27	162,50	148,66	1,73	257,92	200	27	162,50	148,66	1,73	257,92	200	27	162,50	148,66	1,73	257,92
Terceiro dia da primeira semana																		
7	300	26	121,25	112,21	3,46	388,44	300	26	121,25	112,21	3,46	388,44	300	26	121,25	112,21	3,46	388,44
8	300	28	120,46	111,49	3,46	385,32	300	28	120,46	111,49	3,46	385,32	300	28	120,46	111,49	3,46	385,32
9	450	31	120,67	113,61	5,03	570,96	450	31	120,67	113,61	5,03	570,96	450	31	120,67	113,61	5,03	570,96
10	500	34	119,40	113,04	5,54	626,60	500	34	119,40	113,04	5,54	626,60	500	34	119,40	113,04	5,54	626,60
11	800	40	119,02	116,49	8,39	977,60	800	40	119,02	116,49	8,39	977,60	800	40	119,02	116,49	8,39	977,60
12	900	43	118,78	117,51	9,24	1085,76	900	43	118,78	117,51	9,24	1085,76	900	43	118,78	117,51	9,24	1085,76
13	900	44	119,45	118,18	9,15	1081,08	900	44	119,45	118,18	9,15	1081,08	900	44	119,45	118,18	9,15	1081,08
14	800	41	118,89	116,36	8,37	973,44	800	41	118,89	116,36	8,37	973,44	800	41	118,89	116,36	8,37	973,44
15	400	38	125,90	117,86	4,18	492,96	400	38	125,90	117,86	4,18	492,96	400	38	125,90	117,86	4,18	492,96
16	250	35	107,50	98,91	3,15	312,00	250	35	107,50	98,91	3,15	312,00	250	35	107,50	98,91	3,15	312,00
17	200	30	162,50	148,66	1,71	254,80	200	30	162,50	148,66	1,71	254,80	200	30	162,50	148,66	1,71	254,80

Tabela 1 – Dados levantados para simulação do sistema.

(continuação)

	String I						String II						String III					
hora	G	T	V_{MPP}(str)	V_{MPP}	I_{MPP}	P_{MPP}	G	T	V_{MPP}(str)	V_{MPP}	I_{MPP}	P_{MPP}	G	T	V_{MPP}(str)	V_{MPP}	I_{MPP}	P_{MPP}
Quarto dia da primeira semana																		
7	300	26	120,98	111,97	3,47	388,44	300	26	120,98	111,97	3,47	388,44	300	26	120,98	111,97	3,47	388,44
8	350	28	120,56	112,22	4,01	449,54	350	28	120,56	112,22	4,01	449,54	350	28	120,56	112,22	4,01	449,54
9	450	31	120,41	113,36	5,04	570,96	450	31	120,41	113,36	5,04	570,96	450	31	120,41	113,36	5,04	570,96
10	550	34	119,49	113,77	6,06	689,26	550	34	119,49	113,77	6,06	689,26	550	34	119,49	113,77	6,06	689,26
11	760	40	119,29	116,24	7,99	928,72	760	40	119,29	116,24	7,99	928,72	760	40	119,29	116,24	7,99	928,72
12	890	43	118,16	116,78	9,19	1073,70	890	43	118,16	116,78	9,19	1073,70	890	43	118,16	116,78	9,19	1073,70
13	1000	44	119,84	119,84	10,02	1201,20	1000	44	119,84	119,84	10,02	1201,20	1000	44	119,84	119,84	10,02	1201,20
14	800	41	117,81	115,31	8,44	973,44	800	41	117,81	115,31	8,44	973,44	800	41	117,81	115,31	8,44	973,44
15	650	38	125,44	120,77	6,63	801,06	650	38	125,44	120,77	6,63	801,06	650	38	125,44	120,77	6,63	801,06
16	400	35	106,98	100,15	4,98	499,20	400	35	106,98	100,15	4,98	499,20	400	35	106,98	100,15	4,98	499,20
17	280	30	162,50	150,05	2,38	356,72	280	30	162,50	150,05	2,38	356,72	280	30	162,50	150,05	2,38	356,72
Quinto dia da primeira semana																		
7	150	21	121,41	110,43	1,79	198,12	150	21	121,41	110,43	1,79	198,12	150	21	121,41	110,43	1,79	198,12
8	200	21	121,39	111,05	2,38	264,16	200	21	121,39	111,05	2,38	264,16	200	21	121,39	111,05	2,38	264,16
9	250	22	120,75	111,11	2,96	328,90	250	22	120,75	111,11	2,96	328,90	250	22	120,75	111,11	2,96	328,90
10	400	24	120,53	112,83	4,63	522,08	400	24	120,53	112,83	4,63	522,08	400	24	120,53	112,83	4,63	522,08
11	530	25	119,41	113,44	6,07	689,00	530	25	119,41	113,44	6,07	689,00	530	25	119,41	113,44	6,07	689,00
12	770	27	119,38	116,46	8,53	992,99	770	27	119,38	116,46	8,53	992,99	770	27	119,38	116,46	8,53	992,99
13	740	26	119,86	116,55	8,22	958,15	740	26	119,86	116,55	8,22	958,15	740	26	119,86	116,55	8,22	958,15
14	690	25	119,17	115,24	7,78	897,00	690	25	119,17	115,24	7,78	897,00	690	25	119,17	115,24	7,78	897,00
15	365	25	125,60	117,11	4,05	474,50	365	25	125,60	117,11	4,05	474,50	365	25	125,60	117,11	4,05	474,50
16	300	25	107,75	99,72	3,91	390,00	300	25	107,75	99,72	3,91	390,00	300	25	107,75	99,72	3,91	390,00
17	160	23	162,50	147,97	1,42	209,66	160	23	162,50	147,97	1,42	209,66	160	23	162,50	147,97	1,42	209,66
Sexto dia da primeira semana																		
7	150	21	121,46	110,47	1,79	198,12	150	21	121,46	110,47	1,79	198,12	150	21	121,46	110,47	1,79	198,12
8	200	21	121,24	110,92	2,38	264,16	200	21	121,24	110,92	2,38	264,16	200	21	121,24	110,92	2,38	264,16
9	250	22	121,19	111,51	2,95	328,90	250	22	121,19	111,51	2,95	328,90	250	22	121,19	111,51	2,95	328,90
10	280	22	120,93	111,66	3,30	368,37	280	22	120,93	111,66	3,30	368,37	280	22	120,93	111,66	3,30	368,37
11	340	23	120,85	112,35	3,97	445,54	340	23	120,85	112,35	3,97	445,54	340	23	120,85	112,35	3,97	445,54
12	360	23	120,81	112,58	4,19	471,74	360	23	120,81	112,58	4,19	471,74	360	23	120,81	112,58	4,19	471,74
13	290	22	121,88	112,67	3,39	381,52	290	22	121,88	112,67	3,39	381,52	290	22	121,88	112,67	3,39	381,52
14	220	23	119,71	109,77	2,63	288,29	220	23	119,71	109,77	2,63	288,29	220	23	119,71	109,77	2,63	288,29
15	220	23	126,11	115,64	2,49	288,29	220	23	126,11	115,64	2,49	288,29	220	23	126,11	115,64	2,49	288,29
16	150	21	108,14	98,35	2,01	198,12	150	21	108,14	98,35	2,01	198,12	150	21	108,14	98,35	2,01	198,12
17	100	21	162,50	146,93	0,90	132,08	100	21	162,50	146,93	0,90	132,08	100	21	162,50	146,93	0,90	132,08

Tabela 1 – Dados levantados para simulação do sistema.

(continuação)

	String I						String II						String III					
hora	G	T	V_{MPP}(str)	V_{MPP}	I_{MPP}	P_{MPP}	G	T	V_{MPP}(str)	V_{MPP}	I_{MPP}	P_{MPP}	G	T	V_{MPP}(str)	V_{MPP}	I_{MPP}	P_{MPP}
Sétimo dia da primeira semana																		
7	300	25	120,99	111,97	3,48	390,00	300	25	120,99	111,97	3,48	390,00	300	25	120,99	111,97	3,48	390,00
8	330	25	120,82	112,20	3,82	429,00	330	25	120,82	112,20	3,82	429,00	330	25	120,82	112,20	3,82	429,00
9	430	27	119,93	112,65	4,92	554,53	430	27	119,93	112,65	4,92	554,53	430	27	119,93	112,65	4,92	554,53
10	650	28	119,51	115,06	7,26	834,86	650	28	119,51	115,06	7,26	834,86	650	28	119,51	115,06	7,26	834,86
11	790	30	118,85	116,19	8,66	1006,46	790	30	118,85	116,19	8,66	1006,46	790	30	118,85	116,19	8,66	1006,46
12	980	32	118,23	117,98	10,50	1238,33	980	32	118,23	117,98	10,50	1238,33	980	32	118,23	117,98	10,50	1238,33
13	990	32	119,77	119,65	10,46	1250,96	990	32	119,77	119,65	10,46	1250,96	990	32	119,77	119,65	10,46	1250,96
14	840	29	117,48	115,48	9,30	1074,53	840	29	117,48	115,48	9,30	1074,53	840	29	117,48	115,48	9,30	1074,53
15	700	28	125,69	121,68	7,39	899,08	700	28	125,69	121,68	7,39	899,08	700	28	125,69	121,68	7,39	899,08
16	300	27	107,50	99,49	3,89	386,88	300	27	107,50	99,49	3,89	386,88	300	27	107,50	99,49	3,89	386,88
17	200	27	162,50	148,66	1,73	257,92	200	27	162,50	148,66	1,73	257,92	200	27	162,50	148,66	1,73	257,92
Primeiro dia da segunda semana																		
7	300	25	120,76	111,76	3,49	390,00	270	25	120,89	111,50	3,15	351,00	300	25	120,76	111,76	3,49	390,00
8	400	25	120,51	112,81	4,61	520,00	360	25	120,67	112,45	4,16	468,00	400	25	120,51	112,81	4,61	520,00
9	500	27	119,87	113,49	5,68	644,80	450	27	120,09	113,06	5,13	580,32	500	27	119,87	113,49	5,68	644,80
10	700	28	119,02	115,22	7,80	899,08	630	28	119,33	114,63	7,06	809,17	700	28	119,02	115,22	7,80	899,08
11	900	30	118,77	117,50	9,76	1146,60	810	30	119,10	116,69	8,84	1031,94	900	30	118,77	117,50	9,76	1146,60
12	1000	32	118,20	118,20	10,69	1263,60	900	32	118,57	117,31	9,69	1137,24	1000	32	118,20	118,20	10,69	1263,60
13	1000	32	119,72	119,72	10,55	1263,60	900	32	120,01	118,73	9,58	1137,24	1000	32	119,72	119,72	10,55	1263,60
14	800	29	118,12	115,61	8,85	1023,36	720	29	118,38	114,85	8,02	921,02	800	29	118,12	115,61	8,85	1023,36
15	600	28	125,27	119,93	6,43	770,64	540	28	125,39	119,25	5,82	693,58	600	28	125,27	119,93	6,43	770,64
16	400	27	107,50	100,63	5,13	515,84	360	27	107,62	100,29	4,63	464,26	400	27	107,50	100,63	5,13	515,84
17	200	27	162,50	148,66	1,73	257,92	180	27	162,50	148,32	1,57	232,13	200	27	162,50	148,66	1,73	257,92
Segundo dia da segunda semana																		
7	300	25	120,99	111,97	3,48	390,00	300	25	120,99	111,97	3,48	390,00	300	25	120,99	111,97	3,48	390,00
8	330	25	120,82	112,20	3,82	429,00	330	25	120,82	112,20	3,82	429,00	330	25	120,82	112,20	3,82	429,00
9	430	27	119,93	112,65	4,92	554,53	430	27	119,93	112,65	4,92	554,53	430	27	119,93	112,65	4,92	554,53
10	650	28	119,51	115,06	7,26	834,86	650	28	119,51	115,06	7,26	834,86	650	28	119,51	115,06	7,26	834,86
11	790	30	118,85	116,19	8,66	1006,46	790	30	118,85	116,19	8,66	1006,46	790	30	118,85	116,19	8,66	1006,46
12	980	32	118,23	117,98	10,50	1238,33	980	32	118,23	117,98	10,50	1238,33	980	32	118,23	117,98	10,50	1238,33
13	990	32	119,77	119,65	10,46	1250,96	990	32	119,77	119,65	10,46	1250,96	990	32	119,77	119,65	10,46	1250,96
14	840	29	117,48	115,48	9,30	1074,53	840	29	117,48	115,48	9,30	1074,53	840	29	117,48	115,48	9,30	1074,53
15	700	28	125,69	121,68	7,39	899,08	700	28	125,69	121,68	7,39	899,08	700	28	125,69	121,68	7,39	899,08
16	300	27	107,50	99,49	3,89	386,88	300	27	107,50	99,49	3,89	386,88	300	27	107,50	99,49	3,89	386,88
17	200	27	162,50	148,66	1,73	257,92	200	27	162,50	148,66	1,73	257,92	200	27	162,50	148,66	1,73	257,92

Tabela 1 – Dados levantados para simulação do sistema.

(continuação)

	String I						String II						String III					
hora	G	T	V_{MPP}(str)	V_{MPP}	I_{MPP}	P_{MPP}	G	T	V_{MPP}(str)	V_{MPP}	I_{MPP}	P_{MPP}	G	T	V_{MPP}(str)	V_{MPP}	I_{MPP}	P_{MPP}
Terceiro dia da segunda semana																		
7	300	25	121,03	112,01	3,48	390,00	270	25	121,14	111,73	3,14	351,00	300	25	121,03	112,01	3,48	390,00
8	300	25	121,10	112,07	3,48	390,00	270	25	121,20	111,78	3,14	351,00	300	25	121,10	112,07	3,48	390,00
9	350	27	120,22	111,90	4,03	451,36	315	27	120,40	111,62	3,64	406,22	350	27	120,22	111,90	4,03	451,36
10	600	28	119,36	114,28	6,74	770,64	540	28	119,63	113,77	6,10	693,58	600	28	119,36	114,28	6,74	770,64
11	700	30	120,44	116,59	7,65	891,80	630	30	120,61	115,86	6,93	802,62	700	30	120,44	116,59	7,65	891,80
12	600	32	118,73	113,67	6,67	758,16	540	32	119,05	113,22	6,03	682,34	600	32	118,73	113,67	6,67	758,16
13	800	32	120,88	118,30	8,54	1010,88	720	32	121,05	117,44	7,75	909,79	800	32	120,88	118,30	8,54	1010,88
14	500	29	118,82	112,49	5,69	639,60	450	29	119,00	112,04	5,14	575,64	500	29	118,82	112,49	5,69	639,60
15	400	28	126,11	118,06	4,35	513,76	360	28	126,16	117,56	3,93	462,38	400	28	126,11	118,06	4,35	513,76
16	200	27	107,50	98,34	2,62	257,92	180	27	107,62	98,23	2,36	232,13	200	27	107,50	98,34	2,62	257,92
17	200	27	162,50	148,66	1,73	257,92	180	27	162,50	148,32	1,57	232,13	200	27	162,50	148,66	1,73	257,92
Quarto dia segunda semana																		
7	300	26	120,98	111,97	3,47	388,44	270	26	121,09	111,68	3,13	349,60	300	26	120,98	111,97	3,47	388,44
8	350	28	120,56	112,22	4,01	449,54	315	28	120,71	111,91	3,62	404,59	350	28	120,56	112,22	4,01	449,54
9	450	31	120,41	113,36	5,04	570,96	405	31	120,58	112,94	4,55	513,86	450	31	120,41	113,36	5,04	570,96
10	550	34	119,49	113,77	6,06	689,26	495	34	119,75	113,31	5,47	620,33	550	34	119,49	113,77	6,06	689,26
11	760	40	119,29	116,24	7,99	928,72	684	40	119,57	115,55	7,23	835,85	760	40	119,29	116,24	7,99	928,72
12	890	43	118,16	116,78	9,19	1073,70	801	43	118,53	116,02	8,33	966,33	890	43	118,16	116,78	9,19	1073,70
13	1000	44	119,84	119,84	10,02	1201,20	900	44	120,11	118,83	9,10	1081,08	1000	44	119,84	119,84	10,02	1201,20
14	800	41	117,81	115,31	8,44	973,44	720	41	118,10	114,58	7,65	876,10	800	41	117,81	115,31	8,44	973,44
15	650	38	125,44	120,77	6,63	801,06	585	38	125,55	120,00	6,01	720,95	650	38	125,44	120,77	6,63	801,06
16	400	35	106,98	100,15	4,98	499,20	360	35	107,16	99,86	4,50	449,28	400	35	106,98	100,15	4,98	499,20
17	280	30	162,50	150,05	2,38	356,72	252	30	162,50	149,56	2,15	321,05	280	30	162,50	150,05	2,38	356,72
Quinto dia da segunda semana																		
7	150	21	121,41	110,43	1,79	198,12	135	21	121,48	110,30	1,62	178,31	150	21	121,41	110,43	1,79	198,12
8	200	21	121,39	111,05	2,38	264,16	180	21	121,46	110,86	2,14	237,74	200	21	121,39	111,05	2,38	264,16
9	250	22	120,75	111,11	2,96	328,90	225	22	120,89	110,92	2,67	296,01	250	22	120,75	111,11	2,96	328,90
10	400	24	120,53	112,83	4,63	522,08	360	24	120,68	112,46	4,18	469,87	400	24	120,53	112,83	4,63	522,08
11	530	25	119,41	113,44	6,07	689,00	477	25	119,68	113,02	5,49	620,10	530	25	119,41	113,44	6,07	689,00
12	770	27	119,38	116,46	8,53	992,99	693	27	119,63	115,72	7,72	893,69	770	27	119,38	116,46	8,53	992,99
13	740	26	119,86	116,55	8,22	958,15	666	26	120,13	115,86	7,44	862,34	740	26	119,86	116,55	8,22	958,15
14	690	25	119,17	115,24	7,78	897,00	621	25	119,32	114,50	7,05	807,30	690	25	119,17	115,24	7,78	897,00
15	365	25	125,60	117,11	4,05	474,50	329	25	125,70	116,71	3,66	427,05	365	25	125,60	117,11	4,05	474,50
16	300	25	107,75	99,72	3,91	390,00	270	25	107,85	99,47	3,53	351,00	300	25	107,75	99,72	3,91	390,00
17	160	23	162,50	147,97	1,42	209,66	144	23	162,50	147,69	1,28	188,70	160	23	162,50	147,97	1,42	209,66

Tabela 1 – Dados levantados para simulação do sistema.

(continuação)

	String I						String II						String III					
hora	G	T	V_{MPP}(str)	V_{MPP}	I_{MPP}	P_{MPP}	G	T	V_{MPP}(str)	V_{MPP}	I_{MPP}	P_{MPP}	G	T	V_{MPP}(str)	V_{MPP}	I_{MPP}	P_{MPP}
Sexto dia da segunda semana																		
7	150	21	121,46	110,47	1,79	198,12	135	21	121,53	110,34	1,62	178,31	150	21	121,46	110,47	1,79	198,12
8	200	21	121,24	110,92	2,38	264,16	180	21	121,33	110,74	2,15	237,74	200	21	121,24	110,92	2,38	264,16
9	250	22	121,19	111,51	2,95	328,90	225	22	121,28	111,27	2,66	296,01	250	22	121,19	111,51	2,95	328,90
10	280	22	120,93	111,66	3,30	368,37	252	22	121,05	111,41	2,98	331,53	280	22	120,93	111,66	3,30	368,37
11	340	23	120,85	112,35	3,97	445,54	306	23	120,98	112,04	3,58	400,98	340	23	120,85	112,35	3,97	445,54
12	360	23	120,81	112,58	4,19	471,74	324	23	120,93	112,22	3,78	424,57	360	23	120,81	112,58	4,19	471,74
13	290	22	121,88	112,67	3,39	381,52	261	22	121,96	112,36	3,06	343,37	290	22	121,88	112,67	3,39	381,52
14	220	23	119,71	109,77	2,63	288,29	198	23	119,81	109,58	2,37	259,46	220	23	119,71	109,77	2,63	288,29
15	220	23	126,11	115,64	2,49	288,29	198	23	126,15	115,38	2,25	259,46	220	23	126,11	115,64	2,49	288,29
16	150	21	108,14	98,35	2,01	198,12	135	21	108,20	98,24	1,82	178,31	150	21	108,14	98,35	2,01	198,12
17	100	21	162,50	146,93	0,90	132,08	90	21	162,50	146,76	0,81	118,87	100	21	162,50	146,93	0,90	132,08
Sétimo dia segunda semana																		
7	300	25	120,99	111,97	3,48	390,00	270	25	121,10	111,69	3,14	351,00	300	25	120,99	111,97	3,48	390,00
8	330	25	120,82	112,20	3,82	429,00	297	25	120,95	111,90	3,45	386,10	330	25	120,82	112,20	3,82	429,00
9	430	27	119,93	112,65	4,92	554,53	387	27	120,15	112,31	4,44	499,08	430	27	119,93	112,65	4,92	554,53
10	650	28	119,51	115,06	7,26	834,86	585	28	119,76	114,47	6,56	751,37	650	28	119,51	115,06	7,26	834,86
11	790	30	118,85	116,19	8,66	1006,46	711	30	119,17	115,50	7,84	905,81	790	30	118,85	116,19	8,66	1006,46
12	980	32	118,23	117,98	10,50	1238,33	882	32	118,60	117,11	9,52	1114,50	980	32	118,23	117,98	10,50	1238,33
13	990	32	119,77	119,65	10,46	1250,96	891	32	120,05	118,65	9,49	1125,87	990	32	119,77	119,65	10,46	1250,96
14	840	29	117,48	115,48	9,30	1074,53	756	29	117,80	114,74	8,43	967,08	840	29	117,48	115,48	9,30	1074,53
15	700	28	125,69	121,68	7,39	899,08	630	28	125,77	120,82	6,70	809,17	700	28	125,69	121,68	7,39	899,08
16	300	27	107,50	99,49	3,89	386,88	270	27	107,62	99,26	3,51	348,19	300	27	107,50	99,49	3,89	386,88
17	200	27	162,50	148,66	1,73	257,92	180	27	162,50	148,32	1,57	232,13	200	27	162,50	148,66	1,73	257,92
Primeiro dia da terceira semana																		
7	300	25	120,76	111,76	3,49	390,00	300	25	120,76	111,76	3,49	390,00	285	25	120,83	111,64	3,32	370,50
8	400	25	120,51	112,81	4,61	520,00	400	25	120,51	112,81	4,61	520,00	380	25	120,57	112,61	4,39	494,00
9	500	27	119,87	113,49	5,68	644,80	500	27	119,87	113,49	5,68	644,80	475	27	120,03	113,32	5,41	612,56
10	700	28	119,02	115,22	7,80	899,08	700	28	119,02	115,22	7,80	899,08	665	28	119,02	114,78	7,44	854,13
11	900	30	118,77	117,50	9,76	1146,60	900	30	118,77	117,50	9,76	1146,60	900	30	118,77	117,50	9,76	1146,60
12	1000	32	118,20	118,20	10,69	1263,60	1000	32	118,20	118,20	10,69	1263,60	1000	32	118,20	118,20	10,69	1263,60
13	1000	32	119,72	119,72	10,55	1263,60	1000	32	119,72	119,72	10,55	1263,60	1000	32	119,72	119,72	10,55	1263,60
14	800	29	118,12	115,61	8,85	1023,36	800	29	118,12	115,61	8,85	1023,36	800	29	118,12	115,61	8,85	1023,36
15	600	28	125,27	119,93	6,43	770,64	600	28	125,27	119,93	6,43	770,64	600	28	125,27	119,93	6,43	770,64
16	400	27	107,50	100,63	5,13	515,84	400	27	107,50	100,63	5,13	515,84	400	27	107,50	100,63	5,13	515,84
17	200	27	162,50	148,66	1,73	257,92	200	27	162,50	148,66	1,73	257,92	200	27	162,50	148,66	1,73	257,92

Tabela 1 – Dados levantados para simulação do sistema.

(continuação)

	String I						String II						String III					
hora	G	T	V_{MPP}(str)	V_{MPP}	I_{MPP}	P_{MPP}	G	T	V_{MPP}(str)	V_{MPP}	I_{MPP}	P_{MPP}	G	T	V_{MPP}(str)	V_{MPP}	I_{MPP}	P_{MPP}
Segundo dia da terceira semana																		
7	300	25	121,03	112,01	3,48	390,00	300	25	121,03	112,01	3,48	390,00	285	25	121,09	111,88	3,31	370,50
8	300	25	121,10	112,07	3,48	390,00	300	25	121,10	112,07	3,48	390,00	285	25	121,13	111,91	3,31	370,50
9	350	27	120,22	111,90	4,03	451,36	350	27	120,22	111,90	4,03	451,36	333	27	120,36	111,81	3,84	428,79
10	600	28	119,36	114,28	6,74	770,64	600	28	119,36	114,28	6,74	770,64	570	28	119,36	113,90	6,43	732,11
11	700	30	120,44	116,59	7,65	891,80	700	30	120,44	116,59	7,65	891,80	700	30	120,44	116,59	7,65	891,80
12	600	32	118,73	113,67	6,67	758,16	600	32	118,73	113,67	6,67	758,16	600	32	118,73	113,67	6,67	758,16
13	800	32	120,88	118,30	8,54	1010,88	800	32	120,88	118,30	8,54	1010,88	800	32	120,88	118,30	8,54	1010,88
14	500	29	118,82	112,49	5,69	639,60	500	29	118,82	112,49	5,69	639,60	500	29	118,82	112,49	5,69	639,60
15	400	28	126,11	118,06	4,35	513,76	400	28	126,11	118,06	4,35	513,76	400	28	126,11	118,06	4,35	513,76
16	200	27	107,50	98,34	2,62	257,92	200	27	107,50	98,34	2,62	257,92	200	27	107,50	98,34	2,62	257,92
17	200	27	162,50	148,66	1,73	257,92	200	27	162,50	148,66	1,73	257,92	200	27	162,50	148,66	1,73	257,92
Terceiro dia da terceira semana																		
7	300	26	121,25	112,21	3,46	388,44	300	26	121,25	112,21	3,46	388,44	285	26	121,30	112,07	3,29	369,02
8	300	28	120,46	111,49	3,46	385,32	300	28	120,46	111,49	3,46	385,32	285	28	120,53	111,36	3,29	366,05
9	450	31	120,67	113,61	5,03	570,96	450	31	120,67	113,61	5,03	570,96	428	31	120,79	113,43	4,78	542,41
10	500	34	119,40	113,04	5,54	626,60	500	34	119,40	113,04	5,54	626,60	475	34	119,40	112,73	5,28	595,27
11	800	40	119,02	116,49	8,39	977,60	800	40	119,02	116,49	8,39	977,60	800	40	119,02	116,49	8,39	977,60
12	900	43	118,78	117,51	9,24	1085,76	900	43	118,78	117,51	9,24	1085,76	900	43	118,78	117,51	9,24	1085,76
13	900	44	119,45	118,18	9,15	1081,08	900	44	119,45	118,18	9,15	1081,08	900	44	119,45	118,18	9,15	1081,08
14	800	41	118,89	116,36	8,37	973,44	800	41	118,89	116,36	8,37	973,44	800	41	118,89	116,36	8,37	973,44
15	400	38	125,90	117,86	4,18	492,96	400	38	125,90	117,86	4,18	492,96	400	38	125,90	117,86	4,18	492,96
16	250	35	107,50	98,91	3,15	312,00	250	35	107,50	98,91	3,15	312,00	250	35	107,50	98,91	3,15	312,00
17	200	30	162,50	148,66	1,71	254,80	200	30	162,50	148,66	1,71	254,80	200	30	162,50	148,66	1,71	254,80
Quarto dia da terceira semana																		
7	300	26	120,98	111,97	3,47	388,44	300	26	120,98	111,97	3,47	388,44	285	26	121,04	111,83	3,30	369,02
8	350	28	120,56	112,22	4,01	449,54	350	28	120,56	112,22	4,01	449,54	333	28	120,62	112,05	3,81	427,06
9	450	31	120,41	113,36	5,04	570,96	450	31	120,41	113,36	5,04	570,96	428	31	120,54	113,19	4,79	542,41
10	550	34	119,49	113,77	6,06	689,26	550	34	119,49	113,77	6,06	689,26	523	34	119,49	113,42	5,77	654,80
11	760	40	119,29	116,24	7,99	928,72	760	40	119,29	116,24	7,99	928,72	760	40	119,29	116,24	7,99	928,72
12	890	43	118,16	116,78	9,19	1073,70	890	43	118,16	116,78	9,19	1073,70	890	43	118,16	116,78	9,19	1073,70
13	1000	44	119,84	119,84	10,02	1201,20	1000	44	119,84	119,84	10,02	1201,20	1000	44	119,84	119,84	10,02	1201,20
14	800	41	117,81	115,31	8,44	973,44	800	41	117,81	115,31	8,44	973,44	800	41	117,81	115,31	8,44	973,44
15	650	38	125,44	120,77	6,63	801,06	650	38	125,44	120,77	6,63	801,06	650	38	125,44	120,77	6,63	801,06
16	400	35	106,98	100,15	4,98	499,20	400	35	106,98	100,15	4,98	499,20	400	35	106,98	100,15	4,98	499,20
17	280	30	162,50	150,05	2,38	356,72	280	30	162,50	150,05	2,38	356,72	280	30	162,50	150,05	2,38	356,72

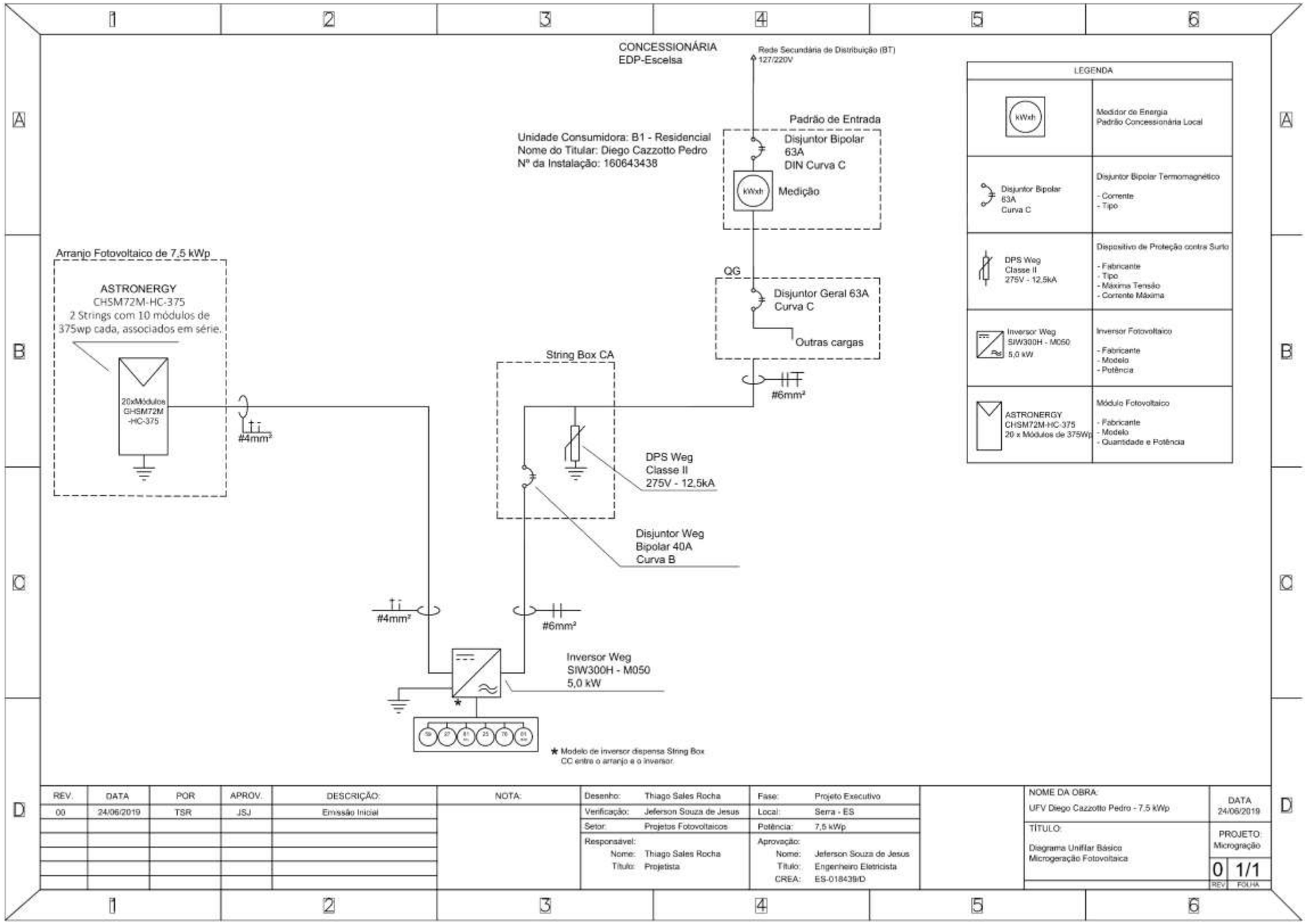
Tabela 1 – Dados levantados para simulação do sistema.

(conclusão)

	String I						String II						String III					
hora	G	T	V_{MPP}(str)	V_{MPP}	I_{MPP}	P_{MPP}	G	T	V_{MPP}(str)	V_{MPP}	I_{MPP}	P_{MPP}	G	T	V_{MPP}(str)	V_{MPP}	I_{MPP}	P_{MPP}
Quinto dia da terceira semana																		
7	150	21	121,41	110,43	1,79	198,12	150	21	121,41	110,43	1,79	198,12	143	21	121,45	110,36	1,71	188,21
8	200	21	121,39	111,05	2,38	264,16	200	21	121,39	111,05	2,38	264,16	190	21	121,42	110,95	2,26	250,95
9	250	22	120,75	111,11	2,96	328,90	250	22	120,75	111,11	2,96	328,90	238	22	120,85	111,04	2,81	312,46
10	400	24	120,53	112,83	4,63	522,08	400	24	120,53	112,83	4,63	522,08	380	24	120,53	112,57	4,41	495,98
11	530	25	119,41	113,44	6,07	689,00	530	25	119,41	113,44	6,07	689,00	530	25	119,41	113,44	6,07	689,00
12	770	27	119,38	116,46	8,53	992,99	770	27	119,38	116,46	8,53	992,99	770	27	119,38	116,46	8,53	992,99
13	740	26	119,86	116,55	8,22	958,15	740	26	119,86	116,55	8,22	958,15	740	26	119,86	116,55	8,22	958,15
14	690	25	119,17	115,24	7,78	897,00	690	25	119,17	115,24	7,78	897,00	690	25	119,17	115,24	7,78	897,00
15	365	25	125,60	117,11	4,05	474,50	365	25	125,60	117,11	4,05	474,50	365	25	125,60	117,11	4,05	474,50
16	300	25	107,75	99,72	3,91	390,00	300	25	107,75	99,72	3,91	390,00	300	25	107,75	99,72	3,91	390,00
17	160	23	162,50	147,97	1,42	209,66	160	23	162,50	147,97	1,42	209,66	160	23	162,50	147,97	1,42	209,66
Sexto dia da terceira semana																		
7	150	21	121,46	110,47	1,79	198,12	150	21	121,46	110,47	1,79	198,12	143	21	121,50	110,41	1,70	188,21
8	200	21	121,24	110,92	2,38	264,16	200	21	121,24	110,92	2,38	264,16	190	21	121,28	110,82	2,26	250,95
9	250	22	121,19	111,51	2,95	328,90	250	22	121,19	111,51	2,95	328,90	238	22	121,25	111,41	2,80	312,46
10	280	22	120,93	111,66	3,30	368,37	280	22	120,93	111,66	3,30	368,37	266	22	120,93	111,48	3,14	349,95
11	340	23	120,85	112,35	3,97	445,54	340	23	120,85	112,35	3,97	445,54	340	23	120,85	112,35	3,97	445,54
12	360	23	120,81	112,58	4,19	471,74	360	23	120,81	112,58	4,19	471,74	360	23	120,81	112,58	4,19	471,74
13	290	22	121,88	112,67	3,39	381,52	290	22	121,88	112,67	3,39	381,52	290	22	121,88	112,67	3,39	381,52
14	220	23	119,71	109,77	2,63	288,29	220	23	119,71	109,77	2,63	288,29	220	23	119,71	109,77	2,63	288,29
15	220	23	126,11	115,64	2,49	288,29	220	23	126,11	115,64	2,49	288,29	220	23	126,11	115,64	2,49	288,29
16	150	21	108,14	98,35	2,01	198,12	150	21	108,14	98,35	2,01	198,12	150	21	108,14	98,35	2,01	198,12
17	100	21	162,50	146,93	0,90	132,08	100	21	162,50	146,93	0,90	132,08	100	21	162,50	146,93	0,90	132,08
Sétimo dia da terceira semana																		
7	300	25	120,99	111,97	3,48	390,00	300	25	120,99	111,97	3,48	390,00	285	25	121,05	111,83	3,31	370,50
8	330	25	120,82	112,20	3,82	429,00	330	25	120,82	112,20	3,82	429,00	314	25	120,87	112,03	3,64	407,55
9	430	27	119,93	112,65	4,92	554,53	430	27	119,93	112,65	4,92	554,53	409	27	120,08	112,52	4,68	526,80
10	650	28	119,51	115,06	7,26	834,86	650	28	119,51	115,06	7,26	834,86	618	28	119,51	114,64	6,92	793,12
11	790	30	118,85	116,19	8,66	1006,46	790	30	118,85	116,19	8,66	1006,46	790	30	118,85	116,19	8,66	1006,46
12	980	32	118,23	117,98	10,50	1238,33	980	32	118,23	117,98	10,50	1238,33	980	32	118,23	117,98	10,50	1238,33
13	990	32	119,77	119,65	10,46	1250,96	990	32	119,77	119,65	10,46	1250,96	990	32	119,77	119,65	10,46	1250,96
14	840	29	117,48	115,48	9,30	1074,53	840	29	117,48	115,48	9,30	1074,53	840	29	117,48	115,48	9,30	1074,53
15	700	28	125,69	121,68	7,39	899,08	700	28	125,69	121,68	7,39	899,08	700	28	125,69	121,68	7,39	899,08
16	300	27	107,50	99,49	3,89	386,88	300	27	107,50	99,49	3,89	386,88	300	27	107,50	99,49	3,89	386,88
17	200	27	162,50	148,66	1,73	257,92	200	27	162,50	148,66	1,73	257,92	200	27	162,50	148,66	1,73	257,92

Fonte: Produzido pelo próprio autor.
Nota: G = Irradiância em W/m², T = Temperatura em °C, V_{MPP}(str) = Tensão de máxima potência por *string* em V, V_{MPP} = Tensão de máxima potência por painel em V, I_{MPP} = Corrente de máxima potência em A, P_{MPP} = Potência máxima em W.

APÊNDICE B – DIAGRAMA UNIFILAR DA PLANTA



APÊNDICE C – IMPLEMENTAÇÃO DO *DASHBOARD*

- Trata as correntes geradas pelas strings

```
String I = 0,01*(SUN2000_4056[Corrente String I (A)])
String II = 0,01*(SUN2000_4056[Corrente String II (A)])
```

- Calcula as médias diárias das correntes geradas pelas strings

```
Corrente I = AVERAGE(SUN2000_4056[String I])
Corrente II = AVERAGE(SUN2000_4056[String II])
```

- Calcula aos valores das potências geradas pelas strings

```
Potência STI (W) = SUN2000_4056[V_String I (V)]*SUN2000_4056[String I]
Potência STII (W) = SUN2000_4056[V_String II (V)]*SUN2000_4056[String II]
```

- Condições para notificação para string I

```
CondST2 = (AVERAGE(SUN2000_4056[String I])*1,08)
CondST11 = (AVERAGE(SUN2000_4056[String II])*0,8)
```

- Condições para notificação para string II

```
CondST1 = (AVERAGE(SUN2000_4056[String II])*1,08)
CondST22 = (AVERAGE(SUN2000_4056[String I])*0,8)
```

ANEXO A – DATASHEET MÓDULO FOTOVOLTAICO DA PLANTA

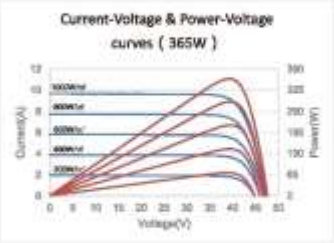
ELECTRICAL SPECIFICATIONS

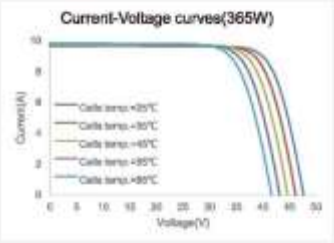
STC rated output (P_{max})*	355 Wp	360 Wp	365 Wp	370 Wp	375 Wp
Rated voltage (V_{mpp}) at STC	38.91V	39.15V	39.47V	39.71V	39.94V
Rated current (I_{mpp}) at STC	9.12 A	9.20 A	9.25 A	9.32 A	9.39 A
Open circuit voltage (V_{oc}) at STC	46.83V	47.13V	47.44V	47.64V	47.89V
Short circuit current (I_{sc}) at STC	9.57 A	9.64 A	9.71 A	9.80 A	9.88 A
Module efficiency	18.0%	18.3%	18.5%	18.8%	19.1%
Rated output (P_{mpp}) at NOCT	261.5 Wp	265.1 Wp	268.8 Wp	272.5 Wp	276.2 Wp
Rated voltage (V_{mpp}) at NOCT	35.95V	36.13V	36.44V	36.66V	36.88V
Rated current (I_{mpp}) at NOCT	7.27 A	7.34 A	7.38 A	7.43 A	7.49 A
Open circuit voltage (V_{oc}) at NOCT	43.42V	43.70V	43.99V	44.17V	44.40V
Short circuit current (I_{sc}) at NOCT	7.69 A	7.75 A	7.80 A	7.87 A	7.94 A
Temperature coefficient (P_{max})	- 0.376%/°C				
Temperature coefficient (I_{sc})	+0.043%/°C				
Temperature coefficient (V_{oc})	- 0.282%/°C				
Normal operating cell temperature (NOCT)	46±2°C				
Maximum system voltage (IEC/UL)	1500V_{DC}				
Number of diodes	3				
Junction box IP rating	IP 67				
Maximum series fuse rating	15 A				

* Measurement tolerance +/- 3%

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

CURVE





MECHANICAL SPECIFICATIONS

Outer dimensions (L x W x H)	1986 x 992 x 40 mm 78.19 x 39.06 x 1.57 in
Frame technology	Aluminum, silver anodized
Module composition	Glass / EVA / Backsheet (white)
Front glass thickness	3.2 mm / 0.13 in
[1] Cable length (IEC/UL)	800 mm / 31.50 in
Cable diameter (IEC/UL)	4 mm² / 12 AWG
[2] Maximum mechanical test load	6000 Pa
Fire performance (IEC/UL)	Class C (IEC) or Type 1 (UL)
Connector type (IEC/UL)	MC4 compatible

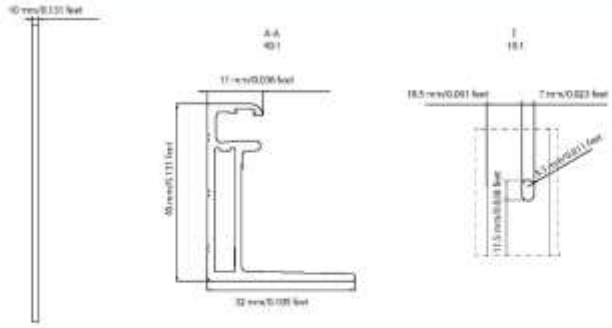
[1] Option: 1100 mm for defined projects in advance.
[2] Refer to Astronergy Crystalline Silicon PV Module Installation Manual or contact technical department.
Maximum Mechanical Test Load=1.5*Maximum Mechanical Design Load.

PACKING SPECIFICATIONS

[1] Weight (module only)	22.2 kg / 48.94 lbs
[2] Packing unit	27 pcs / box
Weight of packing unit (for 40'HQ container)	658 kg / 1451 lbs
Number of modules per 40'HQ container	594 pcs

[1] Tolerance +/- 1.0kg
[2] Subject to sales contract

MODULE DIMENSION DETAILS



© Chint Solar (Zhejiang) Co., Ltd. Reserves the right of final interpretation, please contact our company to use the latest version for contract.

ANEXO B – DATASHEET INVERSOR DA PLANTA

www.weg.net

Inversor String SIW300H - M050

Inteligente
- Topologia do inversor de alta eficiência, eficiência máxima de 98,6%, eficiência europeia de 98,0%

Eficiente
- Fácil instalação por apenas uma pessoa com peso de 10,6 kg
- Conector CA otimizado para rápida ligação
- Configuração rápida do inversor via APP

Seguro
- Interface integrada de armazenamento de energia Plug & Play
- Dotado de seccionamento CC

Confiável
- Instalável ao tempo (IP65) com convecção natural (mais eficiente)
- Proteção contra surtos integrada para CC e para CA

Curva de Eficiência

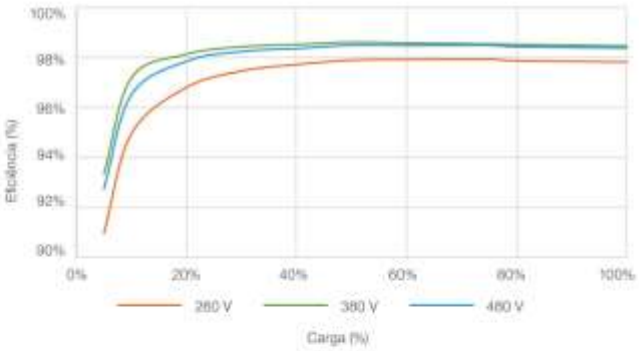
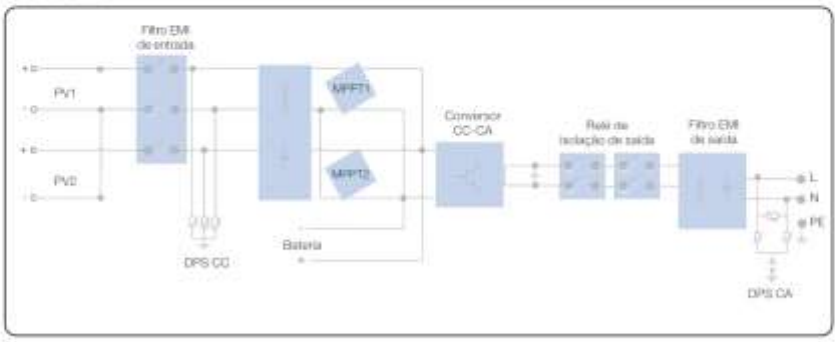


Diagrama do Circuito



SIW300H - M050

Inversor String SIW300H - M050

Especificações técnicas		SIW300H - M050
Eficiência		
Eficiência máxima		98,6%
Eficiência europeia		98%
Entrada		
Tensão de entrada máxima		600 V
Faixa de tensão de operação[1]		90 V ~ 600 V
Tensão de partida		120 V
Faixa de tensão MPPT em máxima potência		260 V ~ 480 V
Tensão de entrada nominal		380 V
Corrente de entrada máxima por MPPT		11 A
Corrente de curto-circuito máxima		15 A
Número de MPPTs		2
Número máximo de entradas por MPPT		1
Saída		
Conexão à rede		Monofásica
Potência nominal de saída		5.000 W[2]
Potência aparente máxima		5.500 VA[3]
Tensão de saída nominal		220 V / 230 V / 240 V
Frequência de rede CA nominal		50 Hz / 60 Hz
Corrente de saída máxima		25 A[5]
Fator de potência ajustável		0,8 adiantado ... 0,8 atrasado
Distorção harmônica total máxima		≤3%
Proteção		
Proteção anti-ilhamento		Sim
Proteção contra polaridade CC invertida		Sim
Monitoramento de isolação		Sim
Proteção contra raios CC		Sim
Proteção contra raios CA		Sim
Monitoramento de correntes residuais		Sim
Proteção contra sobrecorrente CA		Sim
Proteção contra curto-circuito CA		Sim
Proteção contra sobretensão CA		Sim
Proteção contra sobretemperatura		Sim
Dados gerais		
Faixa de temperatura de operação		-30 a +60 °C (redução acima de 45 °C à Potência nominal de saída)
Umidade relativa de operação		0% RH – 100% RH
Altitude de operação		0 - 4.000 m (redução acima de 4.000 m)
Resfriamento		Convecção natural
Display		Indicadores LED
Comunicação		RS485, WLAN
Peso (incluindo suporte de montagem)		10,6 kg
Dimensão (incluindo suporte de montagem)		375 × 375 × 161,5 mm
Grau de proteção		IP65
Modo de operação	com bateria	On-Grid[6]
	sem bateria	Grid-zero[6]
Compatibilidade da bateria		
Bateria		LG Chem RESU 7H_R / 10H_R
Faixa de tensão		350 – 450 V cc
Corrente máxima		10 A
Comunicação		RS485
Conformidade com normas		
Segurança		EN/IEC 62109-1, EN/IEC 62109-2
Normas de conexão à rede		G83/2, G59/3, EN 50438, CEI 0-21, VDE-AR-N-4105, UTE C 15-712-1, AS 4777

Notas: 1) Somente aplicável a string FV. A tensão de entrada máxima e o limite superior de tensão de operação serão reduzidos a 495 V quando o inversor conecta-se a uma bateria e opera com ela.
2) AS4777:4.990 W.
3) VDE-AR-N 4105:4600 VA / AS4777:4990 VA.
4) AS4777:4990 VA.
5) AS4777:21,7 A.
6) Não opera Off-Grid.

ANEXO C – DATASHEET MÓDULO FOTOVOLTAICO SIMULAÇÃO

Tel:+1 415 402 0502 | Fax: +1 415 402 0703
us@jinkosolar.com | www.jinkosolar.com

JinKO Solar
Building Your Trust in Solar

JKM270PP-60
255-270 Watt
POLY CRYSTALLINE MODULE

Positive power tolerance of 0/+3%

ISO9001:2008, ISO14001:2004, OHSAS18001 certified factory.
UL1703 certified products.
(North America Market Use Only)

c UL US LISTED

KEY FEATURES

High Power Output:
Polycrystaline 60-cell module achieves a power output up to 265Wp.

Anti-PID Guarantee:
Limited power degradation of Eagle module caused by PID effect is guaranteed under 60℃/85% RH condition for mass production.

Low-light Performance:
Advanced glass and surface texturing allow for excellent performance in low-light environments.

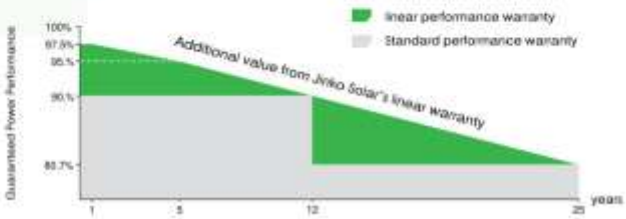
Severe Weather Resilience:
Tested to withstand maximum positive loading of 5400Pa and negative loading of 2400Pa.

Durability against extreme environmental conditions:
High salt mist and ammonia resistance certified by TUV NORD.

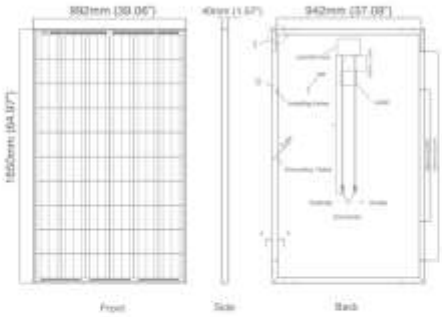
Temperature Coefficient:
Improved temperature coefficient decreases power loss during high temperatures.

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

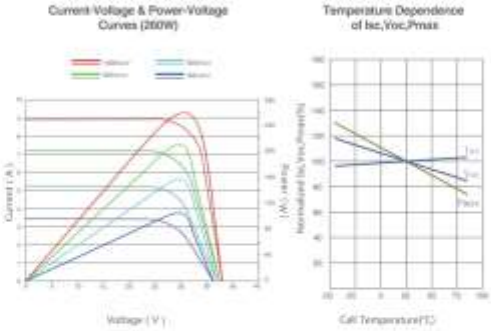
10 Year Product Warranty • 25 Year Linear Power Warranty



Engineering Drawings



Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	Poly-crystalline 156×156mm (6 inch)
No.of cells	60 (6×10)
Dimensions	1650×992×40mm (64.97×39.06×1.57 inch)
Weight	19.0 kg (41.9 lbs)
Front Glass	3.2mm, High Transmission, Low Iron, AR Coating Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	12 AWG, Length:900mm (35.43 inch)
Fire Type	Type 1

Packaging Configuration

(Two boxes=One pallet)

25pcs/ box, 50pcs/pallet, 700 pcs/40'HQ Container

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM255PP		JKM260PP		JKM265PP		JKM270PP	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	255Wp	190Wp	260Wp	194Wp	265Wp	198Wp	270Wp	202Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	30.8V	28.1V	31.1V	28.3V	31.4V	28.7V	31.7V	29.0V
Maximum Power Current (Imp)	8.28A	6.75A	8.37A	6.84A	8.44A	6.91A	8.52A	6.97A
Open-circuit Voltage (Voc)	38.0V	35.0V	38.1V	35.1V	38.6V	35.3V	38.8V	35.6V
Short-circuit Current (Isc)	8.92A	7.22A	8.98A	7.26A	9.03A	7.31A	9.09A	7.36A
Module Efficiency STC (%)	15.58%		15.88%		16.19%		16.50%	
Operating Temperature(℃)	-40℃~+85℃							
Maximum system voltage	1000VDC (UL)							
Maximum series fuse rating	15A							
Power tolerance	0~+3%							
Temperature coefficients of Pmax	-0.40%/℃							
Temperature coefficients of Voc	-0.30%/℃							
Temperature coefficients of Isc	0.06%/℃							
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2℃							

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

* Power measurement tolerance: ± 3%

CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.

© Jinko Solar Co., Ltd. All rights reserved specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

US-MKT-265PP_rev2015