Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

- Mestrado

GERENCIAMENTO DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL

"Uma análise de viabilidade"

por

Sofia Barbosa dos Reis

Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba para obtenção do grau de Mestre

João Pessoa – Paraíba **Julho de 2019**

SOFIA BARBOSA DOS REIS

GERENCIAMENTO DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL

"Uma análise de viabilidade"

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção do Grau de Mestre.

Orientador: Professor Doutor Francisco Antonio Belo

João Pessoa – Paraíba **Julho de 2019**

Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

R375g Reis, Sofia Barbosa Dos.
Gerenciamento de Geração de Energia Fotovoltaica Residencial / Sofia Barbosa Dos Reis. - João Pessoa, 2019.
164 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/Tecnologia.

1. Energia Solar. 2. Geração de Eletricidade. 3. Gerenciamento. I. Título

UFPB/BC

GERENCIAMENTO DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL: UMA ANÁLISE DE VIABILIDADE

por

SOFIA BARBOSA DOS REIS

Dissertação aprovada em 30 de abril de 2019

Prof. Dr. FRANCISCO ANTONIO BELO
Orientador – UFPB

Prof. Dr. ABEL CAVALCANTE LIMA FILHO
Examinador Interno - UFPB

Profa. Dra. CLAUDIANA MARIA DA SILVA LEAL
Examinadora Externa – IFPB

João Pessoa - PB

2019

Scanned by CamScanner

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela força que me impulsiona e a vida que me alegra os dias.

Ao meu orientador, Prof. Belo pelo apoio e paciência quando mais precisei.

Ao meu marido, mãe, filha e família por permanecerem ao meu lado.

GERENCIAMENTO DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL.

RESUMO

O Brasil tem privilégios em razão de seu extenso território, somado ao alto e vasto nível de irradiação solar. Em virtude das variações climáticas e prolongados períodos de secas, tem-se como consequência o comprometimento da produção de eletricidade pelas unidades hidroelétricas do Brasil. Esta realidade tem chamado a atenção de especialistas e estudiosos em produção de energia elétrica alternativa pelas características de sustentabilidade e alta produção de energia limpa. A energia solar fotovoltaica está em uma situação crescente de custo favorável, pois tem os insumos que mais baixaram nos últimos anos. Os investimentos em materiais e métodos necessários à sua implementação aumentam sua viabilidade. Apresenta-se os tópicos gerais acerca da energia solar, sua aplicação e um estudo de caso específico. Verifica-se as inconsistencias do gerenciamento de materiais e métodos para essa aplicação e a viabilidade da energia solar neste sistema analisado de produção de eletricidade. E por fim as recomendações para maior eficiencia do sistema.

Palavras-chave - Energia solar. Geração de eletricidade. Gerenciamento.

MANAGEMENT OF RESIDENTIAL PHOTOVOLTAIC ENERGY GENERATION.

ABSTRACT

Brazil has privileges due to its extensive territory, added to the high and vast level of solar irradiation. Due to climatic variations and prolonged periods of drought, the consequence is the commitment of the production of electricity by the hydroelectric units of Brazil. This reality has attracted the attention of experts and scholars in the production of alternative electric energy for the characteristics of sustainability and high production of clean energy. Photovoltaic solar energy is in a growing situation of favorable cost, since it has the inputs that have fallen most in recent years. Investments in materials and methods required to implement them increase their viability. It presents general topics about solar energy, its application and a specific case study. We verified the inconsistencies in the management of materials and methods for this application and the feasibility of solar energy in this analyzed system of electricity production. And finally the recommendations for greater efficiency of the system.

Keywords - Solar energy. Electricity generation. Management.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....015

1.2 METODOLOGIA.....017

1.3 OBJETIVOS.....019

1.3.1 Objetivo Geral.....019

1.3.2 Objetivos Específicos.....019

2. MOTIVAÇÃO.....020

2.1 A Matriz Energética e o valor Economico.....020

2.2 A Produção de Energia Solar e a Sustentabilidade.....025

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....028

3.1 Energia do Sol.....028

3.2 Energia Fotovoltaica.....037

3.2.1 Os fatores meteorológicos e a operação da célula fotovoltaica.....045

3.2.2 Ação da radiação do Sol sobre a célula fotovoltaica.....046

3.2.3 Ação da temperatura no módulo fotovoltaico.....047

3.2.4 Ação do sombreamento sobre a célula fotovoltaica.....049

3.3 O Inversor.....052

3.4 Sistema de armazenamento de Energia.....054

3.4.1 Armazenamento de Campo Elétrico.....055

3.4.2 Armazenamento de Campo Magnético.....056

3.4.3 Armazenamento Eletroquimicos.....056

3.5 Controlador de Carga.....058

3.6 Sensor de Radiação 059
3.7 Controlador de Sistema 060
3.8 Seguidor Solar..... 061
3.9 Sistemas fotovoltaicos em conexão à rede de distribuição 064
3.10 Tipos de sistemas fotovoltaicos autônomos 065
3.11 Sistemas fotovoltaicos híbridos..... 066

4. MATERIAIS E METODOS..... 068

5. ELEMENTOS DE UM GERENCIAMENTO DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM MICRORREDES – UM CASO DE ESTUDO..... 073

5.1 Analise de Resultados 076
5.2 Analise de Viabilidade 082
5.3 Verificação de Materiais e Metodos 085

6. CONCLUSÕES 091

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..... 091

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 092

9. ANEXOS - RELATORIOS HIPERENERGY 096

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Porcentagem de oferta de energia brasileira. Fonte: EPE (2014). 023

Figura 2 - Porcentagem de participação das fontes alternativas de energia. 024

Figura 3 - Recursos energéticos próprios do Brasil.....025

Figura 4 - Crescimento exponencial das unidades de energia solar em GW 029

Figura 5 - Processos químicos de ocorrência no Sol 030

Figura 6 - Atlas solarimétrico nacional 031

Figura 7 - Padrão observado de variação da incidência da luz solar.....032

Figura 8 - Órbita da Terra em torno do Sol, com seu eixo N-S inclinado a 23,5° 032

Figura 9 - (a) Ilustração dos ângulos α e as. (b) Coordenadas de orientação da superfície, aw e β, e o ângulo γ 033

Figura 10 - Componentes da radiação solar na superfície terrestre.....035

Figura 11 - Representação de ângulos da posição solar 035

Figura 12 - Trajetória do Sol em diferentes estações do ano.....036

Figura 13 - Trajetória dos raios de sol na atmosfera e definição do coeficiente de Massa de Ar. 037

Figura 14 - Efeito fotovoltaico e fotoeletrico 039

Figura 15 - Painel fotovoltaico sendo montado.....040

Figura 16 - Modelo de célula fotovoltaica feita de silício multicristalino 041

Figura 17 - (a) Célula; (b) Módulo; (c) Painel Fotovoltaico e arranjo. 048

Figura 18 - Performance dos rendimentos de Painéis Solares Fotovoltaicos.....049

Figura 19 - Curva tensão x corrente elétrica da célula fotovoltaica em relação a variação da radiação solar. Temperatura constante = 25 °C 046

Figura 20 - Curva potência x tensão elétrica para temperatura = 25 °C 047

Figura 21 - Curvas de corrente versus tensão elétrica para um módulo fotovoltaico que opera em temperaturas variadas, com radiação solar em 1000 W/ m^2 048

Figura 22 - Curva potência x tensão elétrica no módulo fotovoltaico em diferentes temperaturas, com radiação solar fixa em 1000 W/m^2 049

Figura 23 - Módulo fotovoltaico dotado de carga elétrica 055

Figura 24 - Sombreamento do módulo fotovoltaico 050

Figura 25 - Atenuação do sombreamento do módulo fotovoltaico por diodos de derivação . 051

Figura 26 - Curva de Eficiencia de um Inversor 053

Figura 27 - Sistemas armazenadores de carga elétrica 055

Figura 28 - Célula eletroquímica e valores de energia característicos 057

Figura 29 - Exemplo de sensor Sunny Sensorbox 060

Figura 30 - Controlador de sistema Arduino ATmega 2560 061

Figura 31 – Rastreador Solar de um eixo 062

Figura 32 - Comparativo Grafico do Padrão de Geração no dia com o Sistema Seguidor 063

Figura 33 – Modelo de sistema fotovoltaico em conexão à rede 064

Figura 34 – Estrutura de um sistema fotovoltaico isolado 066

Figura 35 - Arranjo de um sistema híbrido 067

Figura 36 - Ângulo de inclinação na instalação de um painel fotovoltaico 068

Figura 37 - Sistemas básicos da instalação de um SFCR 070

Figura 38 - Simulação de subdimensionamento do invesor 072

Figura 39 - Proteção, Inversor e Medidores da Energisa 074

Figura 40 - Módulos instalados no telhado 075

Figura 41 - Sistema monofásico de geração solar fotovoltaico.....075

Figura 42 - Tela do monitoramento por remoto, mensal e diario em 2018.....077

Figura 43 - Gráficos do Historico de Consumo em kWh do Residencial Multifamiliar.....078

Figura 44 - Medidores e imóveis atendidos no mesmo CPF.....078

Figura 45 - Características funcionais do SOLergo (software) 079

Figura 46 - Tarifa da conta de energia.....082

Figura 47 - Ângulo Azimute Instalado no Telhado do Imóvel do Estudo de Caso.....086

Figura 48 - Simulação da Radiação Solar e Inclinação 086

Figura 49 - Grafico de Radiação Solar 087

Figura 50 - Instalação Real e Ideal 087

Figura 51 - Dados Técnicos do Inversor 088

Figura 52 - Quadro de Gerenciamento do SFCR 090

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Oferta interna de energia no Brasil e no mundo (%).....021

Tabela 2 - Tipo de célula fotovoltaica e valor de eficiência.....042

Tabela 3 - Comparação entre os modos de distorção harmônica produzidas pela variação da tensão de saída de um inversor fotovoltaico.....052

Tabela 4 - Tecnologias direcionadas a armazenar energia.....054

Tabela 5 - Quadro de potência elétrica do residencial.....073

Tabela 6 - Equipamentos utilizados para instalação do kit fotovoltaico.....076

Tabela 7 - Produção mensal em 1 ano 2018/2019 para três projetos de SFCR.....080

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Produção mensal por 1 ano, de 2018/2019 para os três estudos do SFCR 081

Gráfico 2 - Retorno do investimento em Reais por 30 anos para os três SFCR.....084

Gráfico 3 - Retorno do investimento do Projeto Ideal da Hiper Energy 085

Gráfico 4 - Retorno do investimento do Projeto Real da Hiper Energy.....085

LISTA DE ABREVIATURAS

SIN - Sistema Interligado Nacional

ONU - Organização das Nações Unidas

SFCR – Sistema de Geração de Energia Fotovoltaica

OECD - Organização para Cooperação e Desenvolvimento Economico

ANEEL - Agencia Nacional de Energia Elétrica

CNUMAD - Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento

ENERGISA - Concessionaria de Energia em Joao Pessoa PB

m^2 - Metros quadrados

CAPITULO 1. INTRODUÇÃO

Devido à ascensão industrial juntamente com o crescimento populacional nas últimas décadas, tem-se visto um aumento singular no consumo energético mundial e igualmente no Brasil.

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 2016, o Brasil teve produção de energia elétrica de: 65,8% hidráulica (incluindo autoprodução), 9,8% gás natural, 2,1% derivados de petróleo (óleo diesel e óleo combustível), 2,9% carvão, 2,7% nuclear, 8,5% biomassa (lenha, bagaço de cana e lixívia), 5,8% eólica e 2,4% outros (gás de coqueria, secundárias, não renováveis, renováveis e energia fotovoltaica ou energia solar).

No que se refere ao Sistema Interligado Nacional (SIN), pode-se classificar em três subsistemas geradores. O primeiro a geração centralizada, onde é composta por usinas de grande porte que normalmente ficam distantes dos centros consumidores. O segundo é o sistema de geração energética distribuída, onde a produção é realizada por meio de usinas de pequeno porte (microgeração distribuída) que estão localizadas, geralmente, nas próprias localidades do consumidor ou próximos desta. E os ditos sistemas isolados, aqueles que não fazem parte da produção elétrica do SIN, geralmente compostos por pequenos sistemas em localidades remotas e atualmente em centros urbanos.

Tendo em vista que a produção de energia elétrica no Brasil é predominantemente realizada por via hídrica e que nos últimos anos, devido a problemas como estiagem, depreciação do meio ambiente e busca pela sustentabilidade, vem sofrendo para sanar as necessidades da população consumidora, fazem-se necessárias melhorias na produção de energia elétrica com o intuito de contornar futuros problemas energéticos. Uma forma de sair de um possível colapso energético (apagão) futuros seja o aumento na produção de energias como eólica e fotovoltaica.

Os sistemas energéticos fotovoltaicos são relativamente simples, variando dependendo da aplicabilidade. Podendo ser classificado em autônomo, como os sistemas isolados e os híbridos que são formados por sistemas fotovoltaicos associados à turbina, a gerador a diesel ou energia eólica por exemplo, e sistema conectado à rede, que tem o sistema fotovoltaico conectado diretamente à rede elétrica convencional.

Dentre os diversos modelos fotovoltaicos os com maior perspectiva de crescimento futuro mundialmente tem a sua utilização conectada à rede, e/ou de uso doméstico. O Sistema tem em sua composição básica um módulo ou painel fotovoltaico sendo conjunto de células “wafer” de silício, onde é produzida a energia elétrica de corrente contínua DC, Inversores, que fazem a conversão de corrente contínua para corrente alternada, medidor bidirecional que é responsável pela medição tanto da energia elétrica injetada na rede pelo consumidor, quanto à energia que entra na unidade consumidora.

Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR) são instalados em residências com medidores bidirecionais e a produção excedente é compensada ou armazenada melhorando a viabilidade econômica de um SFCR, visto que o consumidor recebe desconto por compensação direta ou indireta pela produção de energia elétrica suplementar.

O assunto em torno da sustentabilidade é relativamente recente. Tendo-se iniciado devido a problemas ambientais decorrentes do grande crescimento populacional em países subdesenvolvidos, juntamente com o excesso de desenvolvimentos industriais em países desenvolvidos. Estes foram os pontos debatidos na primeira Conferência sobre o Meio Ambiente, comumente conhecidos como Conferência de Estocolmo, sendo realizada pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 1972.

Em 1987 foi publicado o relatório intitulado Nosso Futuro Comum (Our Common Future) chefiado por Gro Harlem Bundtland. O relatório propõe várias medidas a serem tomadas para promoção do desenvolvimento sustentável e satisfazer as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras.

Vinte anos após a Conferência de Estocolmo, em 1992, no Rio de Janeiro, a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD) reuniram-se novamente com a pretensão de discutir questões sobre desenvolvimento e meio ambiente. A Rio-92, como ficou conhecida, resultou na elaboração da Agenda 21, na qual cada pais ficou responsável em programar ações para atingir os objetivos e as metas estabelecidas.

Segundo Nascimento (2012), sustentabilidade econômica supõe o aumento da eficiência da produção e do consumo com economia crescente de recursos naturais, com destaque para recursos permissivos como as fontes fósseis de energia e os recursos

delicados e mal distribuídos, como a água e os minerais. Esta é também denominada ecoeficiência.

Concordando com o apresentado, pode-se afirmar que as energias geradas de fontes alternativas como: energia eólica, energia solar fotovoltaicas, geotérmica (obtida do calor das camadas profundas da terra) e biogás (gases de decomposição de resíduos orgânicos), são processos de produção de energia ecoeficientes.

Dentre os vários modos de produção de energia ecoeficiente um tem grande importância, o dito fotovoltaico visto que é a tecnologia mais simples para projetar e instalar, tem como suas principais vantagens o fato de ser ambientalmente amigável, ser uma fonte de energia de baixa manutenção e não poluente.

Portanto, os estudos justificam-se pela necessidade inerente de produção energética por vias alternativas, focada em uma energia limpa e que incorpore uma tecnologia de grande potencial de utilização em diferentes setores da sociedade, e ainda, que seja economicamente viável em sua forma de produção.

CAPITULO 1.2 METODOLOGIA

O texto deste trabalho está dividido em seis partes. No capítulo 1 tem-se a Introdução onde foi abordado o contexto e a motivação para o desenvolvimento deste trabalho, em seguida temos a metodologia e o objetivo que fornece um roteiro do desenvolvimento e um entendimento geral. No capítulo 2 tem-se Tópicos e Elementos do Estado da Arte da Energia Solar e o contexto da matriz energética. No Capítulo 3 tem-se materiais e métodos que justifica a seleção de equipamentos e dimensionamentos. No Capítulo 4 é proposto o estudo de caso iniciando com a coleta de dados e demonstração da analise fundamentada. No Capítulo 5 tem-se a conclusão dos resultados da pesquisa relacionados ao SFCR, as considerações finais do trabalho e por fim as referências bibliográficas.

Será apresentada inicialmente a descrição dos principais equipamentos que foram instalados de um sistema fotovoltaico conectado à rede, sem bateria e com painéis fotovoltaicos em série, ou seja, o SFCR a qual foi projetada com potencial energético de

4,675 kWp (kilo Watt-pico), conectada a baixa tensão (220V) de distribuição da unidade consumidora.

O residencial multifamiliar do proprietário Fernando Bezerra de Andrade, está localizado em João Pessoa-Paraíba, Brasil onde foi instalado o SFCR no mês de agosto de 2017 e monitorado até dezembro de 2018.

A obtenção dos dados Instalados utilizados neste trabalho, foram coletados a partir do mapeamento do medidor bidirecional e da empresa responsável pela distribuição de energia da Paraíba ENERGISA, juntamente com levantamentos em loco e análise da documentação de projeto emitida pelo responsável técnico Alex Sandro Lins Estrela, CREA: 1055158/2016.

A obtenção dos relatórios de análise geral e econômicos Real e Ideal foram emitidos pela empresa Hiper Energy do Brasil que utiliza o software SOLergo. Em uma conexão virtual de demonstração com o técnico Vitor Rosso de Bona Sartor, através do sistema Team Viewer on-line, todas as informações de latitude, longitude, características do imóvel como carga instalada, equipamentos instalados, fotos da instalação e dados da concessionaria foram inseridos no SOLergo para emissão destes relatórios utilizados.

Os detalhes na instalação abordados impactam na eficiência da produção de energia e podem ser percebidas de forma direta e indireta no sistema instalado. Como por exemplo a determinação de equipamentos, modelos e mistura deles, o ângulo de fixação, a orientação em relação ao Sol que refletem diretamente em perda de eficiência do sistema. Indiretamente vemos dificuldades em relação ao uso diário que também podem ser visualizadas como no caso da instalação de dois medidores pela Concessionaria que provoca erro de leituras e inconsistência de dados nos levantamentos e nas cobranças.

Em uma abordagem objetiva este estudo pretende apoiar e esclarecer questões de natureza técnica com comparativos gráficos, analise de consistência do gerenciamento e aspectos de viabilidade econômica é possível demonstrar os resultados apresentados na conclusão para os sistemas fotovoltaicos de uso residencial.

CAPITULO 1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral demostrar parâmetros do gerenciamento impactantes na viabilidade, sustentabilidade econômica, confiabilidade e eficiência de um sistema energético fotovoltaico conectado à rede em um residencial multifamiliar, implantado no Município de João Pessoa-PB.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estudar de modo analítico os indicadores de desempenho da matriz energética fotovoltaica conectada à rede com medidor bidirecional por um período;

- Identificar os resultados da produção do SFCR (Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede) instalado quando comparado a um sistema projetado supostamente otimizado;

- Diagnosticar as falhas, limitações e possíveis pontos negativos do caso de modo a indicar as melhores opções de aplicação do sistema e aproveitamento do mesmo.

CAPITULO 2. MOTIVAÇÃO

2.1 A MATRIZ ENERGÉTICA E O VALOR ECONÔMICO

Tolmasquim (2007) ressalta que a partir de chamada Revolução Industrial a obtenção de energia assumiu uma conotação determinante em termos competição econômica, gerando condições de qualidade de vida para as populações, fato que tem comprovação na análise do modo de existência da espécie humana nos tempos medievais e no decorrer da Renascença. Assim, as nações que buscam o desenvolvimento econômico e social, necessitam crescentemente de energia para elevar o nível de produção da sociedade.

Tolmasquim (2007) indica que a Primeira Revolução Industrial, teve o mérito de consolidar o modelo capitalista de produção, promovendo uma ruptura em termos de história no funcionamento dos aparatos energéticos outrora estruturados. A partir da citada revolução, foi encerrado o período da obtenção biológica de energia, que provinham do esforço da espécie humana e dos animais, e passou-se a vivenciar um período de domínio dos combustíveis de origem fóssil.

Sachs (2007) opina que as alterações no modo de obtenção de energia no passado não tinham vínculo com o esgotamento físico de determinada fonte, mas sim pela migração para novas fontes que apresentavam maior eficiência e rentabilidade econômica. Em tal contexto, a história da espécie humana pode ser concebida como vinculada a questão da produção, e destinação do excedente de valor econômico, sob domínio das revoluções no campo da energia.

Sachs (2007) diz que é lícito dividir as fontes de energia em duas categorias, a saber, não renováveis, na qual se enquadra os combustíveis de origem fóssil e a energia nuclear; e as renováveis, das quais faz parte as energias eólica, hídrica, solar e biomassa. Na realidade atual tem-se o predomínio das fontes não renováveis para suprir a demanda de energia, em particular, o petróleo, o gás natural e o carvão mineral. Tais combustíveis tem direta associação as alterações climáticas verificadas nos últimos tempos, que depreciam a sustentabilidade e as reservas de energia para os tempos futuros.

Filho (2009) opina que a partir das temáticas relacionadas a manutenção do estado da arte do meio ambiente e dos recursos da natureza, tem assumido um grau ímpar de

importância nas discussões acadêmicas nacionais e internacionais, com preservação do meio ambiente ocupando lugar central nos anseios da humanidade em geral.

Epe (2014) afirma que nos últimos anos, foram verificadas profundas modificações nas matrizes energéticas em nosso país e nas várias partes do mundo. A Tabela 1, traz um demonstrativo da condição da matriz energética no período histórico anterior aos 40 anos, na qual se verifica uma importante redução no uso de petróleo e seus derivados, em favor de outras fontes energéticas, sendo que para o Brasil, ocorreu uma redução da ordem de 6,3 pontos percentuais na análise de 1973 a 2013, evidenciando que o Brasil seguindo a tendência do mundo, promoveu um esforço significativo para substituir os combustíveis fósseis.

Tabela 1 - oferta interna de energia no Brasil e no mundo (%)

Fonte	Brasil		OECD		Mundo	
	1973	2013	1973	2013	1973	2013
Petróleo e Derivados	45,6	39,3	52,6	35,8	46,1	29,3
Gás Natural	0,4	12,8	18,9	26,6	16,0	21,6
Carvão Mineral	3,1	5,6	22,6	18,8	24,6	30,9
Urânio	0,0	1,3	1,3	9,4	0,9	4,8
Hidráulica e Eletricidade	6,1	12,5	2,1	2,3	1,8	2,3
Biomassa/Eólica/Outras	44,8	28,6	2,5	7,1	10,6	11,1
TOTAL (%)	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**

Fonte: (Adaptado de Resenha Energética Brasileira, 2014).

Corrêa (2006) indica que as dificuldades de ordem ambiental, ocasionadas pela desenfreada exploração das fontes não renováveis de energia, em adição ao projetado em termos de elevação da taxa populacional, e do crescimento da economia nas diversas partes do mundo, servem como um fator de estímulo para as atividades de pesquisa e desenvolvimento de tecnologias alternativas de produção de energia. Neste sentido, a meta é buscar mais eficiência na questão do fornecimento de energia, atrelada ao aproveitar da energia de categoria primária em disponibilidade, assim como a procura por ativos energéticos mais qualificados e confiáveis.

Vichi (2009) opina que as organizações empresariais e sociais, assim como as instituições públicas, têm pensado de modo mais expressivo acerca de questões vinculadas a sustentabilidade em várias perspectivas, tais como ambiental, econômica, e social, com o

fito de encontrar outras condições de elevação do nível material com pauta no desenvolvimento sustentável. Neste quadro, o crescimento da economia com reduzido impacto ao meio ambiente é fator de suma importância para conquista de vantagens competitivas no meio econômico mundial.

Pacheco (2006), afirma nesta direção, nos últimos tempos, várias alternativas de produção de energia vem recebendo cabal desenvolvimento. As unidades de energia alternativa ou renovável, buscam desenvolver novos projetos na geração de energia, com base no emprego de matéria orgânica originada de fonte animal ou vegetal, ou seja, a biomassa; a partir da energia provinda dos ventos, denominada eólica; pela captura da radiação solar, ou energia solar; com emprego de unidades hidroelétricas de pequeno porte, que visam atender a demanda de setores periféricos a área de distribuição de energia, e outras.

Ruther (2008) diz que o Brasil, na procura por fontes alternativas de energia tem grande diferenciação perante os outros países, tais como uma condição climática e geográfica favorável, em adição a sua rica biodiversidade. Tais características favorecem a produção de energia de diversas maneiras, com inclusão da energia solar fotovoltaica, que tem conteúdo que auxilia a diversificação dos meios energéticos, e ajuda a suprir a crescente demanda por eletricidade.

Epe (2014) indica que nosso país detém uma matriz energética com maior tendência as energias renováveis no mundo civilizado, a saber, em torno de 41%. Em contrapartida a média dos demais países que gira em 13,4%, decrescendo para 9,4% para as nações que fazem parte do bloco de cooperação e desenvolvimento da economia, denominado (OECD). Tais índices são mostrados na Figura 1, mostrando o Brasil em condição privilegiada.

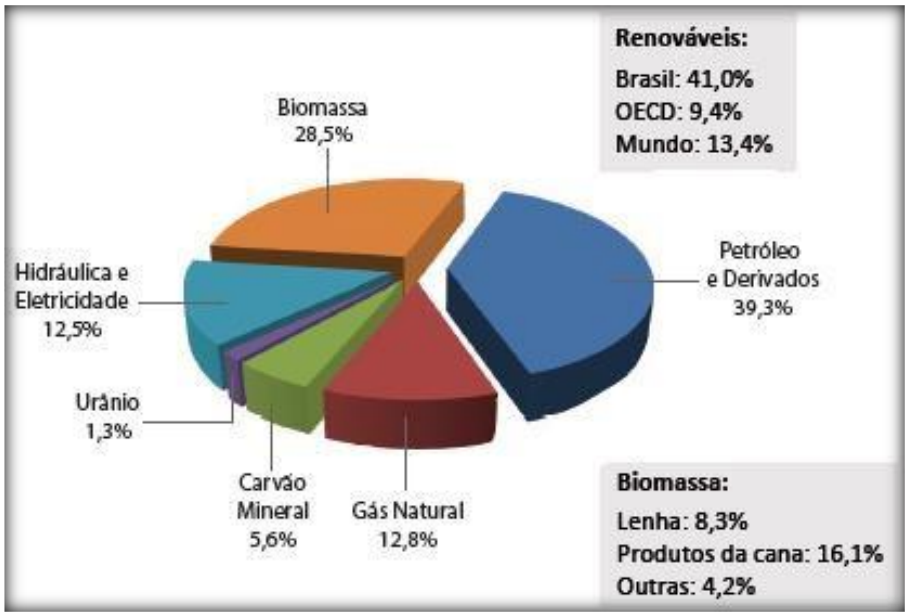


Figura 1 - Porcentagem de oferta de energia brasileira.

Fonte: EPE (2014).

Tolmasquim (2007) elucida que o aproveitamento dos recursos de energia à disposição, de caráter alternativo e renovável, representa para nosso país um desafio e ao mesmo tempo uma oportunidade. Pode ser considerado um desafio, na medida em que o avanço do estado da arte da economia brasileira passa fundamentalmente pela maior oferta de energia. Em termos de oportunidade, considerando o importante caráter de segurança proporcionado pelas fontes alternativas de energia, que conferem enfim, a condição de sustentabilidade. O Brasil tem a disponibilidade de emprego de várias modalidades de produção de energia, a partir de suas riquezas minerais e naturais, e que podem agregar valor à sua produção de bens materiais.

Epe (2007) por meio de estudos apresentados em seu Planejamento Decenal de Energia, indica que no Brasil há um horizonte amplo de possiblidades de uso das fontes renováveis de energia nas próximas décadas. Devido a tal, haverá um aumento considerável na porcentagem das energias alternativas no âmbito da matriz energética brasileira, atingindo o patamar de 46,6 no ano de 2030, como mostra a Figura 2.

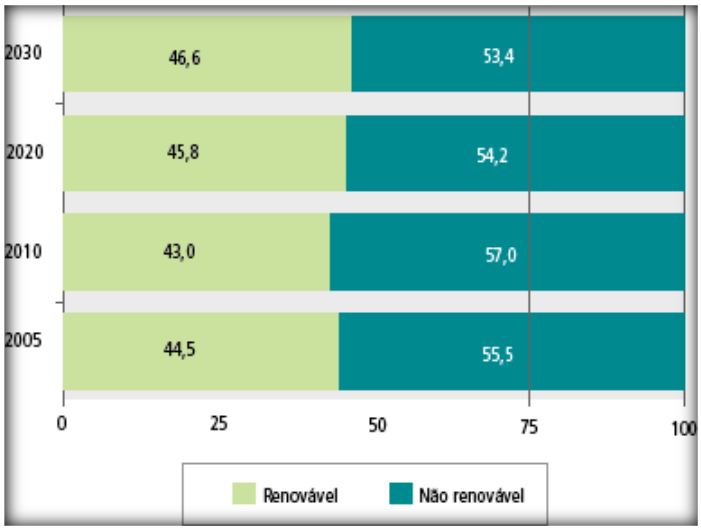


Figura 2 - Porcentagem de participação das fontes alternativas de energia.

Fonte: EPE (2007)

Epe (2014) diz que a respeito da eletricidade, de modo geral, existe uma profunda dependência mundial de emprego dos combustíveis fósseis para sua produção. Na Figura 3 é possível visualizar em detalhe os índices de composição da matriz energética, mostrando as vantagens comparativas na ordem de 78,4% de fontes alternativas no seio dos meios energéticos brasileiro, em contrapartida a somente 20,5% para as nações de bloco (OECD) e cerca de 20,8% como média mundial. Tais fontes podem proporcionar uma participação mais efetiva do Brasil na produção de energia mundial, além de ofertar planilhas de preços mais competitivas, e recursos tecnológicos, que migram a alcançar seu estado pleno de conformação.

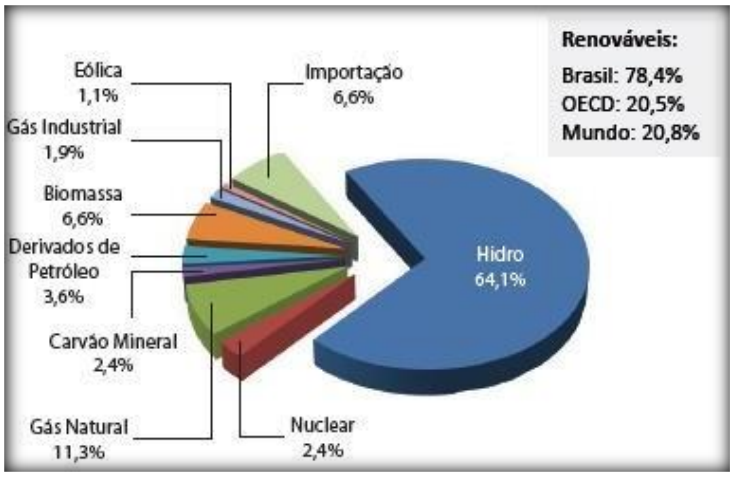


Figura 3 - Recursos energéticos próprios do Brasil

Fonte: EPE (2014)

Epe (2014) reforça que nos próximos cenários haverá um maior grau de conscientização da humanidade a respeito da geração de energia com a manutenção da considerada sustentabilidade, pela incorporação de outras fontes de produção de energia, em principal a fonte solar, de biomassa, eólica e hídrica, além da busca por novidades tecnológicas e comportamentos sociais em menor prejuízo ao meio ambiente.

2.2. A PRODUÇÃO DE ENERGIA SOLAR E A SUSTENTABILIDADE

Elkington (2012), Fadanni e Fank (2017) opinam que o cerne da questão da sustentabilidade tem alicerce em três princípios, a saber, as perspectivas econômica, ambiental e social, seguindo uma linha de raciocínio que considera estes fatores em processo de interligação, sem os considerar isoladamente, mas sim formando um conjunto que dita às normas para as ações ditas sustentáveis a ocorrer nas instituições governamentais, nas empresas de modo geral, e por qualquer agente social capaz de empreender e gerar ativos de natureza ambiental que são impactantes.

Fadanni e Fank (2017) entendem que para obter um desempenho otimizado com base nos três pilares que formam o conceito de sustentabilidade, se faz necessário novas modalidades de formação de parcerias de âmbito econômico, social e ambiental, que atuando numa perspectiva de longo prazo, façam a transição do atual modelo de produção

e consumo de mercadorias, para outro em que seja observada a condição de sustentabilidade.

Barbieri (2007) e Blackburn (2007) citam que os efeitos gerados no meio ambiente em virtude do padrão atual de produção e consumo, tem conduzido as formações sociais, as empresas e as instituições públicas a intuir de modo mais extenso acerca sobre as questões relacionadas a condição de sustentabilidade, na busca de novos modelos de desenvolvimento, estabelecidos de modo sustentável.

Martins e Cândido (2010) dizem que a sustentabilidade tem significado na possibilidade de obtenção de condições plenas de existência dentro dos parâmetros do ecossistema que rege e dá suporte a vida.

Reis e Cunha (2006) ressaltam que em termos de desenvolvimento econômico, o suprimento de energia constitui um item básico, a despeito de qualquer modelo que seja adotado. Em tal contexto, o acesso que cada agente social pode ter aos bens energéticos para o atendimento de suas necessidades, é considerado como um requisito basilar da sustentabilidade.

Fadanni e Fank (2017) visualizam que a questão de geração de energia ganhou ênfase nas questões de cunho ambiental, devido ao fato da matriz energética mundial ter forte predominância no uso de combustíveis fósseis, que são uma fonte de energia não renovável. Perante tal, a busca de maior grau de eficiência na produção de energia com base no emprego das ditas fontes renováveis, constitui uma argumentação direcionada ao modelo de desenvolvimento sustentável.

Khayyat (2015) entende que a capacidade de uso dos recursos naturais renováveis tem impacto na elevação da rentabilidade econômica, sem provocar impactos ao meio ambiente, em virtude da redução da emissão de gases de efeito estufa, estabelecendo um modo de produção social que atende a preservação da biosfera.

EDP (2006) diz que as fontes de energia consideradas renováveis, tem natureza inesgotável, permitindo sua renovação a médio ou curto prazo, de maneira espontânea ou através de ações de intervenção humana, e que permitem a produção de ativos energéticos de modo diversificado e sustentável.

Salamoni, Montenegro e Rüther (2009) compreendem que a demanda por energia elétrica tem se acentuado em termos mundiais, mas a oferta de eletricidade não tem acompanhado proporcionalmente tal elevação na demanda. Perante este quadro, as fontes

renováveis de energia representam uma alternativa viável a ser explorada com vistas a proporcionar a geração de energia de forma limpa, e garantir o abastecimento de modo seguro.

Fadanni e Fank (2017) dizem que no relatório de Revolução Energética, com elaboração pelo Greenpeace no ano de 2016, existe a informação da participação das fontes renováveis de energia no cenário da matriz energética brasileira no ano de 2050, em um patamar que pode atingir 100%, com a acentuada melhora da qualidade do ar e de vida nas cidades brasileiras, além de produzir efeitos na redução da temperatura em termos globais. Com base no aproveitamento da energia solar distribuída, é possível instalar em tempo futuro os módulos fotovoltaicos na maior parte dos telhados das residências no Brasil.

Fadanni e Fank (2017) ainda considerando o relatório de 2016 produzido pelo Greenpeace, nos últimos tempos o povo brasileiro experimentou uma elevação com os gastos em eletricidade em torno de 72%. Parte significativa desta elevação tarifária tem vínculo com a conformação da matriz energética brasileira, que emprega largamente as usinas hidroelétricas e termoelétricas, e em virtude da diminuição no nível dos reservatórios de água, houve uma demanda pelo acionamento das usinas térmicas. Neste panorama, coube ao cidadão brasileiro arcar com os gastos do setor de produção de eletricidade, na medida em que as usinas térmicas têm uma operação mais onerosa, além de produzir grande quantidade de poluição atmosférica.

CAPITULO 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

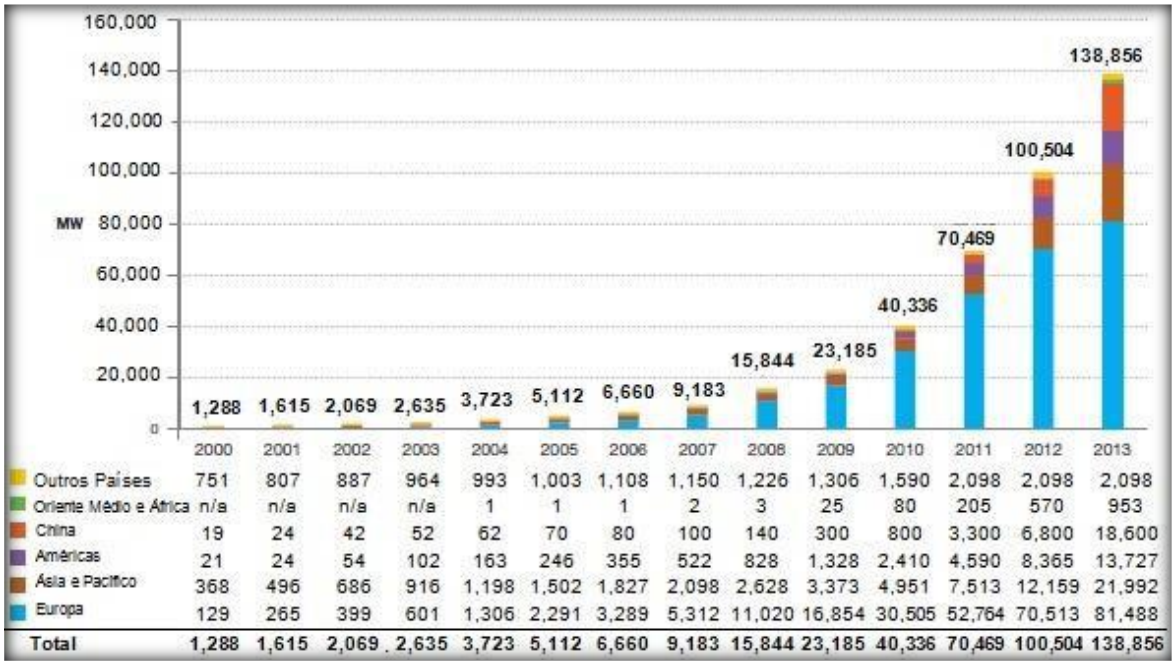
3.1 A ENERGIA DO SOL

Cometta (2008) ressalta que energia solar é a que provém do Sol, sendo admitida como uma alternativa de geração de energia muito promissora, no sentido de superar os desafios de alargamento da oferta de ativos energéticos, em menor condição de prejuízo ao meio ambiente. Dentre as aplicações de natureza prática da energia solar, é lícito considerar as seguintes tecnologias: Sistemas fotovoltaicos, que promovem a transformação da luz solar em eletricidade, com o emprego dos painéis solares fotovoltaicos, que podem apresentar as configurações integrados à rede elétrica ou operando isolados; Sistemas Heliotérmicos, que a partir do calor do Sol realizam a produção de eletricidade em plantas destinadas a geração de energia térmica, consistindo em uma usina solar com base em tais efeitos como a existente na Espanha, denominada Gemasolar, que faz parte do projeto da empresa Terresol Energy.

Lopo (2010) diz que as nações tropicais, das quais o Brasil faz parte, possuem um potencial imenso de produção de energia solar, com o emprego viável desta fonte energética em todo o território nacional. Mas, a quantidade de empreendimentos voltados ao uso deste ativo energético é quase inexpressiva, principalmente em comparação a outras nações do mundo civilizado, que buscaram a criação de políticas de incentivo para fomentar o segmento da energia solar.

Aneel (2014) indica que malgrado a grande quantidade de projetos fotovoltaicos em escala considerável apresentados nos últimos tempos, o Brasil obteve um poder de geração de energia fotovoltaica em acumulação na ordem de 13,28 MW.

Epia (2014) ressalta que no cenário das demais nações, existe um crescimento importante no que tange a capacidade instalada de energia fotovoltaica, o que pode ser comprovado pela consideração da Figura 4. É nítido um crescimento em maior escala após 2009, com a capacidade instalada de tal tecnologia na ordem de 23 GW neste ano. No ano 2000, tal índice se elevou para 40,3 GW, e nos fins de 2011 migrou para 70,5 GW. No ano de 2012, o patamar de 100 GW foi atingido, e em 2013 houve a instalação mundial de 138,9 GW.



	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Outros Países	751	807	887	964	993	1,003	1,108	1,150	1,226	1,306	1,590	2,098	2,098	2,098
Oriente Médio e África	n/a	n/a	n/a	n/a	1	1	1	2	3	25	80	205	570	953
China	19	24	42	52	62	70	80	100	140	300	800	3,300	6,800	18,600
Américas	21	24	54	102	163	246	355	522	828	1,328	2,410	4,590	8,365	13,727
Ásia e Pacífico	368	496	686	916	1,198	1,502	1,827	2,098	2,628	3,373	4,951	7,513	12,159	21,992
Europa	129	265	399	601	1,306	2,291	3,289	5,312	11,020	16,854	30,505	52,764	70,513	81,488
Total	**1,288**	**1,615**	**2,069**	**2,635**	**3,723**	**5,112**	**6,660**	**9,183**	**15,844**	**23,185**	**40,336**	**70,469**	**100,504**	**138,856**

Figura 4 - Crescimento exponencial das unidades de energia solar em GW

Fonte: EPIA (2014).

Jannuzzi (2009) afirma que apesar dos altos custos atuais da geração energética fotovoltaica perante as outras soluções de produção de energia, esta tecnologia detém a maior taxa de evolução e redução das planilhas de custo. Os melhoramentos tecnológicos têm caráter promissor no sentido de reduzir mais ainda a questão dos custos, viabilizando o estabelecimento pleno da energia fotovoltaica.

Demonti (2003) esclarece que a energia fotovoltaica que provém do Sol, tem conotação de energia renovável, sendo passível de obtenção por meio da transformação direta da radiação solar em eletricidade, que recebe a denominação de Efeito Fotovoltaico. Tal efeito recebeu o relato do físico francês Becquerel, no ano de 1839, na forma de surgimento de uma diferença de potencial elétrico entre os extremos da estrutura de célula semicondutora, em virtude da absorção da luz do Sol, ou seja, no instante em que ocorre a interação da luz solar com a espécie química semicondutora, dá-se a liberação e movimentação de elétrons pela superfície do material, produzindo desse modo a citada diferença de potencial elétrico.

Tiggemann (2015) elucida que o Sol é capaz de emitir energia na modalidade de radiação eletromagnética, assumindo a responsabilidade pela dinâmica que tem lugar na atmosfera da Terra, e pelos fatores climáticos do planeta. Na parte central do Sol, ocorrem eventos de fusão que a partir de núcleos de hidrogênio forma núcleos de hélio.

No decorrer de tal processo, uma parcela da massa tem conversão em energia, como mostra a Figura 5. Perante tal fato, o Sol pode ser admitido na forma de imensa usina de fusão nuclear.

Figura 5 - Processos químicos de ocorrência no Sol

Fonte: TIGGEMANN (2015).

Bandeira (2012) opina que o uso prático e direto da energia do Sol, pode ser dividido em duas pertinentes categorias, a saber: • Energia térmica: Através da conversão direta da energia do Sol em conteúdo térmico. Este fato tem conotação a absorção da radiação do Sol sobre uma superfície capaz de receber ou coletar esta energia, e posteriormente a transferir na modalidade de calor para uma unidade secundária; • Energia fotovoltaica: Associada a conversão em termos diretos da energia do Sol em energia elétrica. Tal conversão se processa por meio de células fotovoltaicas.

Pereira (2006) a importante abundância da radiação que provém do Sol pode ser verificada por valores produzidos experimentalmente, sendo que nosso planeta recebe, nos dias claros e de céu limpo, na proximidade ao meio dia, cerca de 1 kW/m^2 de energia sobre sua superfície. A Figura 6 mostra o atlas solarimétrico de nosso país, com dados de

irradiação solar de caráter horizontal, com a apresentação de valores diários em média acima de 4,5 kW/m^2 por todo o território do Brasil.

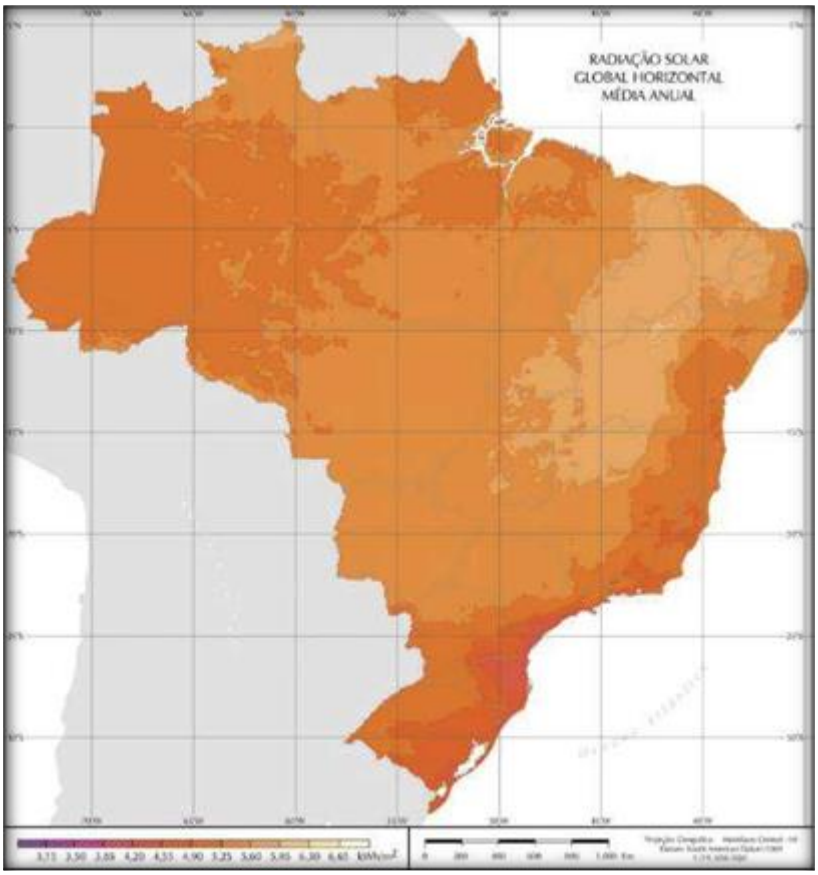


Figura 6 - Atlas solarimétrico nacional

Fonte: BUENO PEREIRA (2006).

Tiggemann (2015) ressalta que a produção de eletricidade com base nas unidades fotovoltaicas tem relação direta com a intensidade da radiação do Sol, de modo que não existe um padrão constante de fornecimento de energia no decorrer de um dia. No período noturno, ou nas situações de baixa insolação a conversão de ativos energéticos é diminuída, e considera-se o atingir do ponto máximo nas proximidades do meio dia. A Figura 7 demostra o padrão de comportamento da irradiância solar em termos horizontais no decorrer de um dia ensolarado, que recebeu a medição da estação meteorológica postada no Laboratório da Unisinos que pesquisa as energias renováveis.

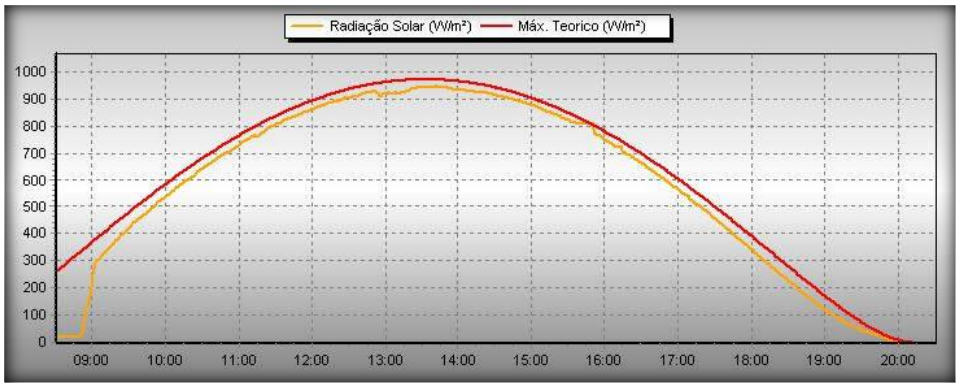


Figura 7 - Padrão observado de variação da incidência da luz solar

Fonte: TIGGEMANN (2015).

Torres (2012) afirma que a Terra, em seu movimento anual em torno do Sol, descreve em trajetória elíptica num plano que é inclinado aproximadamente 23,5° em relação ao plano equatorial. Esta inclinação é responsável pela variação da elevação do Sol no horizonte, dando origem as estações do ano, conforme visualizado na Figura 8.

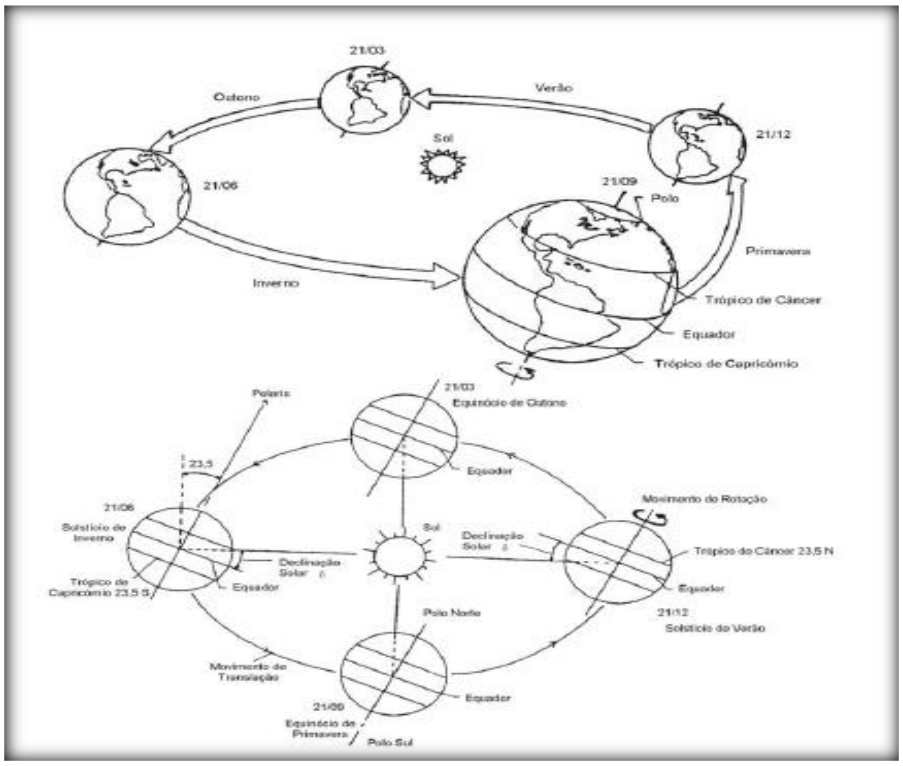


Figura 8 - Órbita da Terra em torno do Sol, com seu eixo N-S inclinado a 23,5°

Fonte: CRESESB (2004)

A posição angular do Sol, ao meio dia solar, em relação ao plano do Equador (Norte positivo) é chamada de Declinação Solar (δ). Este ângulo pode variar de acordo com o dia do ano, dentro dos seguintes limites:

$$-23{,}45° \leq \delta \leq 23{,}45°$$

A soma da declinação com a latitude local determina a trajetória do movimento aparente do Sol para um determinado dia em uma determinada localidade da Terra. A Figura 8 ilustra a declinação solar durante os equinócios de primavera e outono, e os solstícios de verão e inverno.

As relações geométricas entre os raios solares, que variam de acordo com o movimento do Sol e a superfície terrestre, são descritas através de vários ângulos, conforme a Figura 9.

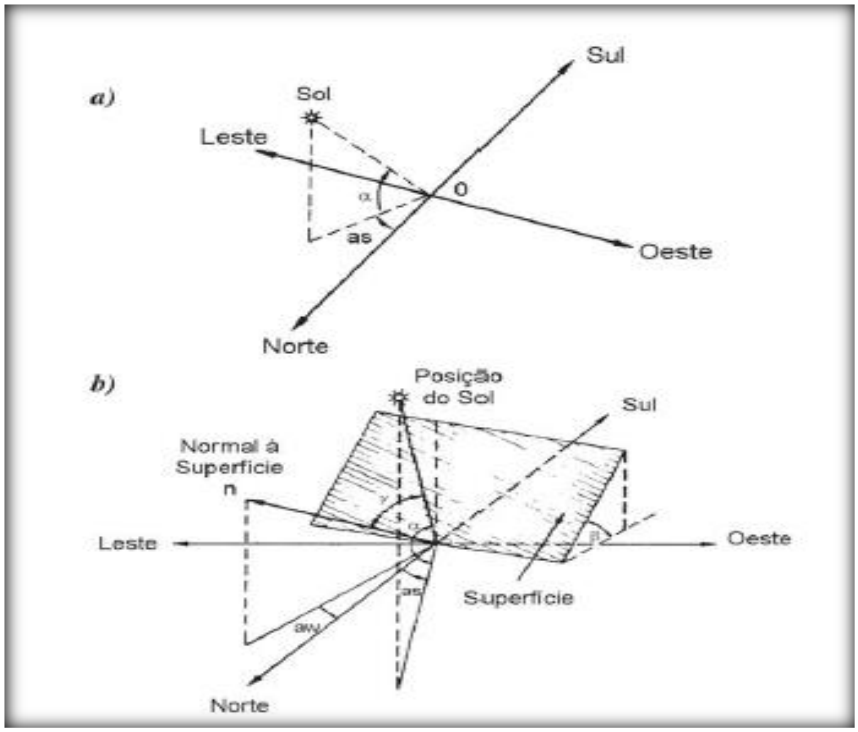


Figura 9 - (a) Ilustração dos ângulos α e as. (b) Coordenadas de orientação da superfície, aw e β, e o ângulo γ.

Fonte: CRESESB (2004)

Os ângulos apresentados na Figura 9, são definidos da seguinte maneira: • Ângulo de incidência (γ): ângulo formado entre os raios do Sol e a normal à superfície de captação;

• Ângulo Azimutal da Superfície (aw): ângulo entre a projeção da normal à superfície no plano horizontal e a direção Norte-Sul. O deslocamento angular é tomado a partir do Norte (-180° ≤ aw ≤ 180°). • Ângulo Azimutal do Sol (as): ângulo entre a projeção do raio solar no plano horizontal e a direção Norte-Sul.

• Altura Solar (α): ângulo compreendido entre o raio solar e a projeção do mesmo sobre um plano horizontal.

• Inclinação (β): ângulo entre o plano da superfície em questão e a horizontal.

A norma técnica brasileira ABNT NBR 10899:2006 define a radiação solar como sendo a forma de transferência de energia advinda do sol através da propagação de ondas eletromagnéticas ou fótons. E irradiação solar como sendo a quantidade de radiação incidente em uma superfície e integrada durante um intervalo de tempo especificado, normalmente uma hora ou um dia. A irradiância solar é a taxa da radiação solar incidente em uma superfície por unidade de área, normalmente medida em watt por metro quadrado e simbolizada por "G". É este o parâmetro utilizado para o cálculo da quantidade estimada de energia elétrica que um sistema fotovoltaico é capaz de produzir.

Anualmente, a energia fornecida pelo Sol é da ordem de 1,5 x 1018 kWh, correspondendo a 10.000 vezes o consumo mundial de energia neste período. Considerando- se apenas a superfície terrestre, com potencial para a instalação de geradores de energia por meio do sol, esta energia passa a ser da ordem de 10,8 x 1111 GWh/ano. Isto indica que, além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, a radiação solar é uma inesgotável fonte energética com enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia, como térmica e elétrica (RÜTHER, 2004).

A luz solar que atinge a superfície terrestre é composta por uma fração direta e por uma fração difusa, conforme ilustra a Figura 10. A fração direta segue a direção do sol, produzindo sombras bem definidas em qualquer objeto. Já a fração difusa é aquela proveniente da atmosfera e depende de uma direção específica.

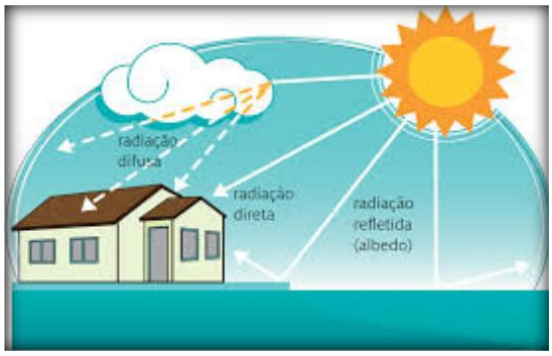


Figura 10 - Componentes da radiação solar na superfície terrestre

Fonte: ASPE (2013)

O conhecimento exato da localização do Sol, é necessário para determinar os dados de radiação e a energia produzida pelas instalações solares. A localização do Sol pode ser definida em qualquer local, pela sua altura e pelo seu azimute. No campo da energia solar, o Sul é referido geralmente como α = 0°. O sinal negativo é atribuído aos ângulos orientados a Leste (Leste: α = - 90°) e o sinal positivo aos ângulos orientados a Oeste (Oeste: α = 90°) (IST; DGS ; UE, 2004).

Entretanto, na arquitetura e na construção, o ângulo de azimute é 0°, referindo-se ao Norte. Os demais ângulos surgem no sentido dos ponteiros do relógio (Leste: α = 90°; Sul: α = 180°; Oeste: α = 270°) (IST; DGS ; UE, 2004).

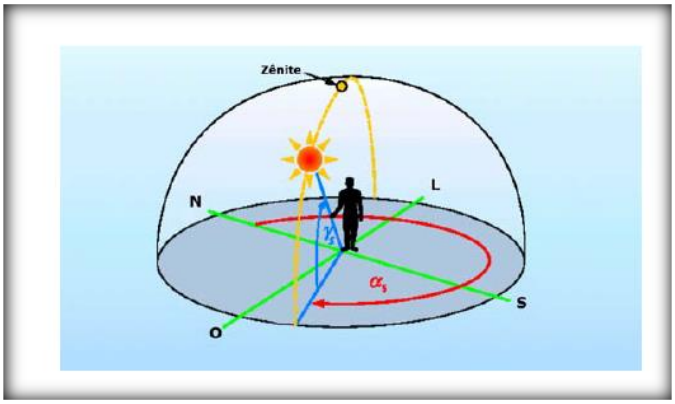


Figura 11 - Representação de ângulos da posição solar

Fonte: Adaptado de IST; DGS ; UE (2004)

A irradiância solar depende da altura do Sol (γs), que é calculada a partir de uma base horizontal. Devido à sua trajetória, a altura do Sol muda durante o dia e também durante o ano, como pode ser observado na Figura 12.

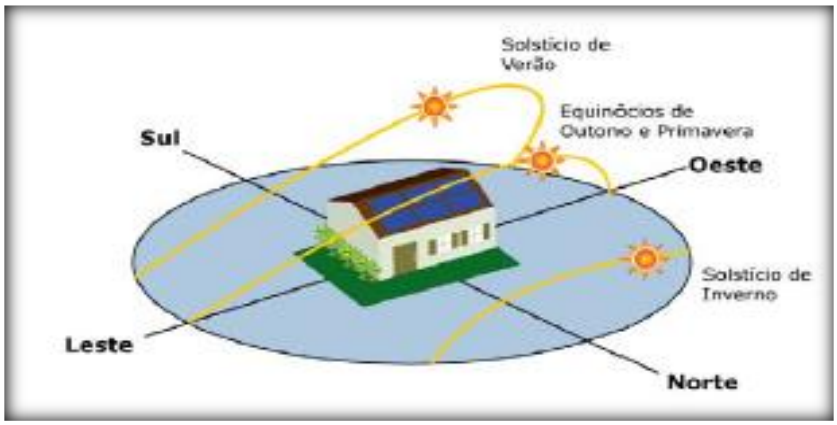


Figura 12 - Trajetória do Sol em diferentes estações do ano

Fonte: adaptado de IST; DGS ; UE, 2004)

Quando a posição do Sol é perpendicular à superfície da Terra, a luz solar percorre um percurso mais curto através da atmosfera e o contrário ocorre quando o ângulo de incidência solar é muito baixo. Assim, um modelo simples para calcular a intensidade de insolação solar baseia-se no número da massa de ar, que é utilizada para quantificar a redução da energia solar que passa através da atmosfera e é atenuada pela reflexão, absorção e dispersão. O número da massa de ar pode ser calculado através da Equação 1 e a Trajetória dos raios solares na atmosfera é ilustrada na Figura 13.

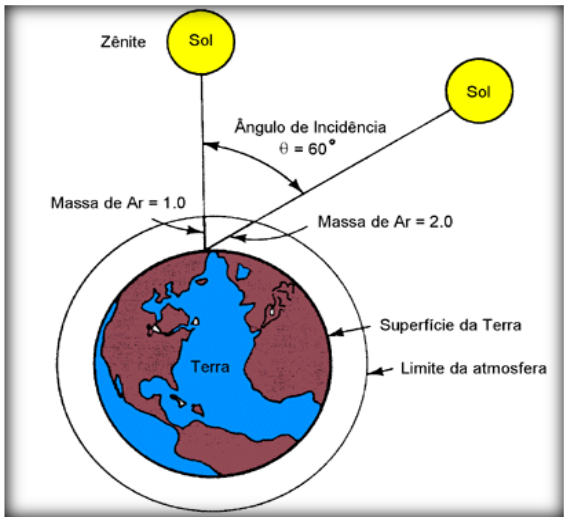


Figura 13 - Trajetória dos raios de sol na atmosfera e definição do coeficiente de Massa de Ar.

Fonte: CRESESB (2004)

A intensidade da radiação solar fora da atmosfera depende da distância entre o Sol e a Terra, podendo variar entre 1,47 x 108 km e 1,52 x 108 km, durante o ano. Devido a este fato,a irradiância E0 varia entre 1.325 W/ m^2 e 1.412 W/ m^2. O valor médio é designado por constante solar, E0 = 1.367 W/ m^2 (IST; DGS ; UE, 2004).

Contudo, devido à reflexão, absorção (ozônio, vapor de água, oxigênio, dióxido de carbono) e dispersão (partículas de pó e poluição), apenas uma parte da quantidade total da radiação solar atinge a superfície terrestre. O nível de irradiância na Terra atinge um valor aproximado de 1.000 W/ m^2 ao meio-dia, em boas condições climáticas, independentemente da localização. A irradiação global anual pode ser medida em kWh/ m^2 e varia de modo significativo de acordo com as regiões, como pode ser observado no mapa de irradiação solar global horizontal (soma das parcelas de irradiação direta e difusa) média anual para o Brasil.

3.2 ENERGIA FOTOVOLTAICA

Portal Solar (2016) esclarece que a terminologia fotovoltaica tem derivação de dois termos, ou seja, phos, que significa luz e volta em homenagem ao físico italiano

Alessandro Volta, que teve o mérito de inventar a pilha de concentração, e de gerar também a palavra volt para a unidade de medida da tensão elétrica. Assim, a palavra fotovoltaica perfaz a indicação da produção de eletricidade em virtude da incidência de radiação solar sobre a superfície dos materiais. Esta terminologia tem emprego na língua inglesa desde 1849.

Tolmasquim (2016) diz sobre a energia solar que a ideia de seu emprego remonta a outros tempos passados. Em termos históricos, o aproveitamento da energia solar pela espécie humana não configura novidade. No princípio do processo civilizatório, a aquisição deste tipo de energia ocorreu nas atividades de agricultura e pecuária, que empregam sobremaneira a luz do Sol para produzir alimentos, sob controle da fotossíntese, formando uma cadeia alimentar em dependência da energia solar. Também, existem muitas formas de aproveitamento da luz solar, tais como na iluminação e na geração de calor, sendo talvez as mais evidentes para a humanidade.

Souza, Moura, e Queiroz (2016) indicam que as pretensões atuais de uso da energia solar para gerar eletricidade vem de encontro ao realizado ao longo dos séculos, desde os tempos mais longínquos da existência humana.

Souza, Moura, e Queiroz (2016) esclarecem que tal produção energética tem base no efeito fotoelétrico, como já mencionado anteriormente. Tal efeito dá-se por intermédio da formação de uma diferença de potencial elétrico entre os terminais de um material semicondutor, a partir da absorção de conteúdos de energia solar. Para tal fato ocorrer, é preciso que exista um elemento químico com conotação de semicondutor de eletricidade.

Cecchini (2003), Alchemist Engenharia (2006) situam na categoria de materiais semicondutores, o silício de símbolo químico (si) e o Germânio (Ge). Existe maior uso do silício, em razão de sua larga abundância química no planeta Terra, de maneira que existe um largo emprego do silício no âmbito da indústria de artigos eletrônicos, em adição a seu baixo nível de toxicidade e grande durabilidade dos materiais por ele formados. É possível obter o Silício a partir de argilas, granito, ou feldspato, amostras de quartzo e areais de modo geral. Em contrapartida, o Germânio apresenta caráter de raridade e alto custo de obtenção. A Figura 14 traz a ilustração do efeito fotoelétrico com a retirada dos elétrons da banda de condução do material em virtude de sua interação com a radiação que provém do Sol.

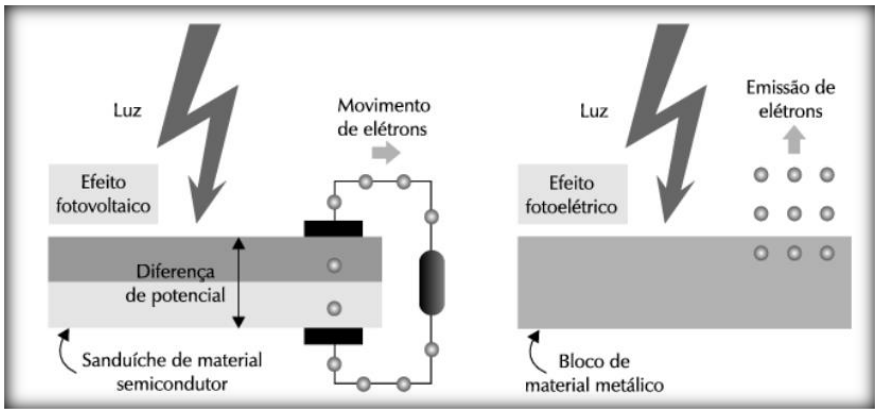


Figura 14 - Efeito fotovoltaico e fotoeletrico

Fonte: Livro Energia do Sol

Souza, Moura, e Queiroz (2016) afirmam que na Figura 14, a seta de formato ondulado representa a radiação solar incidindo sobre a superfície do material semicondutor de eletricidade, ou em palavras, sobre o painel fotovoltaico. No processo de colisão dos fótons de luz, que natureza corpuscular sobre a espécie semicondutora, ocorre a liberação dos elétrons da camada mais externa do átomo do material, surgindo como carga negativa, capaz de conduzir eletricidade. Neste ínterim, dá-se a formação de um campo elétrico que gera por sua vez, uma força eletromotriz que pode ser medida em volts (V), na categoria de tensão elétrica. Tal tensão neste caso tem aplicação sobre um circuito especialmente construído que permite a formação de um fluxo dos elétrons liberados, gerando em última instância uma corrente elétrica de constituição contínua.

Blue Sol Educacional (2011) reforça que quanto maior a incidência e intensidade da radiação solar, maior será o fluxo de elétrons que promovem a formação da corrente elétrica, em seu deslocamento. No próximo passo, esta corrente contínua produzida é conduzida para um aparelho denominado inversor, que tem o papel de promover a transformação da corrente da forma contínua para a forma alternada, com o equacionamento em relação a tensão da rede de eletricidade convencional.

Blue Sol Educacional (2011) diz que a partir do inversor, a energia elétrica migra para um quadro de luz, com o propósito de sua distribuição aos usuários do sistema de consumo. Na medida que o conversor tem bidirecionalidade, a saber, duas saídas, com uma delas conduzindo energia em direção do quadro de distribuição, e outra que canaliza a energia no sentido da rede de eletricidade, aquele conteúdo elétrico não empregado na residência que

dispõe do arranjo fotovoltaico, com o quadro de distribuição correspondente. Tal procedimento tem o objetivo de promover descontos em proporção nos lançamentos das faturas seguintes, e recebe amparo na Resolução de número 482, emitida pela Agência Nacional de Energia Solar, no ano de 2012.

Souza, Moura, e Queiroz (2016) indicam que é comum armazenar o excedente de eletricidade por meio de baterias e outros aparelhos afins, para a utilização da eletricidade em períodos que apresentam baixa tensão da rede elétrica, ou no período noturno. Nesta situação, cumpre bem estabelecer o emprego de baterias, em virtude da diminuição do potencial de sustentabilidade da energia fotovoltaica, além de elevar os custos em respeito a instalação dos módulos fotovoltaicos. A Figura 15 traz a ilustração da montagem de um painel fotovoltaico.

Figura 15 - Painel fotovoltaico sendo montado

Fonte: SOUZA, MOURA e QUEIROZ (2016).

Tiggemann (2015) reforça que dentre as várias espécies químicas disponíveis, o silício ocupa lugar central na produção de células fotovoltaicas. O silício não é disponível na natureza em seu estado puro, apresentando-se como dióxido de silício na forma sólida. Para obter o silício puro, retira-se o oxigênio presente no dióxido de silício. Para executar esta operação, procede-se o aquecimento de areia de sílica em conjunto a pó de carvão. Neste processo é obtido o silício em grau metalúrgico, com nível de pureza da ordem de

98%. Decorrida esta etapa, o silício tem sua purificação por meio de métodos químicos, com sua deposição em forno preenchido de ácido clorídrico. Após várias etapas sequenciais do citado processo, o silício está apto a ser usado na produção das células fotovoltaicas.

Melo (2010), Paridaa, Iniyanb e Goicc (2011) dizem que em grande parte as células fotovoltaicas são fabricadas com base no silício monocristalino, multicristalino ou amorfo. Também, existem células feitas com base em Índio e Gálio (CIGS), materiais semicondutores de ordem orgânica, disseleneto de cobre, e telureto de cádmio (CdTe).

Tiggemann (2015), a célula de silício monocristalino, é obtida por meio do processamento de um núcleo cristalino do elemento químico, de orientação bem definida e com alto grau de pureza. Tal método gera células fotovoltaicas com maior fator de eficiência. Porém, a matéria bruta necessária para atingir este nível de pureza é muito cara.

Green (2014) assegura que a produção da célula fotovoltaica de silício multicristalino, é efetuada por meio da junção de material cristalino do citado material. Como exige um processo de fabrico menos rigoroso, as células de silício monocristalino, apresentam menor preço de aquisição. A questão da eficiência de conversão da radiação do Sol, sofre redução, ficando na ordem de 20% em condições de laboratório. A Figura 16 traz a ilustração deste tipo de célula fotovoltaica.

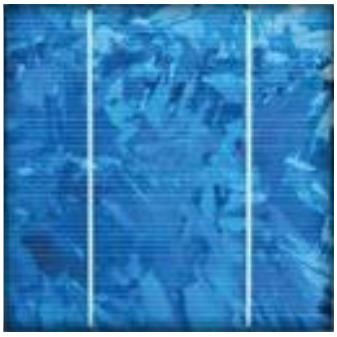


Figura 16 - Modelo de célula fotovoltaica feita de silício multicristalino
Fonte: TIGGEMANN (2015).

Como características importantes deste tipo de célula fotovoltaica, têm-se:

• Formato: quadrado;

• Tamanho: 100 mm x 100 mm ou 125 mm x 125 mm, e também 150 mm x 150 mm

• Espessura: na ordem de 0,3 mm;

• Estrutura cristalina: no processo de solidificação do material, são formados cristais de variadas orientações. Os cristais de cunho individual são possíveis de visualização na superfície da célula fotovoltaica, em virtude do efeito gerado pela diversa reflexão que provocam da radiação solar;

• Coloração: predomina o azul e o cinza prateado.

Luque e Hegedus (2011) e Green (2014) afirmam que em termos mercadológicos, as células fotovoltaicas de telúrio de cádmio tem limitação de uso em comparação ás células de silício cristalino. A produção deste tipo de célula fotovoltaica em escala industrial traz problemas de ordem ambiental, por empregar elementos químicos de alto teor de toxicidade na composição da célula. Tal fato também ocorre com as células fotovoltaicas feitas de cobre, gálio, índio e selênio (CIGS), que além de apresentar elementos dotados de toxicidade, tais como o cádmio, o selênio e o telúrio, contém alguns elementos raros quimicamente, gerando um obstáculo financeiro a expansão tecnológica deste tipo de célula.

A Tabela 2 traz os valores de eficiência máxima das células fotovoltaicas e dos módulos produzidos em condições de laboratório.

Tabela 2 - Tipo de célula fotovoltaica e valor de eficiência

Material	Eficiência η_Z (Célula)	Eficiência η_Z (Módulo)
Silício monocristalino	25,6% ±0,5	22,9% ±0,6
Silício multicristalino	20,8% ±0,6	18,5% ±0,4
Silício amorfo*	13,4% ±0,4	12,2% ±0,3
Disseleneto de Cobre, Índio e Gálio	20,5% ±0,6	17,5% ±0,5
Telurieto de Cádmio	21,0% ±0,4	17,5% ±0,7

* no estado estável

Fonte: TIGGEMANN (2015)

Tiggemann (2015) afirma que o modulo fotovoltaico é feito da junção de várias células fotovoltaicas em conexão conjunta. Este módulo cumpre o papel de converter a energia solar em eletricidade. Cada célula fotovoltaica que compõe o módulo tem um

poder limitado de gerar potência elétrica, ou seja, da ordem de 1,5 W, que corresponde a uma tensão elétrica de 0,5 V e corrente elétrica de 3 A. Assim, para o funcionamento da maioria dos equipamentos elétricos é necessária a associação de muitas células, conectadas em série ou em paralelo, para formar os módulos fotovoltaicos.

Duryea, Islam e Lawrance (2001) e Moraes (2009), dizem que a quantidade de células fotovoltaicas pode sofrer variação a depender da corrente e da carga elétrica requeridas. Em condições normais, um módulo fotovoltaico é feito de trinta e seis células conectadas em série, gerando uma tensão com capacidade suficiente para promover o carregamento de uma bateria de 12 V. Proporcionalmente são necessárias setenta e duas células para gerar uma tensão de 24 V. As células fotovoltaicas de maior emprego na construção dos módulos, são feitas de silício monocristalino e silício multicristalino.

Iec (2005) informa que os fabricantes dos módulos fotovoltaicos trazem no catálogo do produto as informações sobre a potência, a corrente elétrica produzida e a tensão fornecida pelo módulo em particular, cuja medição é realizada em condição padrão.

Júnior, Macêdo e Pinho (2013) dizem que nas citadas condições a irradiação global incidente tem equivalência a 1000 W/m^2, sob o módulo fotovoltaico a temperatura de 25 °C.

Tiggemann (2015) informa que em virtude do módulo fotovoltaico operar em exposição à radiação do Sol, normalmente sua temperatura supera o patamar de 25 °C, indicado por (IEC, 2005). A variação da temperatura ambiente deve ser considerada na produção do módulo fotovoltaico em termos de seu dimensionamento.

A Figura 17 traz a ilustração da célula fotovoltaica, do módulo e do painel solar dentro do conjunto de painéis solares, que são chamados de arranjos.

A Figura 18 traz a ilustração gráfica da Performance dos rendimentos de Painéis Solares Fotovoltaicos para algumas marcas no mercado.

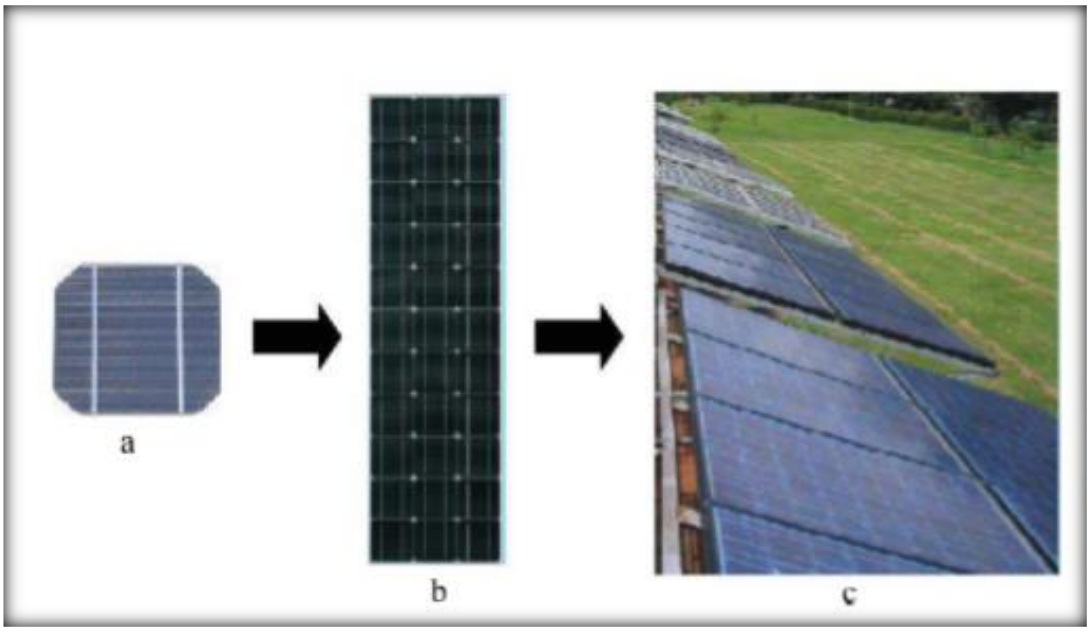


Figura 17 - (a) Célula; (b) Módulo; (c) Painel Fotovoltaico e arranjo.

Fonte: TIGGEMANN (2015).

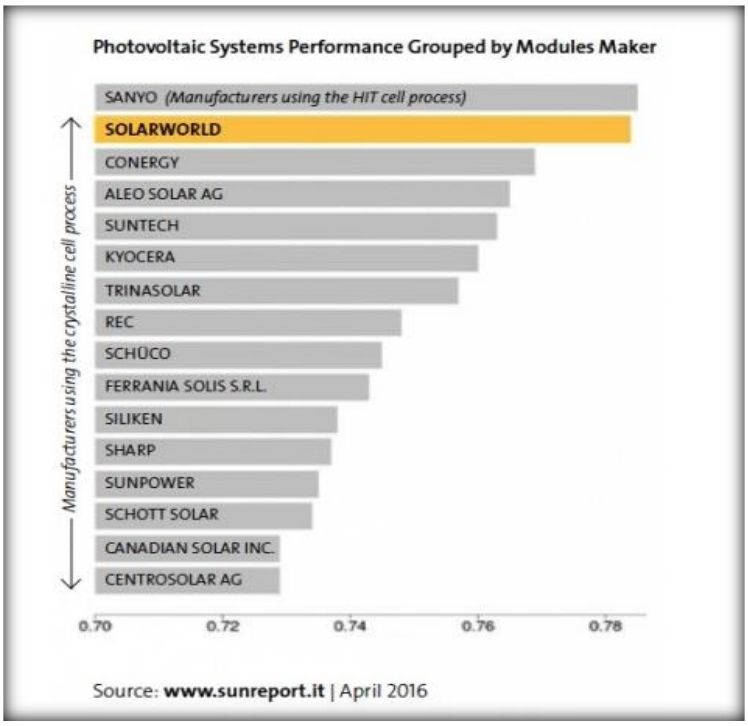


Figura 18 - Performance dos rendimentos de Painéis Solares Fotovoltaicos

Fonte: www.portal-energia.com

3.2.1 Os fatores meteorológicos e a operação da célula fotovoltaica

Buhler, Gasparin e Krenzinger (2014) dizem que de modo diverso ao observado nas outras tecnologias, raramente as células fotovoltaicas tem sua operação em padrões nominais de comportamento. O resultado experimental e as curvas relativas dos módulos fotovoltaicos têm dependência a temperatura de operação das células fotovoltaicas, e também são influenciadas pela intensidade da radiação solar que incide sobre elas. Tais fatores são lícitos de consideração para desenvolver uma ferramenta capaz de simular as características em termos de corrente e tensão elétrica que tem lugar no módulo fotovoltaico. As variáveis citadas devem apresentar comportamentos díspares nas condições de irradiação solar e temperatura, observadas nos testes laboratoriais.

Rüther (2004) diz que o desempenho do conjunto de módulos solares fotovoltaicos pode ser influenciado por vários parâmetros, sendo a radiação solar o principal deles, já que depende fundamentalmente da localização geográfica da instalação, além de sua inclinação e orientação. A temperatura dos painéis, o sombreamento parcial, o descasamento entre os painéis de um mesmo string, a resistência dos condutores e o estado de limpeza dos painéis, também são determinantes no rendimento do sistema.

Rüther (2004) comenta que um gerador fotovoltaico apresenta bom rendimento quando iluminado homogeneamente. Dada a característica construtiva da maioria dos módulos fotovoltaicos, em que as células solares individuais são conectadas em série, uma pequena sombra sobre uma destas células, como a sombra projetada por uma antena, chaminé ou poste, pode reduzir acentuadamente o rendimento de todo o sistema. Isto se deve ao fato de que a célula sobre a qual incidir a menor quantidade de radiação é que irá determinar a corrente (e portanto a potência) de operação de todo o conjunto a ela conectado em série.

3.2.2 Ação da radiação do Sol sobre a célula fotovoltaica

Buhler, Gasparin e Krenzinger (2014) asseguram que o conteúdo energético que atravessa a célula fotovoltaica, tem relação de proporcionalidade direta ao valor da radiação solar que se manifesta no decorrer de um dia. Nas ocasiões em que a radiação do Sol diminui, a geração de energia elétrica pela célula fotovoltaica também é reduzida, visto na Figura 19.

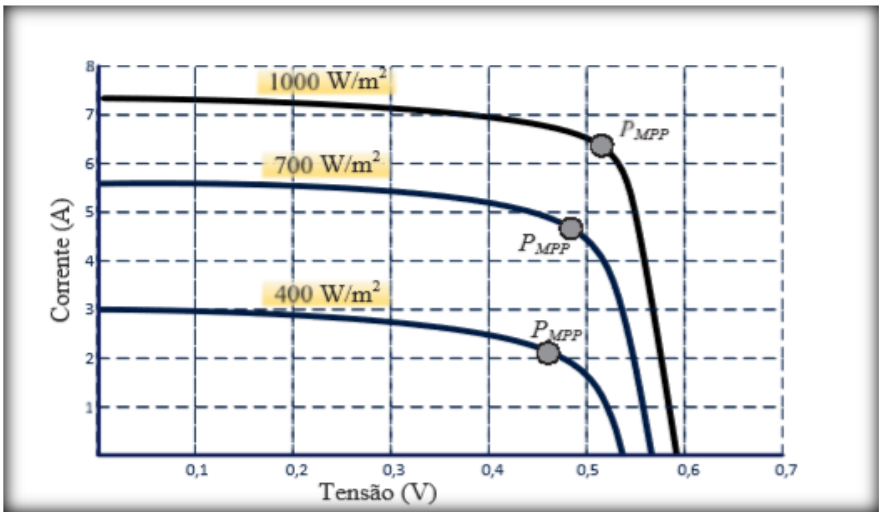


Figura 19 - Curva tensão x corrente elétrica da célula fotovoltaica em relação a variação da radiação solar. Temperatura constante = 25 °C

Fonte: TIGGEMANN (2015)

Buhler, Gasparin e Krenzinger (2014) indicam que a corrente I_{SC} sofre influência direta do valor da radiação incidente, como se descreve na seguinte equação:

$$I_{SC} = I'_{SC} \frac{G}{G'}$$

Na qual $I'SC$ representa o valor da corrente elétrica em situação de curto circuito nas condições padrão, G tem representação sobre a radiação incidente e G' tem significado como o valor da radiação solar em 1000 W/m^2.

A Figura 20 representa a curva característica entre potência elétrica e tensão de operação do módulo fotovoltaico em termos da variação da radiação solar que incide sobre o módulo fotovoltaico, mantendo para efeito de simulação a temperatura em valor constante de 25 °C. Cada curva se mostra no ponto de potência máxima.

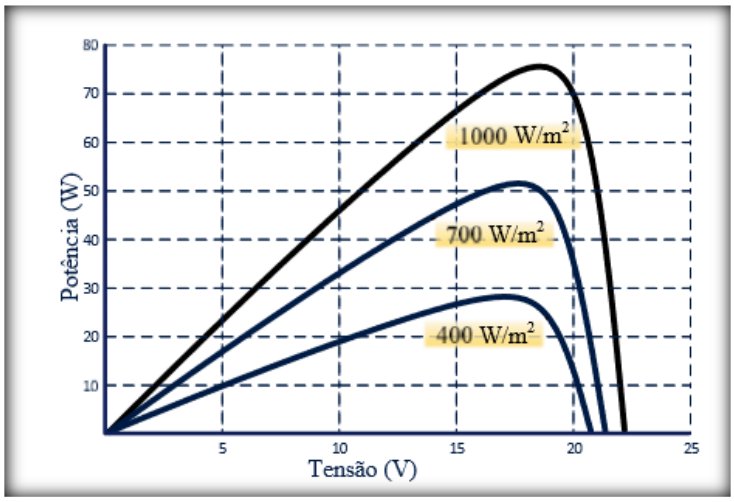


Figura 20 - Curva potência x tensão elétrica para temperatura = 25 °C

Fonte: TIGGEMANN (2015).

3.2.3 Ação da temperatura no módulo fotovoltaico

Tiggemann (2015) indica que a tensão do módulo fotovoltaico constitui a variável mais afetada pelas variações de temperatura. Ao contrário, a corrente elétrica produzida no módulo fotovoltaico não denota uma variação significativa.

Tiggemann (2015) assegura que na medida em que a temperatura do módulo fotovoltaico se eleva, a tensão observada no circuito aberto denota uma diminuição no seu valor. Na Figura 21 vê-se a representação da curva característica que envolve a corrente elétrica *versus* a temperatura para três valores da última variável.

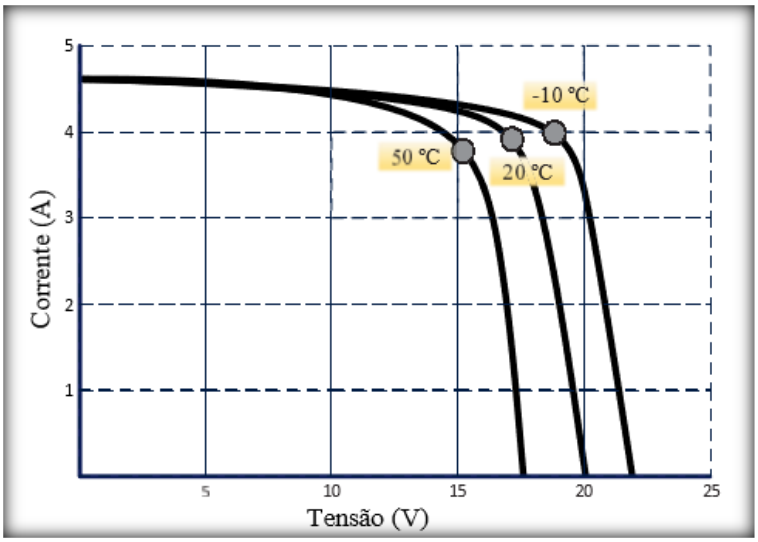


Figura 21 - Curvas de corrente versus tensão elétrica para um módulo fotovoltaico que opera em temperaturas variadas, com radiação solar em 1000 W/ m^2

Fonte: TIGGEMANN (2015).

Molina e Espejo (2014) indicam que a corrente de saturação elétrica é lícita de representação pela equação a seguir:

$$I_0 = I_0' \left(\frac{T_C}{T_{Cref}}\right)^3 e^{\left[\frac{qE_G}{mK}\left(\frac{1}{T_{Cref}} - \frac{1}{T_C}\right)\right]}$$

Na qual *I'O* significa a corrente elétrica de saturação reversa, observada em temperatura de referência do módulo fotovoltaico, ou seja, $T\ c_{ref}$ enquanto que $T_{C,}$ tem significado como a temperatura normal da célula fotovoltaica.

Molina e Espejo (2014) consideram que a corrente elétrica inversa em seu valor máximo sofre influência direta da temperatura, a tensão do circuito na ocasião de sua abertura também sofrerá modificação, com seu comportamento indicado na equação seguinte:

$$V = V_{OC} = \frac{mKT}{q} ln\left(1 + \frac{I_{PV}}{I_0}\right)$$
$$I = 0$$

Onde $\mathbf{V_{OC}}$ é o valor máximo de tensão que o módulo fotovoltaico oferece em condição de corrente elétrica nula.

A Figura 22 mostra as curvas características relativas a tensão versus potência de operação em um módulo fotovoltaico sob influência da variação na temperatura, tendo por base um valor de radiação solar fixo em 1000 W/m^2.

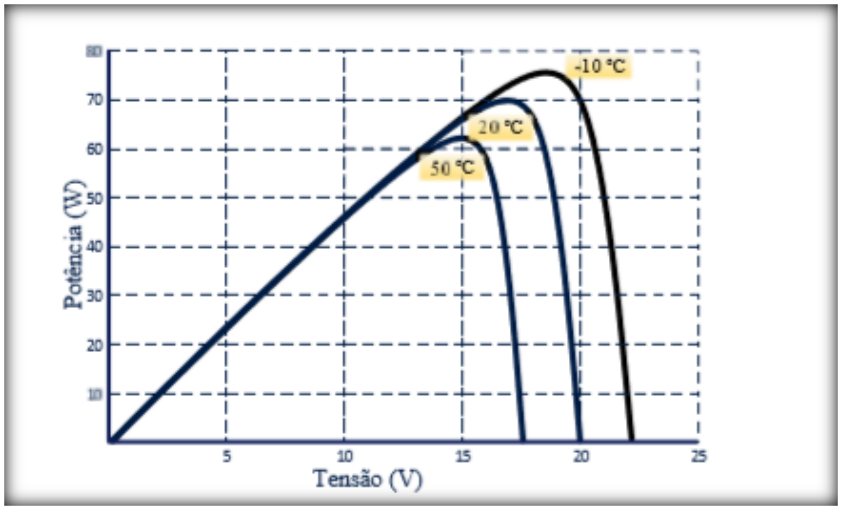


Figura 22 - Curva potência x tensão elétrica no módulo fotovoltaico em diferentes temperaturas, com radiação solar fixa em 1000 W/m^2

Fonte: TIGGEMANN (2015).

3.2.4 Ação do sombreamento sobre a célula fotovoltaica

A Figura 23 mostra um módulo fotovoltaico dotado de **n** células fotovoltaicas, em conexão em série, nas condições normais de funcionamento, na qual a corrente de carga chamada de ***I*** percorre igualmente as células fotovoltaicas do módulo, com o mesmo valor de intensidade.

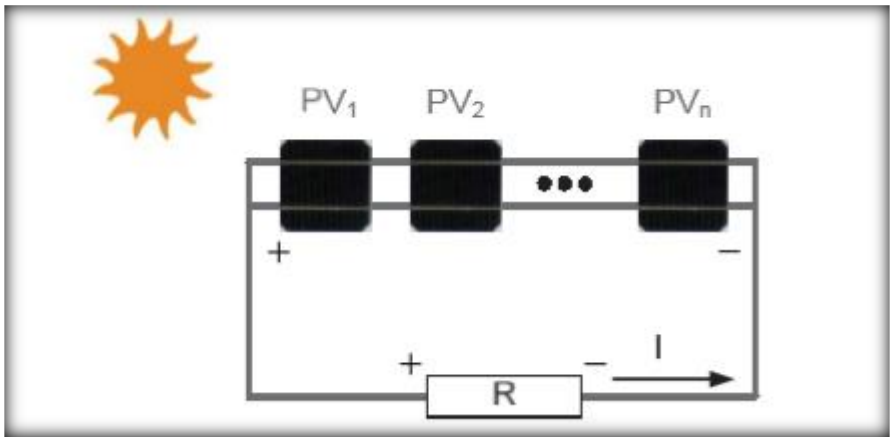


Figura 23 - Módulo fotovoltaico dotado de carga elétrica

Fonte: TIGGEMANN (2015).

Tiggemann (2015) diz que se ocorrer uma obstrução na oferta de luz solar, de tal modo que se observe o escurecimento de certa quantidade de células do módulo fotovoltaico, a célula considerada terá uma polarização inversa, passando a atuar como uma carga capaz de converter a energia elétrica em calor, como se observa na Figura 24. Caso a corrente tiver valor consideravelmente elevado pode resultar na queima da citada célula fotovoltaica.

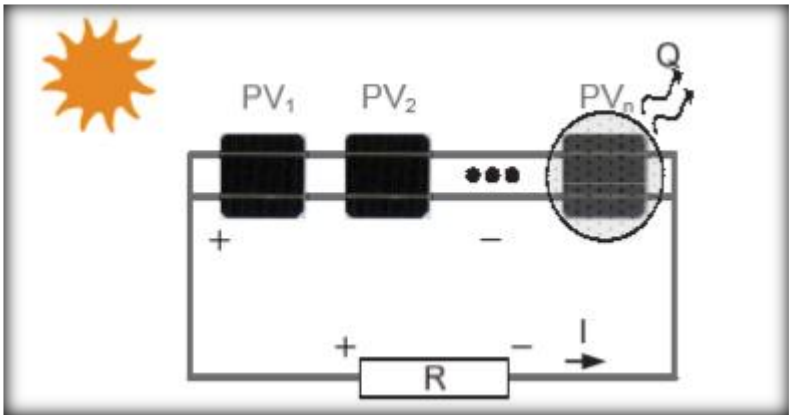


Figura 24 - Sombreamento do módulo fotovoltaico

Fonte: TIGGEMANN (2015).

Tiggemann (2015) indica que se evita este efeito do sombreamento da célula fotovoltaica pela utilização de diodos na posição de antiparalelo em relação as células

fotovoltaicas, que recebem a denominação de diodo *by-pass* ou diodo de derivação. Tais diodos cumprem o papel de desviar a corrente elétrica para evitar a produção de tensão inversa de valor elevado nas células fotovoltaicas. Em termos práticos, as células são submetidas a uma associação em conjuntos, na qual se emprega a cada 18 ou 20 unidades um diodo de derivação, como se apresenta na Figura 25.

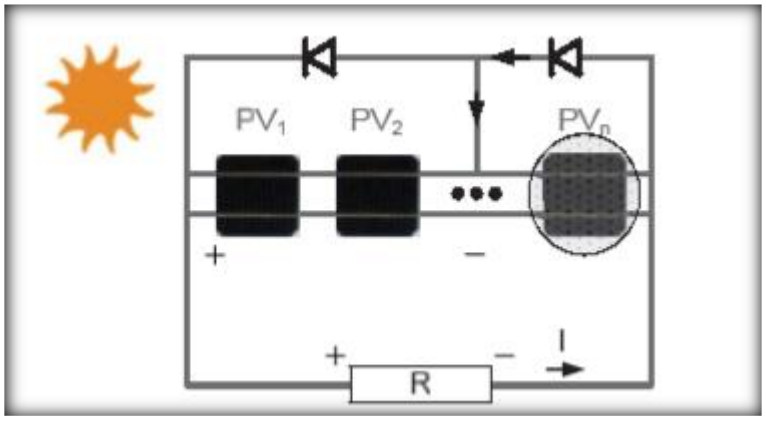


Figura 25 - Atenuação do sombreamento do módulo fotovoltaico por diodos de derivação

Fonte: TIGGEMANN (2015)

Torres (2012) relata que dentre os diversos tipos de sombreamento, podem ser citados:

• Sombreamento temporário: resulta da presença de folhas, de dejetos de pássaros, pó e fuligem nas áreas industriais. A solução para este problema depende da eficiência no funcionamento do sistema de auto-limpeza dos painéis, feito através da lavagem da sujeira pela água da chuva. Para que isto ocorra, os painéis devem ser colocados com um ângulo mínimo de inclinação de 12°;

• Sombreamento em conseqüência da localização: compreende todo o sombreamento produzido pelo envoltório do edifício, ou seja, prédios vizinhos, árvores, cabos da rede elétrica;

• Sombreamento produzido pelo edifício: são as sombras geradas pelo próprio edifício, como caixas d'água, antenas, pára-raios, etc.

3.3 O INVERSOR

Tiggemann (2015) afirma que é possível conectar os módulos fotovoltaicos de forma direta nas cargas de corrente contínua, que são presentes em lâmpadas, motores e em certos aparelhos de medição. Porém, os equipamentos elétricos que funcionam a base de corrente contínua têm limitação mercadológica. Assim, os sistemas fotovoltaicos precisam ter uma unidade que faça a conversão da corrente elétrica, da forma contínua para a forma alternada, com requisitos de eficiência e qualidade de trabalho. Desse modo, o sistema fotovoltaico é capaz de suprir a demanda de energia elétrica para a maior parte dos aparelhos eletroeletrônicos em disponibilidade no mercado.

Tiggemann (2015) reforça que o formato da onda que sai do inversor nas condições ideais deveria ser como senóide, porém, a maior parte dos inversores disponíveis comercialmente apresentam modos de onda quadrada ou em trapézio, para buscar uma diminuição nos custos de produção. Este tipo de inversor apresenta grande conteúdo de ondas harmônicas e devido a tal, baixa eficiência.

A Tabela 3 traz um comparativo entre as mais importantes formas de modular a tensão de saída do inversor fotovoltaico. Na Tabela considerada é possível comparar a modulação pela largura de pulso, denominada pela sigla (PWM), relativa a um único pulso, a modulação por pulsos múltiplos, denominada (UPWM), além da modulação por pulsos de forma senoidal, ou (SPWM). Para proceder tal análise comparativa foi empregada uma frequência de trabalho de 30 Hz, a potência de saída na ordem de 250 W, e uma carga com característica resistiva.

Tabela 3 - Comparação entre os modos de distorção harmônica produzidas pela variação da tensão de saída de um inversor fotovoltaico

Modulação	Amplitude da harmônica (V)								
	1ª	3ª	5ª	7ª	9ª	30k	60k	90k	120k
PWM Pulso-único	220	165	80	1,63	43	1,02	0,49	0,32	0,25
UPWM	220	73	44	31	24	160	34	45	32
SPWM	220	0,51	0,34	0,31	0,47	148	18	28	13

Fonte: TIGGEMANN (2015).

Pinho e Galdino (2014) opinam que um inversor fotovoltaico deve ter as características a seguir:

• possuir grande eficiência na conversão da energia, para carga nominal ou parcial;
• ser dotado de alta confiabilidade e baixo custo de manutenção;
• operar em ampla faixa de tensão de entrada;
• possuir boa capacidade de regulação da tensão de saída;
• gerar ondas senoidais com baixo nível harmônico;
• ser dotado de tolerância em relação aos surtos de partida das cargas a alimentar;
• operar em nível de segurança para o ser humano e para a instalação elétrica;
• possuir grau de proteção IP em adequação a modalidade de instalação elétrica.

O inversor geralmente opera em um nível de eficiência elevado e bastante constante. No entanto, quando os painéis solares estão fornecendo menos de cerca de 25% da capacidade de um inversor, a sua eficiência cai. Isto é demonstrado abaixo pelo gráfico da curva de eficiência do inversor Fronius Primo de uma ficha técnica de fabricante.

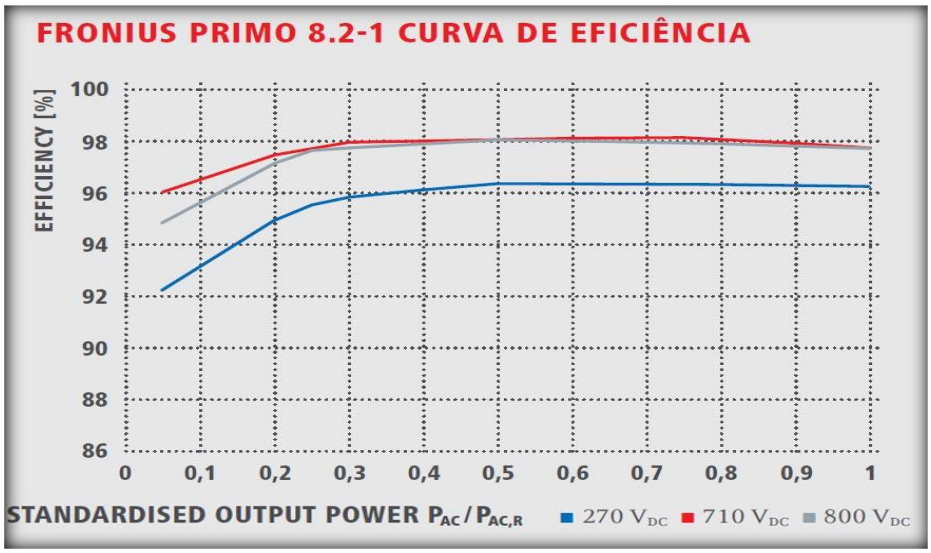


Figura 26 – Curva de Eficiência de um Inversor

Fonte: Portal Solar, 2018.

Como é possível ver na figura 26, quando os painéis estão fornecendo por volta de 30% da potência do Inversor, a eficiência dele é razoavelmente estável. Se ele cair abaixo deste nível o inversor não funciona adequadamente.

Quando os painéis são sobredimensionados o inversor vai gastar menos tempo operando com menor eficiência em luz solar fraca (como em dias nublados) e, esta eficiência média mais alta ajuda a compensar a perda de energia elétrica quando a saída de energia dos painéis excede a capacidade nominal do inversor.

3.4 SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

Tiggemann (2015) situa que em razão das mudanças climáticas, referentes a radiação do sol e a temperatura, os sistemas fotovoltaicos isolados necessitam de um arranjo armazenador de energia para sua correta operação. Para tal, normalmente se emprega um banco de baterias que é capaz de fornecer a carga necessária a qualquer hora do dia, e principalmente nos períodos em que a irradiação solar é baixa, ou inexistente.

Tiggemann (2015) aponta que os sistemas que armazenam a energia elétrica, cumprem papel de alta relevância no uso das fontes renováveis, tais como solar e eólica, em virtude do baixo aproveitamento energético considerando a plenitude do período diário. Várias formas de armazenar energia elétrica são disponíveis e são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Tecnologias direcionadas a armazenar energia

Tecnologia	Potência	Densidade energética	Tempo de back-up	Tempo de resposta	Eficiência	Tempo de vida
Bombeamento hidráulico	100 MW – 2 GW	400 MWh – 20 GWh	horas	12 min	70 - 80%	50 anos
Sistema compressão do ar	110 MW – 290 MW	1,16 GWh - 3 GWh	horas	12 min	99%	< 50 anos
Baterias	100 W – 100 MW	1 kWh - 200 MWh	horas	1 s	60 - 80%	< 10 anos
Eletromecânico volante por inércia	5 kW – 90 MW	5 kWh – 200 kWh	minutos	12 min	80 - 95%	20 anos
Energia magnética SMES	170 kW – 100 MW	110 Wh – 27 kWh	segundos	ms	95%	30 anos
Supercapacitores	< 1 MW	1 Wh- 1 kWh	segundos	ms	> 95%	> 10 anos

Fonte: TIGGEMANN (2015)

Leadbetter e Swan (2012) utilizam a Figura 27 para realizar a classificação dos acumuladores de carga elétrica, em razão de sua potência nominal, e seu poder de oferecer energia a uma carga pontual.

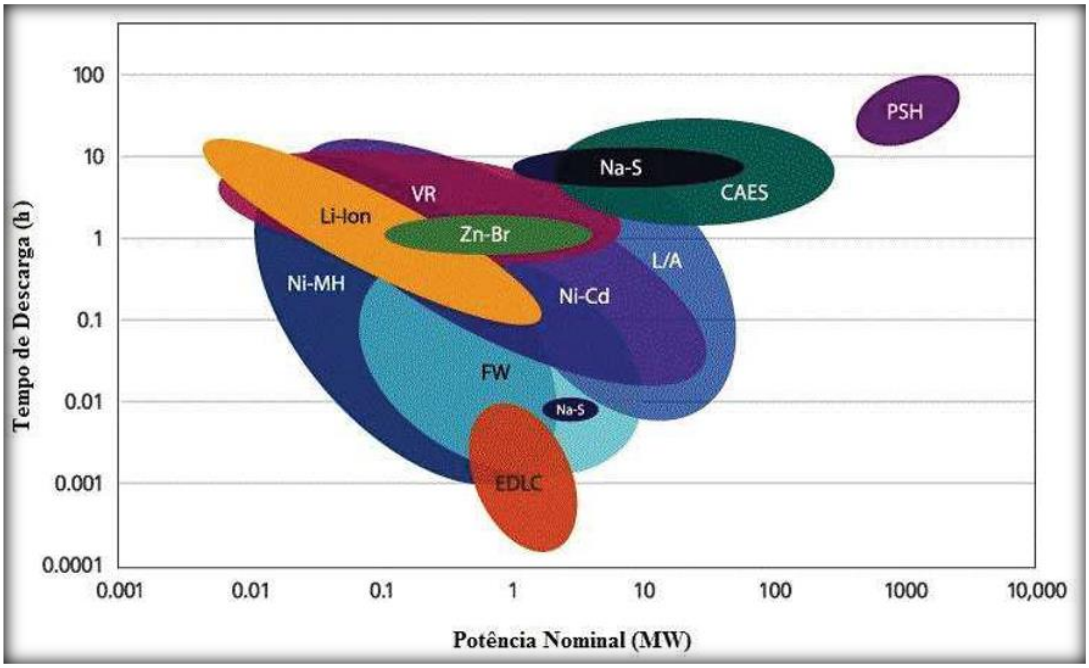


Figura 27 - Sistemas armazenadores de carga elétrica

Fonte: LEADBETTER e SWAN (2012)

Na Figura 27, o segmento EDLC significa os acumuladores dotados de super capacitores, FW tem significado em volante de inércia, e PSH em bombeamento de água. Em termos das baterias, a Figura 27, traz a representação de chumbo-ácido como L/A; baterias de lítio como Li-íon; de sulfato de sódio como Na-S; níquel cádmio como Ni-Cd; níquel metal hidreto como Ni-MH; bateria de zinco e bromo como Zn-Br, e por fim bateria de vanádio redox como VR (LEADBETTER e SWAN, 2012).

3.4.1 Armazenamento de campo elétrico

Guerrero (2013) afirma que os armazenadores de energia elétrica que operam com base em super capacitores, que também recebem a denominação de ultracapacitores, são

passíveis de utilização nas aplicações que necessitam de altas taxas de carregamento e descarregamento, sem apresentar degradação aparente mesmo após seu uso em mais de 1 milhão de ciclos de carga e descarga.

Guerrero (2013) situa que esta tecnologia apresenta como desvantagem que a densidade energética em comparação a uma bateria eletroquímica situa-se em valores muito mais baixos, além da variação da tensão da energia armazenada. Para atender ao propósito de recuperar cabalmente a energia é preciso um controle eletrônico, que por sua vez também comunica perdas energéticas ao sistema.

3.4.2 Armazenamento de campo magnético

Schainker (2004) diz que os sistemas de armazenamento de energia elétrica que operam por campo magnético, são concebidos como indutores dotados de supercondutores, configurando dispositivos que possibilitam armazenar a energia magnética que provém do núcleo de uma bobina supercondutora. Na ocasião em que tal bobina é percorrida por corrente elétrica contínua, verifica-se que a resistência da bobina assume valores quase nulos, com o fito de preservar o conteúdo energético em seu interior, livre de eventuais perdas.

Schainker (2004) pontua que a eficiência do sistema de armazenamento de energia situa-se na ordem de 95 a 98%, possuindo uma grande capacidade de oferecer energia elétrica em poucos milissegundos. O sistema considerado tem como desvantagem principal sua densidade energética em baixos valores e a necessidade de instalação de um sistema de criogenia, que tem considerável complexidade na aplicação nos sistemas de energia isolados.

3.4.3 Armazenamento Eletroquímicos

Padbury e Zhang (2011) e Leadbetter e Swan (2012), indicam que a armazenagem de energia nos acumuladores eletroquímicos é a mais comum nos dias atuais. Há várias alternativas de construção de baterias, dotadas de células com diferentes elementos químicos, que são capazes de fornecer energia através de seus processos de óxido-redução.

Cada elemento em particular tem sua densidade de energia característica, que é mostrada na Figura 28.

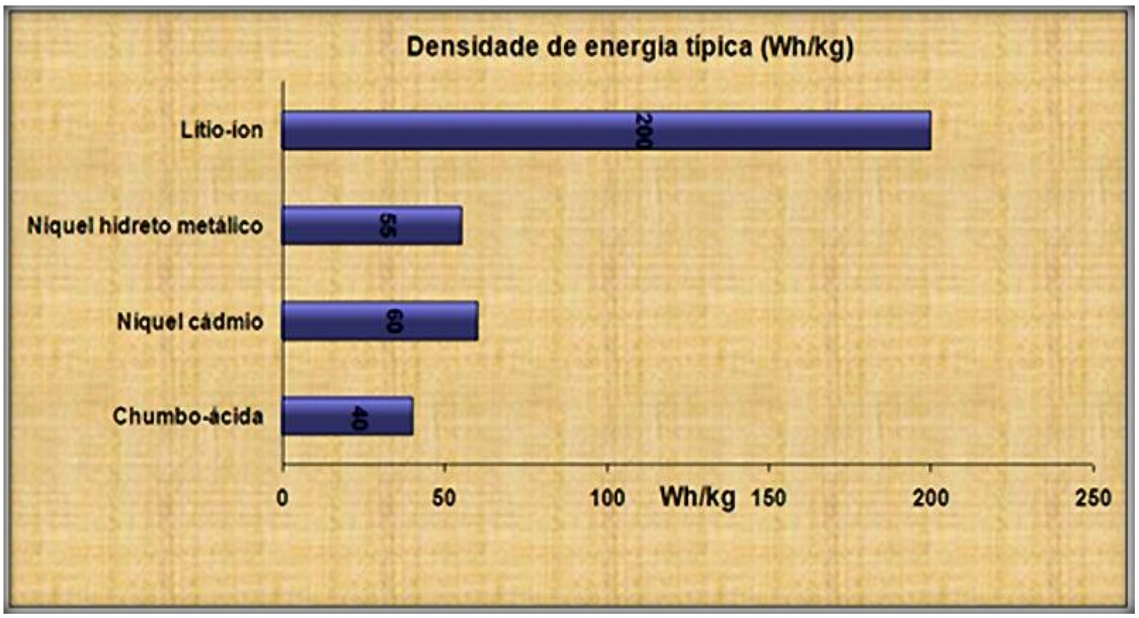


Figura 28 - Célula eletroquímica e valores de energia característicos

Fonte: PADBURY e ZHANG (2011)

Tavares e Galdino (2014) opinam que dentre as várias modalidades de acumuladores eletroquímicos, a tecnologia de mais largo emprego é associada a bateria de chumbo-ácido. No conjunto das tecnologias mais recentes, como as baterias de níquel-cádmio, hidreto metálico de níquel, íon lítio, e em possíveis outras; se observa certas vantagens associadas ao maior grau de eficiência na produção energética, maior tempo de vida útil e profundidade de descarga, mas ainda não são dotadas de características econômicas para seu largo emprego nos sistemas fotovoltaicos.

Tavares e Galdino (2014) situam que para empregar de modo correto a bateria, é preciso realizar uma investigação acerca dos fatores de influência direta na eficiência e na durabilidade do dispositivo.

3.5 CONTROLADOR DE CARGA

Tiggemann (2015) indica que a função principal de um controlador de carga em associação a um módulo fotovoltaico, reside na transferência de energia que provém dos módulos para um sistema de estocagem, normalmente baterias. São obedecidas normas de proteção em relação a cargas e descargas em excesso, para garantir um maior tempo de vida útil para o banco de baterias. Caso o controlador de cargas não seja configurado corretamente, existe a possibilidade de ocorrência de danos irreparáveis para o sistema de estocagem de energia elétrica.

Tiggemann (2015) ressalta que tais equipamentos possuem vários recursos para informar a situação real do banco de estocagem, emitindo alertas nas situações de não conformidade do sistema. Com o propósito de elevar a eficiência na extração de energia elétrica dos sistemas considerados, existe também a possibilidade de uso de um seguidor eletrônico para verificar o atingimento do ponto de potência máxima. No dimensionamento do aparato, deve ser considerada a característica do sistema fotovoltaico empregado, tais como a potência de instalação nos módulos, a tensão de trabalho, e a corrente de estocagem máxima a drenar ou a fornecer ao banco de estocagem.

Tiggemann (2015) ilustra que os controladores de carga podem receber sua classificação de dois modos, a saber, em paralelo ou em série. O controlador em paralelo tem um sistema de chaveamento interno para controlar a passagem de corrente elétrica que provém dos módulos fotovoltaicos em direção ao banco de estocagem. Tal dispositivo, tem sua ligação em paralelo ao sistema de estocagem, para permitir que apenas passe a quantidade de energia requerida pelo sistema em operação. Para estabelecer esta topologia, se emprega um diodo em série em relação ao fluxo de corrente elétrica, com o fito de impedir a passagem da corrente elétrica reversa nas situações de radiação solar baixa.

Tiggemann (2015) também afirma que o controlador é dotado de um sistema de chaveamento com ligação em série a passagem da corrente elétrica, para seu emprego nos sistemas de baixa tensão, sem a necessidade de diodo de proteção.

3.6 SENSOR DE RADIAÇÃO

Tiggemann (2015) informa que a medida da radiação solar tem caráter fundamental na proposição de instrumentos voltados a captar e converter a energia solar. A partir do histórico fornecido pelas medidas, é possível a viabilização da instalação, ou mesmo a ampliação dos sistemas fotovoltaicos. O considerado sensor é passível de utilização como um padrão na análise da eficiência global do sistema fotovoltaico.

Tiggemann (2015) ressalta que o objetivo maior da aferição dos dados solares, é obter experimentalmente um valor instantâneo da corrente energética de origem solar, ou irradiância, no decorrer de um intervalo de tempo sob limitação.

Tiggemann (2015) os sensores de radiação solar têm sua diferenciação com base no princípio de detecção físico, a saber, térmico ou fotovoltaico, assim como em termos de sua finalidade de verificação, ou seja, piranômétrico para verificar a irradiância global, ou pireliômétrico para aferir a irradiância direta.

Tiggemann (2015) informa que o componente piranométrico do módulo fotovoltaico tem sua composição associada a uma célula fotovoltaica de pequena dimensão, convenientemente calibrada. A vantagem de uso reside no menor custo econômico, mas com a desvantagem de fornecer medidas em menor grau de exatidão em comparação aos instrumentos térmicos.

SMA (2010) fornece um exemplo de instrumento piranométrico denominado *Sunny Sensorbox*, que é mostrado na Figura 29. Este aparelho tem grau de incerteza na ordem de ± 8%, com fundo de escala denotando uma incerteza na casa de ± 120 W/m². Na questão da leitura da temperatura, se observa uma incerteza de ± 0,5 °C, em resolução na ordem de 0,1 °C.

Figura 29 - Exemplo de sensor Sunny Sensorbox
Fonte: SMA (2010)

3.7 CONTROLADOR DE SISTEMA

Santos, Sechilariu e Locment (2014) indicam que um sistema híbrido dotado de complexidade mais acentuada é necessário para efetuar a interpretação e atuação sobre as variáveis de maior importância do sistema fotovoltaico. Para tal, se emprega um controlador principal.

Santos, Sechilariu e Locment (2014) tal dispositivo que geralmente recebe microcontrole, perfaz a centralização das informações de produção de energia fotovoltaica, além de informar a condição das baterias, das fontes de cargas auxiliares e das cargas com prioridade. A partir dessas informações, o sistema recebe uma adaptação automática que visa como exemplo, prolongar o tempo de vida útil do banco de armazenamento de cargas, ou reduzir o consumo de energia desligando as cargas não prioritárias.

Santos, Sechilariu e Locment (2014) predizem a possibilidade de emprego de funções de natureza avançada no controlador do sistema, tais como a previsão da condição climática, e outras correlatas.

Santos, Sechilariu e Locment (2014) dizem que via de regra o *Arduíno* é empregado como controlador do sistema fotovoltaico. Tal dispositivo é composto por um arranjo de prototipagem eletrônica de programação livre, que utiliza em seu projeto um microcontrolador *Atmel ATmega* 2560, que possui suporte de pinos de entrada e saída embutidos em sua estrutura, com as características operacionais sob égide da linguagem de programação C/C++.

A Figura 30 traz a demonstração da placa do Arduíno, e de seu processador localizado em sua parte central.

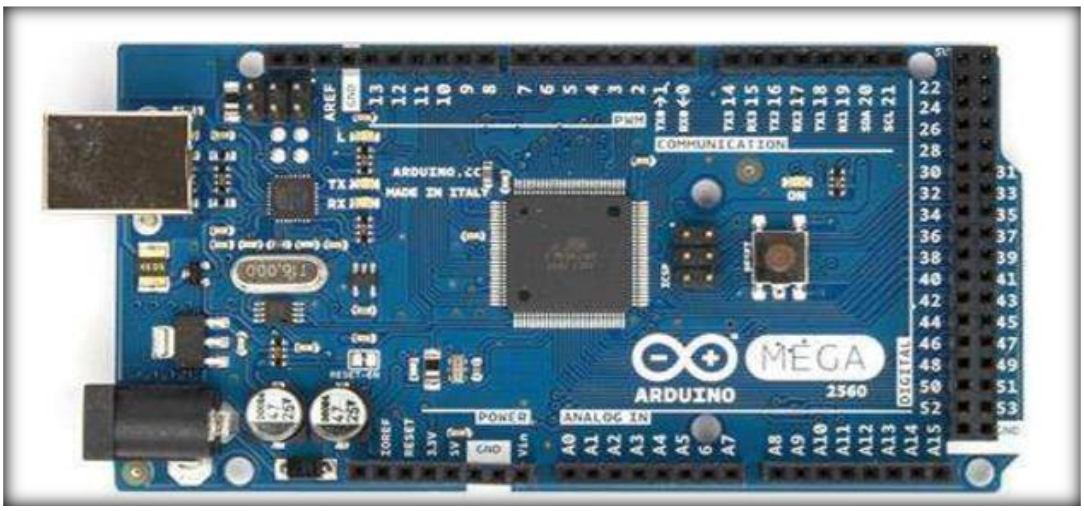


Figura 30 - Controlador de sistema Arduino ATmega 2560

Fonte: ARDUINO (2015)

3.8 SEGUIDOR SOLAR

Seguidor solar, rastreador solar ou rotador de painéis solares é um equipamento que posiciona a placa solar ou painel para que fique sempre voltado diretamente para a luz do sol, figura 31.

De maneira que esses painéis recebam maior irradiação solar possível, durante o dia, com isso aumentando a capacidade de produção de energia de forma mais eficiente.

De modo prático, o seguidor solar vai alterando no decorrer do dia a posição do painel em direção a luz solar, acompanhando seu percurso.

Uma placa solar tem capacidade de captar luz solar tanto em condição de céu aberto ou mesmo nublado.

Fazendo-se o uso de um sistema de seguidor solar, pode-se aumentar a captação de radiação solar direta, conseguindo assim um aumento significativo na produção de energia solar.

Sendo o seguidor solar um dispositivo feito para orientar um sistema solar fotovoltaico. É usado principalmente em grandes empreendimentos como usinas solares, de maneira a captar mais energia solar, de maneira que sem este dispositivo seria impossível de praticar.

Todo o modo de rastreamento nada mais é que diminuir o ângulo de incidência entre a luz solar e o painel solar.

Seguidores solares são ainda mais importantes para projetos fotovoltaicos centralizados (CPV) e para plantas centralizadas (CSP), em que eles suportam os componentes óticos desses sistemas. Os quais são projetados para focar diretamente a luz solar.

Existem duas formas para a base dos seguidores solares: Seguidores solares de eixo único e Seguidores solares de eixo duplo.

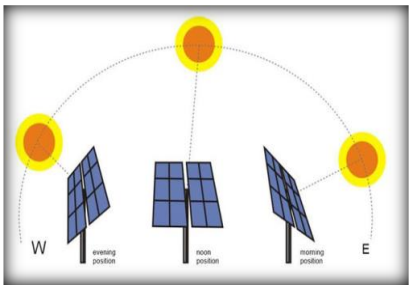


Figura 31 - Rastreador Solar de um Eixo “KWSUNPOWER”

Fonte: http://www.archiexpo.com

Um sistema de seguidor solar tem capacidade de aumentar a porcentagem de captação de luz solar em até 50% na época de verão e em cerca de 20% no inverno.

A necessidade de utilizar menos espaço para se gerar a mesma quantidade de energia é outra vantagem do sistema.

Outro aspecto importante é o fato do sistema seguidor solar conseguir entregar a potência de uma forma mais uniforme durante o dia conforme figura 32.

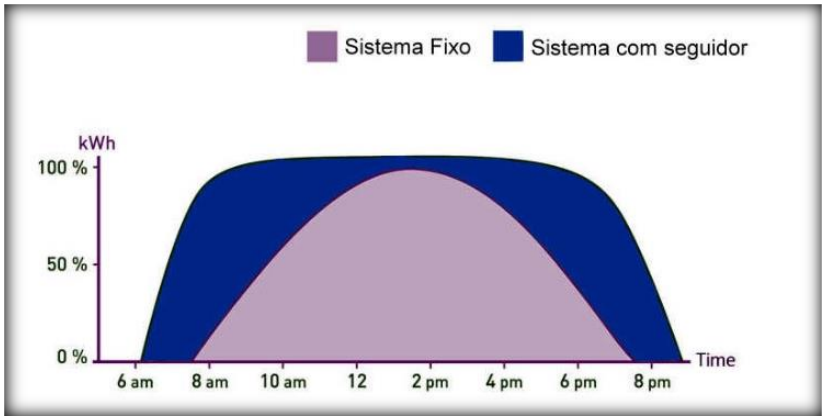


Figura 32 - Comparativo Gráfico do Padrão de Geração no dia com o Sistema Seguidor

Fonte: https://suaenergiasolar.com.br/seguidor-de-paineis-solares/

Podemos perceber algumas desvantagens do sistema, a primeira talvez seja o preço, devido a complexidade da tecnologia que compõem o sistema.

A instalação é outro fator que vai exigir mão de obra especializada e tempo com isso aumentando os custos.

A manutenção adicional necessária para este tipo de sistema, que também contribui para o aumento de custos.

3.9 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM CONEXÃO À REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Lopez (2012) diz que os sistemas fotovoltaicos associados a rede de distribuição precisam em caráter obrigatório de possuir uma rede de referência, e que possuem via de regra um mecanismo estocador de energia elétrica. O total de energia elétrica gerada é injetada de modo direto na rede de eletricidade.

Lopez (2012) informa que tais sistemas são construídos com base em módulos fotovoltaicos ligados em série ou em paralelo, com o propósito de atingir um determinado valor de tensão elétrica e fluxo de corrente. Recebem via de regra uma conexão a um inversor, que cumpre a função de transformar a corrente elétrica contínua em corrente alternada, passível de sincronização com a rede disponibilizada pela concessionária de energia elétrica.

Dias (2006), Panda, Pathak e Srivastava (2012), ilustram que os considerados sistemas, como o mostrado na Figura 33, tem a capacidade de fornecer o total de energia produzida para a rede elétrica, em processo de transferência direta, sem necessitar de estratégias de armazenamento de energia. Tal sistema pode ser concebido como uma fonte de auxílio, que atende a intensão de descentralizar a geração de energia elétrica.

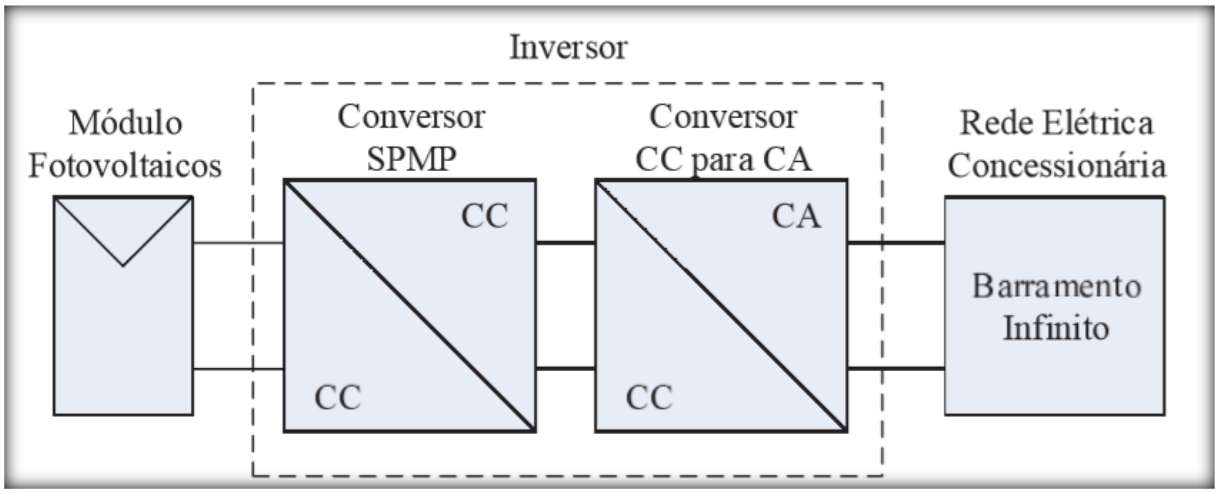


Figura 33 - Modelo de sistema fotovoltaico em conexão à rede

Fonte: TIGGEMANN (2015)

López Seguel (2009) prediz que para todo valor de temperatura e irradiância solar, cabe ao módulo fotovoltaico fornecer um valor correspondente de potência. O instrumento

que afere o ponto de potência máxima, tem a responsabilidade de promover o rastreamento deste parâmetro.

3.10 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÔNOMOS

Tiggemann (2015) reforça que o uso corrente dos sistemas fotovoltaicos isolados, normalmente ocorre em localidades distantes da rede de concessão de energia elétrica. Tais sistemas são formados por arranjo de módulos fotovoltaicos em adição a um sistema de baterias, controlador de carga e unidade de inversão da corrente elétrica, em condição de suprir a demanda local por certa carga elétrica.

Tiggemann (2015) esclarece que os sistemas ditos isolados podem se apresentar de modo individual ou em micro redes de distribuição de energia. Na primeira hipótese, a energia se configura de exclusividade para atender uma só unidade de consumo, e na microrrede a produção de energia elétrica tem sua divisão entre vários usuários distantes em termos geográficos.

ANEEL (2014) tendo em vista a necessidade de regulamentação da geração da energia solar em termos da demanda por eletricidade, realizou publicações de resoluções de número 492 e 493 no ano de 2012, com o objetivo de estabelecer o rol de procedimentos, e as condições relativas ao fornecimento de eletricidade na modalidade de micro geração de energia associada a sua distribuição para os potenciais usuários, e também deitando normas relativas ao sistema individual de produção de eletricidade com base nas fontes ditas renováveis, e em particular a energia solar.

A Figura 34 faz a demonstração de um sistema fotovoltaico que opera isoladamente, tendo como fonte primária um gerador fotovoltaico. Com tal dispositivo, é possível a obtenção de eletricidade a qualquer período do dia, a despeito da oferta de radiação solar, necessitando apenas de um mecanismo que armazene a energia elétrica produzida.

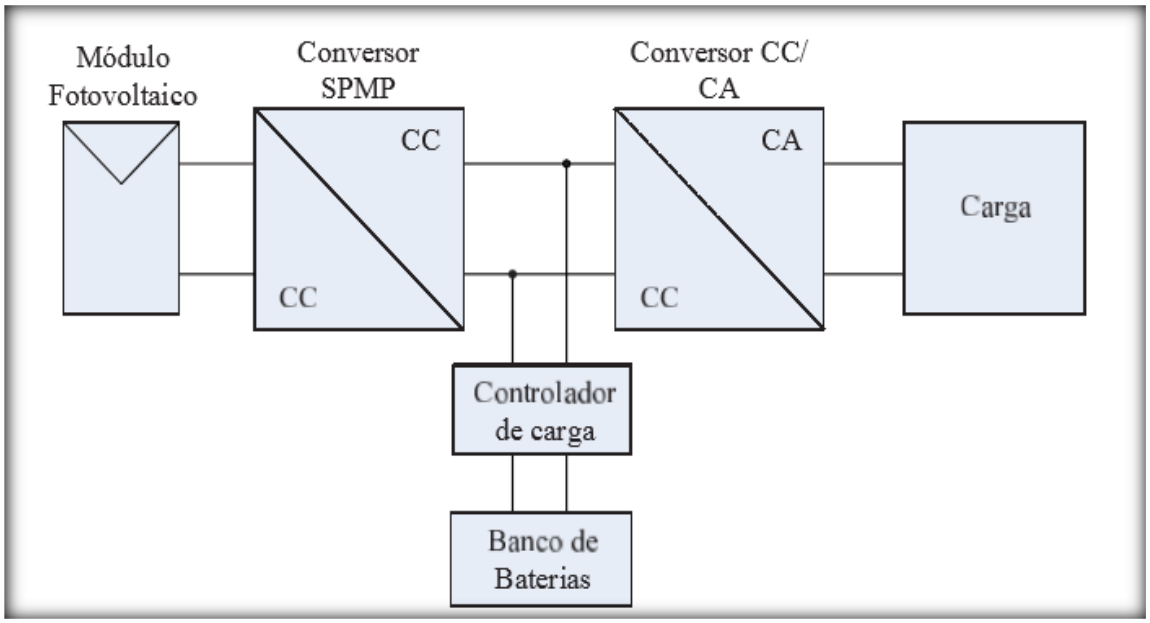


Figura 34 - Estrutura de um sistema fotovoltaico isolado

Fonte: TIGGEMANN (2015).

3.11 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS HÍBRIDOS

Tiggemann (2015) ilustra que os sistemas ditos híbridos, cuja representação se observa na Figura 35, tem por característica o emprego de várias fontes de produção de energia elétrica atuando em conjunto, tais como, módulos solares, eólicos, em associação a pilhas de combustível, geradores de eletricidade a diesel e outros. Tal diversificação na produção de energia permite uma otimização do dimensionamento do sistema fotovoltaico, assim como, a possiblidade de uso de vários elementos a acumular a energia produzida, o que permite sua oferta ao usuário a qualquer dia ou momento, a despeito da quantidade de radiação solar.

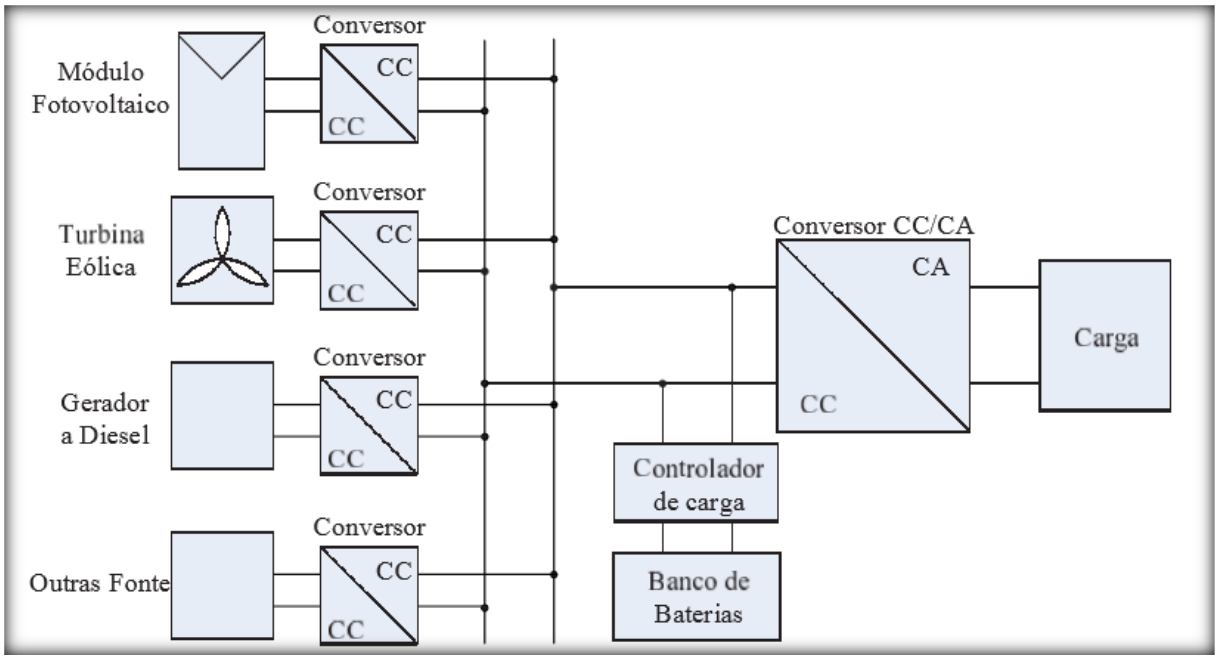


Figura 35 - Arranjo de um sistema híbrido

Fonte: TIGGEMANN (2015)

Tiggemann (2015) opina que em razão da maior complexidade de tais sistemas, faz-se necessária alguma modalidade de controle para proceder à integração dos vários geradores, de modo a produzir a otimização das condições de operação. Múltiplas configurações são possíveis, bem como estratégias de utilização em relação a cada fonte energética.

Tiggemann (2015) faz referência que os sistemas híbridos, em face de sua capacidade de ofertar energia elétrica nas situações de ausência temporária de energia na unidade de consumo, operam apresentando uma quantidade mínima de interrupções, e em planilha de custos reduzidos, sendo capazes de funcionar de maneira isolada ou em conjunto a rede elétrica. Tais sistemas tem capacidade cuja variação se estabelece entre poucos kW até valores elevados de energia na unidade MW.

CAPITULO 4. MATERIAIS E METODOS

No planejamento e dimensionamento de um sistema fotovoltaico é fundamental conhecer o local da instalação. Como regra geral, a inclinação ótima em relação à horizontal para incidência solar máxima em regime anual é dada pela latitude local. A orientação ideal é a de uma superfície voltada para o equador (norte geográfico para instalações no hemisfério sul e sul geográfico para instalações no hemisfério norte), como a Figura 36, alocada no hemisfério sul.

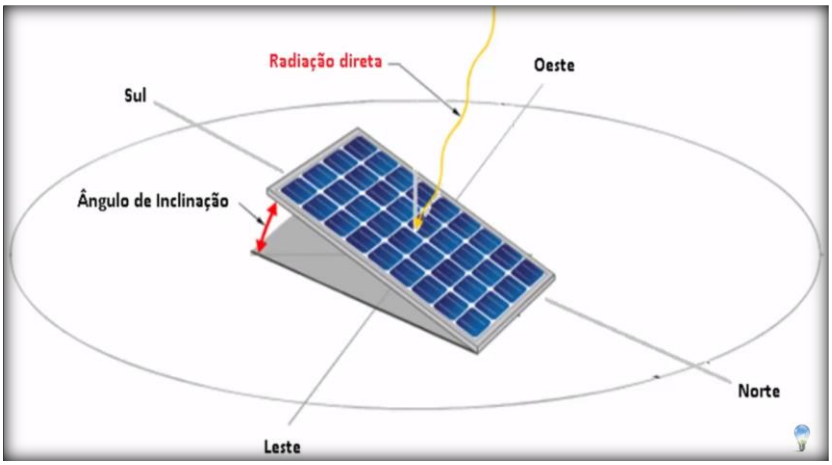


Figura 36 – Ângulo de inclinação na instalação de um painel fotovoltaico

Fonte: CRESESB (2004)

A geração de energia elétrica em um sistema fotovoltaico depende das características dos módulos (eficiência e coeficientes de temperatura), do posicionamento do painel (orientação e inclinação), das características dos inversores (eficiência) e do nível anual da irradiação no local (kWh/ m^2). Outro fator importante, que deve ser observado é a ocorrência de sombreamentos nos painéis, pois pode comprometer a geração, reduzindo assim o desempenho do sistema.

No caso do residencial analisado neste trabalho, considerou-se que os telhados já existiam e portanto, os módulos estariam dispostos sobre a cobertura dos telhados através do uso de uma estrutura metálica.

A estrutura metálica deve ser capaz de suportar as forças que ocorrem nos módulos e transferi-las à estrutura do telhado. Além disso, o espaço entre a superfície do módulo e a cobertura do telhado não deve ser muito grande, apenas o suficiente para permitir a eficaz ventilação do telhado e evitar que folhas, por exemplo, fiquem presas, podendo desta forma, obstruir o escoamento das aguas da chuva.

Para o dimensionamento do sistema de geração fotovoltaico é necessário analisar a demanda de energia pela carga. Esta análise tem o objetivo de construir com a maior fidelidade possível uma curva de carga, identificando as possíveis sazonalidades. Tal levantamento pode implicar em uma redução significativa no custo do sistema e prevenir contra efeitos de possíveis variações localizadas no comportamento da carga.

Para o dimensionamento do sistema, algumas etapas devem ser seguidas:
- Estimativa inicial da Potência nominal necessária para suprir a demanda energética da residência;
- Seleção do modelo de módulo solar e definição da quantidade a ser utilizada;
- Seleção de um modelo de inversor compatível com o módulo;
- Estabelecimento da melhor configuração módulo/ inversor;
- Estimativa da energia produzida, tendo como base dados da radiação solar incidente no local.

A tecnologia utilizada no sistema do estudo de caso foi a que utiliza silício policristalino. Representa mais de 52% da produção mundial e por ser uma das mais eficientes encontradas no mercado mundial (PHOTON-INTERNATIONAL, 2011).

Além disso, os painéis de silício policristalino são os mais utilizados nos sistemas conectados à rede existentes no Brasil.

Os sistemas basicamente são compostos por de acordo com a figura:

1- Módulos fotovoltaicos;
2- Inversor de corrente CC para CA;
3- Equipamentos a serem energizados
4- Medidor(es) de energia;
5- Rede da Concessionaria;

6- Sistema de fiação;

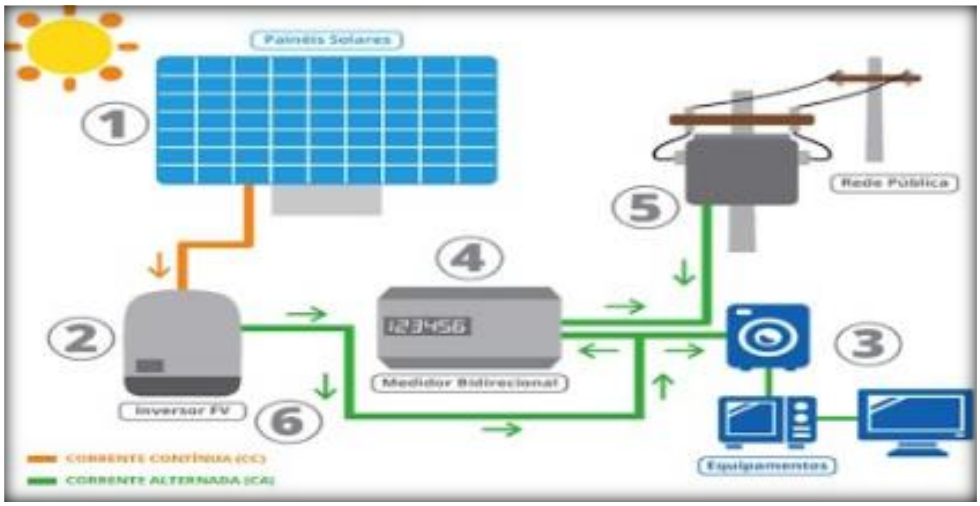


Figura 37 – Sistemas básicos da instalação de um SFCR

Fonte: CRESESB (2004)

A escolha dos módulos e demais componentes deve ser feita através de análise econômica, da área de utilização de instalação e da disponibilidade dos equipamentos no mercado nacional. Portanto, a partir do valor da potência nominal específica para o local, é possível calcular a quantidade de módulos necessária, sempre considerando como fator limitante a área útil disponível para a instalação dos mesmos.

Para nortear a escolha dos modelos de módulos, devem ser consideradas as seguintes informações:

• Potência do módulo;
• Área do módulo em m^2;
• Custo de cada módulo;
• Custo por m^2.

Após esta análise determina-se o custo por potência, ou seja, a quantidade de módulos necessários por metro quadrado e o referido custo também por metro quadrado.

Na sequência é determinada a quantidade de módulos necessários para a potência nominal. Visando um melhor arranjo no sistema, para cada modelo de módulo, podem ser feitas adições de placas de forma a ter uma quantidade par no final.

Quanto ao dimensionamento do inversor, a partir do cálculo da potência nominal, das características elétricas dos módulos, da quantidade de módulos por subsistema e das características elétricas de vários modelos de inversores, pode-se verificar o melhor tipo de ligação dos módulos, objetivando uma escolha otimizada e compatível entre os componentes.

A escolha de um inversor com uma potência sensivelmente menor do que a potência do arranjo fotovoltaico poderá ser favorável. Isto porque a eficiência do inversor é relativamente baixa para as gamas de potência operacionais inferiores a 10% da potência nominal. Assim, com o intuito de otimizar a eficiência do inversor, este é frequentemente subdimensionado. Esta prática permite manter elevados os níveis de eficiência do inversor, mesmo que se tenha baixos níveis de irradiância solar. Uma análise mais detalhada dessa concepção e de alguns pontos abordados a seguir ´pode ser visto no https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/curiosidades-sobre-energia-solar/porque-superdimensionar-o-seu-inversor-e-uma-boa-ideia.html

Ao subdimensionar o inversor, é fundamental verificar o comportamento do mesmo no caso de sobrecargas, de forma a assegurar as condições de segurança. Isto é, em nenhum momento poderá ser ultrapassada a tensão máxima de entrada do inversor.

O site PV Watts, do governo americano nos possibilita fazer a simulação do desempenho de um sistema quando superdimensionamos o inversor. No caso abaixo escolhemos um inversor com potência nominal de 4kW e superdimensionamos ele em 30.44% para chegarmos em uma potência de painéis de 6kWp.

O PV Watts na figura 38 mostra qual é a produção anual de energia dos sistemas instalados em um telhado com direção Norte.

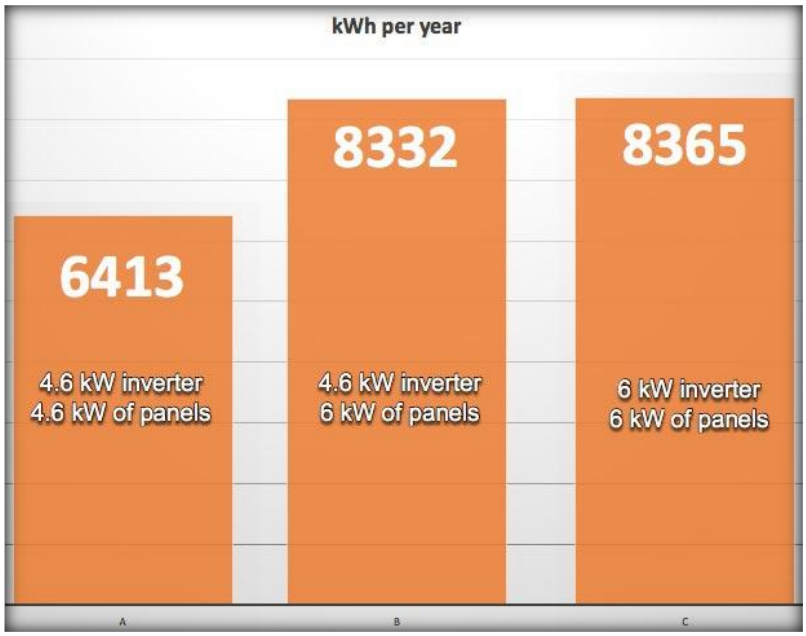


Figura 38 – Simulação de subdimensionamento do invesor

Fonte: https://pvwatts.nrel.gov

De acordo com PVwatts um inversor de 4,6 kW com 6kW de painéis produz 29,9% mais de eletricidade do que um inversor de 4,6 kW com 4,6 kW de painéis solares. Isso é um resultado muito bom dado que este sistema tem 30.44% mais capacidade do painel solar.

O que é impressionante, um inversor de 6 KW com 6 KW de painéis que só produzirá cerca de 0,4% mais de eletricidade ao longo de um ano do que um inversor de 4,6 quilowatts com 6 kW de painéis. O mesmo ocorre para telhados Leste e Oeste.

A perda de geração da energia solar fotovoltaica pode não ser tão grande se o sistema for instalado nas faces voltadas ao Leste e Oeste. As perdas direcionais para telhados com face NE ou NO variam entre 3% e 8%. Para um telhado com face Leste ou Oeste, pode se perder entre 12% e 20%. Para face Sul, as perdas são muito grandes. Somente considere instalar nesta parte do seu telhado se você morar na região Norte do Brasil.

CAPITULO 5. ELEMENTOS DE UM GERENCIAMENTO DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM MICRORREDES – UM CASO DE ESTUDO

Será apresentada inicialmente a descrição dos principais equipamentos que foram instalados de um sistema fotovoltaico conectado à rede, sem bateria e com painéis fotovoltaicos em série, ou seja, o SFCR a qual foi projetada com potencial energético de 4,675 kWp (1000 Watt de pico), conectada a baixa tensão (220V) de distribuição da unidade consumidora.

O residencial foi aprovado na concessionaria local para somente o andar térreo do empreendimento (5 quitinetes), pelo proprietário Fernando Bezerra de Andrade e está localizado na Rua Onaldo da Silva Coutinho, n° 383, Bairro Castelo Branco, João Pessoa-Paraíba, Brasil, onde foi instalado o SFCR no mês de agosto de 2017.

A obtenção dos dados utilizados neste trabalho, fora coletada a partir do mapeamento dos medidores da empresa responsável pela distribuição de energia da Paraíba ENERGISA, além de levantamento in loco e das informações do responsável técnico e proprietário Senhor Fernando Bezerra.

Os cinco quitinetes possuem em seu interior equipamentos elétricos com diferentes potências elétricas. Na Tabela 5 é apresentado o quadro das potências elétricas dos principais equipamentos existentes.

Tabela 5 - Quadro de potência elétrica do residencial

DESCRIÇÃO	***Quantidades***	***Potência Unitária(W)***	***Total (kW)***
Lâmpada econômica 20W	20	20	0,40
Geladeira de 280lt	05	100	0,50
TV 32”	05	150	0,75
Micro Ondas	02	1140	2,28
Tanquinho de Lavar roupas	02	1000	2,00
Secador de cabelo	02	1000	2,00
Motor ½ CV	01	368	0,36

Ventilador	05	120	0,60
Ferro de passar roupas	05	550	2,75
Total			11,64

Fonte: Proprietário ANDRADE

Na Figura 41 é apresentado o esquema funcional do SFCR composto por 18 painéis fotovoltaicos ou módulos fotovoltaicos, na figura 40, sendo: 11 produzidos pela Canadian Solar (5 do modelo, painel solar fotovoltaico policristalino CS6P-260, com potência pico de 260 W e Tensão de circuito aberto de 37,5 V e 6 do modelo painel solar fotovoltaico policristalino CS6P-265P, com potência pico de 265 W e Tensão de circuito aberto de 37,7 V) e 7 produzidos pela Yingli Solar (modelo, painel solar fotovoltaico policristalino YL255P-29b, com potência pico de 255 W e Tensão de circuito aberto de 30,0 V).

É observado ainda, um inversor de corrente em conexão monofásica (220V), figura 39, com monitoramento remoto, BLANK 5000 26Z produzido pela OMNIK NEW ENERGY, que conectam a produção solar à rede elétrica, sendo que este sistema de monitoramento somente foi acionado em outubro de 2018. E finalmente, um medidor bidirecional polifásico eletrônico da NANSEN e também foi mantido o unidirecional, conforme Figura 39.

Figura 39 – Proteção, Inversor e Medidores da Energisa.

Fonte: Foto cedida pelo proprietário ANDRADE

Figura 40 - Módulos instalados no telhado.

Fonte: Foto cedida pelo proprietário ANDRADE

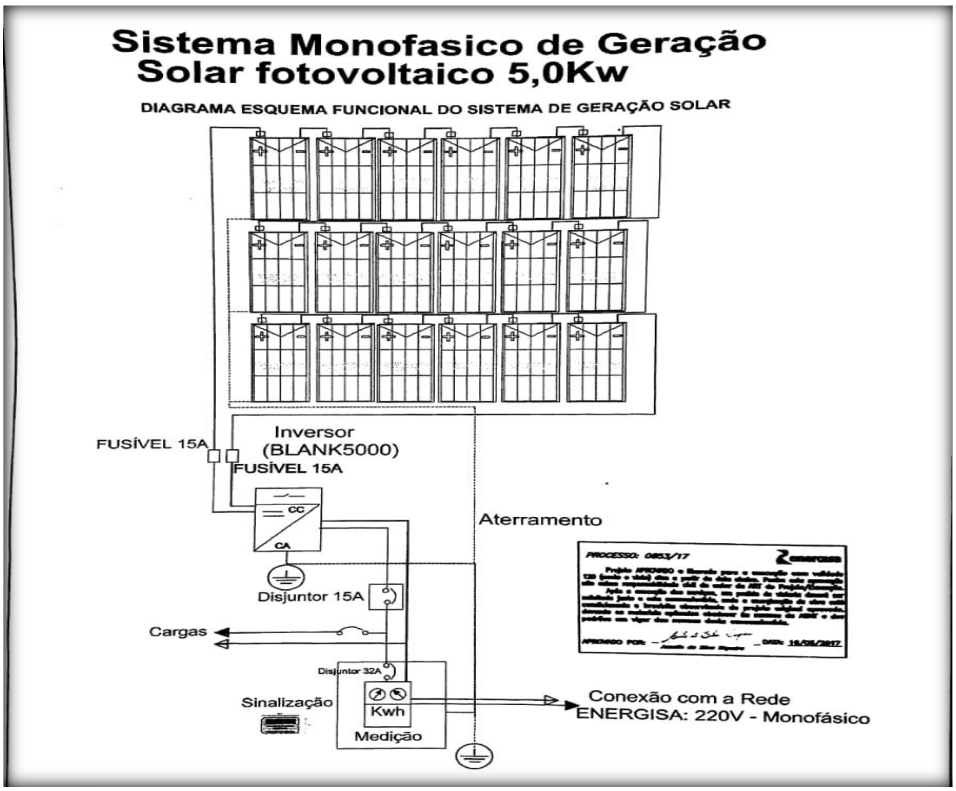


Figura 41 – Sistema monofásico de geração solar fotovoltaico

Fonte: Proprietário ANDRADE

5.1 ANÁLISE DE RESULTADOS

Na Tabela 6 estão apresentadas as informações sobre os custos dos equipamentos obtida a partir das notas fiscais emitidas pelas empresas Serrana Sistemas de Energia e Minha Casa Solar, responsáveis pelas vendas e dos equipamentos do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede implantado no residencial multifamiliar. Além disso, são mostrados gastos com a estrutura (instalação de Kit de fixação, cabeamento e etc.) e projeto (Memorial Descritivo Micro Distribuída Energética-5kWp) montado por Fernando Bezerra de Andrade e projetado pelo responsável técnico Alex Sandro Lins Estrela CREA: 1055158/2016.

A Autorização de acesso à rede não foi cobrada pela empresa distribuidora de energia ENERGISA. Já o Inversor BLACK 5000 26Z tem seu valor mostrado na Tabela 6 juntamente com sua instalação realizada pela Serrana Sistemas de Energia. Neste também é integrado um adaptador remoto, possibilitando um acompanhamento da produção energética online, conforme figura 42.

Tabela 6 - Equipamentos utilizados para instalação do kit fotovoltaico

Descrição	*Quantidade*	*Investimento unitário (R$)*	*Investimento Total (R$)*
Módulo CS6P-260P	5	897,91	4.489,55
Módulo CS6P-265P	6	789,00	4.734,00
Módulo YL255P-29b	7	895,00	6.265,00
Estrutura	1	1.000,00	1.000,00
Adaptador remoto	1	397,00	397,00
Inversor/Instalação	1	5.380,00	5.380,00
Projeto	1	1.200,00	1.200,00
Total			**23.465,55**

Fonte: Proprietário ANDRADE

.

Figura 42 - Tela do monitoramento remoto, mensal e diario em 2018.

Fonte: Foto cedida pelo proprietário ANDRADE

Como apresentado, na Tabela 6, foram instaladas 18 placas fotovoltaicas com média de produção energética total, segundo ficha técnica, de 4.675 Wh. Onde os gastos ocasionados de equipamentos e instalações, totalizaram R$ 23.465,55 notamos que os valores mais altos são dos módulos fotovoltaicos e do inversor.

Na Figura 43, são apresentados os históricos de consumo (kWh) no período de um ano, a partir do mês de abril de 2018 até março de 2019, referente à Unidade Consumidora 5/32433-5 e 5/1435025-0. O fato de ter a medição dividida em dois medidores confunde o acompanhamento do consumo por parte do proprietário e dos leituristas inclusive conforme informado pelo proprietário já por duas vezes erraram nas contas. Além disso ele conta com outros imóveis em seu CPF que também podem receber os descontos de excedente produzido de energia, ver figura 31.

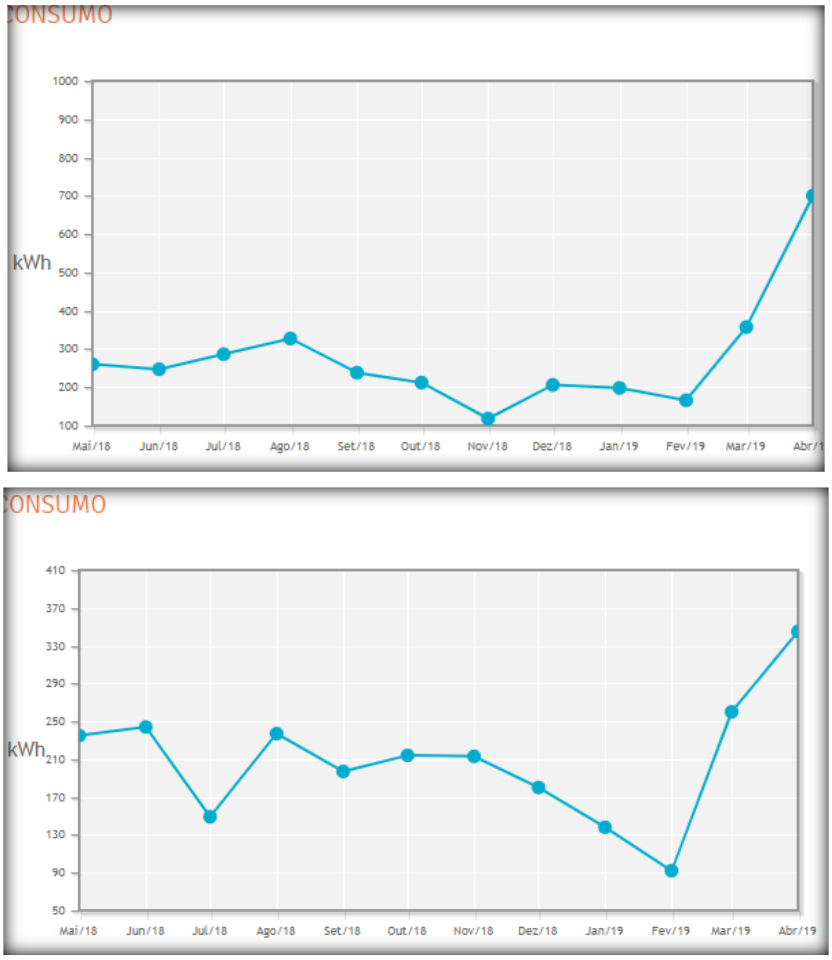


Figura 43 – Gráficos do Historico de Consumo em kWh do Residencial Multifamiliar

Fonte: Site da ENERGISA

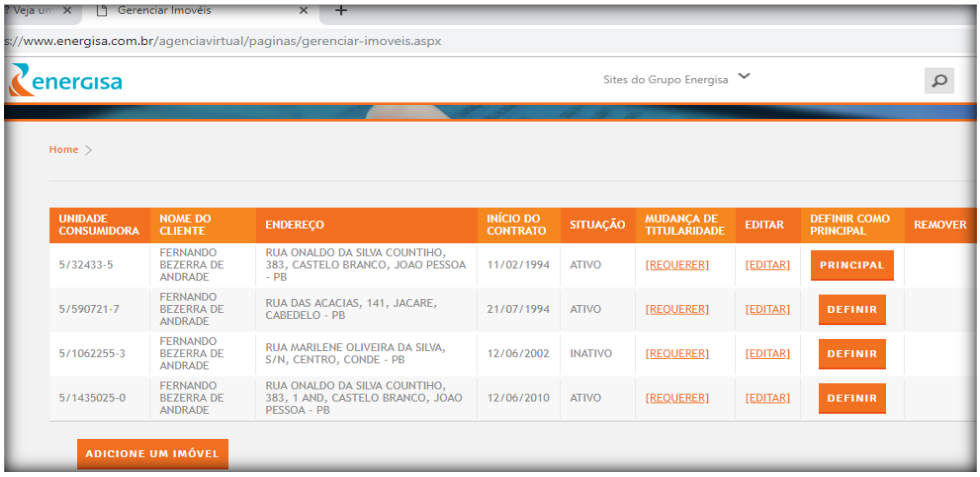


Figura 44 – Medidores e imóveis atendidos no mesmo CPF

Fonte: Site da ENERGISA

Para efeito de comparação nas características técnicas do sistema foi utilizado o software Solergo da Hiper Energy com funcionabilidades conforme Figura 45.

O Solergo permite o projeto completo de sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição (grid connected) ou ilha (stand alone). Através de uma sequencia guiada, simples e flexivel, tem-se:

Gerenciamento de todos os tipos de sistemas.

Relatório técnico do projeto.

Relatório econômico com a avaliação de rentabilidade.

Ficha técnica final do sistema.

Layout topográfico do sistema.

Diagramas elétricos a serem enviados ao administrador da rede.

Neste estudo o software emitiu relatórios e projetos, em anexo à dissertação para os casos nomeados como: 1) Real, onde todas as características da instalação do estudo de caso foram igualmente consideradas nos parâmetros; 2) Ideal, onde a empresa Hiper Energy recebeu informações básicas como consumo recente e dados gerais do imóvel e implementou o projeto como a um cliente iniciando a tratativa, portanto criando um sistema ideal para esse caso.

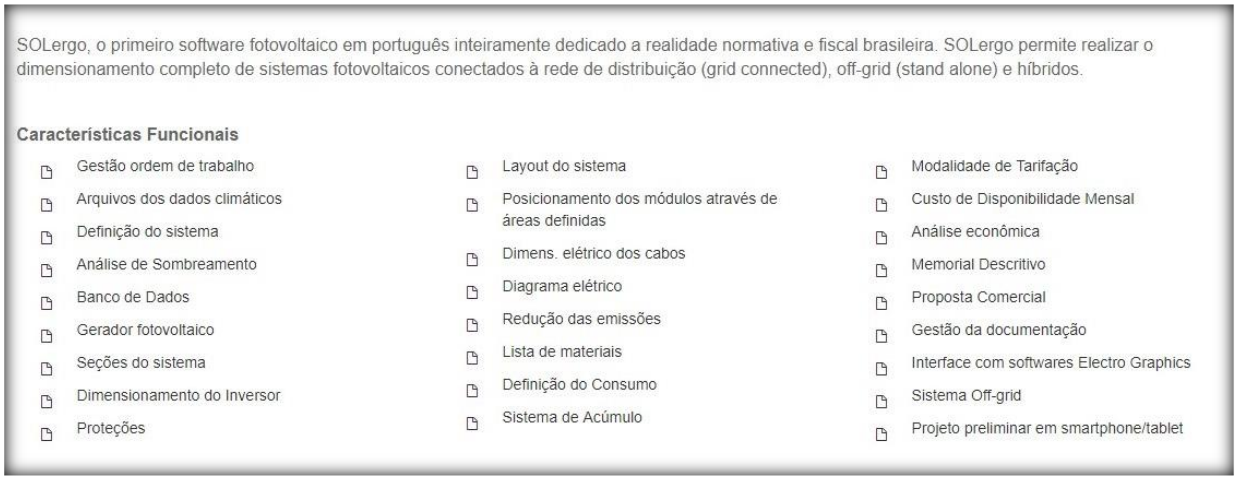


Figura 45 - Características funcionais do SOLergo (software)

Fonte: Hiper Energy do Brasil

Tabela 7 - Produção mensal em 1 ano, de 2018/2019 para os três projetos de SFCR

Mês	Instalado (kWh)	Hiper Real (kWh)	Hiper Ideal (kWh)
Abril 18	566,000	599,023	401,000
Maio 18	519,000	568,358	354,000
Junho 18	500,000	500,779	335,000
Julho 18	583,000	528,659	418,000
Agosto 18	638,000	612,775	473,000
Setembro 18	600,000	633,848	435,000
Outubro 18	591,000	671,890	426,000
Novembro 18	496,000	657,109	331,000
Dezembro 18	631,150	663,166	524,000
Janeiro 19	595,000	635,885	502,000
Fevereiro 19	620,460	597,692	473,000
Março 19	605,000	676,813	535,000
Total em kWh	**6.944,61**	**7.346,00**	**5.207,00**

Fontes: ENERGISA; Hiper Energy do Brasil

Na Tabela 7 são apresentados os demonstrativos da produção mensal para os três SFCR com resultados monitorados de Abril de 2018 a Dezembro de 2018. O primeiro é o SFCR Instalado no Residencial Multifamiliar com 18 módulos fotovoltaicos, de angulação fixa de 9%, orientação de -154,5º e Sombreamento de 0,09%. Foi considerado um consumo médio simultâneo de energia produzida mensal de 156kWh, conforme sugerido no relatório de análise econômica da Hiper Energy. Convém notar que os resultados apresentados para o SFCR instalado, a partir do mês de Janeiro 2019, em destaque na Tabela 7, são estimados, baseado na produção média e radiação solar do mês neste período tendo por motivo um acréscimo no sistema a partir desta data.

A segunda coluna, Hiper Real, com as mesmas configurações do modelo Instalado (Orientação, Angulação, Sombreamento e quantidade dos módulos fotovoltaicos), é o projeto simulado pela Hiper Energy do Brasil utilizando o software da SOLergo. A terceira e última coluna, é o Hiper Ideal, que é um projeto proposto e recomendado pela Hiper Energy do Brasil, dito suficiente para o consumo informado, composto por 11 placas fotovoltaicas, de angulação fixa, orientação 180,0°, Inclinação de 5º e Sombreamento de 0,01%).

No Gráfico 1 vemos que a produção Ideal e suficiente, conforme informado pela Hiper Energy para este conjunto residencial, teria a menor produção. Já a produção denominada Real tem a maior produção e valores mais proximos do Instalado, que seria o estudo de caso inserido no software da Hiper Energy.

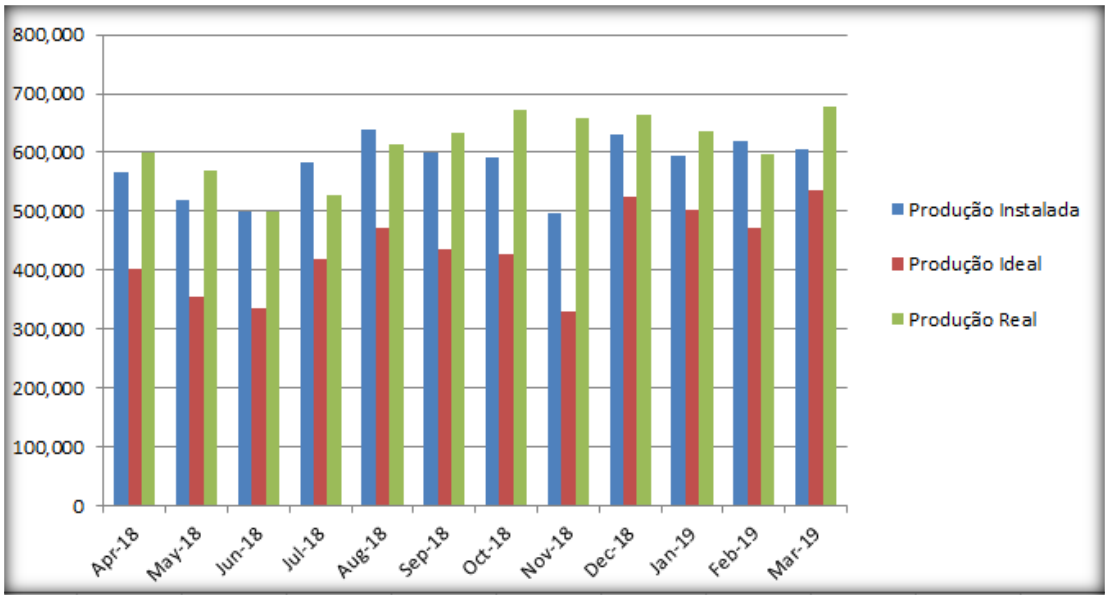


Gráfico 1 - Produção mensal por 1 ano, de 2018/2019 para os três estudos do SFCR

Fontes: ENERGISA; Hiper Energy do Brasil

5.2 ANÁLISE DE VIABILIDADE

O valor pago por kilowatts à ENERGISA é de R$ 0,73, conforme figura 46 mostra a conta de energia demonstra do arredondamento de 0,728790 da tarifa com tributos em reais.

Endereço da Unidade Consumidora:
FERNANDO BEZERRA DE ANDRADE
RUA ONALDO DA SILVA COUNTINHO, 383 - CEP:58050-600
CASTELO BRANCO
JOAO PESSOA (AG: 1)

energisa
LIGADA NA SUA ENERGIA
ENERGISA PARAÍBA - DISTRIBUIDORA DE ENERGIA S/A
Br 230, Km 25 - Cristo Redentor - João Pessoa / PB - CEP 58071-680
CNPJ 09.095.183 / 0001-40 Insc.Est. 16.015.823-0

Classe/Subcls.:RESIDENCIAL/RESIDENCIAL
Roteiro: 001 - 0006 - 023 - 3340
Nº do Medidor: 00001246870
MATRÍCULA: 32433-2018-4-7
DOM. ENT.:
LIGAÇÃO: MONOFASICO
DOM. BANC.:
CNPJ/CPF/RANI: 467.719.804-72
Insc. Est.: 000000000000
Nota Fiscal/Conta de Energia Elétrica
Nº.: 005.504.394

Atendimento ao Cliente ENERGISA
Ao ligar, tenha sempre em mãos a conta.
0800 083 0196 ligação gratuita
Acesse: www.energisa.com.br

Identificador para Débito Automático: 0000032433-5

CONTA REFERENTE A	APRESENTAÇÃO	DATA PREVISTA DA PRÓXIMA LEITURA	UC - UNIDADE CONSUMIDORA
Abril/2018	25/04/2018	07/05/2018	5/32433-5

DEMONSTRATIVO

CCI	Descrição	Quantidade	Tarifa s/ Tributos	Tarifa c/ Tributos	Valor Total (R$)	Base Calc. ICMS(R$)	Aliq. ICMS	ICMS (R$)	Base Calc. PIS/COFINS (R$)	PIS (R$) (0,9161%)	COFINS(R$) (4,2196%)
0601	Consumo em kWh	228,000	0,494600	0,728790	166,16	166,16	27	44,86	166,16	1,52	7,01
0601	Energia Atv Injetada oUC 4/2018 mPT	172,000	0,494600	0,728790	-125,35	-125,35	27	-33,85	-125,35	-1,15	-5,29
	LANCAMENTOS E SERVICOS										

Figura 46 – Tarifa da conta de energia

Fonte: ENERGISA

A produção por ano do SFCR supondo uma taxa de depreciação i por ano pode ser expressa da seguinte forma:

Produção Ano 1 = P_1

Produção Ano 2 = Produção Ano 1 - Produção Ano 1×Taxa de depreciação(i) =

$$= P_1(1-i)$$

Produção Ano 3 = Produção Ano 2 - Produção Ano 2×Taxa de depreciação(i) =

$$= P_1(1-i) - P_1(1-i)i = P_1(1-i)^2$$

$$\vdots$$

Produção Ano $n = P_1(1-i)^{n-1}$ (1)

De maneira simplificada pode-se determinar os valores de retorno dos investimentos a partir da soma das produções anuais subtraído do valor investido. Ficando assim:

$$V(n) = \sum_{t=0}^{n} P_1 (1-i)^t - I \qquad (2)$$

Onde V é valor de retorno do investimento, P_1 é o total de produção de energia em reais do primeiro ano, i é a taxa de depreciação, I é investimento realizado e n é tempo em anos. Convém notar que a contagem do ano 1, para Eq.(2) começa em zero.

Analisando Eq. (2) tem-se que o tempo n para o qual torna V nulo é de suma importância para a análise de viabilidade econômica. Pois, a viabilidade pode ser definida a partir dele, como se segue:

- Se $n \leq 5$, tem-se uma viabilidade *ótima*;
- Se $5 < n \leq 10$, tem-se uma viabilidade *boa*;
- Se $10 < n < 25$, tem-se uma viabilidade *ruim*;
- Se $n \geq 25$, não há viabilidade.

Portanto, pela Tabela 7, fazendo a produção total de energia $P_1 = 5.069{,}57$, admitindo que a taxa de depreciação seja $i = 0.8\,\%$ (dado proposto pela Hiper Energy do Brasil) ao ano, o Investimento $I = 23.465{,}55$ e tomando $V(n) = 0$ na Eq.(2), chega-se em:

$$\sum_{t=0}^{n} 5.069{,}57(1-0{,}008)^t - 23.465{,}55 = 0 \qquad (3)$$

No Gráfico 2 são apresentados os valores de retorno do investimento em reais para os 30 anos de vida útil do SFCR utilizando o software Wolfram Mathematica online a partir dos dados apresentados para Eq.(3).

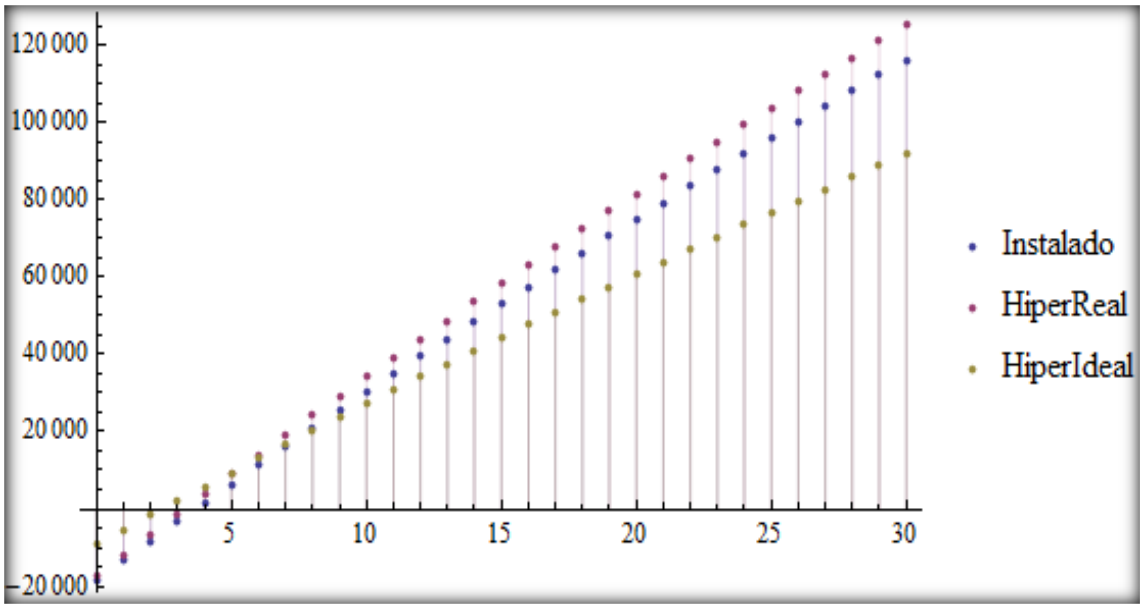


Gráfico 2 - Retorno do investimento em Reais por 30 anos para os três SFCR

Analisando o Gráfico 2 verifica-se que o tempo de mudança para que se comece a ter retorno dos investimentos são de aproximadamente 4 anos para os três casos em estudo e portanto uma viabilidade ótima.

Comparando ainda as produções dos três casos estudados (a partir do Gráfico 2) com a Eq.(2) chega-se que os resultados do Hiper 1 Real, SFCR Hiper 2 Ideal e o SFCR Instalado, têm-se viabilidade ótima.

Vemos também no gráfico 2 que a produção Hiper Real ultrapassa os outros dois projetos no ano 6, naturalmente o investimento mais produtivo.

Devido a proximidade técnica e de valores do projeto Instalado e Hiper Real podemos notar que qualquer adequação ou melhoria que se faça, provocará uma melhora também no retorno do investimento.

Conforme gráficos 3 e 4 do relatório Econômico da Hiper Energy temos uma viabilidade boa para os três projetos estudados.

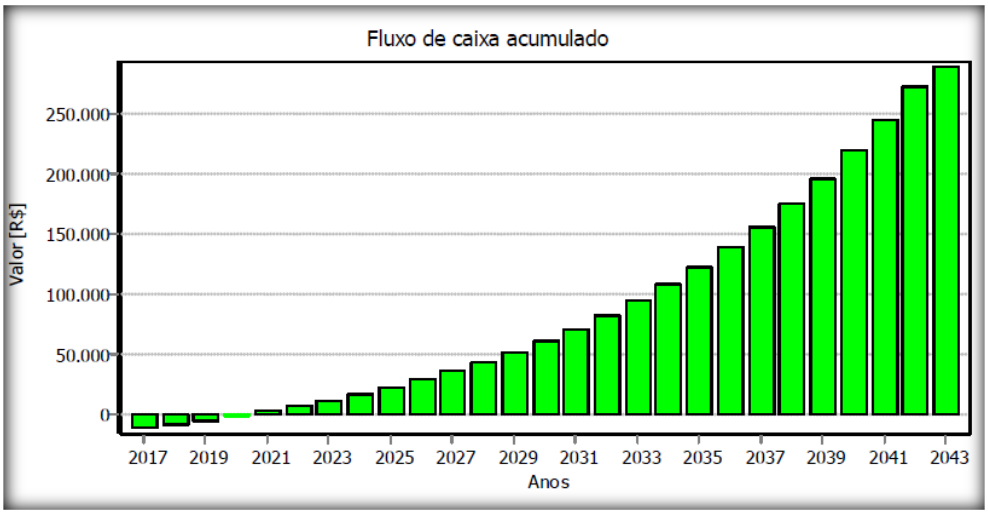


Gráfico 3 - Retorno do investimento do Projeto Ideal da Hiper Energy.

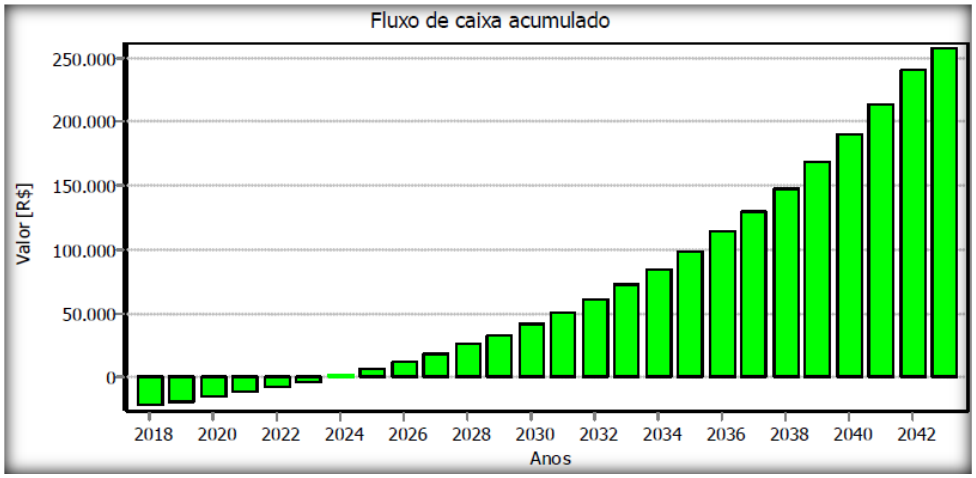


Gráfico 4 - Retorno do investimento do Projeto Real da Hiper Energy.

5.3 VERIFICAÇÃO DE MATERIAIS E MÉTODOS

Através do site Earth Google pode ser verificada a localização em latitude e longitude além da orientação instalada conforme figura 47, que confere com os relatórios da Hiper Energy.

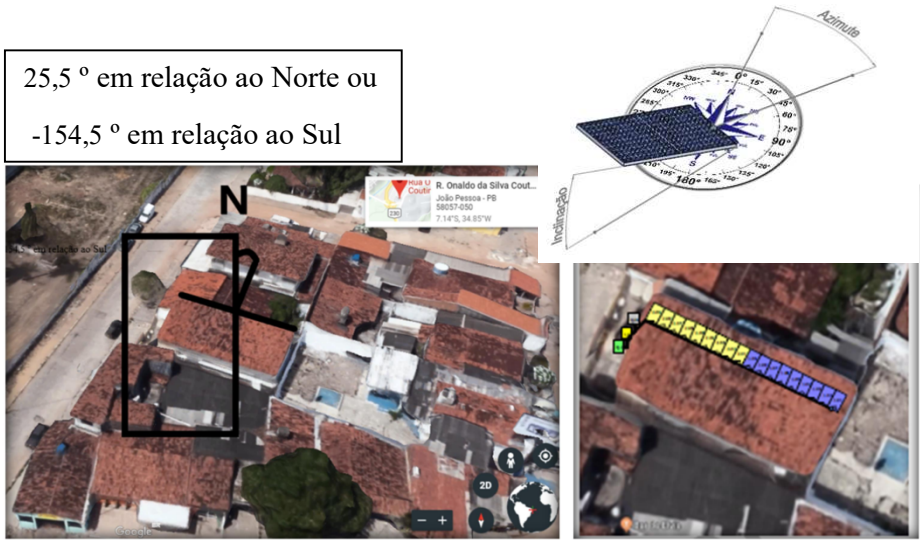
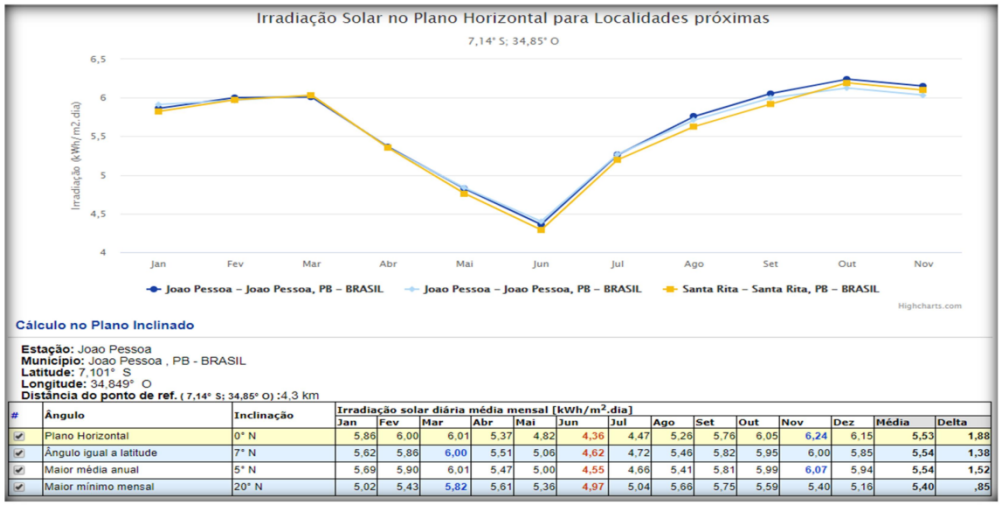


Figura 47 – Ângulo Azimute Instalado no Telhado do Imóvel do Estudo de Caso

Fonte: Site EARTH GOOGLE

Foi gerado conforme figura 48, através do programa gratuito no site do Cresesb, pela coordenada geométrica disponível no Earth Google (Latitude 7.101º S e Longitude 34,849º O), a inclinação recomendada para maior média anual é 5º Norte. Podemos notar que corresponde com as informações gráficas no relatório da Hiper Energy.

Para a radiação solar na figura 48 e 49 é visto compatibilidade nos valores e portanto os meses de maior radiação solar são Março e Novembro.



Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Joao Pessoa
Municipio: Joao Pessoa , PB - BRASIL
Latitude: 7,101° S
Longitude: 34,849° O
Distância do ponto de ref. (7,14° S; 34,85° O) :4,3 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
✓	Plano Horizontal	0° N	5,86	6,00	6,01	5,37	4,82	4,36	4,47	5,26	5,76	6,05	6,24	6,15	5,53	1,88
✓	Ângulo igual a latitude	7° N	5,62	5,86	6,00	5,51	5,06	4,62	4,72	5,46	5,82	5,95	6,00	5,85	5,54	1,38
✓	Maior média anual	5° N	5,69	5,90	6,01	5,47	5,00	4,55	4,66	5,41	5,81	5,99	6,07	5,94	5,54	1,52
✓	Maior mínimo mensal	20° N	5,02	5,43	5,82	5,61	5,36	4,97	5,04	5,66	5,75	5,59	5,40	5,16	5,40	,85

Figura 48 – Simulação da Radiação Solar e Inclinação

Fonte: Site CRESESB

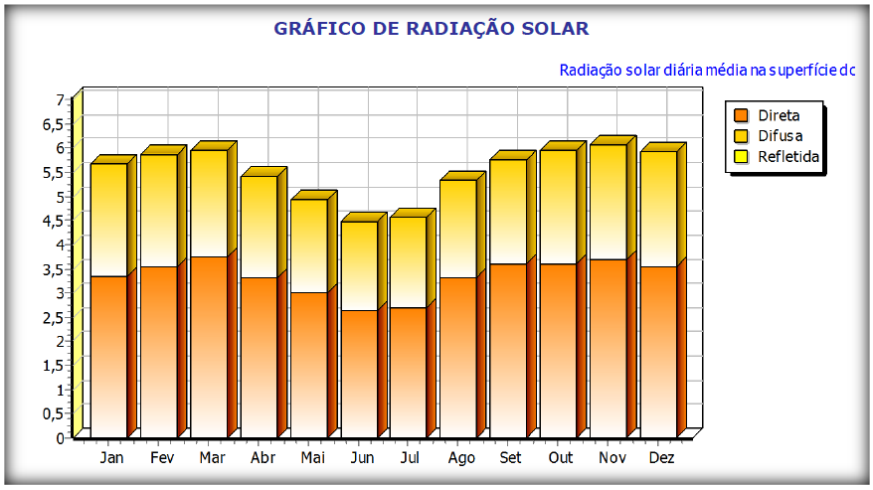


Figura 49 – Gráfico de Radiação Solar

Fonte: Hiper Energy do Brasil

Quanto ao posicionamento dos painéis solares, o prudente seria com o uso de seguidor solar, no entanto como a instalação é fixa o ótimo seria orientação 180° e inclinação 5°, conforme figura 50.

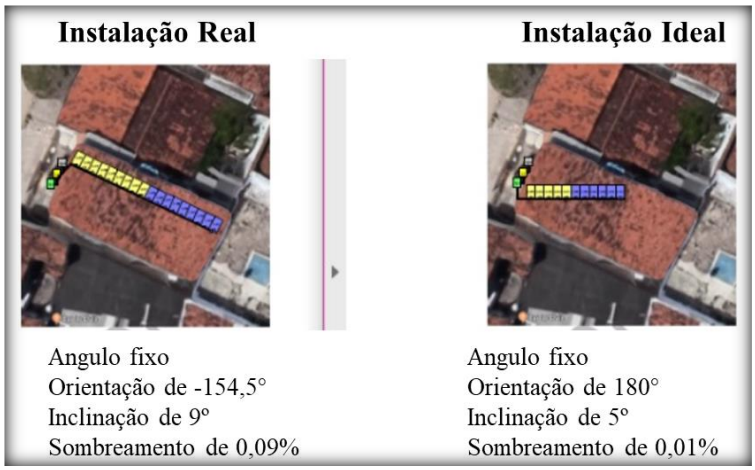


Figura 50 – Instalação Real e Ideal

Fonte: Hiper Energy do Brasil

A configuração de ligação dos painéis pode ter diversas variações e combinações, no caso de sistemas on-grid, não existe limitações por acumulação em baterias como

facilitador e somente o inversor restringe os parâmetros da avaliação, dados técnicos, figura 51.

Para os painéis solares neste estudo de caso temos a ligação em serie (arranjo) ou seja a corrente se mantem e a tensão é somada de cada painel por string ou MPPT, nas características técnicas do equipamento temos I=8,6A e Vtotal= 9 placas x 38 volts = 342 VDC por string que está subdimensionado para o inversor. O inversor conta com duas entradas (string) para o arranjo e pode chegar a 590VDC. Portanto seria possível a inclusão de mais placas no sistema.

A Potência de saída limite do inversor é 3000W cada string, conforme dados técnicos, o que não impede que na entrada seja mais alta desde que não ultrapassada a Tensão. Na instalação temos (11 placas x 260W= 2.860W + 7 placas x 255 W= 1.785 W totalizando 4.645 W , portanto inferior).

Modelo	Inversor Solar On Grid Blank 3000 26 Z	Inversor Solar On grid Blank 5000 26 Z
Entrada Painel Fotovoltaico (DC)		
Potência Nominal	3400 W	5200 W
Tensão Máxima	590 VDC	
Tensão Nominal	360 VDC	
Tensão Mínima	150 VDC	
Tensão de Operação MPPT em Potência Nominal	120 a 550 VDC	
Tensão de Operação MPPT em Potência Máxima	150 a 550 VDC	200 a 500 VDC
Corrente Máxima	12 A	18 A
Corrente Máxima de Curto Circuito para cada MPPT	16 A	20 A
Quantidade de MPPT	2 (individuais)	
Potência Máxima para cada MPPT	2000 W	3000 W
Eficiência MPPT	99,9 %	
Padrão de Conector para conexão MPPT	MC4 (acompanha conector)	
Conexão Rede Elétrica		
Potência Nominal	3300 VA	5000 VA

Figura 51 – Dados Técnicos do Inversor

Fonte: Serrana Sistemas de Energia

O inversor com 5kWp de capacidade poderia ter um “superdimensionamento” das placas, por exemplo, que um inversor com potência nominal de 5kWp estaria com 6kWp de painéis conectado à ele. Ou seja, a potência somada dos painéis solares deveria ser

maior que a potência nominal do inversor solar e assim aumentar a eficiência do arranjo. Como as placas solares raramente produzem tanta energia quanto sua capacidade nominal, é possível adicionar painéis extras no seu sistema. Inclusive a capacidade extra do painel pode ajudar o inversor a atingir uma eficiência média mais elevada.

Ao subdimensionar o inversor, é fundamental verificar o comportamento do mesmo no caso de sobrecargas, e em nenhum momento poderá ser ultrapassada a tensão máxima de entrada do inversor.

Com os painéis solares ligados em série, a corrente se mantem e a tensão é somada de cada painel por string ou (MPPT), nas características técnicas do inversor, figura 50, temos I=8,6A e V = 11 painéis x 38 volts = 418 VDC e 7 painéis x 38= 266VDC, portanto a carga está com folga para o inversor que dispõe de 500VDC por string. E máximo admissível de 590 VDC.

As placas possuem marcas e potencias diferentes causando um descasamento do sistema e perdas de eficiência no arranjo, pelo fato das características de fabricação como resistência, dopagem e a curva característica serem diferentes.

Podemos ver também através do gráfico de monitoramento do SFCR, figura 30 que a produção gerada está bastante inferior a capacidade nominal diária e mensal do sistema.

QUADRO DE GERENCIAMENTO DA INSTALAÇÃO				
DESCRIÇÃO	INSTALADO	IMPACTO	ADEQUAR	MOTIVAÇÃO
seguidor solar	não possui	falta dele gera redução de produção	boa alternativa	o uso deste aumenta a produção e a eficiencia do SFCR.
orientação das placas	-154,5°	redução de produção	180°	aumenta o sombreamento
inclinação das placas	9° p/ norte	redução de produção	5° p/ norte	aumenta o sombreamento
altura do solo	10 metros	interfere no sombreamento	não se aplica	adequada
area disponivel	90m2	suficiente	ok	adequada
sombreamento das placas	0,09%	redução de produção	0,01%	causado pelo erro de inclinação e orientação
superdimensionamento do arranjo	2.860W/418VDC 1.785W/ 266VDC	redução da eficiencia	3.300 W/500VDC 3.300 W/500VDC	devido ao inversor possuir ineficiencia abaixo de 25% da carga
ligação das placas no arranjo	série	adequada	não se aplica	adequada
tecnologia e especificação das placas	policristalina com marcas e capacidades variadas no arranjo	não adequado, redução da eficiencia	corrigir se possivel	As pequenas diferenças de tensão podem comprometer o desempenho e a longo prazo, a vida útil dos painéis
capacidade do inversor com o arranjo	5kWp	suficiente porém não compativel com o arranjo	ok	atende o sistema
viabilidade economica	boa	adequada	não se aplica	atende o sistema
ESTA PLANILHA DEMONSTRA AS INCONSISTENCIAS E OS IMPACTOS DO GERENCIAMENTO NO SFCR.				

Figura 52 – Quadro de Gerenciamento do SFCR

6. CONCLUSÕES

Assim como proposto nos objetivos deste estudo, viu-se que a falta do gerenciamento reduz a viabilidade e eficiência do SFCR, no entanto podemos observar que o investimento é economicamente viável, como visto nos resultados apresentados.

A produtividade pode ser melhorada consideravelmente caso sejam feitas adequações de angulação, orientação, sombreamento e arranjo dos módulos fotovoltaicos.

Com tendência a reduzir, mas ainda com valores pouco atrativos, o maior custo na implantação de um SFCR é devido aos módulos fotovoltaicos e inversores.

O acesso à orientação e facilitadores como o software Solergo da Hiper Energy seria de grande valia aos proprietários residenciais.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

i. Analisar os resultados após fazer as mudanças propostas no quadro de gerenciamento;

ii. Desenvolver um estudo do impacto de eficiência no quadro de compatibilidade do gerenciamento ;

iii. Fazer um estudo deste Sistema Fotovoltaico com o uso de microinversores com acompanhamento do monitoramento remoto.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. **Informações Gerenciais**, Ed. mar. 2014. Banco de Informações de Geração de Energia Solar.

ARDUINO Mega 2560. **Arduino**, 2015.

BANDEIRA, F. D. P. M. **O aproveitamento da energia solar no Brasil - Situação e perspectivas**. Câmara dos Deputados. Brasília, p. 1-15. 2012.

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial:** conceitos, modelos e instrumentos. 2. Ed. São Paulo: Saraiva, 2007.

BLACKBURN, W. R**., O manual de sustentabilidade: o guia completo de gestão para responsabilidade social, econômica e ambiental.** Washington: ELI Press, 2007.

BLUE SOL EDUCACIONAL. **Energia Solar: Como funciona o efeito fotovoltaico**. Ribeirão Preto, 2011.

BUENO PEREIRA, E., **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: INPE, 2006.

BÜHLER, A. J.; KRENZINGER, A., **Método para extração de parâmetros fotovoltaicos de acordo com um modelo de diodo duplo modificado. Progresso na energia fotovoltaica: pesquisa e aplicações,** v. 21, p. 884–893, Agosto 2013. ISSN DOI: 10.1002/pip.2170.

BUHLER, A.; GASPARIN, F.; KRENZINGER, A., **Dados de pós-processamento de curvas I-V medidas de dispositivos fotovoltaicos. Energia renovável**, V. 68 Ago, 2014. 602-610.

CECCHINI, T. **Otimização das regiões altamente dopadas de células solares fabricadas por processos térmicos rápidos de pequeno porte.** 2003. 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

COMETTA, E., **Energia solar: Utilização e Empregos Práticos**, Hemus Editora LTDA, 1ª Ed., 2008.

CORRÊA, J. M., **Desenvolvimento e Implementação de uma Micro-Rede Avançada de Alta Frequência para Integração de Fontes Alternativas de Energia**, Tese de Doutorado, UFSM, Santa Maria – RS, 2006.

CRESESB, **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**, Edição Revisada e Atualizada, Rio de Janeiro – RJ, 2014.

DEMONTI, R., **Processamento da Energia Elétrica Proveniente de Módulos Fotovoltaicos,** Tese de Doutorado, UFSC, Florianópolis – SC, 2003.

DIAS, J. B. **Instalação fotovoltaica conectada à rede:** Estudo experimental para a otimização do fator de dimensionamento. Porto Alegre: UFRGS, 2006.

DURYEA, S.; ISLAM, S.; LAWRANCE, W., **Um sistema de gerenciamento de bateria para sistemas de energia fotovoltaicos autônomos.** Revista de Aplicações Industriais, IEEE, 7 Agosto 2001. 67 - 72.

ELKINGTON, J. **Sustentabilidade: canibais com garfo e faca**. São Paulo: M. Books, 2012.

EDP. **Guia prático da eficiência energética:** o que saber e fazer para sustentar o futuro. Energias de Portugal S. A. 2006.

EPE., **Plano Nacional de Energia 2030**, Empresa de Pesquisa Energética. Brasília – DF, 2007.

EPE. **Resenha Energética Brasileira – Exercício de 2013**, Empresa de Pesquisa Energética. Brasília–DF, 2014.

EPIA. **Perspectiva do mercado global "para fotovoltaicos,** 2014 – 2018.

FADANNI, D.; FANK, O.L.; **Sustentabilidade e consciência pública: energia solar fotovoltaica, viabilidade de uso nos municípios de ADR de Palmitos**, FAI Faculdades, Santa Catarina, SC, 2017.

FILHO, A. V., **O Brasil no Contexto Energético Mundial**, Nova Série, Vol. 6, USP, São Paulo – SP, 2009.

GOMES, C. P., **Energia Solar: Utilização como Fonte de Energia Alternativa,** Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense, Vol. 2, nº 1, p. 159-163, 2012.

GREEN, M. A., **Tabelas de eficiência de células solares.** Progresso em Módulos fotovoltaicos: pesquisa e aplicações - Wiley Library, 20, Outubro, 2014. 12 - 20.

GUERRERO, M. A., **Sistema de armazenamento de energia supercapacitor para atenuação e condicionamento de energia de usinas de geração fotovoltaica.** 8ª Conferência Internacional sobre Compatibilidade e Eletrônica de Potência (CPE). Ljubljana: IEEE. 2013. p. 126 - 131.

IEC 61215. **Módulos fotovoltaicos terrestres de silício fotovoltaico (PV) - Qualificação de projeto e homologação de tipo.** [S.l.]. 2005.

JANNUZZI, G. M., **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica no Brasil: Panorama da Atual Legislação,** UNICAMP, Campinas – SP, 2009.

JÚNIOR, W. B.; MACÊDO, W. N.; PINHO, J. T. **Análise de parâmetros característicos de módulos fotovoltaicos comerciais.** 2013 ISES Solar World Congress. [S.l.]: ELSEVIER. 2013. p. 4 – 13.

KHAYYAT, N. T., **Necessidade de energia na indústria: quais fatores são importantes?** 1ª Ed. Amsterdã: Springer, 2015.

LEADBETTER, J.; SWAN, L. G., **Seleção de tecnologia de bateria para suportar eletricidade renovável integrada à rede.** Jornal de fontes de energia, n. 216, p. 376 - 386, Junho 2012. ISSN 0378-7753.

LÓPEZ SEGUEL, J. I. **Projeto de um sistema Fotovoltaico autônomo de suprimento de energia usando técnica MPPT e controle digital**. Belo Horizonte: UFMG, 2009.

LOPEZ, R. A. **Energia Solar para Produção de Eletricidade**. 1°. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2012.

LOPO, A. B., **Análise do Desempenho Térmico de um Sistema de Aquecimento Solar de Baixo Custo,** Tese de Mestrado, UFRN, Natal – RN, 2010.

LUQUE, A.; HEGEDUS, S., **Manual de Ciência e Engenharia Fotovoltaica**. 2. ed. Chichester: Wiley, v. I, 2011.

MARTINS, M. F; CANDIDO, G. A. Indicadores de Desenvolvimento Sustentável para Localidades: uma proposta metodológica de construção e análise. In: CANDIDO, G. A. **Desenvolvimento Sustentável e Sistemas de Indicadores de Sustentabilidade:** formas de aplicação em contextos geográficos diversos e contingências especificas. Campina Grande: PB, 2010.

MELO, L. C. P. D. **Energia solar fotovoltaica no Brasil: subsídios para tomada**. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Brasília. 2010.

MOLINA, M. G.; ESPEJO, E. J., **Modelagem e simulação de sistemas de conversão de energia fotovoltaica conectados à rede.** Revista Internacional de Energia de Hidrogênio, 6 Janeiro 2014.

MORAES, A. M. D., **Aplicações da tecnologia solar fotovoltaica no Estado do Piauí: barreiras e potencialidades.** Santo André: Universidade Federal do ABC, 2009.

NASCIMENTO, A.S., **Energia solar fotovoltaica: Estudo e viabilidade no nordeste brasileiro,** Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Federal da Paraíba, 2015.

PACHECO, F., **Energias Renováveis: Breves Conceitos, Conjuntura e Planejamento**, nº 149, Salvador – BA, 2006.

PADBURY, R.; ZHANG, X., **Baterias de lítio-oxigênio - Fatores limitantes que afetam o desempenho.** Jornal de fontes de energia, v. 196, p. 4436-4444, Maio 2011. ISSN 0378-7753.

PANDA, A.; PATHAK, M. K.; SRIVASTAVA, S. P., ***Grid tie* inversor de controle para o sistema fotovoltaico no telhado.** Conferência Power India. Murthal: IEEE. 2012. p. 1 - 6.

PARIDAA, B.; INIYANB, S.; GOICC, R. **Uma revisão das tecnologias fotovoltaicas solares.** Energia Renovável e Sustentável - ELSEVIER, 12 Janeiro 2011. 1625–1636.

PEREIRA, A., **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** 1ª ed. São José dos Campos – SP, 2006.

PINHO, J. T.; GOLDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 2. ed. Rio de Janeiro: CEPEL CRESESB, v. I, 2014.

PORTAL SOLAR. **Energia Fotovoltaica**. 2016.

REIS, L. B. dos; CUNHA, E. C. N. C. **Energia elétrica e sustentabilidade:** aspectos tecnológicos, socioambientais e legais. Barueri: Manole, 2006.

RUTHER, R.; SALAMONI, I. T.; MONTENEGRO, A. A.; BRAUN, P. e DEVIENNE, R.SACHS, I., **Programa de Telhados Solares Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica Pública no Brasil.** XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAC 2008, Fortaleza - CE, 2008.

SACHS, I**, A Revolução Energética do Século XXI,** Estudos Avançados, Vol. 21, nº 59, p. 21-38, São Paulo – SP, 2007.

SALAMONI, I.; MONTENEGRO, A.; RÜTHER, R. **A energia solar e as perspectivas futuras de utilização: benefícios, legislação e desafios.** In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no ambiente construído. Anais**,** Natal, RN, 2009.

SANTOS, L. T.; SECHILARIU, M.; LOCMENT, F. **Cronograma do microgride ideal para o dia seguinte: comparação entre três métodos aplicados à microrrede DC isolada.** Sociedade de Eletrônica Industrial, IECON 2014 - 40ª Conferência Anual do IEEE. Dallas, TX: IEEE. 2014. p. 2010 - 2016.

SANTOS, D.R.C.G.; NASCIMENTO, G.F.; XAVIER, V.L.C; COSTA, J.F**., Um estudo de caso da utilização da energia solar no sistema de iluminação de Instituição de Ensino Profissionalizante,** Revista Gestão, Inovação e Tecnologias, Belo Horizonte – MG, 2017.

SCHAINKER, R. B., **Visão geral executiva: opções de armazenamento de energia para um futuro energético sustentável**. Reunião Geral da Power Engineering Society.Denver: IEEE. 2004. p. 2309 - 2314 Vol.2.

SILVA, N. F., **Fontes de Energia Renováveis Complementares na Expansão do Setor Elétrico Brasileiro: O Caso da Energia Eólica**, Tese de Doutorado, UFRJ, Rio de Janeiro – RJ, 2006.

SILVA, R.G.; CARMO, M.J., **Energia solar fotovoltaica: uma proposta para melhoria da gestão energética,** International Scientific Journal – ISSN: 1679-9844 Nº 2, volume 12, article nº 8, April/June 2017.

SMA. **Monitoramento do sistema SUNNY SENSORBOX: Guia de instalação**. SMA Solar Technology AG. [S.l.]. 2010.

SOUZA, C.H.G.; MOURA, L.G.A.O.; QUEIROZ, L., **Energia solar fotovoltaica: um estudo da sua viabilidade no Brasil,** Simpósio de TCC e Seminário de IC, São Paulo – SP, 2016.

TAVARES, P.J.; GALDINO, M., **Manual de engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL – CRESESB, 2014.

TIGGEMANN, H., **Sistema de monitoramento remoto e controle de microrrede híbrida isolada,** Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, 2015.

TOLMASQUIM, M., **Matriz Energética Brasileira: Uma Prospectiva, Novos Estudos** - CEBRAP, nº 79, São Paulo – SP, 2007.

TOLMASQUIM, M., **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. (Coord.). EPE: Rio de Janeiro, 2016.

VICHI M. F., **Energia, Meio Ambiente e Economia: O Brasil no Contexto Mundial**, Quim Nova, Vol. 32, nº 3, p. 757-767, São Paulo – SP, 2009.

IST; DGS; UE. **Energia fotovoltaica, manual sobre tecnologias, projecto e instalação**. 2004, Janeiro. http://www.greenpro.de/po/fotovoltaico.pdf>

PROJETO FOTOVOLTAICO

SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 4,68 kWp

INTITULADO

SITUADO NA CIDADE DE

João Pessoa

Rodovia Governador Antonio Mariz

58050

CLIENTE:

Anexos:

- *diagrama unifilar da instalação;*
- *esquema planimétrico.*

DATA

03/08/2018

TÉCNICO RESPONSÁVEL

Hiper Energy do Brasil

DADOS GERAIS DO SISTEMA

Este projeto diz respeito à construção de uma sistema de produção de eletricidade através da conversão fotovoltaica, com uma potência de pico igual a 4,68 kWp.

CLIENTE	
Cliente:	
Endereço:	
CPF / CNPJ:	
Telefone:	
Fax:	
E-mail:	

LOCAL DE INSTALAÇÃO

O sistema tem as seguintes características: .

DADOS DA LOCALIZAÇÃO	
Localidade:	João Pessoa 58050 Rodovia Governador Antonio Mariz
Latitude:	-007°-07'-10"
Longitude:	-034°-50'-42"
Altitude:	48 m
Fonte dados climáticos:	ATLAS BRAS. 2017
Albedo:	0 %

DIMENSIONAMENTO

A quantidade de energia produzida é calculada com base nos dados radiométricos, conforme a fonte ATLAS BRAS. 2017, e o Atlás Solarimétrico do Brasil e utilizando os métodos de cálculo descritos nas normas.

As instalações atenderão às seguintes condições (a serem executadas para cada "gerador solar", entendida como um conjunto de módulos fotovoltaicos com o mesmo ângulo e a mesma orientação):
na fase inicial do sistema fotovoltaico, a relação entre a energia ou a potência produzida em corrente alternada e a energia ou a potência produzida em corrente alternada (determinada em função da radiação solar incidente sobre o plano de um dos módulos, da potência nominal do sistema e a temperatura de funcionamento dos módulos) é, pelo menos, maior do que 0,78, no caso de utilização de conversores de potência até 20 kW, e 0,8 no caso de utilização de inversores de maior potência, em relação às condições de medição e métodos de cálculo descritos no Guia EN 60904-2.

Não são admitidos conjuntos de módulos em paralelos não perfeitamente idênticos uns aos outros para exposição e / ou da marca, e / ou o modelo e / ou o número de módulos utilizados; cada módulo será equipado com díodos de by-pass.

DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O sistema fotovoltaico é composto de n° 1 geradores fotovoltaicos compostos de n° 18 módulos fotovoltaicos e n° 1 inversores.
A potência nominal total é de 4,68 kWp para uma produção de 7.346 kWh por ano, distribuídos em uma área de 28,98 m².
Modalidade de conexão à rede de alimentação Baixa Tensão em Monofásica com tensão fornecimento 220 V.

EMISSÕES

O sistema reduz a emissão de poluentes na atmosfera de acordo com seguinte tabela abaixo (valores anuais):

Produção Termo Elétrica Equivalente	
Dióxido de enxofre (SO_2):	5,15 kg
Óxidos de Nitrogênio (NO_x):	6,48 kg
Poeiras:	0,23 kg
Dióxido de carbono (CO_2):	3,83 t

Equivalente de energia geotérmica	
Sulfeto de Hidrogênio (H_2S) (fluido geotérmico):	0,23 kg
Dióxido de carbono (CO_2):	0,04 t
Tonelada equivalente de Petróleo (TEP):	1,84 TO

Hiperenergia do Brasil

RADIAÇÃO SOLAR

A avaliação do recurso solar disponível foi realizada de acordo com a fonte ATLAS BRAS. 2017 e o Atlas Solarimétrico do Brasil, tendo como referência o local com os dados históricos e de radiação solar nas imediações de João Pessoa.

TABELA DE RADIAÇÃO SOLAR NA HORIZONTAL

Mês	Total diário [MJ/m²]	Total mensal [MJ/m²]
Janeiro	21,11	654,41
Fevereiro	21,61	605,08
Março	21,63	670,53
Abril	19,31	579,3
Maio	17,37	538,47
Junho	15,69	470,7
Julho	16,11	499,41
Agosto	18,94	587,14
Setembro	20,73	621,9
Outubro	21,79	675,49
Novembro	22,47	674,1
Dezembro	22,14	686,34

TABELA DE PRODUÇÃO DE ENERGIA

Mês	Total diário [kWh]	Total mensal [kWh]
Janeiro	20,512	635,885
Fevereiro	21,346	597,692
Março	21,833	676,813
Abril	19,967	599,023
Maio	18,334	568,358
Junho	16,693	500,779
Julho	17,054	528,659
Agosto	19,767	612,775
Setembro	21,128	633,848
Outubro	21,674	671,89
Novembro	21,904	657,109
Dezembro	21,392	663,166

EXPOSIÇÕES

O sistema fotovoltaico é composto por 1 gerador distribuído em 1 exposições, conforme tabela abaixo:

Descrição	Tipo de instalação	Orient	Inclin	Sombr
Exposição 1	Ângulo fixo	-154,5°	9°	0,09 %

Exposição 1

Exposição 1 será exposto com uma orientação de -154,50° (azimute) em relação ao sul, e terá uma inclinação horizontal de 9,00°.

A produção de energia da exposição Exposição 1 é condicionada por alguns fatores que determinam uma redução de radiação solar de sombreamento para a valor de 0,09 %.

GRÁFICO DE SOMBREAMENTO

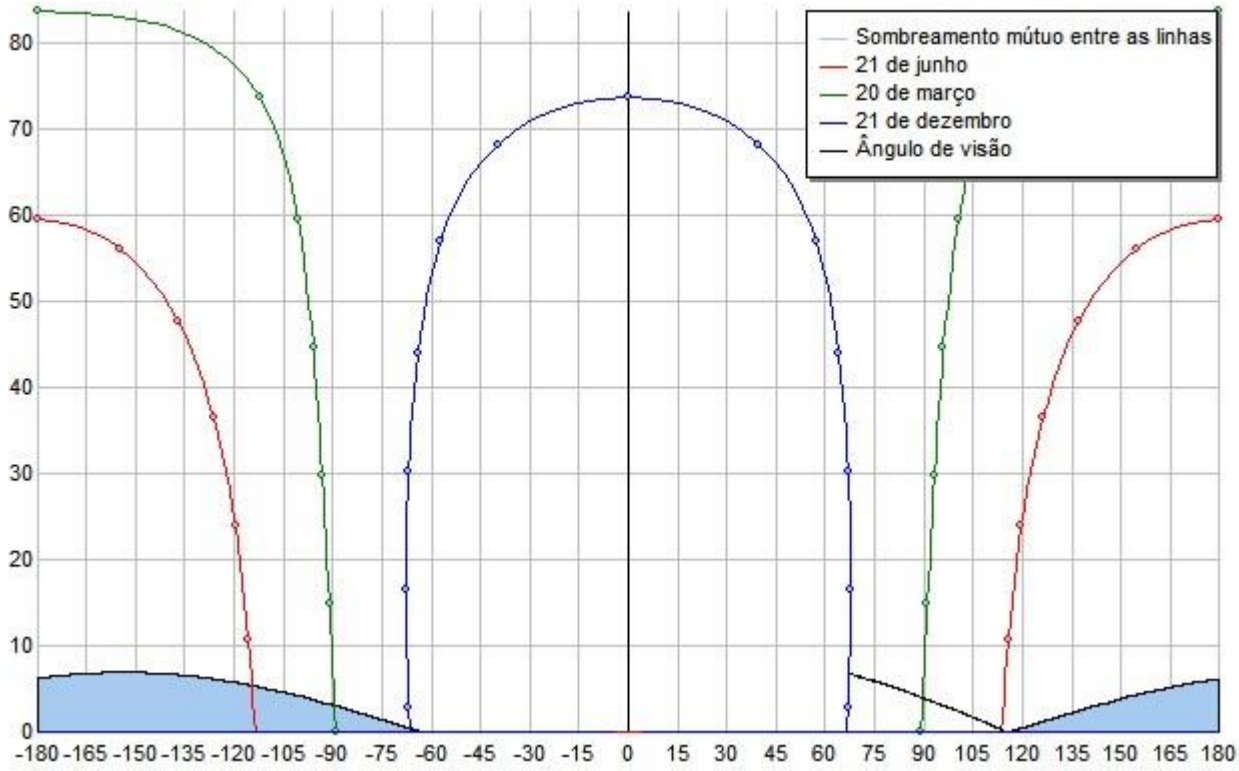


GRÁFICO DE RADIAÇÃO SOLAR

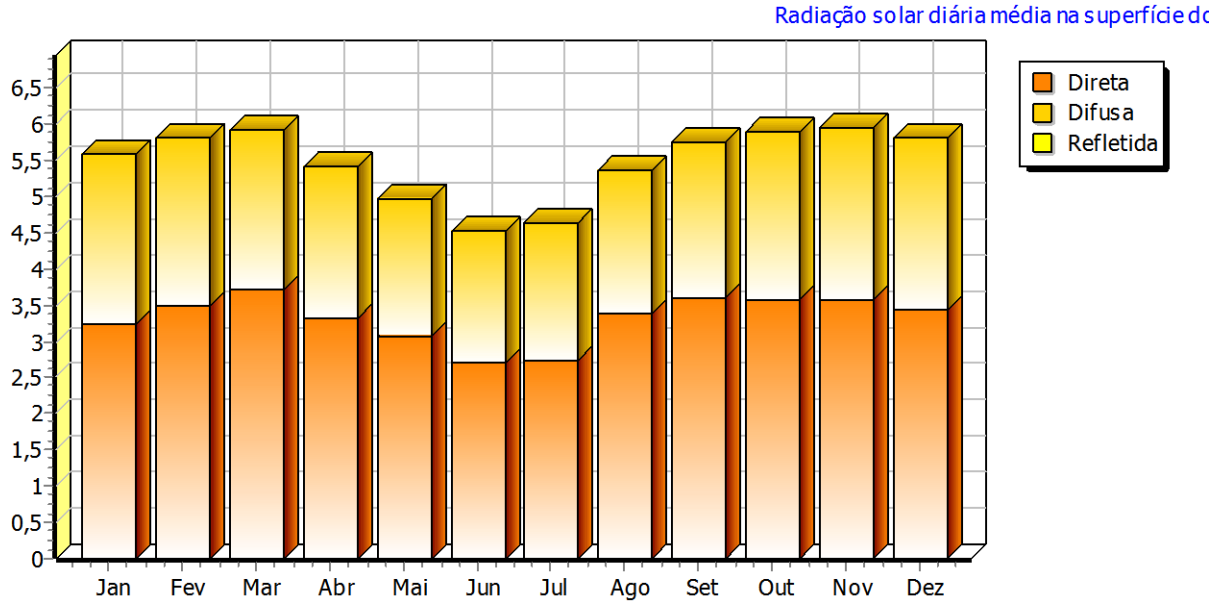


TABELA DE RADIAÇÃO SOLAR

Mês	Radiação direta [kWh/m²]	Radiação difusa [kWh/m²]	Radiação refletida [kWh/m²]	Total das diárias [kWh/m²]	Total mensal [kWh/m²]
Janeiro	3,24	2,333	0	5,573	172,764
Fevereiro	3,486	2,313	0	5,8	162,387
Março	3,712	2,22	0	5,932	183,883
Abril	3,335	2,09	0	5,425	162,749
Maio	3,079	1,902	0	4,981	154,417
Junho	2,71	1,825	0	4,535	136,057
Julho	2,745	1,888	0	4,633	143,631
Agosto	3,372	1,999	0	5,37	166,485
Setembro	3,595	2,145	0	5,74	172,21
Outubro	3,561	2,327	0	5,889	182,546
Novembro	3,582	2,369	0	5,951	178,53
Dezembro	3,43	2,382	0	5,812	180,176

ESTRUTURAS DE APOIO

Os módulos serão montados em suportes de aço galvanizado, com um ângulo de 9°, terão todos a mesma exposição. Os sistemas de fixação da estrutura deverão resistir a rajadas de vento, com velocidade de até 120 km / h.

Gerador

O gerador é composto de 18 módulos fotovoltaicos de Silício policristalino com uma vida útil estimada de mais de 25 anos e degradação da produção devido ao envelhecimento de 0,8 % ao ano.

CARACTERÍSTICAS DO GERADOR FOTOVOLTAICO	
Número de módulos:	18
Número de inversores:	1
Potência nominal:	4680 W
Performance ratio:	78,6 %

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS MÓDULOS	
Fabricante:	CSI CANADIAN SOLAR INC
Modelo:	STANDARD CS6P-260
Tecnologia de const.:	Silício policristalino
Características elétricas	
Potência máxima:	260 W
Rendimento:	16,2 %
Tensão nominal:	30,4 V
Tensão em aberto:	37,5 V
Corrente nominal:	8,6 A
Corr. de curto-circuito:	9,1 A
Dimensões	
Dimensões:	982 mm x 1638 mm
Peso:	18 kg

Os valores de tensão variam conforme a temperatura de funcionamento (mínima, máxima e de regime) e estão dentro dos valores aceitáveis de funcionamento do inversor.

A linha elétrica proveniente dos módulos fotovoltaicos é posta a terra mediante descarregadores de sobretensão com indicação ótica de fora de serviço.

INVERSOR SOLAR

O sistema de conversão é composto por um conjunto de conversores estáticos (inversores).
O conversor CC/CA utiliza um sistema idôneo de transferência de potência a rede de distribuição, em conformidade aos requisitos técnicos e normas de segurança. Os valores de tensão e corrente do dispositivo de entrada são compatíveis com o sistema fotovoltaico, enquanto os valores de saída são compatíveis com os valores da rede ao qual está conectado ao sistema.
As principais características do grupo conversor são:

- Inversor de comutação forçada com PWM (Pulse-width modulation), sem clock e/ou tensão de referência ou de corrente, semelhante a um sistema não idôneo a suportar a tensão e frequência de intervalo normal. Este sistema está em conformidade com as normas da ABNT e com o sistema de rastreamento de potência máxima MPPT

- Entrada do gerador CC gerenciado com pólos não ligados ao terra.

- Conforme as normas gerais de limitação de Emissões EMF e RF: Conformidade IEC 110-1, IEC 110-6, IEC 110-8.

- Proteção de desligamento da rede quando o sistema estiver fora da faixa de tensão e frequência da rede e com falha de sobrecorrente, conforme os requisitos da IEC 11-20 e normas da distribuidora de energia elétrica local. Reset automático das proteções de início automático.

- Em conformidade com a ABNT.

- Grau de proteção adequado a localização nas proximidades do campo fotovoltaico (IP65).

- Declaração de conformidade do fabricante de acordo com normas técnica aplicáveis, com referência aos ensaios realizados por institutos certificadores.

- Tensão de entrada adequada para o intervalo de tensão de saída do gerador fotovoltaico.

- Máxima eficiência >= 90% a 70% da potência nominal.

A unidade de conversão consiste no uso de 1 inversores.

DADOS TÉCNICOS DO INVERSOR	
Fabricante:	SERRANA SISTEMAS DE ENERGIA
Modelo:	Blank Blank 5000 26 Z (60Hz)
Número de rastreadores:	2
Entrada para rastreador:	1
Características elétricas	
Potência nominal:	4,6 kW
Potência máxima:	4,7 kW
Potência máxima por rastreador:	3 kW
Tensão nominal:	360 V
Tensão máxima:	590 V
Tensão mínima por rastreador:	120 V
Tensão máxima por rastreador:	500 V
Tensão máxima de saída:	231 Vac
Corrente nominal:	36 A
Corrente máxima:	36 A
Corrente máxima por rastreador:	18 A
Rendimento:	0,98

Hitachi Energy do Brasil

Inversor 1	MPPT 1	MPPT 2
Módulos em série:	9	9
Conjunto de módulos em paralelos:	1	1
Exposições:	Exposição 1	Exposição 1
Tensão MPPT (STC):	273,6 V	273,6 V
Número de módulos:	9	9

Hiper Energy do Brasil

DIMENSIONAMENTO

Potência nominal do gerador:

P = P módulos * N° módulos = 260 W * 18 = 4680 W

O cálculo da energia total produzida pelo sistema nas condições normais de STC (radiação de 1000 W/m², temperatura de 25°C), é calculado como:

Exposição	N° módulos	Radiação solar [kWh/m²]	Energia [kWh]
Exposição 1	18	1.997,68	9.349,12

E = En * (1-Perd) = 7346 kWh

Perd = Perda de potência obtida:

Perda por sombreamento totais:	0,1 %
Perda por aumento de temperatura:	9,9 %
Perdas por descasamento:	5,0 %
Perdas de corrente continua:	1,5 %
Outras perdas:	5,0 %
Perdas na conversão:	1,8 %
Perdas totais:	21,4 %

PERDAS POR SOMBREAMENTO DE OBSTÁCULOS

Mês	Sem obstáculos [kWh]	Produção efetiva [kWh]	Perdas [kWh]
Janeiro	635,9	635,9	0,0 %
Fevereiro	597,7	597,7	0,0 %
Março	676,8	676,8	0,0 %
Abril	599,0	599,0	0,0 %
Maio	568,4	568,4	0,0 %
Junho	500,8	500,8	0,0 %
Julho	528,7	528,7	0,0 %
Agosto	612,8	612,8	0,0 %
Setembro	633,8	633,8	0,0 %
Outubro	671,9	671,9	0,0 %
Novembro	657,1	657,1	0,0 %
Dezembro	663,2	663,2	0,0 %
Ano	7346,0	7346,0	0,0 %

CABEAMENTO ELÉTRICO

O cabeamento elétrico será feito por meio de cabos condutores isolados, conforme a descrição abaixo:

- Seção do condutor de cobre calculado de acordo com a norma IEC / NBR
- Cabo tipo FG21, se a passagem de cabos for externa ou FG27 se a instalação for subterrânea.
- Tipo N07V-k se a instalação for para dutos em edifícios.

Os cabos também estarão de acordo com as normas IEC, com código e cores conforme a norma UNEL / NBR.
Para não comprometer a segurança dos trabalhadores durante a instalação, verificação ou manutenção, os condutores seguirão a tabela de cores conforme abaixo:

- Cabos de proteção: Amarelo-Verde (Obrigatório)
- Cabos de neutro: Azul claro (Obrigatório)
- Cabos de fase: Cinza/Marrom/Preto
- Cabos de circuito c.c.: Com indicação especifica de (+) para positivo e (-) para negativo.

Como pudemos notar a especificação exposta acima, a seção do condutor do sistema fotovoltaico é superdimensionado, com referimento a corrente e as distâncias limitadas.
Com estas seções, a queda de potencial está contida dentro 2% do valor medido a partir de qualquer módulo para o grupo de conversão.

A fiação: **Conjunto - Q. Campo**

Descrição	Valor
Identificação:	
Comprimento total:	34,3 m
Comprimento de dimensionam.:	17,25 m
Circuitos nas proximidades:	1
Temperatura ambiente:	30°
Tabela:	ABNT NBR 5410 (PVC/EPR)
Instalação:	3(B1) - Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção circular sobre parede
Instalações:	Em feixe: ao ar livre ou sobre superfície; embutidos; em conduto fechado
Tipo de cabo:	Unipolar
Material:	Cobre
Designação:	N1VV-K
Tipo de isolação:	PVC
Formação	2x(1x4)
N° condutores positivos/fase:	1
Seção positivo / fase:	4 mm²
N° condutores negativo/neutro:	1
Seção negativo/neutro:	4 mm²
N° condutores PE:	

Hi-Tech Troy do Brasil

Seção PE:	
Tensão nominal:	273,6 V
Corrente de funcionamento:	8,6 A
Corrente de curto-circ.to módulos	9,1 A

A fiação: **Q. Campo - Q. Inversor**

Descrição	Valor
Identificação:	
Comprimento total:	3,61 m
Comprimento de dimensionam.:	1,81 m
Circuitos nas proximidades:	1
Temperatura ambiente:	30°
Tabela:	ABNT NBR 5410 (PVC/EPR)
Instalação:	4(B2) - Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção circular sobre parede
Instalações:	Em feixe: ao ar livre ou sobre superfície; embutidos; em conduto fechado
Tipo de cabo:	Multipolar
Material:	Cobre
Designação:	N1VV-K
Tipo de isolação:	PVC
Formação	3G4
N° condutores positivos/fase:	1
Seção positivo / fase:	4 mm²
N° condutores negativo/neutro:	1
Seção negativo/neutro:	4 mm²
N° condutores PE:	1
Seção PE:	4 mm²
Tensão nominal:	273,6 V
Corrente de funcionamento:	8,6 A
Corrente de curto-circ.to módulos	9,1 A

A fiação: **Q. Inversor - Q. Medição**

Descrição	Valor
Identificação:	
Comprimento total:	1,79 m
Comprimento de dimensionam.:	1,79 m
Circuitos nas proximidades:	1
Temperatura ambiente:	30°
Tabela:	ABNT NBR 5410 (PVC/EPR)
Instalação:	3(B1) - Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção circular sobre parede
Instalações:	Em feixe: ao ar livre ou sobre superfície;

	embutidos; em conduto fechado
Tipo de cabo:	Unipolar
Material:	Cobre
Designação:	FM9 450/750 V
Tipo de isolação:	PVC
Formação	2x(1x6)+1G6
N° condutores positivos/fase:	1
Seção positivo / fase:	6 mm²
N° condutores negativo/neutro:	1
Seção negativo/neutro:	6 mm²
N° condutores PE:	1
Seção PE:	6 mm²
Tensão nominal:	231 V
Corrente de funcionamento:	19,9 A

Tabela cabos							
Identific.	Descrição	Form.	Des.	Código	Origem	Destin	Copr.
W00	Cabo conjunto 1 -Q.1	2x(1x4)	N1VV-K		Conjunto 1	Q.1	20,43 m
W01	Cabo conjunto 2 -Q.1	2x(1x4)	N1VV-K		Conjunto 2	Q.1	11,52 m
W02	Cabo Q.1 - inversor	3G4	N1VV-K		Q.1	inversor	1,81 m
W03	Cabo Q.1 - inversor	3G4	N1VV-K		Q.1	inversor	1,81 m
W04	Inversor cabo - q.m.	2x(1x6)+1 G6	FM9 450/750 V		Inversor	q.m.	1,79 m

Tabela resumo cabos					
Código	Construtor	Form.	Des.	Descrição	Copr.
Conjunto - Q. Campo		2x(1x4)	N1VV-K		68,6 m
Q. Campo - Q. Inversor		3G4	N1VV-K		3,61 m
Q. Inversor - Q. Medição		2x(1x6)+1 G6	FM9 450/750 V		5,37 m

QUADRO ELÉTRICO

- **Quadro de campo lado corrente contínua**
  Será prevista a instalação de um quadro de CC em cada conversor para conexões em paralelo dos módulos, medições e controle dos dados de entrada e saída em cada gerador fotovoltaico.

- **Quadro de paralelo lado corrente alternada**
  Será prevista a instalação de um quadro de paralelo em alternada localizado depois dos conversores estáticos, para realização da medição e controle dos dados de saída do inversor. Dentro será adicionado o sistema de interface com a rede e o medidor da sociedade distribuidora Energisa.

ISOLAÇÃO GALVÂNICA E ATERRAMENTO

É previsto o isolamento galvânico entre a corrente continua do sistema fotovoltaico e a rede. Soluções técnicas diversas podem ser utilizadas e são aceitáveis desde que respeitem as normas vigentes e de boas práticas.
O sistema fotovoltaico será supervisionado por um sistema IT, sem o polo aterrado.
Os conjunto dos módulos serão apresentados pelo número de módulos fotovoltaicos individualmente desligáveis; o sistema possui diodos de bloqueio e proteção contra surtos.
Por razões de segurança, se alguma parte da rede não suportar uma maior intensidade de corrente, esses sistemas devem ser protegidos individualmente.
A estrutura de suporte será aterrada.

SISTEMA DE MONITORAMENTO E CONTROLE (SMC)

O sistema de controlo e de monitoramento, permite, por meio de um computador e um software dedicado, de comunicar em cada instante com o sistema de modo a verificar a funcionalidade dos inversores instalados com a possibilidade de visualizar as indicações técnicas (tensão, corrente, a potência, etc.) para cada inversor.
Também pode ser lido no histórico de eventos do inversor.

Hiper Energy do Brasil

VERIFICAÇÕES

O instalador irá verificar e certificar os pontos seguintes:

- Produção de energia fotovoltaica gerada sob diferentes condições de operação;
- Continuidade elétrica entre os módulos e as ligações;
- Aterramento;
- Isolamento de circuitos elétricos;

O geradorGerador atenda às seguintes condições:

Limites de tensão

Tensão mínima Vn a 70,00 °C (226,5 V) maior do que Vmpp mínimo (120,0V)

Tensão máxima Vn a 10,00 °C (289,3 V) inferior a Vmpp máx. (500,0 V)

Tensão a vazio Vo a 10,00 °C (353,2 V) inferior a tensão máx. do inversor (590,0 V)

Tensão a vazio Vo a 10,00 °C (353,2 V) inferior a tensão máxima de isolamento (1000,0 V)

Limites de corrente

Corrente máxima de entrada relacionada a Isc (9,1 A) inferior a corrente máxima do inversor (18,0 A)

Limites de potência

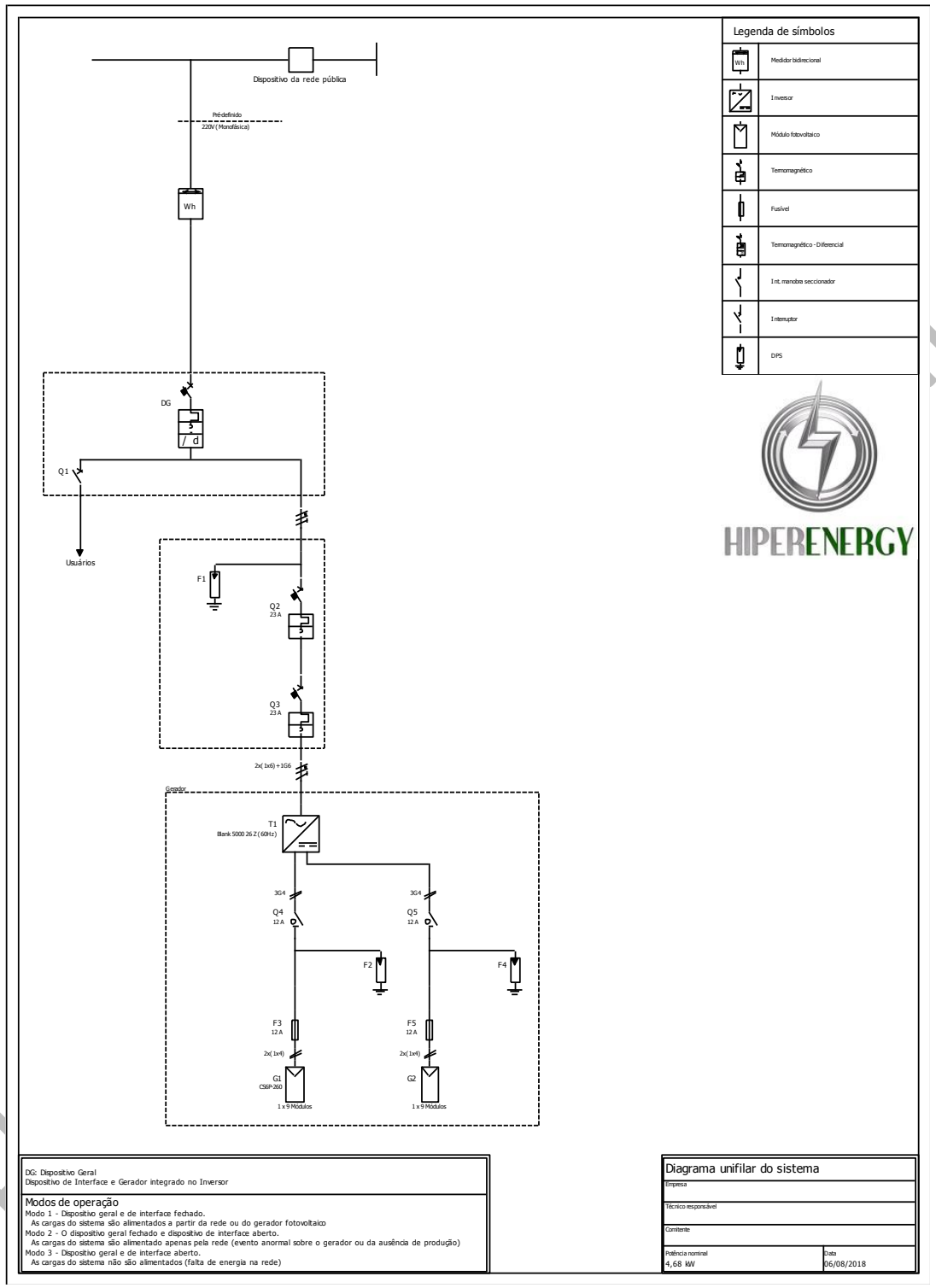
Dimensionamento de potência (100,0%) compreendido entre 80,0% e 120,0%

Hiper Energy do Brasil

LAYOUT DO GERADOR

Hiper

DIAGRAMA ELÉTRICO



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Será emitido e divulgado pelo instalador, os seguintes documentos:

- Manual de uso e manutenção, incluindo a programação recomendada de manutenção;
- Projeto executivo "como construído", acompanhado com folhas de material instalado;
- Declaração dos controles efetuados e dos seus resultados;
- Declaração de conformidade;
- Certificado emitido por um laboratório acreditado INMETRO e quanto à conformidade com EN 61215 para os módulos de silício cristalino e IEC 61646 para módulos de filme fino;
- Certificado emitido por um laboratório acreditado quanto à conformidade do inversor DC / AC com as normas vigentes e, se o dispositivo de interface é usado dentro da própria unidade;
- Declarações de garantia relativas aos equipamentos instalados;
- Garantia de todo o sistema e o desempenho.

A empresa de instalação, além de realizar com o que está indicado no projeto, irá realizar todos os trabalhos em conformidade com a normas.

Hiper Energy do Brasil

RELATÓRIO ECONÔMICO

PARA A CONSTRUÇÃO DE

UM SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 4,68 kWp

NOMEADO

SITUADO NA CIDADE DE

João Pessoa

Rodovia Governador Antonio Mariz

58050 - João Pessoa

CLIENTE:

-

DATA

03/08/2018

TECNICO RESPONSÁVEL

Hiper Energy do Brasil

Análise econômica

Análise das condições econômicas para a instalação de um sistema de produção de eletricidade através da conversão fotovoltaica nomeado a ser instalado na cidade de João Pessoa para uma potência nominal de 4,68 kWp e energia produzida no primeiro ano de 7.346 kWh.

A análise de custo

Os custos para a construção do sistema estão listados abaixo:

Código	Descrição	U.M.	Qtd	Preço R$	Valor R$
	Módulos fotovoltaicos				
MFV5563	Módulo Standard CS6P-260P	cad	18	810,75	14.593,50
	Inversor				
INV2035	Inversor Blank 5000 26 Z - 220V	cad	1	5.380,00	5.380,00
	Cabos				
	Conjunto - Q. Campo N1VV-K 2x(1x4)	m	34,3	0,00	0,00
	Conjunto - Q. Campo N1VV-K 2x(1x4)	m	34,3	0,00	0,00
	Q. Campo - Q. Inversor N1VV-K 3G4	m	3,61	0,00	0,00
	Q. Inversor - Q. Medição FM9 450/750 V 2x(1x6)+1G6	m	1,79	0,00	0,00
	Q. Inversor - Q. Medição FM9 450/750 V 2x(1x6)+1G6	m	1,79	0,00	0,00
	Q. Inversor - Q. Medição FM9 450/750 V 2x(1x6)+1G6	m	1,79	0,00	0,00
	Proteções				
	Porta Fusível	cad	2	0,00	0,00
	Fusível	cad	4	0,00	0,00
	Int. manobra seccionador	cad	2	0,00	0,00
	Termomagnético	cad	1	0,00	0,00
	Dispositivo de proteção contra surtos				
	SPD sobre o ponto de união das conjunto de módulos paralelas.	cad	2	0,00	0,00
	SPD ingressando rede	cad	1	0,00	0,00
	Projeto		1	1.200,00	1.200,00
	Aaptador wifi/inversor		1	397,00	397,00
	Estruturas		1	1.000,00	1.000,00
	Total				22.570,50

Resumo (ICMS incluído)

Custo total dos módulos:	R$ 14.593,50
Custo total dos inversor:	R$ 5.380,00

Hiper Energy do Brasil

Outros custos:	R$ 2.597,00
Custo total do sistema:	**R$ 22.570,50**
Com ICMS de	R$ 0,00
Custo específico:	**R$/kWp 4.822,76**

Para os custos iniciais de construção são adicionados os custos de manutenção anuais e extraordinárias:

Os custos anuais

Descrição	%	Valor R$
	0	0,00
Total		0,00

Os custos extraordinários

Descrição	Ano	Valor R$
	1	0,00
Total		0,00

Hiper Energy do Brasil

Financiamento

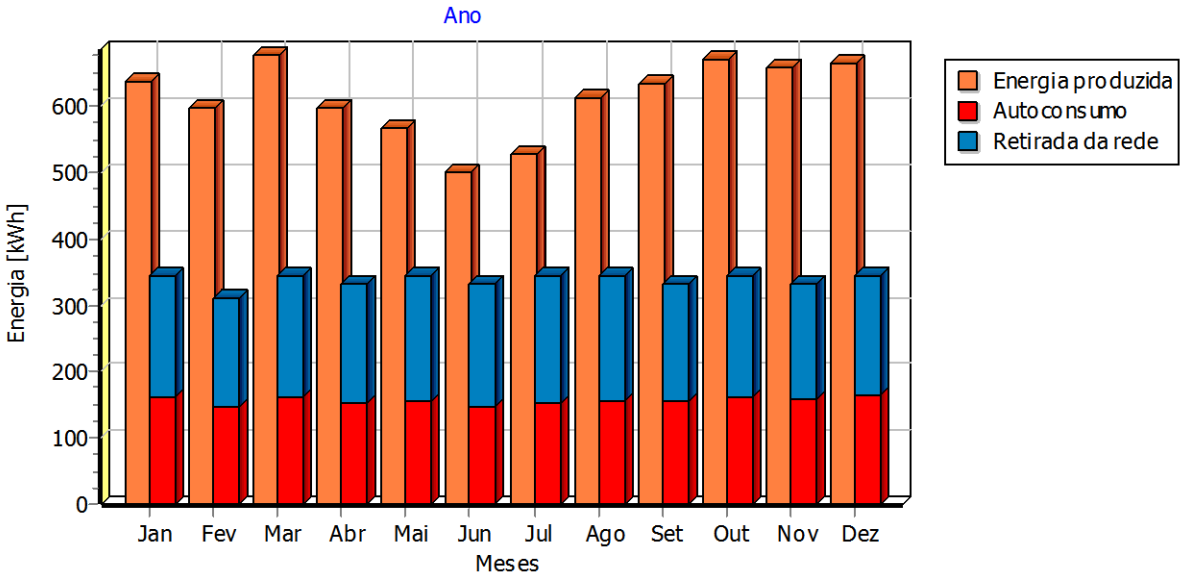
Financiado com recursos próprios.

Consumo de energia da unidade consumidora

Consumo de energia da unidade consumidora anual:	4.051 kWh
Energia autoconsumida:	1.871,9 kWh
Energia introduzida:	5.474,1 kWh
Energia comprada:	2.179,1 kWh

Perfil de carga:

Descrição	Consumo [kWh]	Potência [W]
Pré-definido	4.051	462,4



Retorno financeiro

A simulação do desempenho econômico do sistema no período de cálculo é feito considerando os seguintes parâmetros:

Degradação anual do sistema devido ao envelhecimento:	0,8 %
Taxa de inflação anual:	4 %
Taxa de reajuste da tarifa:	10 %
Taxa de juros ativo:	0 %
Taxa de juros passivo:	-

Retorno sobre o investimento feito pelo sistema fotovoltaico:

Consumo simultâneo de energia produzida:	1.871,9 kWh
Data fim análise:	02/08/2043
Economia de consumo:	R$ 140.036,05
Economia para a compensação:	R$ 167.160,96
Juros ativo:	R$ 0,00
Outras receitas:	R$ 0,00
Custos anuais a deduzir:	R$ 27.439,56
Total:	**R$ 279.757,45**
Capital investido:	R$ 22.570,50
Fluxo de caixa acumulado:	**R$ 257.186,95**
Custos extraordinários	R$ 0,00
Período de amortização (anos):	7
Montante após anos 26:	R$ 279.757,45
Taxa composta de retorno:	10,166 %
Taxa de desconto:	2 %
VPL:	R$ 174.335,84
TIR:	20,05 %

No cálculo do segundo ano e seguintes são considerados o coeficiente de degradação do sistema, a taxa de inflação e a taxa de juros ativo do capital acumulado.

Hiper Energy do Brasil

Os detalhes dos cálculos a 31 dezembro 2018:

Economia de consumo:

Energia autoconsumida:	784,5 kWh *
Tarifa de autoconsumo:	0,7279 R$/kWh +
Arredondamento:	0,01 R$ =
Total:	571,05 R$

Economia para a compensação:

Energia compensada:	891,4 kWh *
Tarifa de energia comprada	0,7279 R$/kWh +
Arredondamento:	-0,02 R$ =
Total:	648,83 R$

Custos anuais:

Custos anuais:	0,00 R$ +
Custo de disponibilidade:	109,20 R$ =
Total:	109,20 R$

Hiper Energy do Brasil

Tabela de análise econômica para o período de observação:

Ano	2018	2019	2020	2021	2022
Energia produzida [kWh]	3.199,2	7.320,3	7.282,5	7.202,5	7.143,8
Consumo simultâneo da energia pr. [kWh]	784,5	1.871,2	1.874,9	1.868,2	1.866,8
Crédito de consumos acumulados [kWh]	1.523,4	4.792,5	8.012,9	11.164,5	14.257,3
Receita [R$]	1.219,88	3.243,57	3.577,70	3.924,71	4.317,20
Economia cons. simult. [R$]	571,05	1.498,22	1.651,37	1.810,00	1.989,45
Economia para a compensação [R$]	648,83	1.745,35	1.926,33	2.114,71	2.327,75
Juros ativos [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Saídas [R$]	109,20	288,24	316,92	348,70	383,45
Custo de disponibilidade [R$]	109,20	288,24	316,92	348,70	383,45
Custos anuais [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Despesas extraordinárias [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juros sobre o descoberto [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Parcela financiamento [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Taxa de juros [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Capital [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fluxo de caixa [R$]	1.110,68	2.955,33	3.260,78	3.576,01	3.933,75
Fluxo de caixa acumulado [R$]	-21.459,82	-18.504,49	-15.243,71	-11.667,70	-7.733,95
Capital próprio [R$]	22.570,50	22.570,50	22.570,50	22.570,50	22.570,50
Montante (economia) [R$]	1.110,68	4.066,01	7.326,79	10.902,80	14.836,55
Taxa de rendimento composta [%]	-95,079	-57,556	-31,274	-16,632	-8,049
VPL [R$]	-21.481,60	-18.641,03	-15.568,32	-12.264,64	-8.701,72
TIR [%]	-95,08	-61,28	-37,36	-21,73	-11,25

Hiper Energy do Brasil

Ano	2023	2024	2025	2026	2027
Energia produzida [kWh]	7.085,1	7.046,6	6.967,6	6.908,8	6.849,9
Consumo simultâneo da energia pr. [kWh]	1.865,3	1.869,0	1.862,3	1.860,9	1.859,4
Crédito de consumos acumulados [kWh]	16.087,1	15.797,3	15.488,1	15.188,9	14.889,8
Receita [R$]	4.748,90	5.238,19	5.746,32	6.320,97	6.953,14
Economia cons. simult. [R$]	2.186,66	2.410,15	2.641,67	2.903,54	3.191,38
Economia para a compensação [R$]	2.562,24	2.828,04	3.104,65	3.417,43	3.761,76
Juros ativos [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Saídas [R$]	421,79	464,17	510,60	561,61	617,69
Custo de disponibilidade [R$]	421,79	464,17	510,60	561,61	617,69
Custos anuais [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Despesas extraordinárias [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juros sobre o descoberto [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Parcela financiamento [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Taxa de juros [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Capital [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fluxo de caixa [R$]	4.327,11	4.774,02	5.235,72	5.759,36	6.335,45
Fluxo de caixa acumulado [R$]	-3.406,84	1.367,18	6.602,90	12.362,26	18.697,71
Capital próprio [R$]	22.570,50	22.570,50	22.570,50	22.570,50	22.570,50
Montante (economia) [R$]	19.163,66	23.937,68	29.173,40	34.932,76	41.268,21
Taxa de rendimento composta [%]	-2,690	0,844	3,260	4,973	6,220
VPL [R$]	-4.859,37	-703,30	3.765,34	8.584,51	13.781,79
TIR [%]	-3,96	1,29	5,16	8,09	10,36

Hiper Energy do Brasil

Ano	2028	2029	2030	2031	2032
Energia produzida [kWh]	6.810,9	6.732,6	6.673,5	6.614,7	6.575,2
Consumo simultâneo da energia pr. [kWh]	1.863,1	1.856,5	1.855,0	1.853,5	1.857,2
Crédito de consumos acumulados [kWh]	14.599,4	14.290,8	13.991,7	13.692,5	13.401,4
Receita [R$]	7.669,40	8.413,28	9.254,58	10.180,08	11.228,86
Economia cons. simult. [R$]	3.517,54	3.855,46	4.237,65	4.657,69	5.133,69
Economia para a compensação [R$]	4.151,86	4.557,82	5.016,93	5.522,39	6.095,17
Juros ativos [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Saídas [R$]	679,37	747,30	822,01	904,32	994,88
Custo de disponibilidade [R$]	679,37	747,30	822,01	904,32	994,88
Custos anuais [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Despesas extraordinárias [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juros sobre o descoberto [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Parcela financiamento [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Taxa de juros [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Capital [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fluxo de caixa [R$]	6.990,03	7.665,98	8.432,57	9.275,76	10.233,98
Fluxo de caixa acumulado [R$]	25.687,74	33.353,72	41.786,29	51.062,05	61.296,03
Capital próprio [R$]	22.570,50	22.570,50	22.570,50	22.570,50	22.570,50
Montante (economia) [R$]	48.258,24	55.924,22	64.356,79	73.632,55	83.866,53
Taxa de rendimento composta [%]	7,153	7,854	8,394	8,813	9,145
VPL [R$]	19.403,61	25.448,18	31.966,83	38.996,70	46.600,70
TIR [%]	12,15	13,58	14,74	15,68	16,47

Hiper Energy do Brasil

Ano	2033	2034	2035	2036	2037
Energia produzida [kWh]	6.497,4	6.438,6	6.379,7	6.339,6	6.262,3
Consumo simultâneo da energia pr. [kWh]	1.850,6	1.849,1	1.847,6	1.851,3	1.844,7
Crédito de consumos acumulados [kWh]	13.093,6	12.794,4	12.495,3	12.203,5	11.896,3
Receita [R$]	12.318,04	13.549,92	14.904,84	16.440,25	18.034,79
Economia cons. simult. [R$]	5.626,88	6.184,64	6.797,70	7.492,35	8.212,11
Economia para a compensação [R$]	6.691,16	7.365,28	8.107,14	8.947,90	9.822,68
Juros ativos [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Saídas [R$]	1.094,27	1.203,87	1.324,17	1.456,54	1.602,14
Custo de disponibilidade [R$]	1.094,27	1.203,87	1.324,17	1.456,54	1.602,14
Custos anuais [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Despesas extraordinárias [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juros sobre o descoberto [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Parcela financiamento [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Taxa de juros [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Capital [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fluxo de caixa [R$]	11.223,77	12.346,05	13.580,67	14.983,71	16.432,65
Fluxo de caixa acumulado [R$]	72.519,80	84.865,85	98.446,52	113.430,23	129.862,88
Capital próprio [R$]	22.570,50	22.570,50	22.570,50	22.570,50	22.570,50
Montante (economia) [R$]	95.090,30	107.436,35	121.017,02	136.000,73	152.433,38
Taxa de rendimento composta [%]	9,405	9,612	9,778	9,914	10,021
VPL [R$]	54.776,61	63.593,69	73.102,33	83.387,61	94.446,31
TIR [%]	17,12	17,66	18,13	18,52	18,86

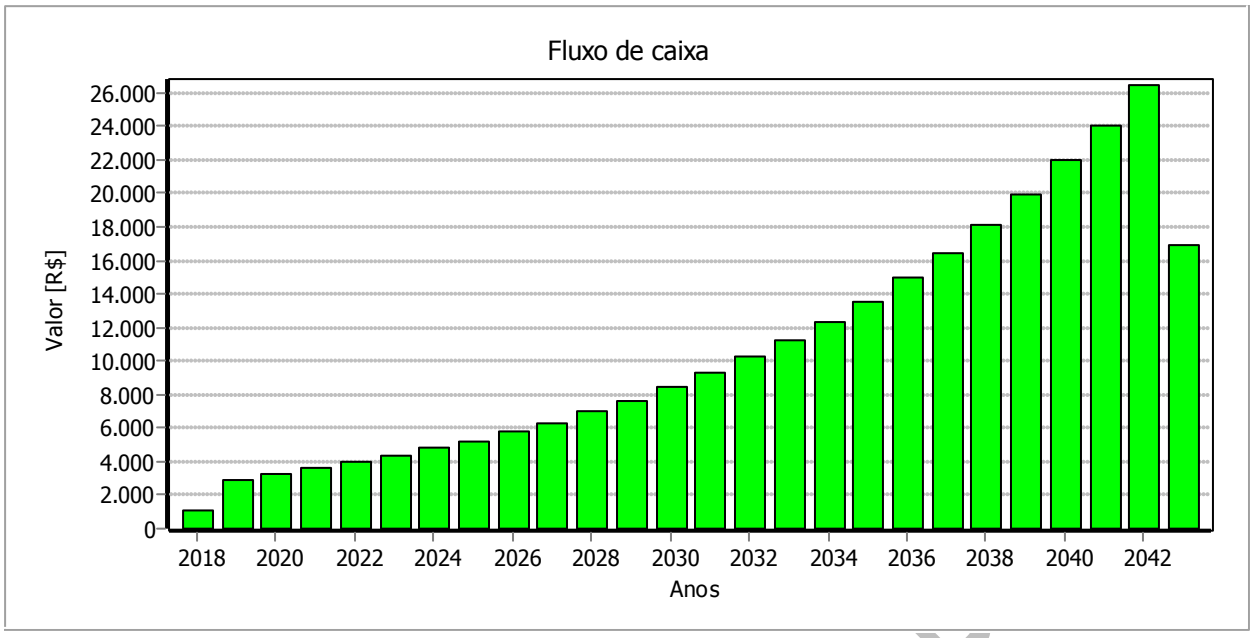
Hiper Energy do Brasil

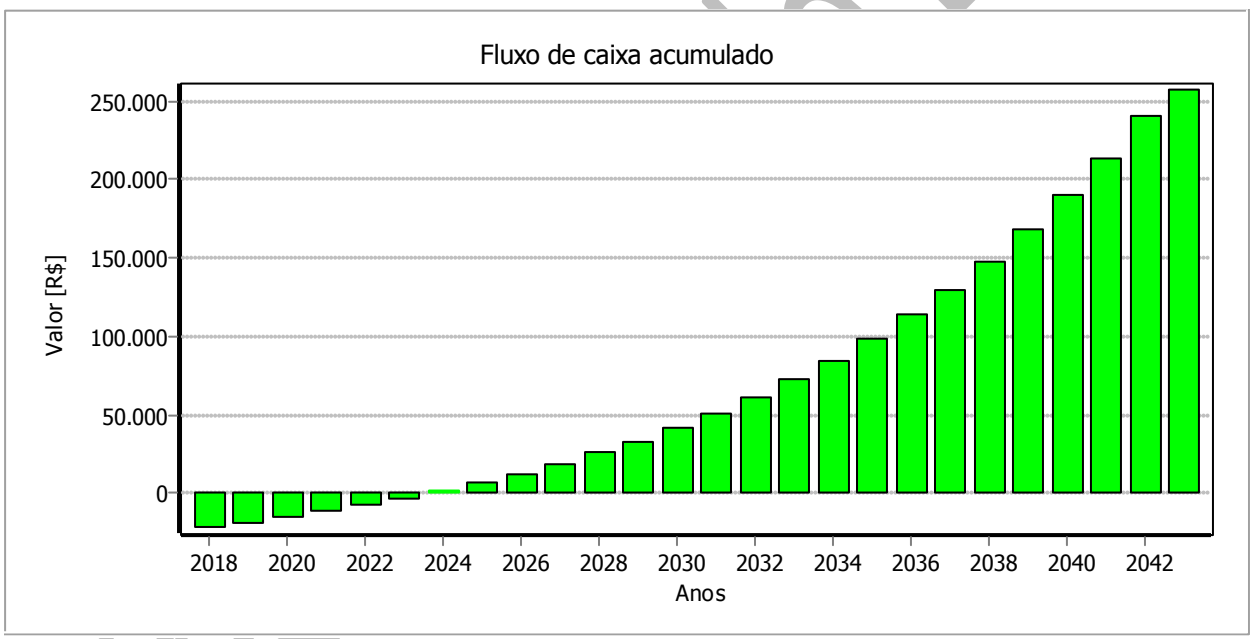
Ano	2038	2039	2040	2041	2042
Energia produzida [kWh]	6.203,5	6.144,8	6.103,6	6.027,1	5.968,3
Consumo simultâneo da energia pr. [kWh]	1.843,2	1.841,7	1.845,4	1.838,8	1.837,3
Crédito de consumos acumulados [kWh]	11.597,2	11.298,0	11.005,5	10.699,0	10.399,9
Receita [R$]	19.838,22	21.822,02	24.070,04	26.404,70	29.045,17
Economia cons. simult. [R$]	9.026,11	9.920,79	10.934,55	11.984,96	13.172,92
Economia para a compensação [R$]	10.812,11	11.901,23	13.135,49	14.419,74	15.872,25
Juros ativos [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Saídas [R$]	1.762,07	1.938,28	2.132,05	2.345,39	2.579,95
Custo de disponibilidade [R$]	1.762,07	1.938,28	2.132,05	2.345,39	2.579,95
Custos anuais [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Despesas extraordinárias [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juros sobre o descoberto [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Parcela financiamento [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Taxa de juros [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Capital [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fluxo de caixa [R$]	18.076,15	19.883,74	21.937,99	24.059,31	26.465,22
Fluxo de caixa acumulado [R$]	147.939,03	167.822,77	189.760,76	213.820,07	240.285,29
Capital próprio [R$]	22.570,50	22.570,50	22.570,50	22.570,50	22.570,50
Montante (economia) [R$]	170.509,53	190.393,27	212.331,26	236.390,57	262.855,79
Taxa de rendimento composta [%]	10,108	10,178	10,236	10,282	10,318
VPL [R$]	106.372,51	119.234,09	133.146,20	148.104,39	164.235,76
TIR [%]	19,15	19,40	19,61	19,80	19,97

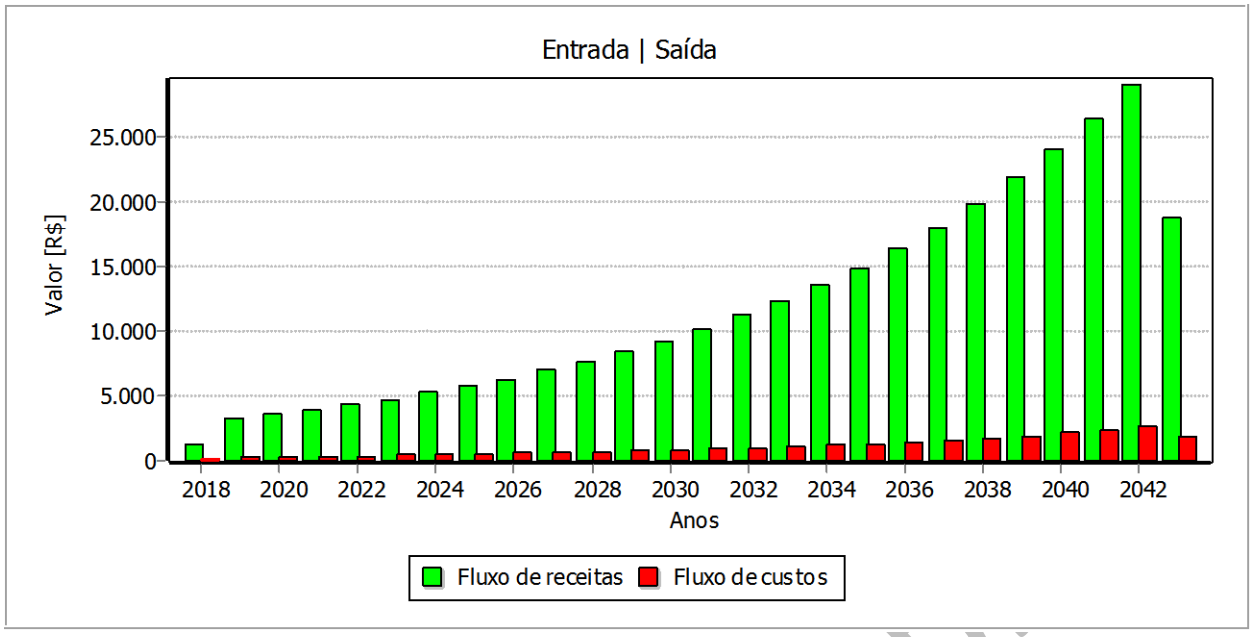
Hiper Energy do Brasil

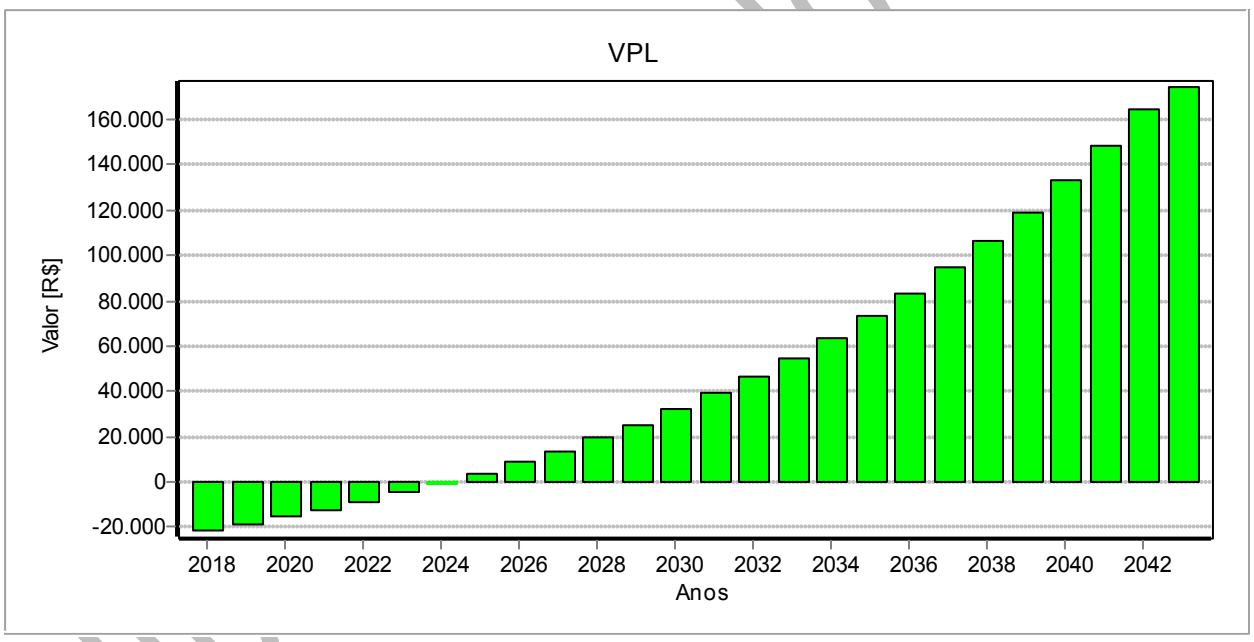
Ano	2043				
Energia produzida [kWh]	3.350,2				
Consumo simultâneo da energia pr. [kWh]	1.068,6				
Crédito de consumos acumulados [kWh]	10.026,7				
Receita [R$]	18.732,24				
Economia cons. simult. [R$]	8.427,52				
Economia para a compensação [R$]	10.304,72				
Juros ativos [R$]	0,00				
Saídas [R$]	1.830,58				
Custo de disponibilidade [R$]	1.830,58				
Custos anuais [R$]	0,00				
Despesas extraordinárias [R$]	0,00				
Juros sobre o descoberto [R$]	0,00				
Parcela financiamento [R$]	0,00				
Taxa de juros [R$]	0,00				
Capital [R$]	0,00				
Fluxo de caixa [R$]	16.901,66				
Fluxo de caixa acumulado [R$]	257.186,95				
Capital próprio [R$]	22.570,50				
Montante (economia) [R$]	279.757,45				
Taxa de rendimento composta [%]	10,166				
VPL [R$]	174.335,84				
TIR [%]	20,05				

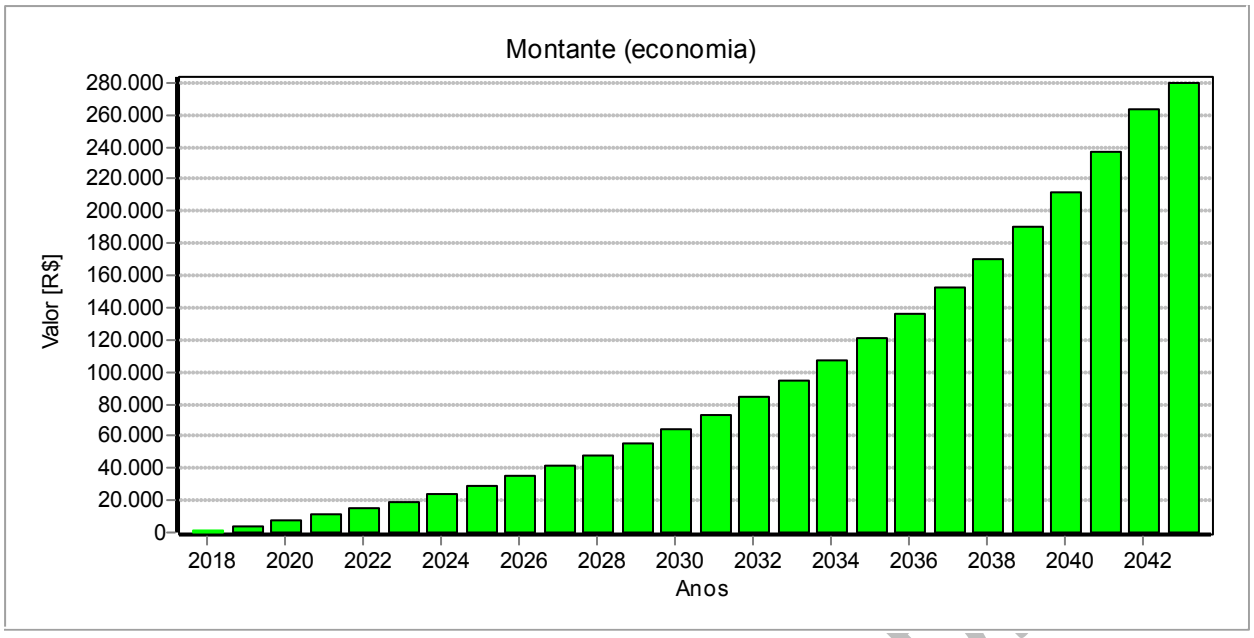
Hiper Energy do Brasil

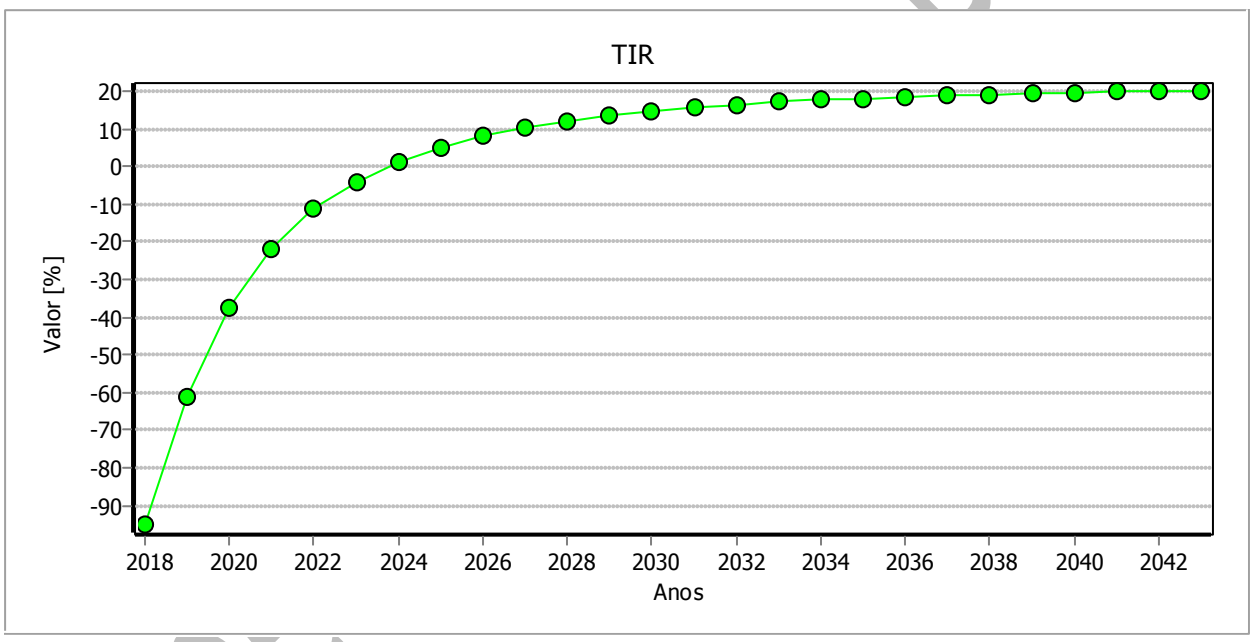

Fluxo de caixa
Valor [R$]
26.000
24.000
22.000
20.000
18.000
16.000
14.000
12.000
10.000
8.000
6.000
4.000
2.000
0
2018
2020
2022
2024
2026
2028
2030
2032
2034
2036
2038
2040
2042
Anos

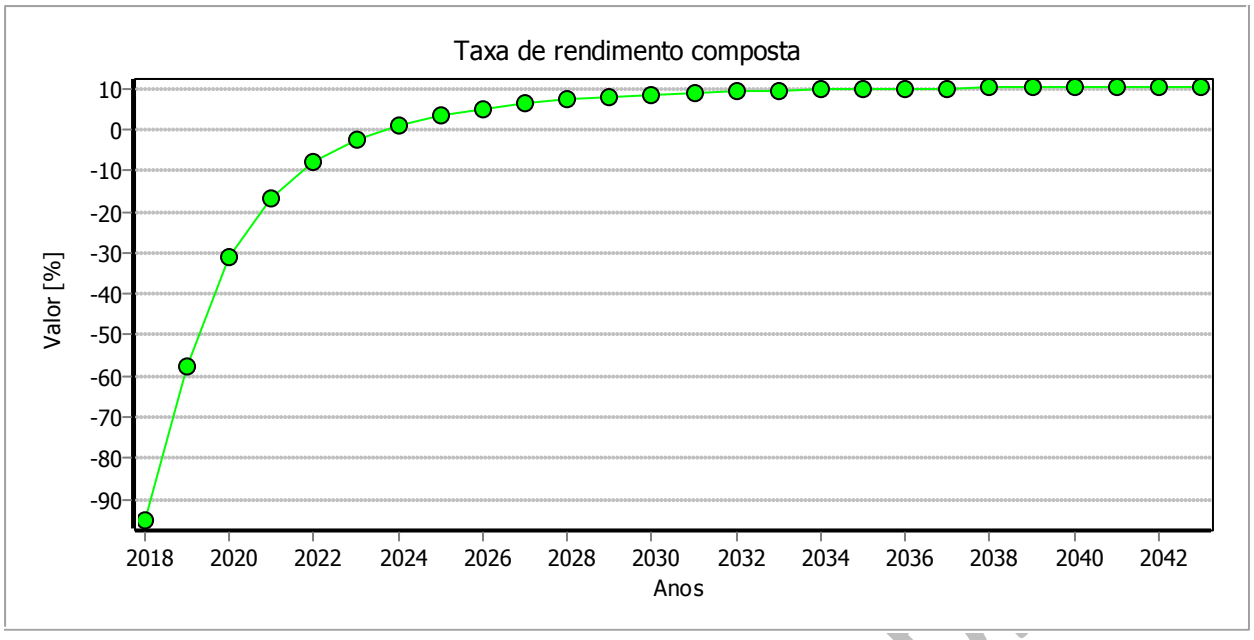

Fluxo de caixa acumulado
Valor [R$]
250.000
200.000
150.000
100.000
50.000
0
2018
2020
2022
2024
2026
2028
2030
2032
2034
2036
2038
2040
2042
Anos


Entrada | Saída
Valor [R$]
25.000
20.000
15.000
10.000
5.000
0
2018
2020
2022
2024
2026
2028
2030
2032
2034
2036
2038
2040
2042
Anos
Fluxo de receitas
Fluxo de custos


VPL
Valor [R$]
160.000
140.000
120.000
100.000
80.000
60.000
40.000
20.000
0
-20.000
2018
2020
2022
2024
2026
2028
2030
2032
2034
2036
2038
2040
2042
Anos


Montante (economia)
Valor [R$]
280.000
260.000
240.000
220.000
200.000
180.000
160.000
140.000
120.000
100.000
80.000
60.000
40.000
20.000
0
2018
2020
2022
2024
2026
2028
2030
2032
2034
2036
2038
2040
2042
Anos


TIR
Valor [%]
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80
-90
2018
2020
2022
2024
2026
2028
2030
2032
2034
2036
2038
2040
2042
Anos



Hiper Energy do B

PROJETO FOTOVOLTAICO

SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 2,86 kWp

INTITULADO

SITUADO NA CIDADE DE

João Pessoa

Rodovia Governador Antonio Mariz

58050

CLIENTE:

Anexos:

- *diagrama unifilar da instalação;*
- *esquema planimétrico.*

DATA

03/08/2018

TÉCNICO RESPONSÁVEL

Hiper Energy do Brasil

DADOS GERAIS DO SISTEMA

Este projeto diz respeito à construção de uma sistema de produção de eletricidade através da conversão fotovoltaica, com uma potência de pico igual a 2,86 kWp.

CLIENTE	
Cliente:	
Endereço:	
CPF / CNPJ:	
Telefone:	
Fax:	
E-mail:	

LOCAL DE INSTALAÇÃO

O sistema tem as seguintes características: .

DADOS DA LOCALIZAÇÃO	
Localidade:	João Pessoa 58050 Rodovia Governador Antonio Mariz
Latitude:	-007°-07'-10"
Longitude:	-034°-50'-42"
Altitude:	48 m
Fonte dados climáticos:	ATLAS BRAS. 2017
Albedo:	0 %

DIMENSIONAMENTO

A quantidade de energia produzida é calculada com base nos dados radiométricos, conforme a fonte ATLAS BRAS. 2017, e o Atlás Solarimétrico do Brasil e utilizando os métodos de cálculo descritos nas normas.

As instalações atenderão às seguintes condições (a serem executadas para cada "gerador solar", entendida como um conjunto de módulos fotovoltaicos com o mesmo ângulo e a mesma orientação):
na fase inicial do sistema fotovoltaico, a relação entre a energia ou a potência produzida em corrente alternada e a energia ou a potência produzida em corrente alternada (determinada em função da radiação solar incidente sobre o plano de um dos módulos, da potência nominal do sistema e a temperatura de funcionamento dos módulos) é, pelo menos, maior do que 0,78, no caso de utilização de conversores de potência até 20 kW, e 0,8 no caso de utilização de inversores de maior potência, em relação às condições de medição e métodos de cálculo descritos no Guia EN 60904-2.

Não são admitidos conjuntos de módulos em paralelos não perfeitamente idênticos uns aos outros para exposição e / ou da marca, e / ou o modelo e / ou o número de módulos utilizados; cada módulo será equipado com díodos de by-pass.

DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O sistema fotovoltaico é composto de n° 1 geradores fotovoltaicos compostos de n° 11 módulos fotovoltaicos e n° 1 inversores.
A potência nominal total é de 2,86 kWp para uma produção de 4.508,2 kWh por ano, distribuídos em uma área de 17,71 m².
Modalidade de conexão à rede de alimentação Baixa Tensão em Monofásica com tensão fornecimento 220 V.

EMISSÕES

O sistema reduz a emissão de poluentes na atmosfera de acordo com seguinte tabela abaixo (valores anuais):

Produção Termo Elétrica Equivalente	
Dióxido de enxofre (SO_2):	3,16 kg
Óxidos de Nitrogênio (NO_x):	3,98 kg
Poeiras:	0,14 kg
Dióxido de carbono (CO_2):	2,35 t

Equivalente de energia geotérmica	
Sulfeto de Hidrogênio (H_2S) (fluido geotérmico):	0,14 kg
Dióxido de carbono (CO_2):	0,03 t
Tonelada equivalente de Petróleo (TEP):	1,13 TO

Hiperenergia do Brasil

RADIAÇÃO SOLAR

A avaliação do recurso solar disponível foi realizada de acordo com a fonte ATLAS BRAS. 2017 e o Atlas Solarimétrico do Brasil, tendo como referência o local com os dados históricos e de radiação solar nas imediações de João Pessoa.

TABELA DE RADIAÇÃO SOLAR NA HORIZONTAL

Mês	Total diário [MJ/m²]	Total mensal [MJ/m²]
Janeiro	21,11	654,41
Fevereiro	21,61	605,08
Março	21,63	670,53
Abril	19,31	579,3
Maio	17,37	538,47
Junho	15,69	470,7
Julho	16,11	499,41
Agosto	18,94	587,14
Setembro	20,73	621,9
Outubro	21,79	675,49
Novembro	22,47	674,1
Dezembro	22,14	686,34

TABELA DE PRODUÇÃO DE ENERGIA

Mês	Total diário [kWh]	Total mensal [kWh]
Janeiro	12,78	396,185
Fevereiro	13,215	370,019
Março	13,408	415,645
Abril	12,155	364,665
Maio	11,078	343,409
Junho	10,055	301,664
Julho	10,292	319,051
Agosto	11,994	371,805
Setembro	12,929	387,873
Outubro	13,383	414,861
Novembro	13,63	408,909
Dezembro	13,358	414,106

EXPOSIÇÕES

O sistema fotovoltaico é composto por 1 gerador distribuído em 1 exposições, conforme tabela abaixo:

Descrição	Tipo de instalação	Orient	Inclin	Sombr
Exposição 1	Ângulo fixo	180°	5°	0,01 %

Exposição 1

Exposição 1 será exposto com uma orientação de 180,00° (azimute) em relação ao sul, e terá uma inclinação horizontal de 5,00°.

A produção de energia da exposição Exposição 1 é condicionada por alguns fatores que determinam uma redução de radiação solar de sombreamento para a valor de 0,01 %.

GRÁFICO DE SOMBREAMENTO

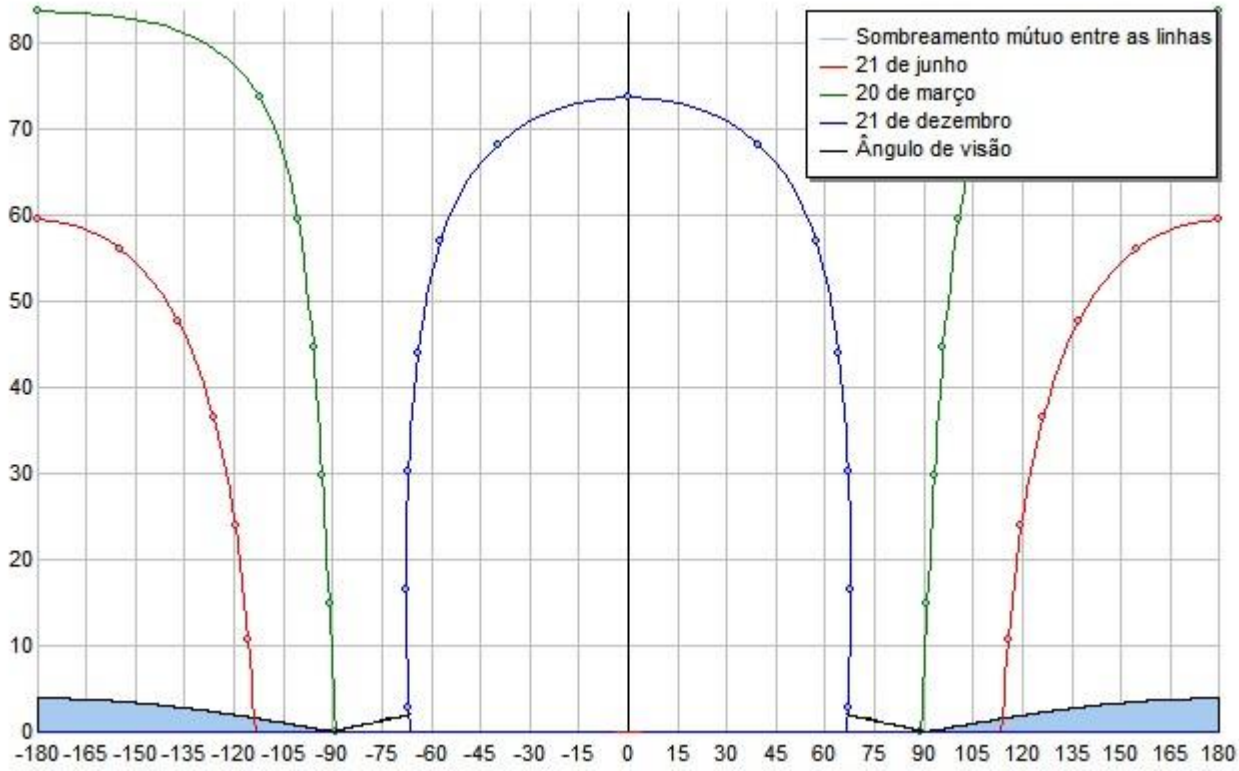


GRÁFICO DE RADIAÇÃO SOLAR

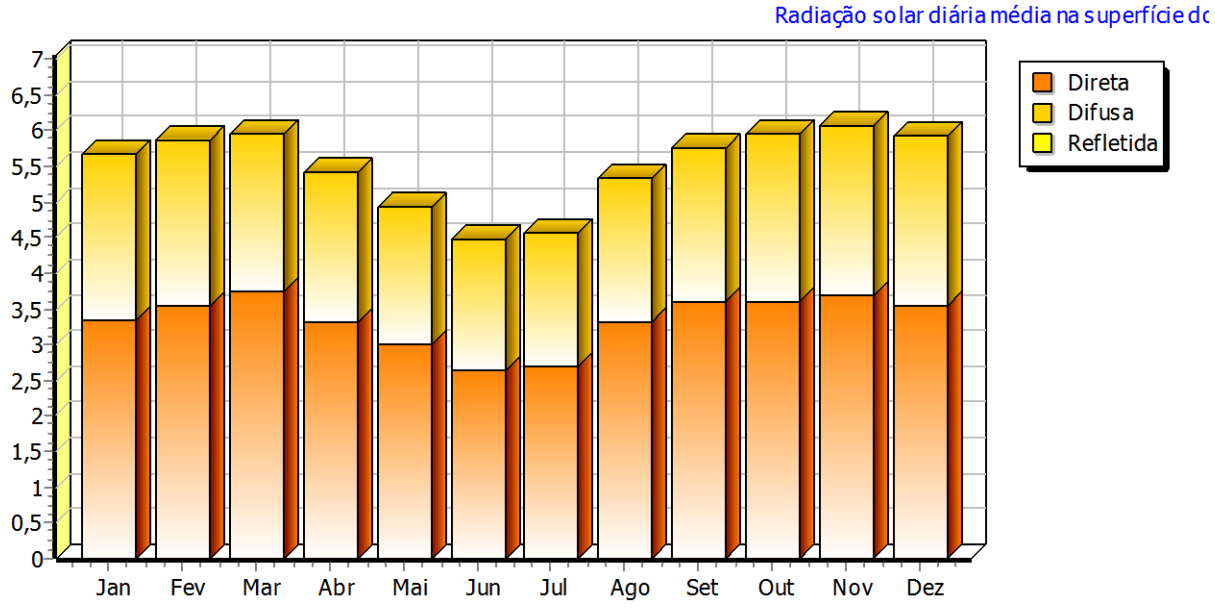


TABELA DE RADIAÇÃO SOLAR

Mês	Radiação direta [kWh/m²]	Radiação difusa [kWh/m²]	Radiação refletida [kWh/m²]	Total das diárias [kWh/m²]	Total mensal [kWh/m²]
Janeiro	3,339	2,343	0	5,682	176,146
Fevereiro	3,552	2,323	0	5,875	164,513
Março	3,732	2,229	0	5,961	184,798
Abril	3,306	2,099	0	5,404	162,132
Maio	3,015	1,91	0	4,925	152,681
Junho	2,638	1,833	0	4,471	134,121
Julho	2,679	1,896	0	4,576	141,852
Agosto	3,325	2,007	0	5,332	165,306
Setembro	3,594	2,154	0	5,748	172,45
Outubro	3,613	2,337	0	5,95	184,449
Novembro	3,681	2,379	0	6,06	181,803
Dezembro	3,547	2,393	0	5,939	184,114

ESTRUTURAS DE APOIO

Os módulos serão montados em suportes de aço galvanizado, com um ângulo de 5°, terão todos a mesma exposição. Os sistemas de fixação da estrutura deverão resistir a rajadas de vento, com velocidade de até 120 km / h.

Gerador

O gerador é composto de 11 módulos fotovoltaicos de Silício policristalino com uma vida útil estimada de mais de 25 anos e degradação da produção devido ao envelhecimento de 0,8 % ao ano.

CARACTERÍSTICAS DO GERADOR FOTOVOLTAICO	
Número de módulos:	11
Número de inversores:	1
Potência nominal:	2860 W
Performance ratio:	78,6 %

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS MÓDULOS	
Fabricante:	CSI CANADIAN SOLAR INC
Modelo:	STANDARD CS6P-260
Tecnologia de const.:	Silício policristalino
Características elétricas	
Potência máxima:	260 W
Rendimento:	16,2 %
Tensão nominal:	30,4 V
Tensão em aberto:	37,5 V
Corrente nominal:	8,6 A
Corr. de curto-circuito:	9,1 A
Dimensões	
Dimensões:	982 mm x 1638 mm
Peso:	18 kg

Os valores de tensão variam conforme a temperatura de funcionamento (mínima, máxima e de regime) e estão dentro dos valores aceitáveis de funcionamento do inversor.

A linha elétrica proveniente dos módulos fotovoltaicos é posta a terra mediante descarregadores de sobretensão com indicação ótica de fora de serviço.

INVERSOR SOLAR

O sistema de conversão é composto por um conjunto de conversores estáticos (inversores).
O conversor CC/CA utiliza um sistema idôneo de transferência de potência a rede de distribuição, em conformidade aos requisitos técnicos e normas de segurança. Os valores de tensão e corrente do dispositivo de entrada são compatíveis com o sistema fotovoltaico, enquanto os valores de saída são compatíveis com os valores da rede ao qual está conectado ao sistema.
As principais características do grupo conversor são:

- Inversor de comutação forçada com PWM (Pulse-width modulation), sem clock e/ou tensão de referência ou de corrente, semelhante a um sistema não idôneo a suportar a tensão e frequência de intervalo normal. Este sistema está em conformidade com as normas da ABNT e com o sistema de rastreamento de potência máxima MPPT

- Entrada do gerador CC gerenciado com pólos não ligados ao terra.

- Conforme as normas gerais de limitação de Emissões EMF e RF: Conformidade IEC 110-1, IEC 110-6, IEC 110-8.

- Proteção de desligamento da rede quando o sistema estiver fora da faixa de tensão e frequência da rede e com falha de sobrecorrente, conforme os requisitos da IEC 11-20 e normas da distribuidora de energia elétrica local. Reset automático das proteções de início automático.

- Em conformidade com a ABNT.

- Grau de proteção adequado a localização nas proximidades do campo fotovoltaico (IP65).

- Declaração de conformidade do fabricante de acordo com normas técnica aplicáveis, com referência aos ensaios realizados por institutos certificadores.

- Tensão de entrada adequada para o intervalo de tensão de saída do gerador fotovoltaico.

- Máxima eficiência >= 90% a 70% da potência nominal.

A unidade de conversão consiste no uso de 1 inversores.

DADOS TÉCNICOS DO INVERSOR	
Fabricante:	SERRANA SISTEMAS DE ENERGIA
Modelo:	Blank Blank 3000 26 Z (60Hz)
Número de rastreadores:	2
Entrada para rastreador:	1
Características elétricas	
Potência nominal:	3 kW
Potência máxima:	3,1 kW
Potência máxima por rastreador:	2 kW
Tensão nominal:	360 V
Tensão máxima:	590 V
Tensão mínima por rastreador:	120 V
Tensão máxima por rastreador:	500 V
Tensão máxima de saída:	231 Vac
Corrente nominal:	24 A
Corrente máxima:	24 A
Corrente máxima por rastreador:	12 A
Rendimento:	0,98

Hitachi Energy do Brasil

Inversor 1	MPPT 1	MPPT 2
Módulos em série:	6	5
Conjunto de módulos em paralelos:	1	1
Exposições:	Exposição 1	Exposição 1
Tensão MPPT (STC):	182,4 V	152 V
Número de módulos:	6	5

Hiper Energy do Brasil

DIMENSIONAMENTO

Potência nominal do gerador:

P = P módulos * N° módulos = 260 W * 11 = 2860 W

O cálculo da energia total produzida pelo sistema nas condições normais de STC (radiação de 1000 W/m², temperatura de 25°C), é calculado como:

Exposição	N° módulos	Radiação solar [kWh/m²]	Energia [kWh]
Exposição 1	11	2.004,51	5.732,9

E = En * (1-Perd) = 4508,2 kWh

Perd = Perda de potência obtida:

Perda por sombreamento totais:	0,0 %
Perda por aumento de temperatura:	9,9 %
Perdas por descasamento:	5,0 %
Perdas de corrente continua:	1,5 %
Outras perdas:	5,0 %
Perdas na conversão:	1,8 %
Perdas totais:	21,4 %

PERDAS POR SOMBREAMENTO DE OBSTÁCULOS

Mês	Sem obstáculos [kWh]	Produção efetiva [kWh]	Perdas [kWh]
Janeiro	396,2	396,2	0,0 %
Fevereiro	370,0	370,0	0,0 %
Março	415,6	415,6	0,0 %
Abril	364,7	364,7	0,0 %
Maio	343,4	343,4	0,0 %
Junho	301,7	301,7	0,0 %
Julho	319,1	319,1	0,0 %
Agosto	371,8	371,8	0,0 %
Setembro	387,9	387,9	0,0 %
Outubro	414,9	414,9	0,0 %
Novembro	408,9	408,9	0,0 %
Dezembro	414,1	414,1	0,0 %
Ano	4508,2	4508,2	0,0 %

CABEAMENTO ELÉTRICO

O cabeamento elétrico será feito por meio de cabos condutores isolados, conforme a descrição abaixo:

- Seção do condutor de cobre calculado de acordo com a norma IEC / NBR
- Cabo tipo FG21, se a passagem de cabos for externa ou FG27 se a instalação for subterrânea.
- Tipo N07V-k se a instalação for para dutos em edifícios.

Os cabos também estarão de acordo com as normas IEC, com código e cores conforme a norma UNEL / NBR.
Para não comprometer a segurança dos trabalhadores durante a instalação, verificação ou manutenção, os condutores seguirão a tabela de cores conforme abaixo:

- Cabos de proteção: Amarelo-Verde (Obrigatório)
- Cabos de neutro: Azul claro (Obrigatório)
- Cabos de fase: Cinza/Marrom/Preto
- Cabos de circuito c.c.: Com indicação especifica de (+) para positivo e (-) para negativo.

Como pudemos notar a especificação exposta acima, a seção do condutor do sistema fotovoltaico é superdimensionado, com referimento a corrente e as distâncias limitadas.
Com estas seções, a queda de potencial está contida dentro 2% do valor medido a partir de qualquer módulo para o grupo de conversão.

A fiação: **Conjunto - Q. Campo**

Descrição	Valor
Identificação:	
Comprimento total:	20,68 m
Comprimento de dimensionam.:	13,29 m
Circuitos nas proximidades:	1
Temperatura ambiente:	30°
Tabela:	ABNT NBR 5410 (PVC/EPR)
Instalação:	3(B1) - Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção circular sobre parede
Instalações:	Em feixe: ao ar livre ou sobre superfície; embutidos; em conduto fechado
Tipo de cabo:	Unipolar
Material:	Cobre
Designação:	N1VV-K
Tipo de isolação:	PVC
Formação	2x(1x4)
N° condutores positivos/fase:	1
Seção positivo / fase:	4 mm²
N° condutores negativo/neutro:	1
Seção negativo/neutro:	4 mm²
N° condutores PE:	

Hi-Tech Troy do Brasil

Seção PE:	
Tensão nominal:	182,4 V
Corrente de funcionamento:	8,6 A
Corrente de curto-circ.to módulos	9,1 A

A fiação: **Q. Campo - Q. Inversor**

Descrição	Valor
Identificação:	
Comprimento total:	3,61 m
Comprimento de dimensionam.:	1,81 m
Circuitos nas proximidades:	1
Temperatura ambiente:	30°
Tabela:	ABNT NBR 5410 (PVC/EPR)
Instalação:	4(B2) - Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção circular sobre parede
Instalações:	Em feixe: ao ar livre ou sobre superfície; embutidos; em conduto fechado
Tipo de cabo:	Multipolar
Material:	Cobre
Designação:	N1VV-K
Tipo de isolação:	PVC
Formação	3G4
N° condutores positivos/fase:	1
Seção positivo / fase:	4 mm²
N° condutores negativo/neutro:	1
Seção negativo/neutro:	4 mm²
N° condutores PE:	1
Seção PE:	4 mm²
Tensão nominal:	182,4 V
Corrente de funcionamento:	8,6 A
Corrente de curto-circ.to módulos	9,1 A

A fiação: **Q. Inversor - Q. Medição**

Descrição	Valor
Identificação:	
Comprimento total:	1,79 m
Comprimento de dimensionam.:	1,79 m
Circuitos nas proximidades:	1
Temperatura ambiente:	30°
Tabela:	ABNT NBR 5410 (PVC/EPR)
Instalação:	3(B1) - Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção circular sobre parede
Instalações:	Em feixe: ao ar livre ou sobre superfície;

	embutidos; em conduto fechado
Tipo de cabo:	Unipolar
Material:	Cobre
Designação:	FM9 450/750 V
Tipo de isolação:	PVC
Formação	2x(1x6)+1G6
N° condutores positivos/fase:	1
Seção positivo / fase:	6 mm²
N° condutores negativo/neutro:	1
Seção negativo/neutro:	6 mm²
N° condutores PE:	1
Seção PE:	6 mm²
Tensão nominal:	231 V
Corrente de funcionamento:	12,2 A

Tabela cabos							
Identific.	Descrição	Form.	Des.	Código	Origem	Destin	Copr.
W00	Cabo conjunto 1 -Q.1	2x(1x4)	N1VV-K		Conjunto 1	Q.1	13,29 m
W01	Cabo conjunto 2 -Q.1	2x(1x4)	N1VV-K		Conjunto 2	Q.1	7,39 m
W02	Cabo Q.1 - inversor	3G4	N1VV-K		Q.1	inversor	1,81 m
W03	Cabo Q.1 - inversor	3G4	N1VV-K		Q.1	inversor	1,81 m
W04	Inversor cabo - q.m.	2x(1x6)+1 G6	FM9 450/750 V		Inversor	q.m.	1,79 m

Tabela resumo cabos					
Código	Construtor	Form.	Des.	Descrição	Copr.
Conjunto - Q. Campo		2x(1x4)	N1VV-K		41,36 m
Q. Campo - Q. Inversor		3G4	N1VV-K		3,61 m
Q. Inversor - Q. Medição		2x(1x6)+1 G6	FM9 450/750 V		5,37 m

QUADRO ELÉTRICO

- **Quadro de campo lado corrente contínua**
  Será prevista a instalação de um quadro de CC em cada conversor para conexões em paralelo dos módulos, medições e controle dos dados de entrada e saída em cada gerador fotovoltaico.

- **Quadro de paralelo lado corrente alternada**
  Será prevista a instalação de um quadro de paralelo em alternada localizado depois dos conversores estáticos, para realização da medição e controle dos dados de saída do inversor. Dentro será adicionado o sistema de interface com a rede e o medidor da sociedade distribuidora Energisa.

ISOLAÇÃO GALVÂNICA E ATERRAMENTO

É previsto o isolamento galvânico entre a corrente continua do sistema fotovoltaico e a rede. Soluções técnicas diversas podem ser utilizadas e são aceitáveis desde que respeitem as normas vigentes e de boas práticas.
O sistema fotovoltaico será supervisionado por um sistema IT, sem o polo aterrado.
Os conjunto dos módulos serão apresentados pelo número de módulos fotovoltaicos individualmente desligáveis; o sistema possui diodos de bloqueio e proteção contra surtos.
Por razões de segurança, se alguma parte da rede não suportar uma maior intensidade de corrente, esses sistemas devem ser protegidos individualmente.
A estrutura de suporte será aterrada.

SISTEMA DE MONITORAMENTO E CONTROLE (SMC)

O sistema de controlo e de monitoramento, permite, por meio de um computador e um software dedicado, de comunicar em cada instante com o sistema de modo a verificar a funcionalidade dos inversores instalados com a possibilidade de visualizar as indicações técnicas (tensão, corrente, a potência, etc.) para cada inversor.
Também pode ser lido no histórico de eventos do inversor.

Hiper Energy do Brasil

VERIFICAÇÕES

O instalador irá verificar e certificar os pontos seguintes:

- Produção de energia fotovoltaica gerada sob diferentes condições de operação;
- Continuidade elétrica entre os módulos e as ligações;
- Aterramento;
- Isolamento de circuitos elétricos;

O geradorGerador atenda às seguintes condições:

Limites de tensão

Tensão mínima Vn a 70,00 °C (125,8 V) maior do que Vmpp mínimo (120,0V)

Tensão máxima Vn a 10,00 °C (192,9 V) inferior a Vmpp máx. (500,0 V)

Tensão a vazio Vo a 10,00 °C (235,5 V) inferior a tensão máx. do inversor (590,0 V)

Tensão a vazio Vo a 10,00 °C (235,5 V) inferior a tensão máxima de isolamento (1000,0 V)

Limites de corrente

Corrente máxima de entrada relacionada a Isc (9,1 A) inferior a corrente máxima do inversor (12,0 A)

Limites de potência

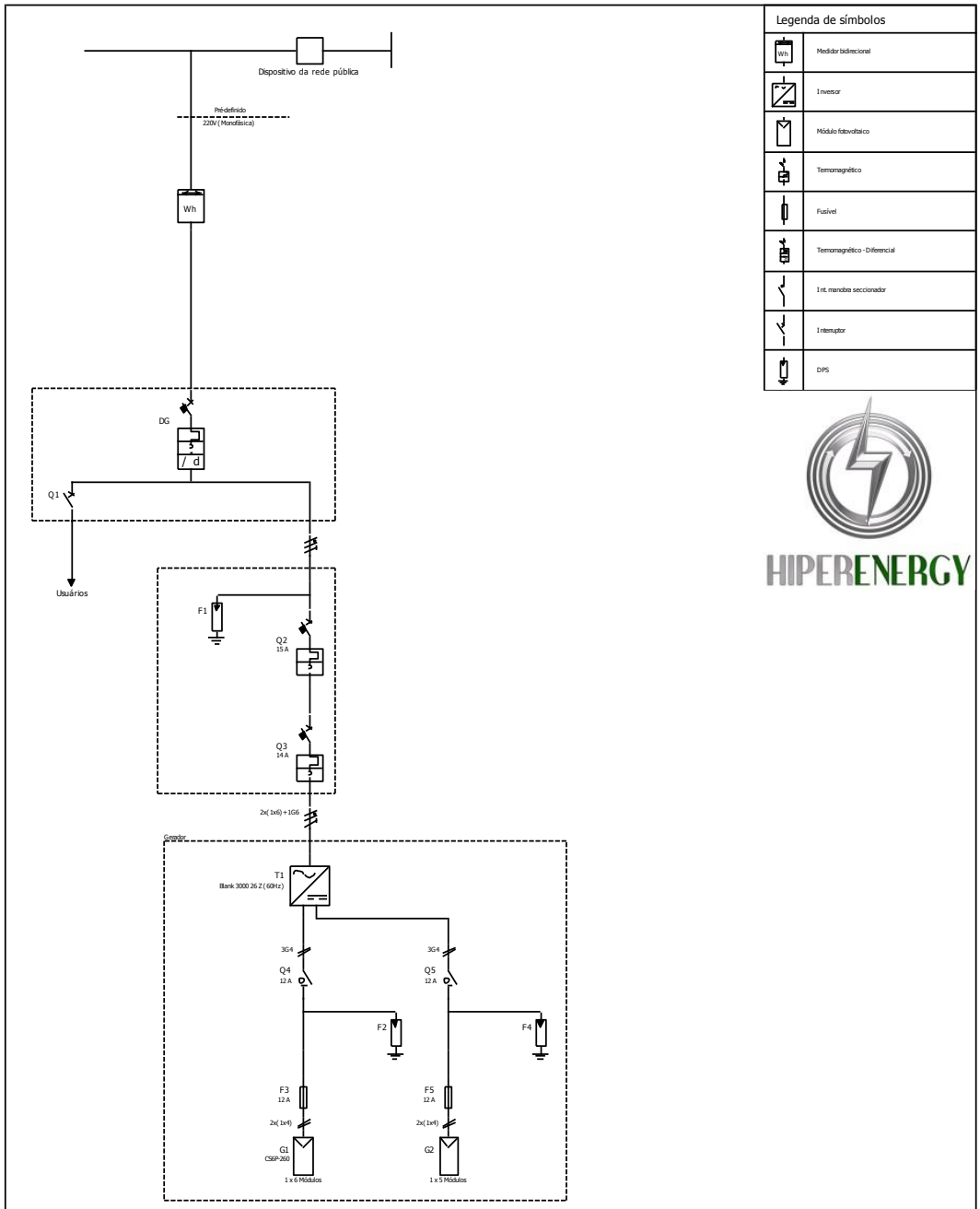
Dimensionamento de potência (93,8%) compreendido entre 80,0% e 120,0%

Hiper Energy do Brasil

LAYOUT DO GERADOR

Hiper

DIAGRAMA ELÉTRICO



DG: Dispositivo Geral
Dispositivo de Interface e Gerador integrado no Inversor

Modos de operação

Modo 1 - Dispositivo geral e de interface fechado.
As cargas do sistema são alimentados a partir da rede ou do gerador fotovoltaico
Modo 2 - O dispositivo geral fechado e dispositivo de interface aberto.
As cargas do sistema são alimentado apenas pela rede (evento anormal sobre o gerador ou da ausência de produção)
Modo 3 - Dispositivo geral e de interface aberto.
As cargas do sistema não são alimentados (falta de energia na rede)

Diagrama unifilar do sistema

Empresa	
Técnico responsável	
Cliente	
Potência nominal 2,86 kW	Data 06/08/2018

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Será emitido e divulgado pelo instalador, os seguintes documentos:

- Manual de uso e manutenção, incluindo a programação recomendada de manutenção;
- Projeto executivo "como construído", acompanhado com folhas de material instalado;
- Declaração dos controles efetuados e dos seus resultados;
- Declaração de conformidade;
- Certificado emitido por um laboratório acreditado INMETRO e quanto à conformidade com EN 61215 para os módulos de silício cristalino e IEC 61646 para módulos de filme fino;
- Certificado emitido por um laboratório acreditado quanto à conformidade do inversor DC / AC com as normas vigentes e, se o dispositivo de interface é usado dentro da própria unidade;
- Declarações de garantia relativas aos equipamentos instalados;
- Garantia de todo o sistema e o desempenho.

A empresa de instalação, além de realizar com o que está indicado no projeto, irá realizar todos os trabalhos em conformidade com a normas.

Hiper Energy do Brasil

RELATÓRIO ECONÔMICO

PARA A CONSTRUÇÃO DE

UM SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 2,86 kWp

NOMEADO

SITUADO NA CIDADE DE

João Pessoa

Rodovia Governador Antonio Mariz

58050 - João Pessoa

CLIENTE:

-

DATA

03/08/2018

TECNICO RESPONSÁVEL

Hiper Energy do Brasil

Análise econômica

Análise das condições econômicas para a instalação de um sistema de produção de eletricidade através da conversão fotovoltaica nomeado a ser instalado na cidade de João Pessoa para uma potência nominal de 2,86 kWp e energia produzida no primeiro ano de 4.508,2 kWh.

A análise de custo

Os custos para a construção do sistema estão listados abaixo:

Código	Descrição	U.M.	Qtd	Preço R$	Valor R$
	Módulos fotovoltaicos				
MFV5563	Módulo Standard CS6P-260P	PCE	11	663,05	7.293,55
	Inversor				
INV2034	Inversor Blank 3000 26 Z - 220V	cad	1	3.100,00	3.100,00
	Cabos				
	Conjunto - Q. Campo N1VV-K 2x(1x4)	m	20,68	0,00	0,00
	Conjunto - Q. Campo N1VV-K 2x(1x4)	m	20,68	0,00	0,00
	Q. Campo - Q. Inversor N1VV-K 3G4	m	3,61	0,00	0,00
	Q. Inversor - Q. Medição FM9 450/750 V 2x(1x6)+1G6	m	1,79	0,00	0,00
	Q. Inversor - Q. Medição FM9 450/750 V 2x(1x6)+1G6	m	1,79	0,00	0,00
	Q. Inversor - Q. Medição FM9 450/750 V 2x(1x6)+1G6	m	1,79	0,00	0,00
	Proteções				
	Porta Fusível	cad	2	0,00	0,00
	Fusível	cad	4	0,00	0,00
	Int. manobra seccionador	cad	2	0,00	0,00
	Termomagnético	cad	1	0,00	0,00
	Dispositivo de proteção contra surtos				
	SPD sobre o ponto de união das conjunto de módulos paralelas.	cad	2	0,00	0,00
	SPD ingressando rede	cad	1	0,00	0,00
	Projeto		1	1.200,00	1.200,00
	Aaptador wifi/inversor		1	397,00	397,00
	Estruturas		1	1.000,00	1.000,00
	Total				12.990,55

Resumo (ICMS incluído)

Custo total dos módulos:	R$ 7.293,55
Custo total dos inversor:	R$ 3.100,00

Hiper Energy do Brasil

Outros custos:	R$ 2.597,00
Custo total do sistema:	**R$ 12.990,55**
Com ICMS de	R$ 0,00
Custo específico:	**R$/kWp 4.542,15**

Para os custos iniciais de construção são adicionados os custos de manutenção anuais e extraordinárias:

Os custos anuais

Descrição	%	Valor R$
	0	0,00
Total		0,00

Os custos extraordinários

Descrição	Ano	Valor R$
	1	0,00
Total		0,00

Hiper Energy do Brasil

Financiamento

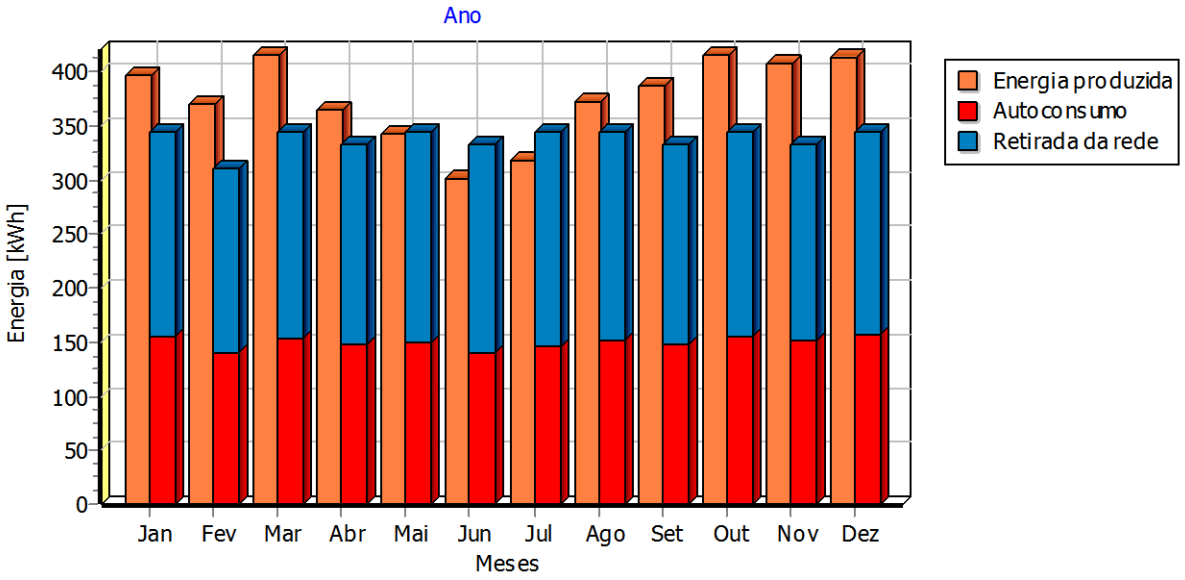
Financiado com recursos próprios.

Consumo de energia da unidade consumidora

Consumo de energia da unidade consumidora anual:	4.051 kWh
Energia autoconsumida:	1.794 kWh
Energia introduzida:	2.714,2 kWh
Energia comprada:	2.257 kWh

Perfil de carga:

Descrição	Consumo [kWh]	Potência [W]
Pré-definido	4.051	462,4



do Brasil

Retorno financeiro

A simulação do desempenho econômico do sistema no período de cálculo é feito considerando os seguintes parâmetros:

Degradação anual do sistema devido ao envelhecimento:	0,8 %
Taxa de inflação anual:	4 %
Taxa de reajuste da tarifa:	10 %
Taxa de juros ativo:	0 %
Taxa de juros passivo:	-

Retorno sobre o investimento feito pelo sistema fotovoltaico:

Consumo simultâneo de energia produzida:	1.794 kWh
Data fim análise:	02/08/2043
Economia de consumo:	R$ 148.116,90
Economia para a compensação:	R$ 174.851,06
Juros ativo:	R$ 0,00
Outras receitas:	R$ 0,00
Custos anuais a deduzir:	R$ 20.314,88
Total:	**R$ 302.653,08**
Capital investido:	R$ 12.990,55
Fluxo de caixa acumulado:	**R$ 289.662,53**
Custos extraordinários	R$ 0,00
Período de amortização (anos):	5
Montante após anos 27:	R$ 302.653,08
Taxa composta de retorno:	12,368 %
Taxa de desconto:	2 %
VPL:	R$ 197.190,72
TIR:	28,59 %

No cálculo do segundo ano e seguintes são considerados o coeficiente de degradação do sistema, a taxa de inflação e a taxa de juros ativo do capital acumulado.

Hiper Energy do Brasil

Os detalhes dos cálculos a 31 dezembro 2017:

Economia de consumo:

Energia autoconsumida:	762,1 kWh *
Tarifa de autoconsumo:	0,7279 R$/kWh +
Arredondamento:	0,00 R$ =
Total:	554,73 R$

Economia para a compensação:

Energia compensada:	936,0 kWh *
Tarifa de energia comprada	0,7279 R$/kWh +
Arredondamento:	-0,01 R$ =
Total:	681,30 R$

Custos anuais:

Custos anuais:	0,00 R$ +
Custo de disponibilidade:	109,20 R$ =
Total:	109,20 R$

Hiper Energy do Brasil

Tabela de análise econômica para o período de observação:

Ano	2017	2018	2019	2020	2021
Energia produzida [kWh]	1.997,6	4.492,2	4.456,3	4.433,0	4.384,1
Consumo simultâneo da energia pr. [kWh]	762,1	1.793,6	1.792,1	1.795,4	1.788,8
Crédito de consumos acumulados [kWh]	299,5	740,7	1.145,9	1.516,9	1.849,9
Receita [R$]	1.236,03	3.243,57	3.567,95	3.935,49	4.317,20
Economia cons. simult. [R$]	554,73	1.436,10	1.578,37	1.739,49	1.906,35
Economia para a compensação [R$]	681,30	1.807,47	1.989,58	2.196,00	2.410,85
Juros ativos [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Saídas [R$]	109,20	288,21	316,95	348,69	383,46
Custo de disponibilidade [R$]	109,20	288,21	316,95	348,69	383,46
Custos anuais [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Despesas extraordinárias [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juros sobre o descoberto [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Parcela financiamento [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Taxa de juros [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Capital [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fluxo de caixa [R$]	1.126,83	2.955,36	3.251,00	3.586,80	3.933,74
Fluxo de caixa acumulado [R$]	-11.863,72	-8.908,36	-5.657,36	-2.070,56	1.863,18
Capital próprio [R$]	12.990,55	12.990,55	12.990,55	12.990,55	12.990,55
Montante (economia) [R$]	1.126,83	4.082,19	7.333,19	10.919,99	14.853,73
Taxa de rendimento composta [%]	-91,326	-43,943	-17,354	-4,248	2,717
VPL [R$]	-11.885,81	-9.045,21	-5.981,73	-2.668,08	894,83
TIR [%]	-91,33	-47,77	-21,60	-5,85	4,03

Hiper Energy do Brasil

Ano	2022	2023	2024	2025	2026
Energia produzida [kWh]	4.347,9	4.311,9	4.288,4	4.239,7	4.203,5
Consumo simultâneo da energia pr. [kWh]	1.787,1	1.785,5	1.788,7	1.782,0	1.780,2
Crédito de consumos acumulados [kWh]	1.917,5	1.733,8	1.551,7	1.366,1	1.182,5
Receita [R$]	4.748,89	5.223,86	5.762,06	6.321,00	6.953,14
Economia cons. simult. [R$]	2.095,05	2.302,44	2.537,28	2.780,48	3.055,42
Economia para a compensação [R$]	2.653,84	2.921,42	3.224,78	3.540,52	3.897,72
Juros ativos [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Saídas [R$]	421,78	464,16	510,54	561,62	617,68
Custo de disponibilidade [R$]	421,78	464,16	510,54	561,62	617,68
Custos anuais [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Despesas extraordinárias [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juros sobre o descoberto [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Parcela financiamento [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Taxa de juros [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Capital [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fluxo de caixa [R$]	4.327,11	4.759,70	5.251,52	5.759,38	6.335,46
Fluxo de caixa acumulado [R$]	6.190,29	10.949,99	16.201,51	21.960,89	28.296,35
Capital próprio [R$]	12.990,55	12.990,55	12.990,55	12.990,55	12.990,55
Montante (economia) [R$]	19.180,84	23.940,54	29.192,06	34.951,44	41.286,90
Taxa de rendimento composta [%]	6,710	9,126	10,651	11,625	12,258
VPL [R$]	4.737,18	8.880,79	13.362,91	18.182,10	23.379,39
TIR [%]	10,56	15,06	18,26	20,59	22,33

Hiper Energy do Brasil

Ano	2027	2028	2029	2030	2031
Energia produzida [kWh]	4.167,7	4.143,7	4.095,6	4.059,3	4.023,3
Consumo simultâneo da energia pr. [kWh]	1.778,3	1.781,4	1.774,5	1.772,5	1.770,5
Crédito de consumos acumulados [kWh]	998,9	816,3	631,2	447,5	263,9
Receita [R$]	7.648,45	8.436,36	9.254,55	10.180,09	11.198,18
Economia cons. simult. [R$]	3.357,41	3.699,57	4.053,84	4.454,25	4.894,11
Economia para a compensação [R$]	4.291,04	4.736,79	5.200,71	5.725,84	6.304,07
Juros ativos [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Saídas [R$]	679,35	747,30	821,99	904,25	994,85
Custo de disponibilidade [R$]	679,35	747,30	821,99	904,25	994,85
Custos anuais [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Despesas extraordinárias [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juros sobre o descoberto [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Parcela financiamento [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Taxa de juros [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Capital [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fluxo de caixa [R$]	6.969,10	7.689,06	8.432,56	9.275,84	10.203,33
Fluxo de caixa acumulado [R$]	35.265,45	42.954,51	51.387,07	60.662,91	70.866,24
Capital próprio [R$]	12.990,55	12.990,55	12.990,55	12.990,55	12.990,55
Montante (economia) [R$]	48.256,00	55.945,06	64.377,62	73.653,46	83.856,79
Taxa de rendimento composta [%]	12,671	12,939	13,102	13,195	13,238
VPL [R$]	28.984,38	35.047,15	41.565,79	48.595,72	56.176,94
TIR [%]	23,65	24,67	25,47	26,10	26,60

Hiper Energy do Brasil

Ano	2032	2033	2034	2035	2036
Energia produzida [kWh]	3.998,9	3.951,3	3.915,2	3.879,1	3.854,4
Consumo simultâneo da energia pr. [kWh]	1.773,4	1.766,3	1.764,2	1.762,0	1.764,9
Crédito de consumos acumulados [kWh]	91,0	63,6	50,6	38,6	28,7
Receita [R$]	12.351,80	13.307,71	14.452,98	15.748,56	17.203,48
Economia cons. simult. [R$]	5.392,22	5.907,71	6.490,64	7.131,08	7.856,70
Economia para a compensação [R$]	6.959,58	7.400,00	7.962,34	8.617,48	9.346,78
Juros ativos [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Saídas [R$]	1.094,22	1.037,16	1.019,48	1.105,59	1.102,93
Custo de disponibilidade [R$]	1.094,22	1.037,16	1.019,48	1.105,59	1.102,93
Custos anuais [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Despesas extraordinárias [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juros sobre o descoberto [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Parcela financiamento [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Taxa de juros [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Capital [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fluxo de caixa [R$]	11.257,58	12.270,55	13.433,50	14.642,97	16.100,55
Fluxo de caixa acumulado [R$]	82.123,82	94.394,37	107.827,87	122.470,84	138.571,39
Capital próprio [R$]	12.990,55	12.990,55	12.990,55	12.990,55	12.990,55
Montante (economia) [R$]	95.114,37	107.384,92	120.818,42	135.461,39	151.561,94
Taxa de rendimento composta [%]	13,250	13,230	13,189	13,133	13,070
VPL [R$]	64.377,48	73.140,65	82.546,24	92.597,62	103.432,83
TIR [%]	27,01	27,33	27,60	27,81	27,99

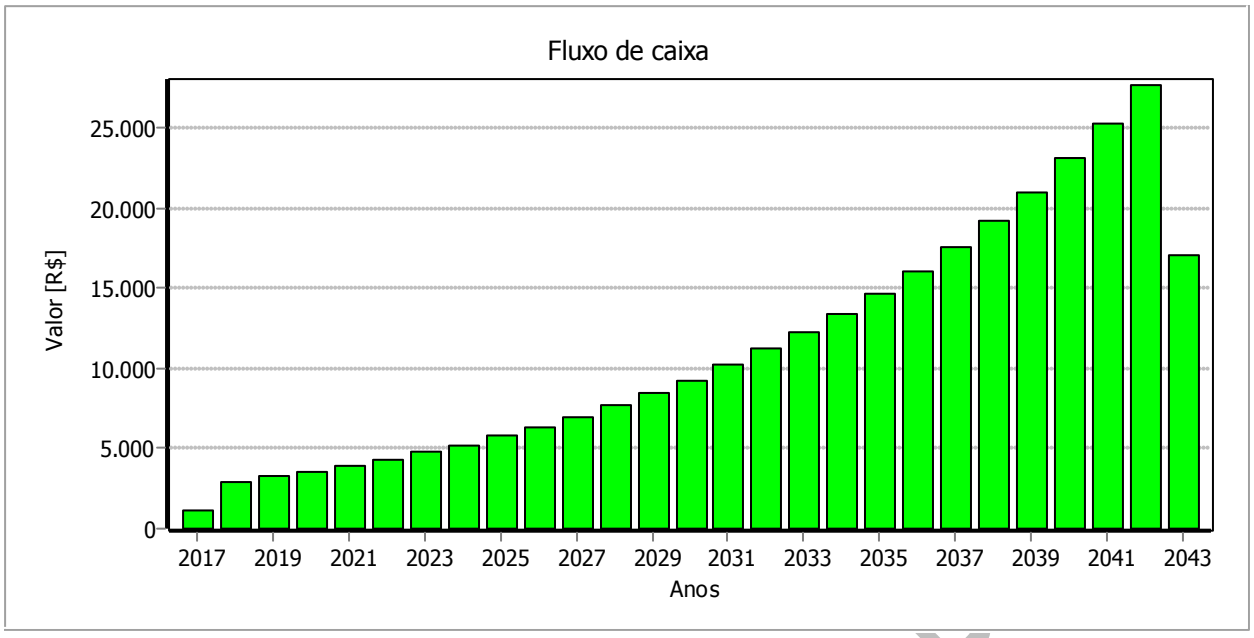
Hiper Energy do Brasil

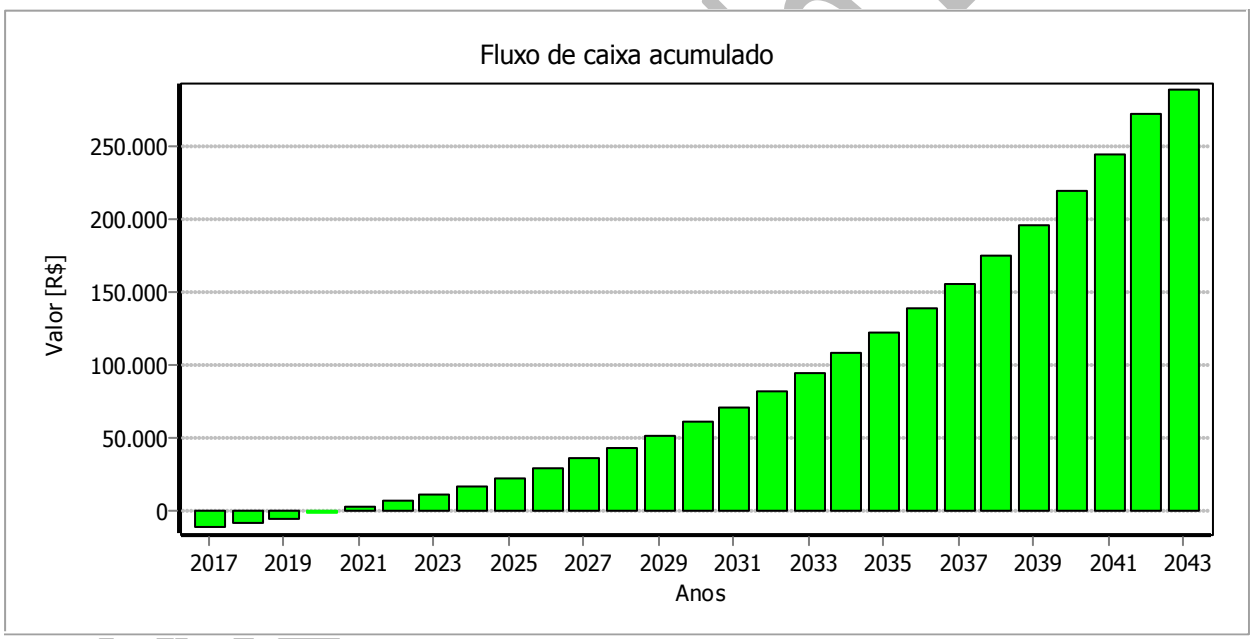
Ano	2037	2038	2039	2040	2041
Energia produzida [kWh]	3.807,0	3.770,8	3.734,8	3.709,8	3.662,7
Consumo simultâneo da energia pr. [kWh]	1.757,7	1.755,1	1.752,3	1.754,5	1.746,7
Crédito de consumos acumulados [kWh]	18,7	8,8	1,2	0,0	0,0
Receita [R$]	18.691,75	20.366,65	22.176,54	24.187,44	26.261,31
Economia cons. simult. [R$]	8.607,17	9.454,23	10.383,21	11.435,42	12.523,19
Economia para a compensação [R$]	10.084,58	10.912,42	11.793,33	12.752,02	13.738,12
Juros ativos [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Saídas [R$]	1.139,73	1.161,57	1.114,17	1.032,44	967,92
Custo de disponibilidade [R$]	1.139,73	1.161,57	1.114,17	1.032,44	967,92
Custos anuais [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Despesas extraordinárias [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juros sobre o descoberto [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Parcela financiamento [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Taxa de juros [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Capital [R$]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fluxo de caixa [R$]	17.552,02	19.205,08	21.062,37	23.155,00	25.293,39
Fluxo de caixa acumulado [R$]	156.123,41	175.328,49	196.390,86	219.545,86	244.839,25
Capital próprio [R$]	12.990,55	12.990,55	12.990,55	12.990,55	12.990,55
Montante (economia) [R$]	169.113,96	188.319,04	209.381,41	232.536,41	257.829,80
Taxa de rendimento composta [%]	12,999	12,924	12,847	12,772	12,696
VPL [R$]	115.013,23	127.435,82	140.792,65	155.188,61	170.605,71
TIR [%]	28,14	28,26	28,35	28,44	28,51

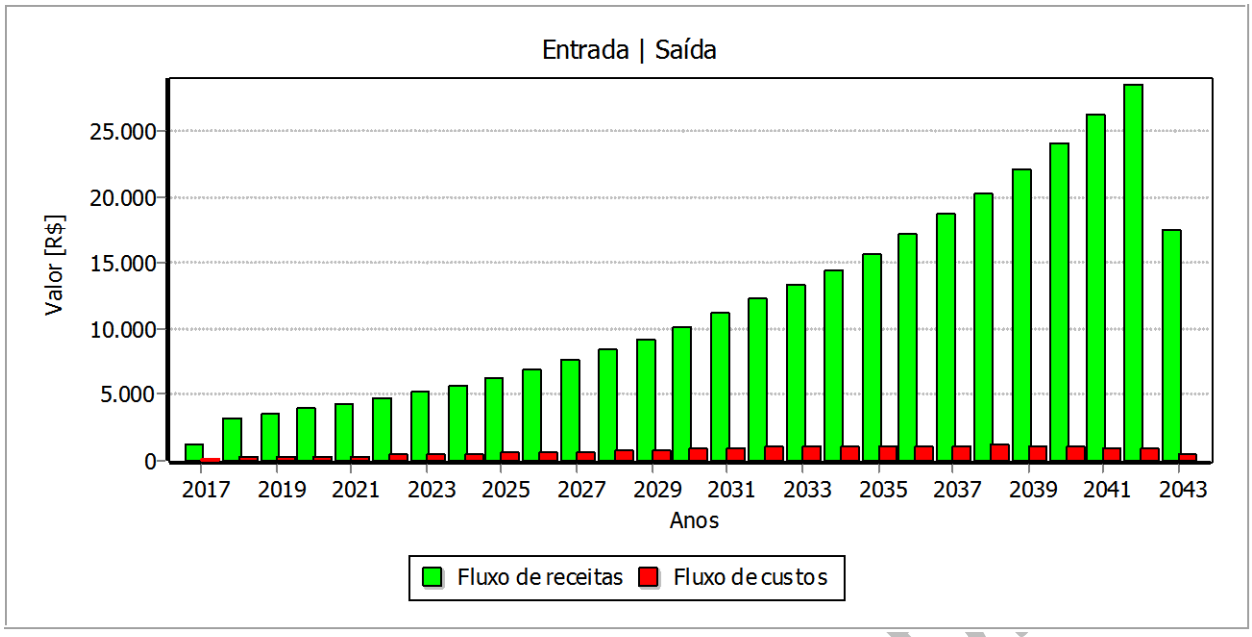
Hiper Energy do Brasil

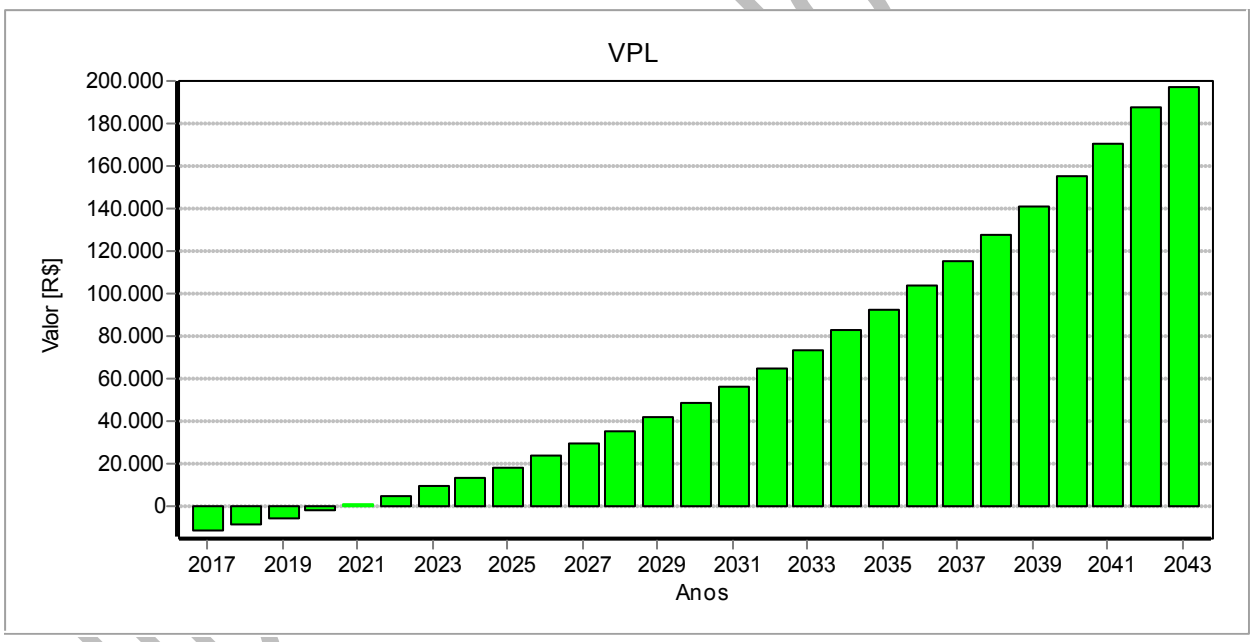
Ano	2042	2043			
Energia produzida [kWh]	3.626,5	2.027,3			
Consumo simultâneo da energia pr. [kWh]	1.743,6	1.007,4			
Crédito de consumos acumulados [kWh]	0,0	0,0			
Receita [R$]	28.603,03	17.589,89			
Economia cons. simult. [R$]	13.751,18	8.739,26			
Economia para a compensação [R$]	14.851,85	8.850,63			
Juros ativos [R$]	0,00	0,00			
Saídas [R$]	887,57	482,07			
Custo de disponibilidade [R$]	887,57	482,07			
Custos anuais [R$]	0,00	0,00			
Despesas extraordinárias [R$]	0,00	0,00			
Juros sobre o descoberto [R$]	0,00	0,00			
Parcela financiamento [R$]	0,00	0,00			
Taxa de juros [R$]	0,00	0,00			
Capital [R$]	0,00	0,00			
Fluxo de caixa [R$]	27.715,46	17.107,82			
Fluxo de caixa acumulado [R$]	272.554,71	289.662,53			
Capital próprio [R$]	12.990,55	12.990,55			
Montante (economia) [R$]	285.545,26	302.653,08			
Taxa de rendimento composta [%]	12,620	12,368			
VPL [R$]	187.167,90	197.190,72			
TIR [%]	28,57	28,59			

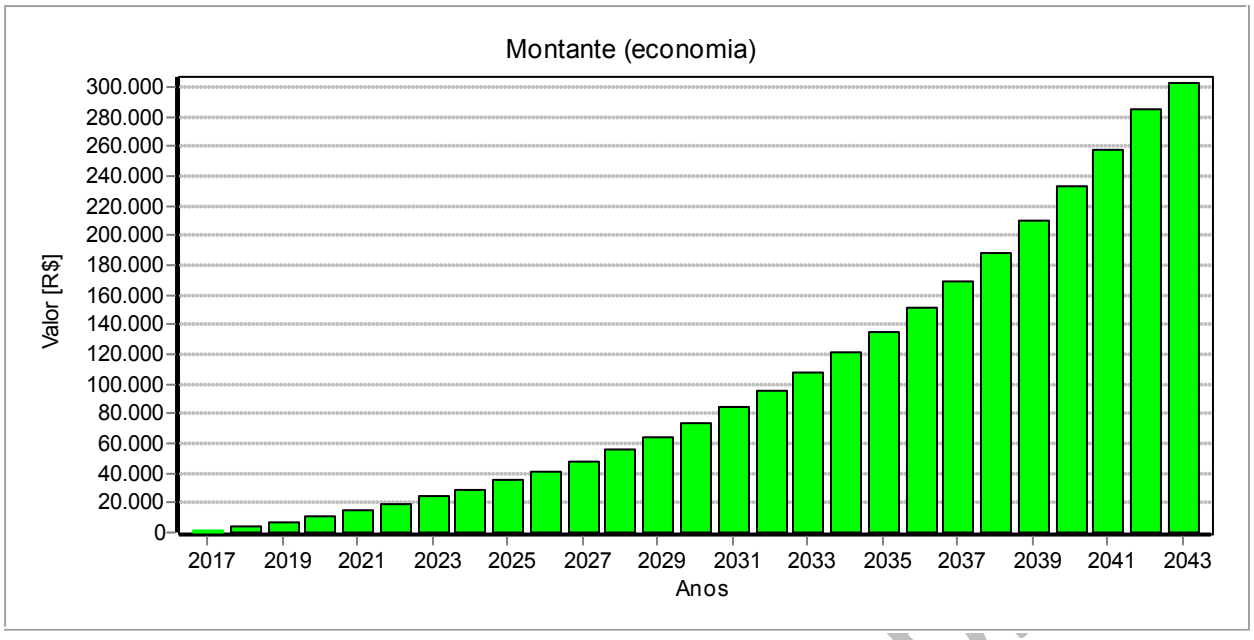
Hiper Energy do Brasil

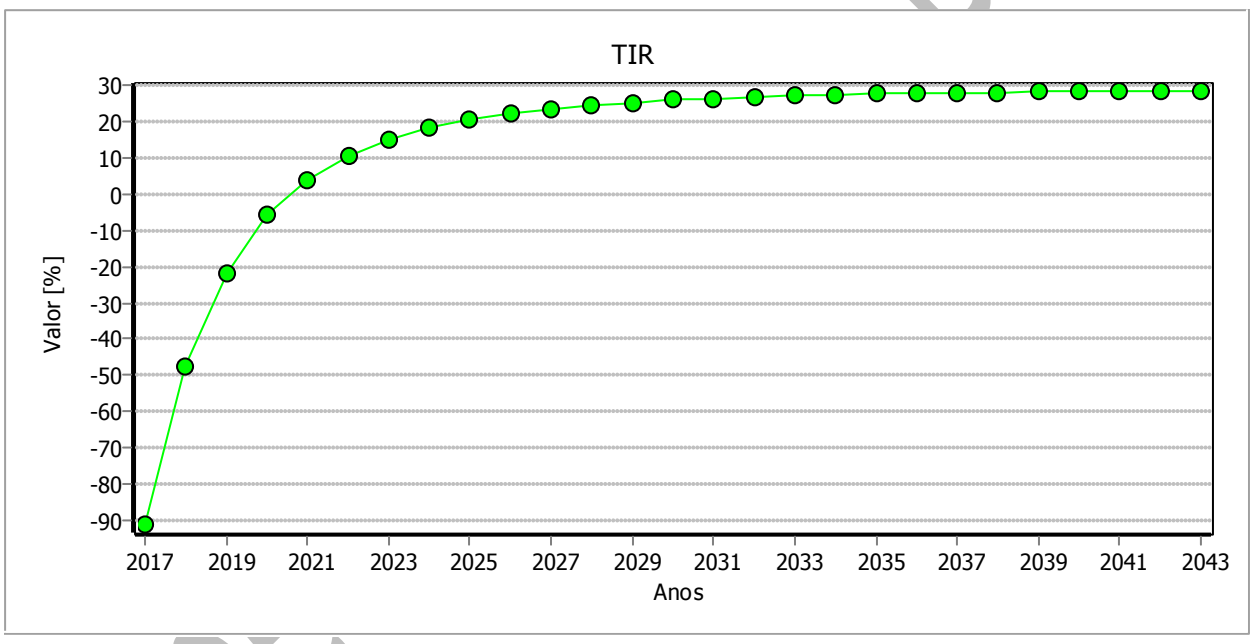

Fluxo de caixa
Valor [R$]
25.000
20.000
15.000
10.000
5.000
0
2017
2019
2021
2023
2025
2027
2029
2031
2033
2035
2037
2039
2041
2043
Anos

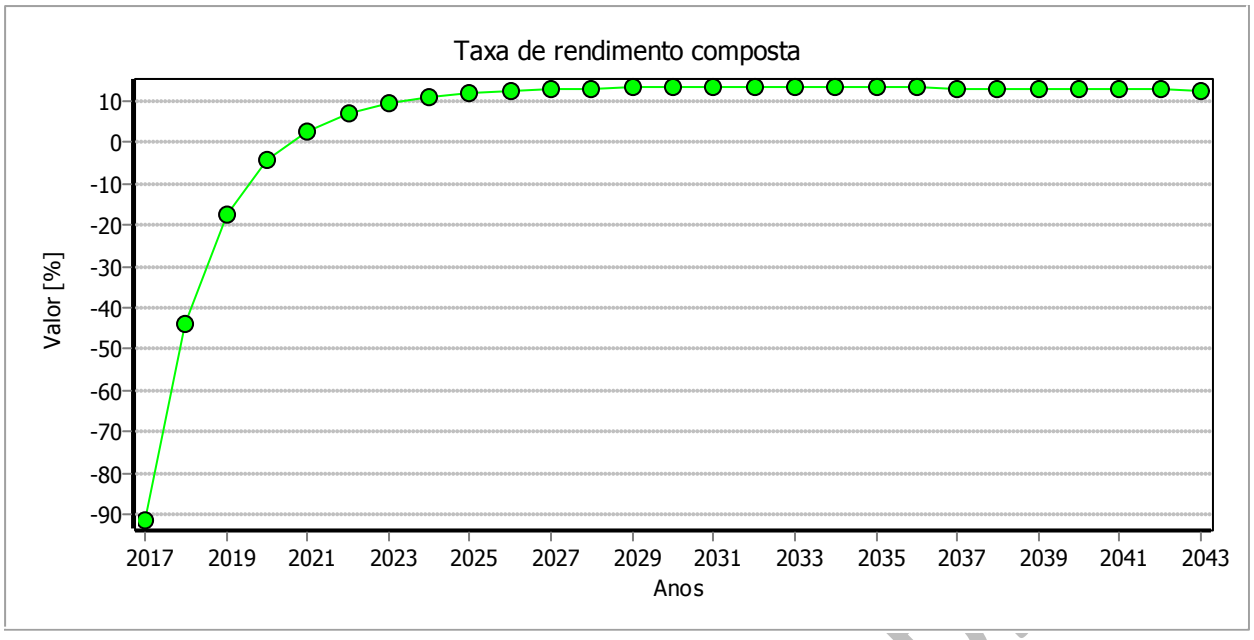

Fluxo de caixa acumulado
Valor [R$]
250.000
200.000
150.000
100.000
50.000
0
2017
2019
2021
2023
2025
2027
2029
2031
2033
2035
2037
2039
2041
2043
Anos


Entrada | Saída
Valor [R$]
25.000
20.000
15.000
10.000
5.000
0
2017
2019
2021
2023
2025
2027
2029
2031
2033
2035
2037
2039
2041
2043
Anos
Fluxo de receitas
Fluxo de custos


VPL
Valor [R$]
200.000
180.000
160.000
140.000
120.000
100.000
80.000
60.000
40.000
20.000
0
2017
2019
2021
2023
2025
2027
2029
2031
2033
2035
2037
2039
2041
2043
Anos


Montante (economia)
Valor [R$]
300.000
280.000
260.000
240.000
220.000
200.000
180.000
160.000
140.000
120.000
100.000
80.000
60.000
40.000
20.000
0
2017
2019
2021
2023
2025
2027
2029
2031
2033
2035
2037
2039
2041
2043
Anos


TIR
Valor [%]
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80
-90
2017
2019
2021
2023
2025
2027
2029
2031
2033
2035
2037
2039
2041
2043
Anos



Hiper Energy do B