



**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO-
BRASILEIRA**
INSTITUTO DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - IEDS
MESTRADO ACADÊMICO EM SOCIOBIODIVERSIDADE E TECNOLOGIAS
SUSTENTÁVEIS - MASTS

TÚLIO PINHEIRO MOURA

SISTEMA DE AQUAPONIA INTEGRADA COM ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA: UMA ALTERNATIVA ECONÔMICA PARA COMUNIDADES
RURAIS

REDENÇÃO - CEARÁ

2021

TÚLIO PINHEIRO MOURA

SISTEMA DE AQUAPONIA INTEGRADA COM ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA:
UMA ALTERNATIVA ECONÔMICA PARA COMUNIDADES RURAIS

Qualificação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis (MASTS) da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis

Área de Concentração: Tecnologia e Desenvolvimento Sustentável.

Orientador: Prof. Dr. Juan Carlos Alvarado Alcócer

Co-orientadora: Profa. Dra. Olienaide Ribeiro de Oliveira Pinto

REDENÇÃO - CEARÁ

2021

TÚLIO PINHEIRO MOURA

SISTEMA DE AQUAPONIA INTEGRADA COM ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA:
UMA ALTERNATIVA ECONÔMICA PARA COMUNIDADES RURAIS

Qualificação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sócio Biodiversidade e Tecnologias Sustentáveis (MASTS) da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

Área de Concentração: Tecnologia e Desenvolvimento Sustentável.

Aprovada em: ____ / ____ / ____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Juan Carlos Alvarado Alcócer (Orientador)
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (MASTS)

Profa. Dra. Olienaide Ribeiro de Oliveira Pinto (Co-orientadora)
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (MASTS)

Profa. Dra. Maria Cristiane Martins de Souza (Examinadora)
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (IEDS)

Prof. Dr. Ciro de Miranda Pinto (Examinador)
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (IDR)

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Sistema de Bibliotecas da UNILAB
Catalogação de Publicação na Fonte.

Moura, Tulio Pinheiro.

M929s

Sistema de aquaponia integrada com energia solar fotovoltaica:
uma alternativa econômica para comunidades rurais / Tulio Pinheiro
Moura. - Redenção, 2021.

Of: il.

Dissertação - Curso de Sociobiodiversidade e Tecnologias
Sustentáveis, Mestrado Acadêmico em Sociobiodiversidade e
Tecnologias Sustentáveis, Universidade da Integração Internacional
da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2021.

Orientador: Prof. Dr. Juan Carlos Alvarado Alcócer.

1. Energia Solar. 2. Água - Experiências. 3. Comunidades
Rurais. I. Título

CE/UF/BSCA

CDD 363.61

RESUMO

Em meio à escassez de recursos naturais, dentre os quais a água, torna-se pouco provável que as atuais formas de produções agrícolas acompanhem o crescimento da população mundial a ponto de fornecer alimentos, rações para animais e fontes alternativas de combustíveis, fazendo com que novas alternativas sejam pensadas e testadas nos âmbitos locais para diminuir a pressão sobre o meio ambiente e gerar novas alternativas aos produtores rurais. A aquaponia pode ser considerada uma técnica inovadora, pois consiste na produção de alimentos com baixo consumo de água e alto aproveitamento do resíduo orgânico gerado, sendo a alternativa de produção de peixes e vegetais menos impactante ao meio ambiente. Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi desenvolver um sistema de aquaponia integrada com energia solar fotovoltaica como uma alternativa para comunidades rurais. O trabalho foi desenvolvido no município de Aracoiaba, no qual foi construído um sistema de aquaponia do tipo NFT (Nutrient Film Technique) implantado com itens alternativos, num espaço de 63 m² onde foram construídos dois tanques com capacidade de 2 m³ para criação de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e 16,0 m² de bancada hidropônica para o cultivo de alface (*Lactuca sativa* L.). A densidade de estocagem foi de 55 peixes/m³, com peso médio dos alevinos de 10 g revertidos sexualmente. Além disso, foi implantado um sistema de energia solar para atender a demanda energética do sistema. Diante do exposto, o presente trabalho busca contribuir para o estudo e desenvolvimento de um sistema de aquaponia de baixo custo com energia solar fotovoltaica, para verificar a viabilidade financeira do sistema em uma aplicação rural que servirá de auxílio em tomada de decisão para produtores rurais.

Palavras-chave: Sistema de Aquaponia, cultivo integrado, sustentabilidade, energia solar fotovoltaica.

ABSTRACT

Amidst the scarcity of natural resources, such as water, it becomes unlikely that the current forms of active agricultural production reach the world population growth and satisfy the human need for food, as well as animal feed and alternative sources of consumption, make new alternatives considered and tested in local places to reduce pressure on the environment and generate new alternatives for farmers. Aquaponics can be considered an innovative technique, as it consists of producing food with low water consumption and high use of organic waste, being an alternative to the production of fish and vegetables with less impact on the environment. In this sense, the objective of the work was to develop an aquaponics system integrated with photovoltaic solar energy as an alternative for small agricultural communities. The work was developed in the municipality of Aracoiaba, none was built as an aquaponics system of the NFT type (Nutrient Film Technique) implanted with alternative items, in a space of 63 m² where two tanks with a capacity of 2 m³ were built for the production of tilapia Nile (*Oreochromis niloticus*) and 16.0 m² of hydroponic bench for growing lettuce (*Lactuca sativa* L.). The stocking density was 55 fish / m³, with an average weight of fry of 10 g reverted sexually. In addition, a solar energy system was implemented to meet the system's energy demand. In view of the above, the present work seeks to contribute to the study and development of a low-cost aquaponics system with photovoltaic solar energy, to verify the financial viability of the system in a rural application that serves to help in the decision making of rural use.

Keywords: Aguaponia system, integrated cultivation, sustainability, photovoltaic solar energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Projeções Da Geração Distribuída No Brasil.....	18
Figura 2.1 – Sistema Básico De Aquaponia.....	20
Figura 2.3 – Níveis De Amônia, Nitrito E Nitrato Durante As Primeiras Semanas Em Um Sistema De Aquaponia Em Recirculação.....	21
Figura 2.4 – Sistema De Produção Nft Em Canaletas.....	22
Figura 3.1 – Semicondutor Tipo N Com Excesso De Elétrons	28
Figura 3.2 – Semicondutor Tipo P Com Excesso De Lacunas.....	29
Figura 3.3 – Barreira De Potencial Numa Região De Transição Pn.....	29
Figura 3.4 – Célula Policristalina.....	30
Figura 3.5 – Célula Monocristalina.....	31
Figura 3.6 – Barreira De Potencial Numa Região De Transição Pn.....	32
Figura 3.7 - Circuito Equivalente Real De Uma Célula Fotovoltaica.....	33
Figura 3.8 – Curva Característica Ixv.	35
Figura 3.9 - Curva Característica P _{xv}	36
Figura 3.10 - Curvas Características De Um Módulo Fotovoltaico Para Várias Densidades De Potência Incidente E Temperatura Do Módulo Igual A 25 °C. (A) Curva I-V; (B) Curva P-V.....	37
Figura 3.11 - Curvas Características De Um Painel Fotovoltaico Para Várias Temperaturas E Radiação Incidente De 1000w/M ² . (A) Curva I-V; (B) Curva P-V.	37
Figura 3.12 – Orientação Do Módulo Solar: Ângulo De Inclinação E Ângulo De Incidência Da Radiação Solar.	38
Figura 4.1 – Vista Aérea Do Sistema De Aquaponia.....	41
Figura 4.2 – Tanques De Criação Dos Peixes Antes (A) E Depois Do Povoamento (B)...	42
Figura 4.3 – Decantador Do Tipo Cilíndrico Ligado Ao Tanque De Criação Dos Peixes	43
Figura 4.5 – Biofiltros Aeróbios (A) E Anaeróbios (B)	44
Figura 4.6 – Componentes Hidropônico Do Sistema De Aquaponia	45
Figura 4.7 –Caixas De 250l Utilizadas Como Sump (A) E Sistema De Aquaponia (B)....	46
Figura 4.8 – Sistema De Bombeamento E Aeração Por Eletrobombas Alternativas.....	47
Figura 4.9 – Módulo Fotovoltaico Byd 335wp	48
Figura 4.10 - Inversor <i>Canadian</i> 1,5kw	48
Figura 4.11 - String Box Cc	49

Figura 5.1 - Dados De Irradiação Solar Diária Média Adquiridos No Banco De Dados Da <i>Sundata/Cresesb</i>	66
Figura 5.2 - Dados De Irradiação Solar Diária Média Adquiridos No Banco De Dados Da <i>Sundata/Cresesb</i> Para A Cidade De Referência.....	66
Figura 5.3 - Estimativa De Geração Do Sistema De Energia Solar Fotovoltaica	69
Figura 5.4 – Imagem Aérea Do Sistema De Aguaponia E Do Sistema Fotovoltaico	69
Figura 5.5 – Inversor E Sistema De Proteção	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Quantidade Total De Alface Produzida Durante As Três Fases De Criação Dos Peixes No Sistema De Aquaponia.	45
Tabela 4.2 – Itens Utilizados Na Instalação Do Sistema De Aquaponia.....	50
Tabela 4.3 - Recomendações De Fornecimento De Rações Para Tilápia-Do-Nilo Em Diferentes Fases De Desenvolvimento.	53
Tabela 4.4 - Composição Nutricional Da Ração Utilizada No Arraçoamento Das Tilápias.	53
Tabela 5.1 - Percentual E Quantidade De Ração Sugerida E Ofertada Diariamente, Consumo Total De Ração Por Tanque E Biomassa Dos Peixes Nos Tanques 1 E 2 Obtidos A Partir Das Biometrias Realizadas Durante As Fases Inicial, Crescimento E Engorda.....	59
Tabela 5.2 - Peso Médio Dos Peixes Obtidos A Partir Das Biometrias, Quantidade Diária De Ração Ofertada Por Tanque, Frequência E Quantidade Fracionada Por Refeição Durante As Fases Inicial, Crescimento E Engorda.	60
Tabela 5.3 - Médias Dos Parâmetros De Qualidade Da Água, Potencial Hidrogeniônico (Ph), Temperatura Em Graus Celsius (T°C), Amônia Tóxica (Nh3), Nitrito (No2-), Nitrato (No3-), Oxigênio Dissolvido (O2d), Condutividade Elétrica (Ce), Total Dissolved Solids (Tds) Dureza Em Carbonatos (Kh) E Gás Carbônico (Co2) Durante O Ciclo De Produção De Tilápias Do Nilo No Sistema De Aquaponia Nas Fases De Criação Inicial, Crescimento E Engorda Nos Tanques 1 E 2.	61
Tabela 5.4 - Desempenho Produtivo Das Tilápias Obtidos A Partir Dos Indicadores De Produção Ganho De Peso Individual Diário (Gpid), Peso Médio (Pm), Biomassa Estimada (Be), Conversão Alimentar (Ca), Taxa De Sobrevivência (Sv), Densidade De Estocagem (De), Ciclo De Produção (Cp) E Produção Total (Pt).	64
Tabela 5.5 – Dispositivos Utilizados No Sistema De Aquaponia	65
Tabela 5.7 – Especificações Técnicas Do Módulo Fv	68
Tabela 5.8 – Especificações Mecânicas Do Módulo Fv	68
Tabela 5.9 – Especificações Do Inversor <i>Canadia</i>	68
Tabela 5.10 – Parâmetros De Produção Do Sistema De Aquaponia.....	70
Tabela 5.11 – Descontos Na Tarifa De Energia Para Unidade De Baixa Renda	72

Tabela 5.12 – Economia Total Anual Estimada Com O Uso De Créditos Gerados	73
Tabela 5.13 – Índice De Rendimento Anual Da Poupança	74
Tabela 5.14 – Estimativa Do Payback Descontado.....	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
PIS	Programa de Integração Social
STC	Standard Test Conditions (Condições Padrão de Teste)
ENEL	<i>Ente Nazionale Per L'energia Elettrica</i>
MPPT	Maximum Power Point Tracker (Rastreador do Ponto de Máxima Potência)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	AQUAPONIA: IMPORTÂNCIA, PRINCÍPIOS TÉCNICOS E SUSTENTABILIDADES	19
2.1.1	<i>Sistema de Aquaponia</i>	19
2.1.1.1	<i>Sistema de Produção.....</i>	19
2.1.1.2	<i>Processo biológico e filtragem.....</i>	20
2.1.1.3	<i>Modelos de produção.....</i>	22
2.1.1.4	<i>Relação entre peixes e plantas.....</i>	23
2.1.1.5	<i>Aguaponia e desenvolvimento sustentável</i>	23
2.1.2	<i>Hidroponia.....</i>	24
2.1.3	<i>Alface</i>	25
2.1.4	<i>Tilápia do Nilo</i>	25
2.1.4.1	<i>Origem e dispersão</i>	25
2.1.4.2	<i>Características da espécie.....</i>	26
3	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: CONVERSÃO.....	27
3.1	Princípio de funcionamento.....	27
3.2	Teoria dos semicondutores	27
3.2.1	<i>Semicondutor tipo N.....</i>	28
3.2.2	<i>Semicondutor tipo P.....</i>	28
3.2.3	<i>Junção PN</i>	29
3.3	Tipos de células fotovoltaicas	30
3.3.1	<i>Policristalino (p-Si)</i>	30
3.3.2	<i>Monocristalino (m-Si).....</i>	31
3.4	Modelo elétrico	32
3.5	Curvas características	34
3.5.1	<i>Curva IxV.....</i>	34
3.5.2	<i>Curva PxV.....</i>	35
3.6	Influências meteorológicas nas características elétricas	36
3.6.1	<i>Influência da radiação na curva IxV</i>	36
3.6.2	<i>Influência da temperatura na curva IxV.....</i>	37
3.7	Radiação incidente e orientação dos módulos fotovoltaicos	38
3.8	Dimensionamento do Sistema.....	39

4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	41
4.1	Localização e caracterização da área de estudo	41
4.2	Componentes do sistema de aquaponia.....	42
4.2.1	<i>Tanques de criação e densidade dos peixes.....</i>	42
4.2.2	<i>Decantadores</i>	42
4.2.3	<i>Biofiltros</i>	43
4.2.4	<i>Componente hidropônico.....</i>	44
4.2.5	<i>Reservatório de redistribuição de água ou Sump.....</i>	46
4.2.6	<i>Recalque e aeração.....</i>	46
4.3	Componentes do sistema de energia solar.....	47
4.3.1	<i>Módulo Fotovoltaico</i>	47
4.3.2	<i>Inversor On-grid.....</i>	48
4.3.3	<i>String box CC e CA</i>	49
4.3.4	<i>Cabos CC e CA</i>	49
4.4	Lista de materiais e custos	50
4.5	Manejo produtivo do sistema	52
4.5.1	<i>Sistema de criação e arraçoamento</i>	52
4.5.2	<i>Análise físico-químico da água.....</i>	53
4.6	Indicadores de desempenho das tilápias	54
4.7	Análise de Viabilidade Econômica do Sistema	56
4.7.1	<i>Valor presente líquido (VPL).....</i>	56
4.7.2	<i>Taxa interna de retorno (TIR).....</i>	57
4.7.3	<i>Payback descontado e simples.....</i>	58
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	59
5.1	Manejo do sistema – Sistema de aquaponia.....	59
5.1.1	<i>Arraçoamento</i>	59
5.1.2	<i>Parâmetros limnológicos da água.....</i>	61
5.1.3	<i>Desempenho produtivo do sistema.....</i>	64
5.2	Sistema de Energia Solar Fotovoltaica.....	64
5.2.1	<i>Identificação da unidade consumidora</i>	64
5.2.2	<i>Característica de consumo do sistema de aquaponia.....</i>	64
5.2.3	<i>Dimensionamento do sistema fotovoltaico</i>	65
5.2.4	<i>Estimativa de geração.....</i>	68
5.3	Análise de Viabilidade Econômica do Sistema	70

<i>5.3.1</i>	<i>Considerações iniciais</i>	<i>70</i>
<i>5.3.2</i>	<i>Estimativa de economia</i>	<i>71</i>
<i>5.3.3</i>	<i>Análise do payback descontado</i>	<i>74</i>
6	CONCLUSÃO	77
	REFERÊNCIAS	79
	ANEXO A – DATASHEET DO MÓDULO FOTOVOLTAICO	86
	ANEXO B – DATASHEET INVERSOR CANADIAN 1,5KW	88

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento da população global, a rápida urbanização, a escassez de recursos naturais o mundo necessita de formas sustentáveis de produção de alimento (RETIEF *et al.*, 2016). A forte demanda por alimentos no mundo já é uma realidade bem próxima, segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2017) em 2030 serão aproximadamente 8,5 bilhões de pessoas no mundo, fazendo com que haja um aumento significativo no consumo de água e uma forte pressão sobre as metodologias de produção de alimentos. É pouco provável que as atuais formas de produções agrícolas acompanhem o crescimento da população a ponto de fornecer alimentos, rações para animais e fontes alternativas de combustíveis (EDGERTON, 2009).

Em meio a esse cenário de mudanças e inovação na forma de produzir alimentos, a aquaponia pode ser considerada uma técnica inovadora, pois consiste na produção de alimentos com baixo consumo de água e alto aproveitamento do resíduo orgânico gerado, sendo a alternativa de produção de peixes e vegetais menos impactante ao meio ambiente (TYSON, TREADWELL & SIMONNE, 2011).

O sistema de produção aquapônico é uma técnica utilizada com sucesso em muitos países, incluindo Estados Unidos, Austrália e também em países europeus. Contudo, no Brasil o emprego comercial dessa técnica ainda é discreto (GEISENHOFF *et al.*, 2016). Apesar do baixo consumo de água, da redução de impactos ambientais, da produção de duas fontes de renda em um único sistema, mais estudos que forneçam informações para permitir a implementação deste sistema sob condições brasileiras são fundamentais (GEISENHOFF *et al.*, 2016).

Segundo Carneiro *et al.* (2015a), há uma grande expectativa de que essa técnica de produção de alimentos se torne popular no Brasil, uma vez que a mesma é capaz de produzir alimentos saudáveis, sem agredir o meio ambiente, podendo ainda ser utilizada ainda como uma ferramenta didática, já que carrega na sua essência conhecimentos sobre diversos temas, tais como: biologia, química, matemática, física, sustentabilidade e engenharia.

No âmbito comercial a aquaponia exige muito conhecimento multidisciplinar, envolvendo química, física, biologia e engenharia. Dependendo da região, o custo de implantação muitas vezes é inacessível para alguns produtores brasileiros, fazendo com que muitos busquem por métodos alternativos que diminuam esses custos iniciais. De acordo com Rakocy *et al.* (2006), o sistema de aquaponia requer alto custo para a implantação, pois os componentes necessários, tais como a bomba e tanque de peixes são equipamentos onerosos. Isso pode majorar a receita do projeto quando se tem a finalidade comercial.

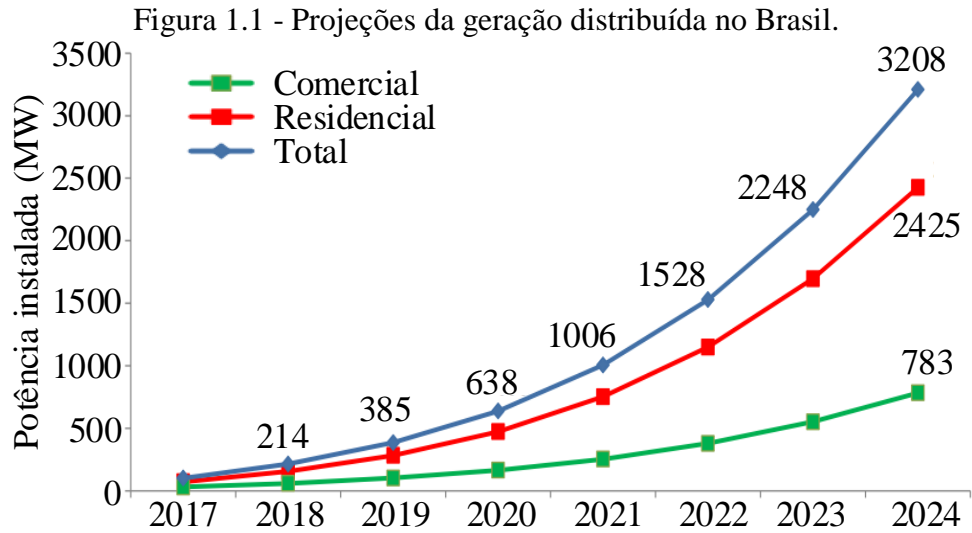
Além dos custos com implantação têm-se ainda os custos variáveis como ração e energia elétrica, que representam a maior parte dos custos de produção, sendo esses passíveis de redução por fontes alternativas. O Brasil, devido à sua extensão territorial, incidência solar e grande área costeira, é um país promissor na geração de energias renováveis, especialmente eólica e solar (PINTO; MARTINS; PEREIRA, 2017). Essas tecnologias emergem como alternativa de geração complementar e de expansão da capacidade geradora e suas aplicações devem ser estimuladas nos mais diferentes segmentos, inclusive na produção de alimentos em sistemas de aquaponia.

O Brasil possui um grande potencial para gerar eletricidade através da energia solar, mais especificamente, a energia solar fotovoltaica, todavia ainda não é amplamente aproveitado. Implantar o uso de energia sustentável no meio rural se tornou uma forma de economia e de retorno financeiro, além de ser um sistema não prejudicial ao meio ambiente. Esta tecnologia está crescendo cada vez mais e se tornando uma solução inteligente para diversos agricultores.

Segundo o Portal Solar (2017), a energia solar fotovoltaica cresceu nove vezes como fonte sustentável. No meio rural a capacidade instalada atingiu aproximadamente 15,8 MW. Esse crescimento se deu pela facilidade ao acesso e compra de sistemas fotovoltaicos, além dos preços que estão mais acessíveis para os consumidores. Assim, a energia solar se torna uma importante aliada para os produtores rurais em economia de energia elétrica na produção rural.

A energia solar fotovoltaica apresenta inúmeras vantagens se comparada a outras fontes de energia elétrica. Como ela é renovável e inesgotável, não apresentam danos à natureza na instalação e geração, diferentemente das hidrelétricas, que para instalação precisa desmatar a fauna e flora do local de implantação, ou termoeletricas, que liberam gases ou outro agente poluidor em sua geração, além dos empregos diretos e indiretos formados devido a energia solar (VERAS, 2017).

As projeções para 2024 é que o potencial fotovoltaico brasileiro continue sendo explorado, com considerável elevação da potência instalada, conforme a Figura 1.1 (BARBOSA, 2018; ANEEL, 2018).



Fonte: BARBOSA (2018) e EPE (2017).

Nessa perspectiva, o objetivo do trabalho foi desenvolver um sistema de aquaponia integrada com energia solar fotovoltaica como uma alternativa para comunidades rurais. Esta pesquisa tem o intuito de verificar a viabilidade financeira do sistema em uma aplicação rural que servirá de auxílio em tomada de decisão para produtores rurais.

2 AQUAPONIA: IMPORTÂNCIA, PRINCÍPIOS TÉCNICOS E SUSTENTABILIDADES

Este capítulo apresenta os principais aspectos técnicos que devem ser entendidos pelo leitor para conhecimento do assunto aquaponia, além de mostrar também a importância do sistema para atingir parâmetros de sustentabilidade e geração de renda em comunidades locais. Ressalta ainda a importância de se realizar uma análise econômica a fim de diminuir os riscos de implantação do sistema por produtores.

2.1.1 Sistema de Aquaponia

A aquaponia é a junção da hidroponia (cultivo de plantas sem solo) com a criação de organismos aquáticos, onde a água dos efluentes gerados por esses organismos é utilizada pelas plantas após os mesmos serem transformados em nitritos e nitratos através de um processo de simbiose por meio da ação de bactérias (Carneiro *et al.*, 2015a).

O termo aquaponia é derivado da combinação das palavras aquacultura (produção de organismos aquáticos) e hidroponia (produção de plantas sem solo), e refere-se à integração entre a criação de organismos aquáticos e o cultivo de vegetais hidropônicos. O mesmo é classificado como um sistema de integração entre o cultivo de organismos aquáticos e vegetais hidropônicos, o qual utiliza pouca água e aproveita os nutrientes do sistema de forma eficiente em um sistema de recirculação e tratamento de água (CARNEIRO *et al.*, 2015b).

Segundo Hundley *et al.* (2013), a aquaponia constitui uma forma sustentável de produção de alimentos com otimização dos espaços e recursos naturais. Ainda se constitui num sistema fechado composto por três dispositivos, o sistema de produção de peixe em fluxo contínuo, a hidroponia e o sistema de biofiltro (EMBRAPA, 2015).

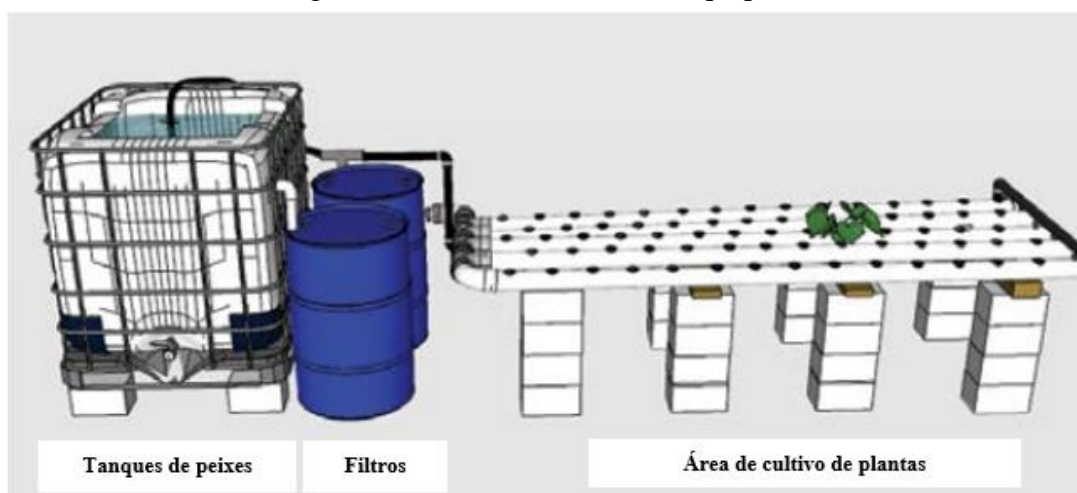
Blidariu *et al.* (2011), considera a integração entre peixes e plantas como sendo uma classe de policultivo, caracterizado por aumentar a diversidade e a estabilidade do sistema. Além dessa vantagem técnica, o comércio dos peixes e hortaliças pode contribuir de forma significativa para a economia local.

2.1.1.1 Sistema de Produção

Um sistema de aquaponia é composto por três componentes principais: tanques criatórios de peixes, filtros biológicos e o componente hidropônico. Existe em cada estrutura do sistema uma característica particular. No entanto, todas estão ligadas a um sistema de

recirculação, no qual a água dos tanques dos peixes passa pelo sistema de filtragem biológica e ocorre uma transformação dos efluentes gerados pela ração ofertada para os peixes em nutrientes para as plantas. Conseqüentemente, essa água retorna para reuso nos tanques de peixes em um ciclo fechado. O sistema de aquaponia é apresentado na Figura 2.1.

Figura 2.1 – Sistema básico de aquaponia



Fonte: Adaptado de Somerville et al (2014).

Aparentemente simples, a aquaponia requer conhecimentos específicos, pois funciona como um ecossistema e exige compreensão dos elementos biológicos envolvidos no processo de produção (CANASTRA, 2017).

2.1.1.2 Processo biológico e filtragem

O fornecimento de ração industrializada aos peixes é o insumo de maior importância no sistema de aquaponia, porém sua decomposição dentro do sistema gera compostos nitrogenados, os mesmos necessitam passar por um processo de nitrificação o qual envolve o elemento químico nitrogênio (N) (SOMERVILLE *et al.*, 2014). Sabe-se que o nitrogênio é o nutriente de maior demanda pelas plantas e o nitrato (NH_3) a forma preferível de absorção, o entendimento e manejo das colônias de bactérias são de extrema importância na aquaponia (TOKUYAMA *et al.*, 2004).

De acordo com Carneiro *et al.* (2015a), o processo de nitrificação é realizado por meio de bactérias do gênero *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, que transformam amônia (NH_3) em nitrito (NO_2) e nitrito em nitrato (NO_3), os quais as plantas conseguem assimilar como nutriente.

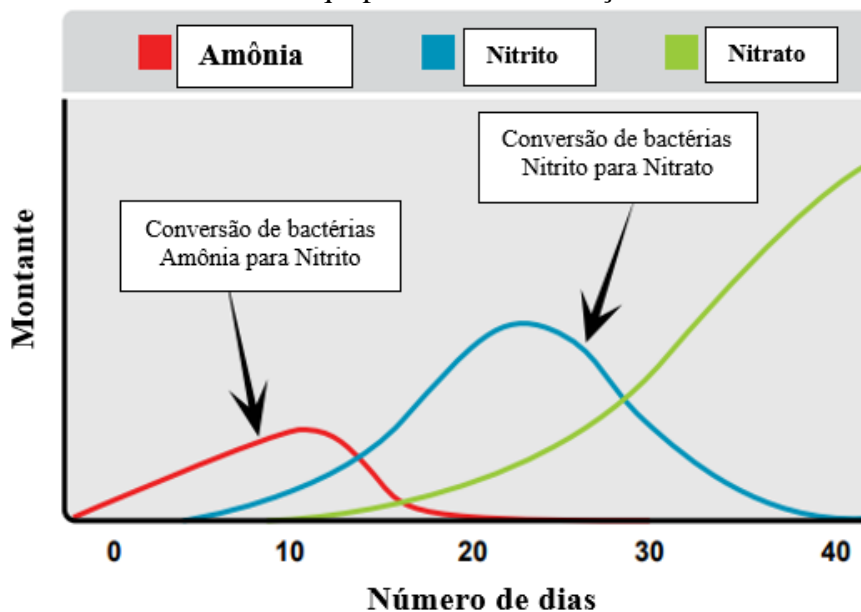
Figura – 2.2 – Processo de transformação: Amônia → Nitrito → Nitrato



Fonte: Eco (2016)¹.

Geralmente são necessários de 20 a 40 dias após a introdução dos peixes para que um sistema aquapônico apresente seu ciclo de nitrificação em equilíbrio e seja possível o início da introdução das plantas (CARNEIRO *et al.*, 2015d). A Figura 2.3 ilustra os níveis de nitrificação do sistema.

Figura 2.3 – Níveis de amônia, nitrito e nitrato durante as primeiras semanas em um sistema de aquaponia em recirculação



Fonte: Adaptado de Somerville et al (2014).

¹ Disponível em: <<https://ecoandoblog.wordpress.com/2016/04/12/aquaponia-sistema-integrado-de-peixes-e-plantas/>>. Acesso em: 11/10/2020.

2.1.1.3 Modelos de produção

Existem estudos referentes a três modelos de produção em sistema de aquaponia: sistema de produção com técnica de fluxo laminar de nutrientes (do inglês, *Nutrient Film Technique*), sistema de produção em placas flutuantes (do inglês, *Floating Raft System*) e sistema de produção com substrato (do inglês, *Media Filled Growbed*) (CARNEIRO et al., 2015b).

O sistema de produção com técnica de fluxo laminar de nutrientes (FLN) é um método hidropônico sem utilização de substrato formado de bancadas com tubos PVC onde a solução rica em nutrientes circula por fluxo laminar e embebe parcialmente as raízes das plantas levando os nutrientes essenciais para o seu desenvolvimento (SOMERVILLE et al., 2014).

Segundo Carneiro *et al.* (2015b) o sistema de canaletas é o mais indicado para o cultivo de folhosas (alface, rúcula, ervas aromáticas) pela praticidade na colheita e na comercialização. O volume de água e a área de cultivo são relativamente menores que em outros sistemas por utilizarem apenas nível de fluxo laminar, podendo a área ser otimizada por meio do uso na forma vertical ou em forma de cascata (RAKOCY; MASSER; LOSORDO, 2006). A Figura 2.4 ilustra o sistema de produção NFT.

Figura 2.4 – Sistema de produção NFT em canaletas



Fonte: Somerville et al (2014).

O sistema de produção em placas flutuantes (SPPF), diferentemente de outros sistemas de hidroponia, tem como característica principal o tanque de hidroponia disposto a céu aberto, o qual é coberto pela placa flutuante que tem a função de suporte para colocar as plantas e também exerce a função de dificultar a perda de água por evaporação. Porém é necessário aeração dentro do tanque para manter homogêneo o nível de oxigênio dissolvido na água, a fim

de suprir a necessidade das plantas, camarões e bactérias nitrificantes presentes nas paredes e fundo dos tanques (CARNEIRO et al., 2015b).

O sistema de produção com substrato (SPS) vem sendo o método mais popular entre os produtores de aquaponia em escala menor. Por ser um método simples, eficiente no uso do espaço e relativamente de custo baixo, é recomendável para os iniciantes da atividade (SOMERVILLE et al., 2014).

Nesse sistema usa-se substrato em bandejas onde os vegetais são plantados. Os substratos mais utilizados são argila expandida, pedra brita, areia grossa e seixos de leito de rio. Essa técnica oferece a vantagem de funcionar como filtro biológico para a água e suporte de vida para as bactérias nitrificantes (CARNEIRO *et al.*, 2015c).

A água proveniente do tanque de produção dos peixes é bombeada para o ambiente de produção das plantas de onde retorna por gravidade através de um sifão, proporcionando desta forma a constante oxigenação das raízes e das colônias de bactérias (CANASTRA, 2017).

2.1.1.4 Relação entre peixes e plantas

No sistema de aquaponia a quantidade de peixes e plantas que se pretende produzir tem uma relação de proporção, visto que o local destinado à hidroponia deve atender à demanda de nutrientes que serão gerados nos tanques criatórios. A literatura apresenta várias formas de calcular ou estimar essa relação, sendo a mais utilizada aquela sugerida por Rakocy; Masser e Losordo (2006), na qual a quantidade de alimento fornecido diariamente aos peixes se relaciona com o tamanho da área que pode ser cultivada com vegetais. Assim, 60 g a 100 g de ração fornecida diariamente proporcionam nutrientes para cada m² de área de produção vegetal. Nesse caso, 60 g/dia devem ser considerados para o cultivo de 1 m² de folhosas.

Já Wilson (2005) afirma que para cada 1 kg de peixe produzido existe uma disponibilização de nutrientes capaz de suprir a produção de 7 kg de biomassa vegetal. Deduz-se, portanto, que a parte hidropônica ocupa uma área muito maior do que a área de viveiro de peixes, o que, somado ao fato que o ciclo das hortaliças (25 a 90 dias), é muito mais curto do que o ciclo dos peixes (210 a 270 dias), ficando evidente a grande importância da parte vegetal em sistemas aquapônicos (RAKOCY, 2007).

2.1.1.5 Aquaponia e desenvolvimento sustentável

Aquaponia surge como uma alternativa acessível aos pequenos e grandes produtores para se produzir alimentos visando a um menor impacto ambiental pela forma

ambientalmente correta de produção. Outro ponto importante é o grande apelo da sociedade por alimentos orgânicos, livres de agrotóxicos, cultivados de uma maneira mais sustentável e com menor desperdício de todo tipo de matéria, principalmente a água, que vem fundamentando ainda mais a importância do cultivo aquapônico (CARNEIRO *et al.*, 2015d).

Outro fator muito importante é o fato de que a aquaponia pode vir a atender os objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS) que foram definidos pelas Nações Unidas e compõem uma agenda global, adotada em setembro de 2015, totalizando 17 objetivos e 169 metas a serem atingidas até 2030. Esses objetivos envolvem ações para acabar com a pobreza, promover a prosperidade e o bem-estar para todos, proteger o meio ambiente e enfrentar as mudanças climáticas (UNESCO, 2015).

O Sistema aquapônico é um sistema fechado onde se produz sem utilização de solo e ainda reduz consideravelmente o lançamento de efluentes no meio ambiente, diminuindo a contaminação do solo e da água. Permite ainda o reaproveitamento do efluente gerado pela aquicultura por meio da recirculação e manutenção do sistema hidropônico (HUNDLEY *et al.*, 2013).

2.1.2 Hidroponia

A hidroponia surgiu a partir de um termo derivado das palavras de origem grega “hydro” que significa água e “ponos” que significa trabalho, e está rapidamente se desenvolvendo como meio de produção vegetal, principalmente de hortaliças sob cultivo protegido em estufas. Podemos dizer que é apenas o cultivo de vegetais onde o solo é substituído por uma solução aquosa rica em elementos minerais essenciais para o seu desenvolvimento (RESH, 1996).

De forma simples, para se montar um sistema de hidroponia, basicamente é necessário um reservatório para o armazenamento da água com os elementos minerais essenciais para o crescimento das plantas onde a solução nutritiva presente no reservatório, através de uma bomba de água, é circulada até o recipiente de crescimento das plantas. Em seguida os nutrientes são absorvidos pelas raízes das mesmas e a água não utilizada volta para o recipiente fechando o ciclo.

Do ponto de vista comercial a hidroponia é bastante relevante, pois não depende de solos férteis, estações climáticas, preparo e manejo do solo, controle de ervas daninhas e controle de algumas pragas. Permite a produção o ano inteiro otimizando o preço de venda nos períodos fora de safra, uso de áreas inaptas ao cultivo convencional, tem um crescimento mais

rápido que na agricultura em solo, rápido retorno econômico, dispensa a rotação de culturas e economiza água (FAQUIN; FURTINI; VILELA, 1996).

Do ponto de vista ambiental a hidroponia pode trazer alguns problemas, pois é preciso frequentemente (cerca de uma vez ao mês) trocar toda a água do sistema. A razão para tal procedimento está no fato de alguns dos elementos químicos poderem atingir níveis tóxicos às plantas. Dependendo da composição da água a ser descartada, é preciso tomar cuidado com o local de seu despejo, já que isso pode acarretar em sérios problemas ambientais (CASTRO, 2019).

Ainda de acordo com Castro (2019), a hidroponia é um método que pode ser comercialmente vantajoso, mas possui uma limitação referente ao uso e despejo da água, o que por sua vez pode representar um risco ao ideal de sustentabilidade que se almeja alcançar na produção de alimentos.

A combinação do sistema hidropônico com a aquicultura deu origem à aquaponia. De maneira sinérgica os pontos fracos de ambos os sistemas são transformados em pontos fortes, minimizando a produção de resíduos e o provimento da entrada de nutrientes (GODDEK *et al.*, 2015).

2.1.3 Alface

Originária do Mediterrâneo, a alface (*lactuca sativa L.*) foi uma das primeiras hortaliças cultivadas pelo homem, sendo considerada a folhosa mais importante no mundo. É consumida principalmente da forma “in natura” na forma de saladas. Atualmente é explorada em todo o território nacional em sistemas hidropônicos e em cultivo em solos, sendo a principal cultura utilizada em hidroponia no país (SOARES, 2002).

A alface é cultivada em maior escala pelo sistema hidropônico NFT ou fluxo laminar de solução, isso se deve à fácil adaptação ao sistema, alto rendimento e reduções de ciclo em relação ao cultivo em solo (OHSE *et al.*, 2001). Dentre os vegetais folhosos cultivados em sistema de aquaponia a alface apresenta o menor índice de exigência nutricional. Porém as alfases são ricas em fósforo e possuem uma quantidade útil de betacaroteno, além de vitamina C, potássio e certos químicos, como os flavonóides e lactucina (SILVA *et al.*, 2011).

2.1.4 Tilápia do Nilo

2.1.4.1 Origem e dispersão

A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) é originária da África, das bacias dos rios Nilo, Niger, Tchade e lagos do Centro-oeste africano (VICENTE; ELIAS; FONSECA-ALVES, 2014) e foi introduzida no Brasil em 1971 (LOVSHIN, 2000). Por ser um peixe rústico e resistente, apresenta boa conversão alimentar, tolerando altas densidades de estocagem, além de ter seu pacote tecnológico de cultivo difundido por todo o mundo. Por ter, em geral, bom valor comercial, tem sido o peixe mais utilizado em sistemas de aquaponia, com resultados muito animadores (CARNEIRO *et al.*, 2015d).

Hoje, graças ao melhoramento genético e ao domínio da técnica de reprodução artificial, é um dos peixes mais cultivados no mundo, com destaque para o Brasil (OLIVEIRA *et al.*, 2007).

Atualmente, existem diversas espécies de peixes que apresentaram nos últimos anos excelentes taxas de crescimento e potencial para serem utilizadas em unidades aquapônicas. Dentre as espécies de peixes destacam-se as: tilápias, carpas, trutas e catfishes (SOMERVILLE *et al.*, 2014).

2.1.4.2 Características da espécie

A Tilápia-do-Nilo possui corpo achatado lateralmente e tem como característica as espinhas dorsais, pélvica e anais bem desenvolvidas. A sua nadadeira dorsal e caudal é alongada e a sua cor pode depender da espécie, momento da maturidade sexual e hábito alimentar. Portanto a cor não pode ser utilizada como a única ferramenta para a identificação da espécie (POPMA; MASSER, 1999).

Segundo Moura *et al.* (2007), a tilápia é uma espécie ectotérmica. Por essa razão a temperatura do meio onde vive influencia no seu metabolismo fisiológico e, por consequência, no seu desempenho produtivo. A mesma cresce bem em águas com temperatura da água na faixa dos 27 a 30°C e em condições ideais de qualidade de água ela pode chegar de 50g (tamanho de juvenil) a 500g (tamanho de adulto) em aproximadamente 6 meses (SOMERVILLE *et al.*, 2014).

3 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: CONVERSÃO

Esse capítulo apresenta os principais conceitos sobre a conversão fotovoltaica e o seu princípio de funcionamento, tipos de células fotovoltaicas, modelo elétrico e curvas características para o melhor entendimento de um módulo fotovoltaico.

3.1 Princípio de funcionamento

O princípio de funcionamento da energia solar fotovoltaica é o efeito fotoelétrico descoberto por Heinrich Hertz no mesmo experimento em que fez a comprovação experimental da existência das ondas eletromagnéticas (NUSSENZWEIG, 2002). O efeito fotoelétrico estabelece que quando a superfície de um metal é iluminada com luz há uma emissão de elétrons. Os elétrons devem ter uma energia mínima para poder escapar da superfície metálica. Essa energia mínima necessária para escapar da superfície do metal se chama historicamente de função trabalho (Φ). Cada material tem uma função trabalho característica (TIPLER, 2009).

Na linguagem da física quântica a função trabalho corresponde a uma barreira de potencial. Classicamente se uma partícula tem energia (E) maior do que a barreira de potencial então a partícula consegue atravessar a barreira experimentando uma força retardadora. Já no caso quântico se a energia de uma partícula não for muito maior do que a energia da barreira de potencial, então há uma probabilidade de a partícula ser refletida para dentro da superfície do metal. Esse fenômeno é completamente quântico e não tem explicação à luz da física clássica (TIPLER, 2009; SERWAY, 2009).

No caso do silício, que é o material utilizado nas células fotovoltaicas, essa probabilidade é de 87%. Isto significa que o silício não seria o melhor material para ser utilizado na conversão de energia solar em energia elétrica. Só que o silício é o material mais abundante que a humanidade dispõe. Por esse motivo vem sendo utilizado amplamente nessa tecnologia (SERWAY, 2009; EISBERG, 1979).

Na próxima seção iremos mostrar como o silício é utilizado na geração fotovoltaica através das junções PN. Isso nos obrigará a introduzir brevemente a teoria dos semicondutores, fruto também da física quântica (MALVINO, 2009; SOLYMAR, 1998).

3.2 Teoria dos semicondutores

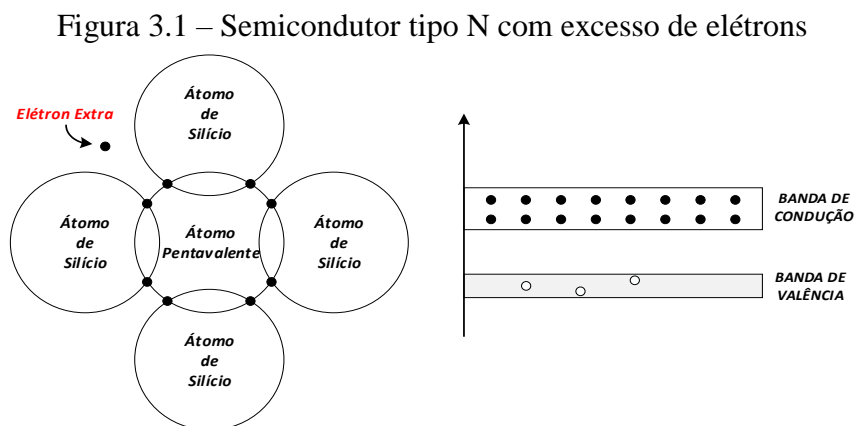
Na geração fotovoltaica, as células são constituídas de materiais semicondutores capazes de converter diretamente a radiação solar em energia elétrica pelo efeito fotovoltaico (COELHO, 2008).

O material mais utilizado na fabricação das células é o silício (Si), devido à sua abundância na natureza. Como já foi discutido em 3.1 o silício apresenta uma alta probabilidade quântica para que os elétrons sejam refletidos para dentro do material. Por se tratar de metal, quando iluminado, ocorre o efeito fotoelétrico, utilizado nas células fotovoltaicas. Esse efeito permite transformar a energia dos fótons presentes na luz do sol em movimento de elétrons e, portanto, energia elétrica (EISBERG, 1979; NUNES, 2011).

O Si é um semicondutor e assim apresenta como característica a existência de uma banda de valência e outra de condução, uma preenchida por elétrons e outra totalmente vazia, respectivamente (MALVINO, 2009, SEDRA, 2000). No entanto, o silício puro não é um bom condutor de elétrons. Dessa forma, é necessário passar por um processo de dopagem para que eleve sua condutividade elétrica. Assim, é introduzida uma pequena quantidade de impureza, com propriedades favoráveis que afetem o comportamento elétrico do material (RESNICK; HALIDAY; KRANE, 1996). A seguir é apresentada a formação dos semicondutores tipo N e P.

3.2.1 Semicondutor tipo N

O silício possui quatro elétrons na camada de valência. Dessa forma, para formar o semicondutor tipo N, é adicionado o átomo de fósforo, que possui cinco elétrons na camada de valência. Assim, haverá um elétron em excesso. A ligação com o átomo de origem se torna fraca e com pouca energia térmica esse elétron excedente se torna livre e desloca-se para a banda de condução (MALVINO, 2009). A Figura 3.1 ilustra o material tipo N.



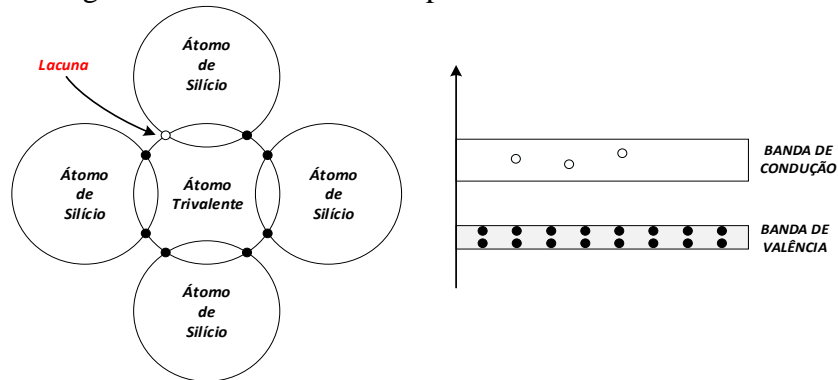
Fonte: Adaptado de MALVINO (2009).

3.2.2 Semicondutor tipo P

Para obter o semicondutor tipo P, é realizado o mesmo processo, porém acrescentando o átomo de boro, que é um elemento com três elétrons na camada de valência. Como resultado,

haverá a falta de um elétron para que a estrutura se torne estável. Desse modo, existirá uma lacuna e com pouca energia térmica, o elétron de sítio vizinho preencherá esse vazio, fazendo com que a lacuna se desloque para outro sítio adjacente vago (MALVINO, 2009).

Figura 3.2 – Semicondutor tipo P com excesso de lacunas



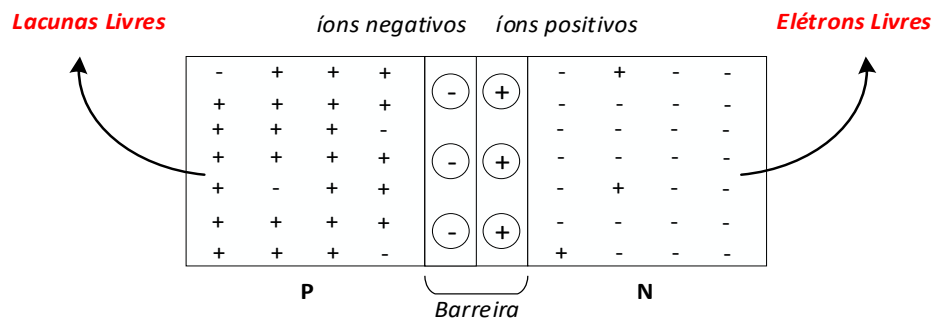
Fonte: Adaptado de MALVINO (2009).

Este processo ocorre num ciclo sem fim, pois sempre haverá uma recombinação, na qual a cada elétron deslocado para a banda de condução existirá uma lacuna deixada por esse elétron, a qual será preenchida por outro elétron sucessivamente (MALVINO, 2009).

3.2.3 Junção PN

A união das camadas P e N ocasiona uma recombinação de elétrons e lacunas na região da junção, formando uma barreira de potencial. Dessa forma, quando interligadas produz um fluxo do semicondutor tipo N para P, resultando em corrente elétrica caso esteja conectada a uma carga (RIBEIRO, 2015). A Figura 3.3 ilustra a barreira de potencial.

Figura 3.3 – Barreira de potencial numa região de transição PN



Fonte: Adaptado de (PEREIRA, 2002; VERAS, 2017).

Segundo Veras (2017), as características elétricas de uma célula fotovoltaica são as mesmas de um diodo de junção PN. Consequentemente, a curva característica $V \times I$ são equivalentes.

3.3 Tipos de células fotovoltaicas

Atualmente, as células fotovoltaicas são fabricadas, na sua grande maioria utilizando o silício (Si) e podendo ser constituídas de cristais monocristalinos, policristalinos ou amorfo. Neste trabalho será abordado o tipo monocristalino e policristalino, visto que os dois modelos são comercializados no mercado brasileiro de energia solar fotovoltaica (VERAS, 2017).

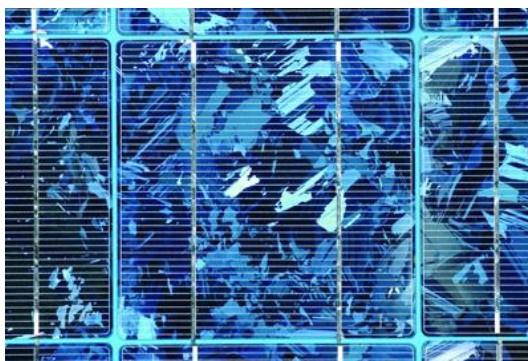
É importante ressaltar que os módulos fotovoltaicos monocristalinos e policristalinos desempenham as mesmas funções. Porém, o processo de produção é diferente, o que afeta o desempenho e durabilidade da célula fotovoltaica (VERAS, 2017).

3.3.1 Policristalino (*p-Si*)

Atualmente o mercado de energia solar vive uma mudança que remete à extinção das células policristalinas. As principais razões dessa mudança são a redução da diferença de preço entre as células monocristalinas e policristalinas e a preferência do mercado mundial por módulos de maior eficiência (VILLALVA, 2019).

A fabricação dessa tecnologia é mais barata em comparação com as células monocristalinas devido ao processo de preparação ser menor rigoroso. Ela consiste em muitos pequenos cristais, produzindo um efeito de lasca de metal, com um acabamento em mosaico azul claro. Estes são eficientes na luz difusa e quando as temperaturas são mais baixas. Devido à produção em massa global, essas tendem a ser a opção fotovoltaica solar mais econômica (VILLALVA, 2019). A Figura 3.4 ilustra a célula policristalina.

Figura 3.4 – Célula policristalina



Fonte: Adaptado de (VILLALVA, 2019).

As células policristalinas são obtidas através de cristais de silício puro, fundidas em blocos especiais com intuito de preservar a formação de múltiplos cristais. O silício esfria

lentamente e solidifica-se. Após a fundição, o silício é serrado em bloco quadrado e fatiado (NASCIMENTO, 2004).

Os módulos fotovoltaicos policristalinos apresentam menor eficiência em comparação com a tecnologia monocristalino. Atualmente, elas têm eficiência entre 13% a 17,3%, dependendo do fabricante (VERAS, 2017; VILLALVA, 2019).

3.3.2 Monocristalino (*m-Si*)

O silício monocristalino é formado por um bloco cristalino único, originando células mais eficientes e permitindo a fabricação de módulos com maior potência por área, resultando em menos espaço físico para a geração de energia em larga escala, proporcionando melhor retorno de investimento de sistemas fotovoltaicos. Entretanto, a fabricação desse tipo de célula é mais complexa e demanda quantidades maiores de energia e matéria prima (VILLALVA, 2019).

As células *m-Si* são obtidas a partir de barras cilíndricas de um único cristal ultrapura, com teor de pureza de 99,9999%. Posteriormente, ocorre a fundição junto com uma pequena quantidade de material dopante, boro (que é do tipo P). As barras são fatiadas em lâminas de silício individuais com espessura que variam em torno de 0,4 a 0,5mm². Após o corte e limpeza, são inseridas impurezas do tipo N com o intuito de formar a junção PN (CRESESB, 2006). A Figura 3.5 ilustra a célula monocristalina.

Figura 3.5 – Célula monocristalina



Fonte: Adaptado de (VILLALVA, 2019).

Os módulos fotovoltaicos monocristalinos apresentam as maiores eficiências dentre todas as tecnologias comercializadas atualmente. A fabricante de módulos fotovoltaicos *Jinko Solar* e *Tallmax* lançou um modelo de 410Wp com eficiência de 20,38% e 20,20%, respectivamente (CAMARGO, 2017).

Segundo o artigo publicado no Canal Solar (2019), uma combinação de fatores indica que a fabricação de módulo fotovoltaicos com células policristalinas vai desaparecer nos

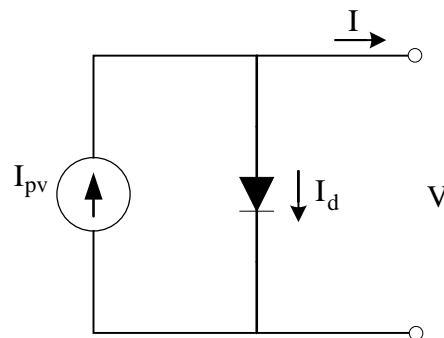
próximos anos, sendo dominado por células do tipo monocristalino. Essa notícia acarreta impactos positivos para os consumidores, pois a diferença de preço entre as células mono e poli está diminuindo, além de os módulos monocristalinos apresentarem maior potência por área e mais eficientes estão chegando ao mercado a uma velocidade acelerada (VILLALVA, 2019).

3.4 Modelo elétrico

É importante entender o comportamento de uma célula fotovoltaica num modelo equivalente. Existem dois modelos análogos que podem representar uma célula fotovoltaica: modelo ideal e real. A diferença entre as duas são os fatores de perda contidos no modelo real (SEGUEL, 2009).

O modelo ideal da célula fotovoltaica pode ser representado por um diodo, no qual a célula é considerada como uma fonte de corrente, com suas resistências série e paralelo desprezados (SILVA, 2008). A figura 3.6 ilustra o modelo de uma célula ideal

Figura 3.6 – Barreira de potencial numa região de transição PN



Fonte: Adaptado de (Villalva, 2012).

A equação básica que descreve matematicamente o modelo ideal é representado pela equação (3.1):

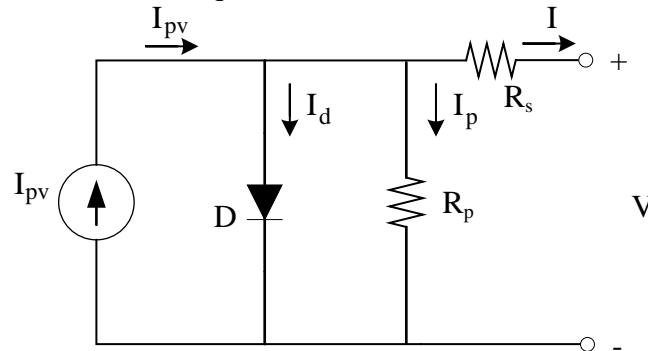
$$I = I_{pv} - I_D \quad (3.1)$$

Entretanto, as equações apresentadas para o modelo ideal não representam as características I-V de uma célula real (SEGUEL, 2009). Dessa forma, faz-se necessário explicar sobre o modelo de uma célula real, conforme apresentado a seguir.

O modelo real é representado por uma fonte de corrente I_{pv} , que está relacionado com a irradiação solar e a temperatura; por um diodo em anti-paralelo a fonte de corrente, cuja função varia de acordo com a temperatura do módulo e a carga conectada ao mesmo; e por fim

as resistências, R_s e R_p , representam as perdas resistivas no material e as perdas que ocorrem nas camadas da junção pn do semiconductor, respectivamente (SILVA, 2008). A figura 3.7 ilustra o modelo de uma célula real.

Figura 3.7 - Circuito equivalente real de uma célula fotovoltaica



Fonte: Adaptado de (Seguel, 2009).

A partir do circuito equivalente do modelo real, é possível obter matematicamente a equação que representa a corrente de saída. Aplicando a lei dos nós de *Kirchhoff* no circuito, a corrente de saída (I) da célula fotovoltaica é dada pela equação (3.2).

$$I = I_{pv} - I_D - I_P \quad (3.2)$$

A equação (3.2) relaciona a corrente gerada pelo efeito fotovoltaico I_{pv} , a corrente que flui através do diodo I_D e a corrente de fuga pela resistência em paralelo I_P . Para PIERRET (1996), a corrente que flui pelo diodo de junção PN em função da tensão aplicada pode ser determinada pela equação (3.3).

$$I_D = I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{e \cdot V}{m \cdot k \cdot T_{cell}}\right) - 1 \right] \quad (3.3)$$

Em que I_0 é a corrente de saturação reversa do diodo, e é a carga dos elétrons, V é a tensão nos terminais do diodo, m é o fator de idealidade do diodo, k é a constante de Boltzman e T é a temperatura absoluta do diodo.

Substituindo a Equação (3.3) em (3.2) e considerando as quedas de tensão na resistência em série R_s , obtém-se a Equação (3.4) que relaciona a corrente gerada a partir da incidência luminosa na junção PN da célula fotovoltaica em função da tensão e temperatura (PIERRET, 1996; BÜHLER, 2007).

$$I = I_{pv} - I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{e.V}{m.k.T_{cell}}\right) - 1 \right] - \frac{V + I.R_s}{R_p} \quad (3.4)$$

Conforme pode ser observado na Equação (3.4), a expressão é válida somente para uma única célula fotovoltaica. No caso de um módulo fotovoltaico com células conectadas em série, basta acrescentar um termo que representa a quantidade de células conectadas N_s e as resistências R_s e R_p representam os valores totais de um módulo. A Equação (3.5) rescreve a expressão (3.4) para um módulo fotovoltaico (PIERRET, 1996; GASPARIN, 2009).

$$I = I_{pv} - I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{e.V}{N_s.m.k.T_{cell}}\right) - 1 \right] - \frac{V + I.R_s}{R_p} \quad (3.5)$$

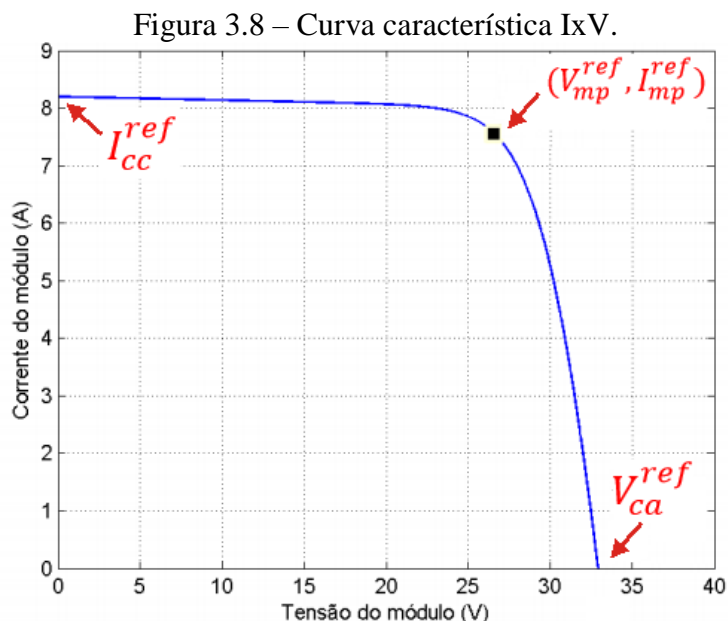
3.5 Curvas características

Os fabricantes de módulos fotovoltaicos fornecem informações no catálogo do produto (*datasheet*), de modo que a interpretações são imprescindíveis para o correto dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos. Nessas informações são apresentados gráficos sob forma de curvas em condições padronizadas de teste STC², denominadas curvas IxV (CASARO; MARTINS, 2008). É importante salientar que as curvas são exponenciais e variam de acordo com a equação 3.4.

3.5.1 Curva IxV

A característica de saída do módulo é dada por curva de Corrente x Tensão. Essa curva simula como a corrente de saída se comporta com a tensão em diferentes condições de temperatura e radiação (SEGUEL, 2008). A Figura 3.8 ilustra a curva característica de saída do módulo fotovoltaico em STC com os principais pontos indicados.

² As Condições Padrões de Teste (ou STC – *Standard Test Conditions*) consistem na uniformização, por parte dos fabricantes de células e módulos fotovoltaicos, com valores de irradiação (1000 W/m²), temperatura (25°C) e espectro de massa de ar (1.5) (CRESESB, 2004).



Fonte: Adaptada de (Casaro e Martins, 2008).

Analisando a Figura 3.8, o termo I_{cc}^{ref} indica a corrente de curto circuito. Esta é a corrente máxima que o módulo produz quando seus terminais são curto-circuitados (COELHO, 2008).

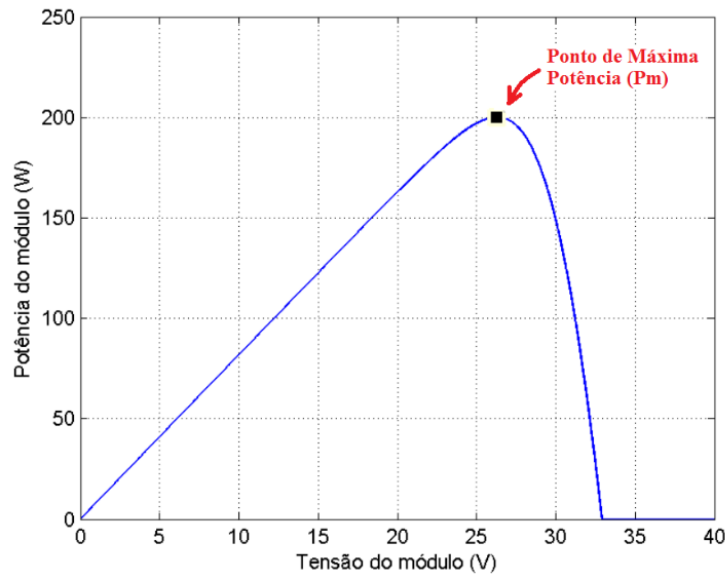
A tensão de circuito aberto, representada pelo termo V_{ca}^{ref} , mostra a máxima tensão fornecida pelo módulo fotovoltaico quando seus terminais estão abertos. Nesse caso, não há corrente. Dessa maneira, a potência é zero (COELHO, 2008).

Os termos V_{mpp}^{ref} e I_{mpp}^{ref} indicam, respectivamente, a tensão e a corrente de máxima potência fornecida pelo módulo fotovoltaico sob determinadas condições de radiação e temperatura (VERAS, 2017). Para que o módulo consiga operar nesse ponto, é utilizado um algoritmo de controle associado ao conversor ligado a *string* de módulos que permita extrair a máxima energia disponível no sistema (XSEGeT, 2013).

3.5.2 Curva PxV

Em cada ponto gerado da curva IxV, apresentado na Figura 3.8, corresponde a um ponto na curva PxV, ou seja, a curva PxV mostra como a potência de saída de um módulo fotovoltaico varia de acordo com a sua tensão (VASCONCELOS, 2013). A Figura 3.9 representa uma curva típica PxV.

Figura 3.9 - Curva característica PxV.



Fonte: Adaptada de (CASARO E MARTINS, 2008).

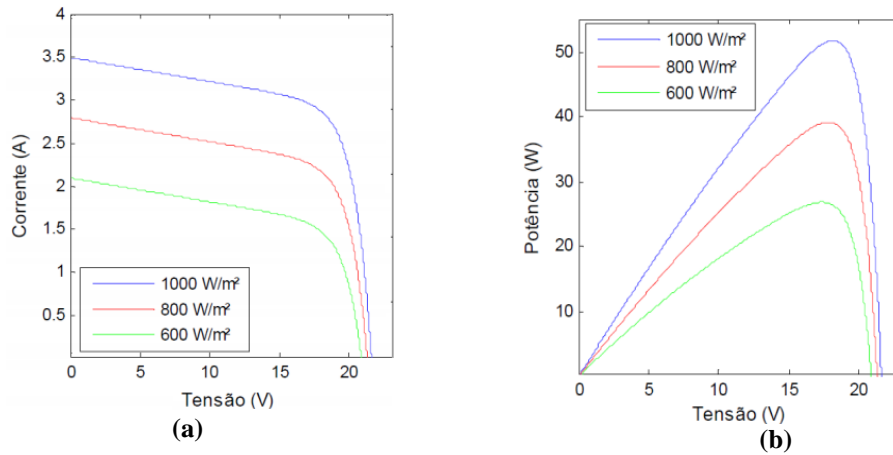
3.6 Influências meteorológicas nas características elétricas

Existem dois fatores climáticos que influenciam diretamente as características elétricas de um módulo fotovoltaico, sendo eles: intensidade da radiação solar e temperatura das células (SEGUEL, 2009). É possível simular as curvas características de um módulo e observar o comportamento de cada variável sob condições de temperatura e radiação solar em diferentes condições (VERAS, 2017).

3.6.1 Influência da radiação na curva $I \times V$

Quando ocorre a variação da radiação solar incidente sobre um módulo fotovoltaico, tem-se instantaneamente uma redução proporcional na corrente gerada, reduzindo assim o desempenho do módulo. A tensão de circuito aberto sofre pouca alteração com a variação da intensidade luminosa, porém, para grandes reduções, há um deslocamento do ponto de máxima potência, acarretando também uma redução na potência gerada. (VILLALVA e GAZOLI, 2012). A Figura 3.10 ilustra esta influência nas curvas I-V e P-V.

Figura 3.10 - Curvas características de um módulo fotovoltaico para várias densidades de potência incidente e temperatura do módulo igual a 25 °C. (a) Curva I-V; (b) Curva P-V.

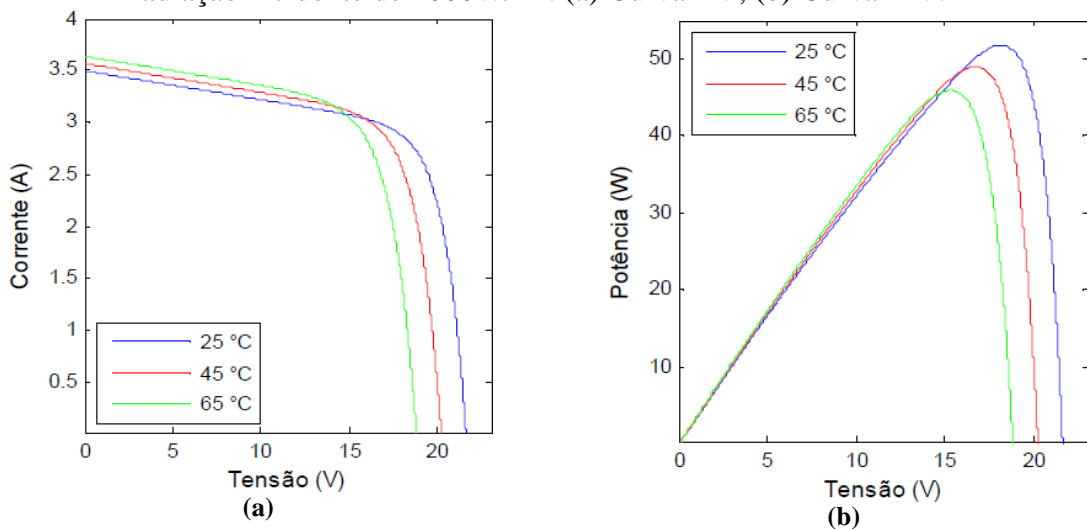


Fonte: Adaptado de (SEGUEL, 2009).

3.6.2 Influência da temperatura na curva IxV

A temperatura também possui influência direta no rendimento do módulo fotovoltaico. No entanto, a temperatura não afeta a corrente gerada no módulo, ela interfere diretamente na tensão de circuito aberto, ocasionando uma redução significativa de seus valores, além de ocorrer o deslocamento considerável do ponto de máxima potência, acarretando também uma redução na potência gerada. Portanto, quanto maior a temperatura, menor será a tensão fornecida pelo módulo e menor será a potência gerada (VILLALVA e GAZOLI, 2012). A Figura 3.11 ilustra esta influência nas curvas I-V e P-V.

Figura 3.11 - Curvas características de um painel fotovoltaico para várias temperaturas e radiação incidente de 1000W/m². (a) Curva I-V; (b) Curva P-V.



Fonte: Adaptado de (SEGUEL, 2009).

3.7 Radiação incidente e orientação dos módulos fotovoltaicos

Para o correto dimensionamento de qualquer sistema fotovoltaico, é fundamental ter conhecimento da radiação incidente da região onde será instalado o sistema fotovoltaico. Para isso, o Atlas Solarimétrico do Brasil elaborado pelo CRESESB, disponibiliza um banco de dados referentes as radiações incidentes em todo o período do ano. O CRESESB apresenta dados de radiação média diária mensal para diferentes ângulos de incidência solar (SANTOS, 2016).

A partir do banco de dados é possível determinar o ângulo dos módulos fotovoltaicos para se ter melhor produção de energia elétrica com um maior aproveitamento da radiação incidente no local (SANTOS, 2016).

Segundo DI SOUZA (2016), o melhor ângulo de inclinação depende diretamente do local e do tipo de sistema fotovoltaico onde será instalado. No Brasil, é comum usar o mesmo ângulo da latitude do local para o ângulo de inclinação do módulo, não sendo indicada uma inclinação menor do que 10° , pois prejudicaria a autolimpeza do módulo. A Figura 3.12 ilustra a orientação do módulo solar (ângulos de inclinação e incidência solar).

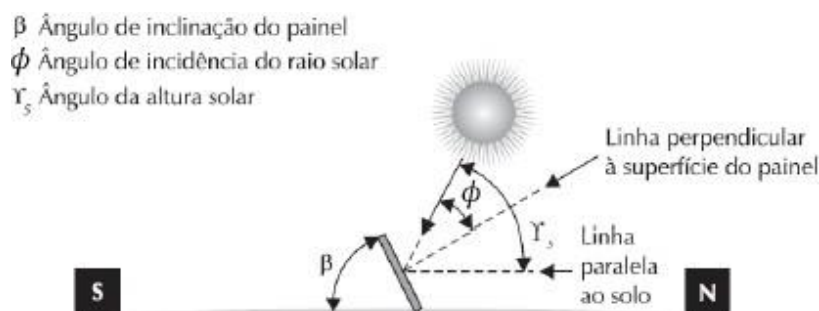
Segundo DI SOUZA (2016) o ângulo de inclinação ideal é dado pela equação (3.6):

$$\beta = 3,7 + 0,69\phi \quad (3.6)$$

Em que:

- β = ângulo ideal de inclinação do módulo fotovoltaico em graus;
- Φ = ângulo de incidência da radiação solar (latitude do local).

Figura 3.12 – Orientação do módulo solar: ângulo de inclinação e ângulo de incidência da radiação solar.



Fonte: Adaptado de (SANTOS, 2016).

Na prática, em aplicações em telhados de residência, indústrias e etc., é comum instalar os módulos na inclinação e orientação da estrutura do telhado já existente, não seguindo

o modo ideal de posicionamento, conforme apresentado anteriormente. Assim, para uma melhor análise, é necessário sempre levar em consideração a realidade do local onde será instalado o sistema fotovoltaico (CAMARGO, 2017). Outro ponto importante: é sempre recomendado procurar instalar os módulos fotovoltaicos com orientação, preferencialmente, em direção ao Norte Geográfico (DI SOUZA, 2016).

3.8 Dimensionamento do Sistema

É comum utilizar o consumo mensal dos últimos 12 meses descritos na fatura de energia para dimensionar o sistema de acordo com o perfil de consumo da unidade, porém nessa situação foi realizado um levantamento de carga de todos os equipamentos que serão utilizados no sistema de aquaponia, e assim pôde-se determinar a potência do sistema de energia solar para atender à necessidade energética do sistema.

A partir do consumo estimado, e seguindo o procedimento de dimensionamento do CRESESB (2014), a potência instalada do sistema fotovoltaico para suprir totalmente o consumo de energia mensal do sistema de aquaponia é calculada a partir da equação (3.7) a seguir:

$$P_{\text{int}} = \frac{C_{\text{médio}}}{HSP \cdot 30 \cdot \eta_{\text{sistema}}} \quad (3.7)$$

Em que:

- P_{int} : potência instalada, em (kWp);
- $C_{\text{médio}}$: consumo médio mensal, em (kWh);
- HSP : média mensal das horas de sol pleno, em (h);
- η_{sistema} : Eficiência do Sistema.

A partir da potência instalada e da potência de pico do módulo fotovoltaico que vai ser utilizado, pode-se determinar a quantidade de módulos que serão utilizados (Veras, 2017; Zilles, 2012). A equação (3.8) determina a quantidade que será utilizada.

$$N_{\text{mod}} = \frac{P_{\text{int}}}{P_{\text{MF}}} \quad (3.8)$$

Em que:

- N_{mod} : número de módulos;

- P_{int} : potência instalada, em (kWp);
- P_{MF} : potência de pico de um módulo fotovoltaico, em (Wp).

A partir do dimensionamento é possível estimar a energia média mensal produzida por um módulo fotovoltaico, com seus respectivos parâmetros de área e eficiência do módulo escolhido, e a média mensal anual das horas de sol pleno (HSP) (Veras, 2017; Villalva, 2012). A equação que determina a geração do módulo está descrita a seguir (3.9):

$$E_{\text{mod}} = 30 \cdot A \cdot \eta_{\text{mod}} \cdot HSP \quad (3.9)$$

Em que:

- E_{mod} : energia média mensal gerada pelo módulo fotovoltaico, em (kWh);
- A : área do módulo, em (m²);
- η_{mod} : eficiência de conversão do módulo, em (%);
- HSP : média mensal das horas de sol pleno, em (h).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir são apresentadas as recomendações técnicas para a implantação, escolha dos equipamentos e manejo produtivo do sistema de aquaponia. A metodologia adotada para a implantação do sistema foi adaptada de Silva (2016) e Oliveira (2018).

4.1 Localização e caracterização da área de estudo

O sistema foi implantado no município de Aracoiaba, Ceará em uma área de 63 m², situado a uma latitude de 4°21'57.38"S e longitude de 38°48'54.52". O clima predominante no município é tropical quente semiárido, tropical quente semiárido brando e tropical quente sub-úmido, tendo temperatura média de 24°C a 26°C e pluviosidade média anual de 1.010,3 milímetros (IPECE, 2017, p.5). A Figura 4.1 ilustra o sistema de aquaponia.

Figura 4.1 – Vista aérea do sistema de aquaponia



Fonte: Autor (2020).

4.2 Componentes do sistema de aquaponia

4.2.1 *Tanques de criação e densidade dos peixes*

Os componentes dos peixes consistem em dois tanques construídos em alvenaria em formato circular e piso declivoso côncavo de 5% com revestimento interno e externo, sendo este reforçado com arame galvanizado nº 12. Ao centro foi implantado um sistema chamado de Overflow. As medidas internas dos tanques foram de 1,6 m de diâmetro com raio $0,8^2 \text{ m} = 0,64 \times 3,14$ (área da circunferência) $\times 1,0 \text{ m}$ de altura, totalizando 2009 litros, ou seja, aproximadamente 2m^3 de volume de água por tanque. A densidade de peixes utilizada foi de $55/\text{m}^3$ e a quantidade estimada de produção em seis meses é de 66 kg/tanque. As Figuras 4.2(a) e 4.2(b), ilustram os tanques de criação antes e depois do povoamento dos peixes, respectivamente.

Figura 4.2 – Tanques de criação dos peixes antes (a) e depois do povoamento (b)



(a)

(b)

Fonte: Autor (2020).

4.2.2 *Decantadores*

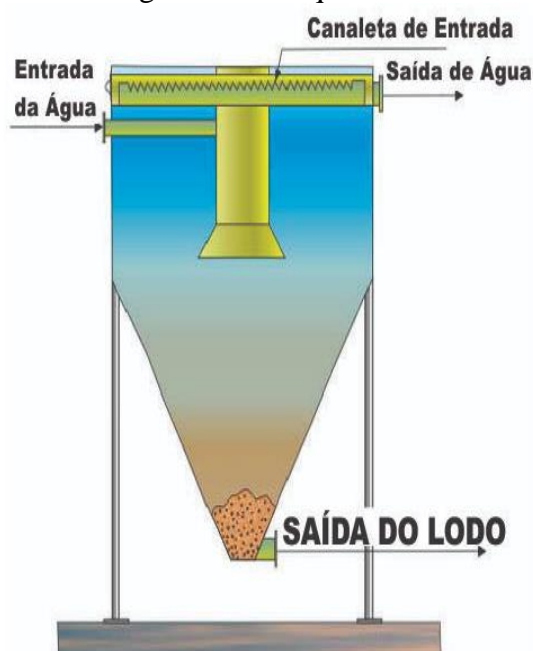
Para a remoção dos sólidos e decantáveis foram instalados dois decantadores do tipo cilíndrico com volume de 200 litros, um para cada tanque criatório, visando a facilitar a remoção do resíduo de maneira eficiente e sem custo energético. A Figura 4.3 mostra decantador utilizado no sistema de aquaponia.

Figura 4.3 – Decantador do tipo cilíndrico ligado ao tanque de criação dos peixes



Fonte: Autor (2020).

Figura 4.4 – Esquema decantador



Fonte: Aquaponia Brasil (2017)³.

4.2.3 Biofiltros

Para a transformação da amônia em nitrito e nitrato foram implantados quatro biofiltros, dois para cada tanque criatório, sendo dois aeróbicos e os demais anaeróbicos. Os aeróbicos foram instalados em bombas plásticas com capacidade de 150 litros e utilizados 100 m de conduíte (20mm) como substrato, possibilitando uma área de fixação de bactérias de 120m² capaz de remover até 36g de amônia por dia. Para a oxigenação foi instalado um

³ Disponível em: <<https://aquaponiabrazil.wordpress.com/principios-basicos/>>. Acesso em: 10/11/2020.

compressor de ar com vazão de 50L/ar/min e potência de 35W com duas saídas de ar ligadas em intervalos de 15 minutos totalizando 12hs/dia de funcionamento.

Os biofiltros anaeróbicos foram instalados em tambores plásticos fechados de 100 litros, tendo como substrato para fixação de bactérias sacos de nylon reciclados e tela de sombrite 50% preenchidos até o nível de saída da água. As Figuras 4.5(a) e 4.5(b) ilustram o biofiltros aeróbios e anaeróbios, respectivamente.

Figura 4.5 – Biofiltros aeróbios (a) e anaeróbios (b)



(a)



(b)

Fonte: Autor (2020).

4.2.4 Componente hidropônico

O componente hidropônico do tipo NFT foi instalado utilizando-se tubos PVC de 75mm para berçário e 100mm para o crescimento das plantas. O diâmetro e espaçamento dos furos foram de 50mm e 0,12m para os berçários com aporte para aproximadamente 120 plântulas, e de 60mm e 0,2m para a bancada de crescimento com aporte para aproximadamente 130 plantas de alface. O desnível das bancadas foi 10% e comprimentos dos tubos não superiores a 6m atendendo especificações da literatura.

O dimensionamento do tamanho do componente hidropônico foi proporcional à quantidade (110 peixes) e previsão do peso final (0,6kg) dos peixes presentes nos tanques de criação. Cada tanque tem capacidade de produção de até 66 kg de tilápias em aproximadamente seis meses. Porém quando os peixes atingirem peso médio de 0,3 kg será ofertado em ração/dia 2% do peso vivo do total ($110 \text{ peixes} \times 0,3\text{kg} = 33\text{kg} - 33 \times 0,02 = 0,66\text{kg/dia}$) que equivale a 0,66 kg/dia, podendo aumentar a quantidade de ração a ser ofertada até chegar ao peso de despesca. A partir desses dados foi calculado o quanto precisaríamos de componente hidropônico para suprir a demanda nutricional das plantas, ou seja, cada 60 a 100g de ração ofertados aos peixes

atende a 1m² de plantas. O atual sistema pode atender até 16m² de plantas de alface. A Figura 4.6 apresenta os componentes hidropônicos do sistema de aquaponia.

Figura 4.6 – Componentes hidropônico do sistema de aquaponia



Fonte: Autor (2020).

A parte hidropônica apresentou uma produção total de 960 plantas de alface da variedade Crespa Solaris (SVR 06511236). Durante o ciclo de criação dos peixes foi possível cultivar 5 ciclos da cultura de alface, onde cada ciclo durou em média 60 dias, sendo 14 dias para a fase de mudas em bandejas de germinação; 21 dias no sistema de berçário e mais 21 na fase final de crescimento vegetativo das plantas.

Tabela 4.1 - Quantidade total de alface produzida durante as três fases de criação dos peixes no sistema de aquaponia.

Fases dos peixes	Dias	Número de plantas produzidas	Nº de ciclos da cultura	Produção Anual
Inicial	25	140	0,6	-
Crescimento	140	530	3,3	-
Engorda	48	290	1,1	-
TOTAL	213	960	5	1645

Fonte: Autor, (2020).

Em termos econômicos a receita anual gerada na parte hidropônica do sistema pode chegar a R\$ 1.316,00. O valor unitário para vendas no atacado em supermercados da região chega a 0,80 centavos. A produção anual pode chegar a 1.645 plantas de alface.

4.2.5 Reservatório de redistribuição de água ou Sump

O Sump foi instalado no final das bancadas hidropônicas em caixas plásticas de 250L com a finalidade de armazenar a água antes de ser bombeada para os tanques de cultivo dos peixes por meio de eletrobombas com vazão de aproximadamente 2000L/h. As Figuras 4.7(a) e 4.7(b) apresentam as caixas utilizadas no sump e no sistema de aquaponia, respectivamente.

Figura 4.7 –Caixas de 250L utilizadas como sump (a) e sistema de aquaponia (b)



Fonte: Autor (2020).

4.2.6 Recalque e aeração

A recirculação da água foi feita por meio de eletrobombas, sendo duas em cada tanque, uma na saída do *sump* e outra na entrada do tanque dos peixes, que ficarão 15 minutos ligadas e 15 minutos desligadas, além disso, ainda utilizou-se uma eletrobomba responsável por circular a água no tanque de cultivo dos peixes proporcionando aeração por meio do sistema aerador samuca. A Figura 4.8 ilustra o sistema de bombeamento e aeração por eletrobombas alternativas.

Figura 4.8 – Sistema de bombeamento e aeração por eletrobombas alternativas



Fonte: Autor (2020).

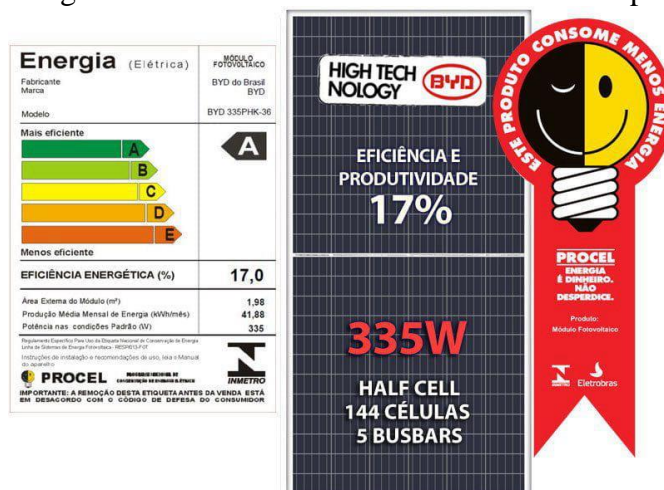
4.3 Componentes do sistema de energia solar

Todos os equipamentos utilizados no sistema de energia solar fotovoltaica foram comprados em parceria com a empresa Solartech Engenharia, que é referência em energia solar na região do Maciço de Baturité. A seguir é descrito sobre cada equipamento utilizado no projeto.

4.3.1 Módulo Fotovoltaico

Os módulos utilizados foram da marca BYD, eles possuem a classificação “A” do INMETRO no quesito eficiência energética com 17%. Além disso, têm as certificações internacionais como: TUV, UL, IEC e VDE. A Figura 4.9 ilustra o módulo fotovoltaico do sistema (BYD, 2020). As especificações do módulo fotovoltaico são apresentadas em Anexo A.

Figura 4.9 – Módulo Fotovoltaico BYD 335Wp



Fonte: BYD (2020).

Esse produto tem seu desempenho aprovado pelo INMETRO e está em conformidade com o programa brasileiro de etiquetagem com registro n^o: 006693/2018.

4.3.2 Inversor On-grid

O inversor usado é da marca *Canadian Solar* e possui as principais características: Potência PV recomendada (STC) 1900 W (Máxima potência de entrada); Potência Nominal de Saída 1500 W e 1 MPPT (algoritmo que busca o Ponto de Máxima Potência, descrito em detalhes no subtópico 3.1.6) (Canadian, 2020).

Em anexo B é apresentado o *datasheet*, no qual são detalhadas mais especificações técnicas do inversor. A seguir é ilustrado na Figura 4.10 o inversor *Canadian*.

Figura 4.10 - Inversor *Canadian* 1,5kW

Fonte: Canadian (2020).

Esse produto também possui aprovação pelo INMETRO e está em conformidade com o programa de etiquetagem com registro n°: 000079/2017.

4.3.3 *String box CC e CA*

Segundo a norma brasileira de instalações elétricas de baixa tensão NBR 5410 e a norma brasileira sobre sistemas fotovoltaicos NBR 16690, as instalações devem ter como características básicas a proteção contra choques elétricos, proteção contra efeitos térmicos e incêndios, proteção contra sobrecorrente, proteção contra sobretensão e capacidade de seccionamento, além da proteção contra surtos elétricos.

A *string box* CC é o componente de proteção da parte CC do sistema fotovoltaico. Os cabos saem dos módulos fotovoltaicos e passam pela *string box*, depois são conectados ao inversor, enquanto fornece proteção contra sobretensão e sobrecorrente e permite o seccionamento do circuito (NBR 5410, 2008). A *string box* utilizada foi da marca Proauto e possui 2 entradas e 1 saída, ou seja, ela pode conectar uma ou dois arranjos em paralelo, porém só possui uma saída. Este modelo pode trabalhar com tensão 1000Vcc e 25A. A Figura 4.11 ilustra o modelo utilizado.

Figura 4.11 - String box CC



Fonte: Proauto (2020).

A *string box* CA possui todas as proteções descritas anteriormente, a diferença que ela é adequada para tensão e corrente alternada. Estas especificações são as que utilizamos nos padrões da nossa rede elétrica.

4.3.4 *Cabos CC e CA*

Para os cabos de corrente contínua (CC) foi utilizado o cabo da marca *Nexans Solar* de 6mm. Esse cabo tem como principais características: proteção contra ações do ambiente (raios

UV, ozônio); ótima resistência mecânica; duplo isolamento; livre de halogênio; resistente a ácidos e álcalis; retardante de chamas e vida útil de 25 anos. Esse modelo trabalha com uma tensão contínua de até 1.8KVcc e tem dupla isolação (Nexans, 2020)

Para os cabos de corrente alternada (CA), usou-se o cabo de 2,5mm, que tem algumas características, a saber: condutor flexível; constituído por fios de cobre eletrolítico nu; têmpera mole e Isolação (70°C). Esse modelo trabalha com tensão alternada de até 750Vca.

4.4 Lista de materiais e custos

A instalação do sistema de aquaponia requer itens de hidráulica, elétrica, edificações, filtros e equipamentos para monitoramento da qualidade da água, como consta na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Itens utilizados na instalação do sistema de aquaponia.

Itens	Quant.	Unidade	Valor Unitário	Valor Total
Hidráulica				
Abraçadeira nylon	90	Unid.	0,50	45,00
Adaptador curto 50/32mm	2	Unid.	3,00	6,00
Adaptador soldável com flange anel 50mm	2	Unid.	13,00	26,00
Borracha de vedação 50mm	8	Unid.	1,20	9,60
Bucha de redução esgoto PVC 50/40mm	2	Unid.	1,50	3,00
Bucha de redução longa soldável 40/25mm	8	Unid.	3,00	24,00
Caixa de água 250 L	2	Unid.	150,00	300,00
Cap esgoto 40mm	2	Unid.	2,00	4,00
Cap PVC (Krona) 75mm	3	Unid.	4,00	12,00
Cap soldável (Krona) 20mm	4	Unid.	0,50	2,00
Cap soldavel 25mm	1	Unid.	0,90	0,90
Flange anel 25mm	2	Unid.	7,00	14,00
Joelho 45° PVC (Krona) 50mm	1	Unid.	2,70	2,70
Joelho 45° soldável (Krona) 25mm	2	Unid.	0,80	1,60
Joelho 90° PVC (Krona) 40mm	18	Unid.	2,00	36,00
Joelho 90° PVC (Krona) 50mm	27	Unid.	2,00	54,00
Joelho 90° PVC (Krona) 75mm	3	Unid.	3,50	10,50
Joelho 90° soldável (Krona) 25mm	26	Unid.	0,50	13,00
Joelho 90° soldável (Krona) 32mm	7	Unid.	1,50	10,50
Luva de união soldável (Krona) 32mm	2	Unid.	10,00	20,00
Luva soldável redução (Krona) 25/20mm	4	Unid.	1,20	4,80
Luva soldável redução (Krona) 32/25mm	3	Unid.	2,30	6,90

Luva soldável redução (Krona) 40/32mm	2	Unid.	3,00	6,00
Mangueira de nível	30	m	0,70	21,00
Plug bujão pvc roscável 20mm	2	Unid.	1,00	2,00
Pote vazado hidroponia tipo S50 e S75	500	Unid.	1,46	730,00
Redução de esgoto excêntrica 75/50mm	2	Unid.	4,50	9,00
Registro de esfera soldável (Krona) 25mm	4	Unid.	5,00	20,00
Registro de esfera soldável (Krona) 32mm	1	Unid.	10,00	10,00
Registro de esfera soldável (Krona) 50mm	2	Unid.	17,00	34,00
Tê 90° esgoto PVC (Krona) 40mm	84	Unid.	2,00	168,00
Tê 90° esgoto PVC (Krona) 75mm	1	Unid.	5,00	5,00
Tê 90° soldável (Krona) 25mm	24	Unid.	0,80	19,20
Tubo esgoto PVC (Krona) 100mm	58	m	5,30	307,40
Tubo esgoto PVC (Krona) 40mm	67	m	2,20	147,40
Tubo esgoto PVC (Krona) 50mm	8	m	3,00	24,00
Tubo esgoto PVC (Krona) 75mm	42	m	5,00	210,00
Tubo soldável (Krona) 25mm	18	m	2,20	39,60
Tubo soldável (Krona) 32mm	12	m	3,00	36,00
Subtotal			R\$ 2.395,10	
Itens utilizados na parte elétrica				
Compressor de ar 50l/m	1	Unid.	359,00	359,00
Cabo PP 2 x 2,5mm	40	m	5,00	200,00
Conectores de fios	14	Unid.	0,50	7,00
Disjuntor elétrico 16A + caixa	1	Unid.	13,50	13,50
Eletrobomba de máquina de lavar 220V	6	Unid.	30,00	180,00
Massa Durepox	2	Unid.	4,90	9,80
Massa Plástica 500g	1	Unid.	12,00	12,00
Pino fêmea	2	Unid.	3,00	6,00
Pino macho	4	Unid.	2,50	10,00
Temporizador analógico	2	Unid.	30,00	60,00
Temporizador digital	1	Unid.	138,90	138,90
Tomada tripla + caixa de luz	1	Unid.	15,00	15,00
Subtotal			R\$ 1.011,20	
Edificações e filtros				
Bombonas plásticas (aberta) 200L	2	Unid.	80,00	80,00
Bombonas plásticas (tampa) 150L	2	Unid.	80,00	80,00
Caixa de reposição de água	1	Unid.	79,35	79,35
Conduítes plásticos 20mm (intermediário)	200	m	0,64	128,00
Tambor 100L	2	Unid.	30,00	60,00
Sombrite 50% de passagem de luz	65	m	1,90	123,50
Tanques dos peixes volume 2m ³	2	Unid.	167,30	334,60
Subtotal			R\$ 885,45	
Equipamento de análise de água				

pHmetro digital	1	Unid.	30,00	30,00
TDS (Total Diluide Solids)	1	Unid.	35,00	35,00
Teste amônia tóxica	1	Unid.	29,00	29,00
Teste de Dureza em carbonatos	1	Unid.	29,00	29,00
Teste Ferro	1	Unid.	36,88	36,88
Teste Nitrato	1	Unid.	75,00	75,00
Teste Nitrito	1	Unid.	29,00	29,00
Teste Oxigênio dissolvido	1	Unid.	59,28	59,28
Subtotal			R\$ 323,16	
Equipamento e Serviço de Energia Solar				
Módulos Fotovoltaicos – BYD	3	Unid.	650,00	1.950,23
Inversor <i>On-grid</i> 1,5kW – <i>Canadian</i>	1	Unid.	2.500,00	2.000,56
Estrutura de Fixação	1	Unid.	300,00	455,49
Stringbox e Cabos CC	1	Unid.	300,00	315,03
Projeto e Instalação	1	-	1.000,00	1.000,00
Subtotal			R\$ 5.721,31	
Total			R\$ 10.336,22	

Fonte: Autor, (2020).

O valor investido em todo o sistema para realizar a análise foi de R\$ 10.336,22 (dez mil trezentos e trinta e seis reais e vinte e dois centavos). Será analisado se este investimento é viável ou não, utilizando algumas técnicas de análise de viabilidade financeira.

4.5 Manejo produtivo do sistema

4.5.1 Sistema de criação e arraçamento

Os alevinos de tilápia-do-Nilo foram obtidos por meio da empresa Fort-Alevinos situada no município de Acarape-CE, com peso médio inicial de 10g e revertidos sexualmente para machos. O povoamento dos tanques foi realizado no dia 28 de janeiro de 2020, com densidade 110 alevinos/tanque com a despesca ocorrida no dia 28 de agosto de 2020.

O sistema foi do tipo monofásico com entrada na fase de alevino I (10g) até atingir o peso comercial em um período de aproximadamente 6 (seis) meses, dividindo-se em 3 (três) fases (inicial/juvenil, crescimento e engorda), definidas por meio das biometrias.

A frequência de arraçamento e quantidade de ração foram fornecidas de acordo com Wambach (2012) podendo variar de acordo com a temperatura da água. A Tabela 3.1 apresenta as recomendações de fornecimentos de rações para os peixes em diferentes fases de desenvolvimento.

Tabela 4.3 - Recomendações de fornecimento de rações para tilápia-do-Nilo em diferentes fases de desenvolvimento.

Faixa de peso (g)	Frequência diária	Ração diária (% da biomassa)
5 – 15	4 vezes	10,0
15 – 25	4 vezes	7,0
25 – 45	4 vezes	6,0
45 – 75	4 vezes	5,0
75 – 175	4 vezes	4,0
175 – 350	4 vezes	3,0
350 – 600	4 vezes	2,0

Fonte: Adaptado de Wambach (2012).

No presente estudo pesou-se a quantidade de ração diária estipulada por meio das biometrias de acordo com o recomendado. Posteriormente foram fornecidas aos poucos até que os animais recusassem. Em seguida as sobras foram pesadas e a quantidade ofertada foi anotada. Foi fornecida ração extrusada do tipo AL10 PR50 e PR300 da marca comercial Aquamix em diferentes composições nutricionais. A composição das rações fornecidas aos animais pode ser visualizada na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Composição nutricional da ração utilizada no arraçamento das tilápias.

FASES	COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL DAS RAÇÕES
Inicial/juvenil AL 10	Umidade (máx.) 100g, Proteína Bruta (mín.) 350 g, Fibra Bruta (mín.) 35 g, Extrato Etéreo (mín.) 80 g, Matéria Mineral (máx.) 150 g, Cálcio (máx.) 25 g, Cálcio (mín.) 7.000 mg g, Fósforo (mín.) 7.000 mg, Vitamina C (mín.) 650 mg, Timol (mín.) 11,25 mg, Carvacrol (mín.) 11,25 mg, Protease (mín.) 3.150 U, Selênio Orgânico (mín.) 0,2 mg, Zinco (mín.) 50 mg.
Crescimento PR50	Umidade (máx.) 100g, Proteína Bruta (mín.) 320 g, Fibra Bruta (mín.) 50 g, Extrato Etéreo (mín.) 40 g, Matéria Mineral (máx.) 120 g, Cálcio (máx.) 30 g, Cálcio (mín.) 10 g, Fósforo (mín.) 5.000 mg, Vitamina C (mín.) 250 mg, Selênio Orgânico (mín.) 0,1 mg, Zinco (mín.) 30 mg.
Engorda PR300	Umidade (máx.) 100g, Proteína Bruta (mín.) 320 g, Fibra Bruta (mín.) 50 g, Extrato Etéreo (mín.) 40 g, Matéria Mineral (máx.) 120 g, Cálcio (máx.) 30 g, Cálcio (mín.) 10 g, Fósforo (mín.) 5.000 mg, Vitamina C (mín.) 250 mg, Selênio Orgânico (mín.) 0,1 mg, Zinco (mín.) 30 mg.

Fonte: INTEGRAL MIX (2018).

4.5.2 Análise físico-químico da água

Os parâmetros físico-químicos avaliados durante o ciclo de produção foram: temperatura da água (°C) e potencial hidrogeniônico (pH) diariamente e semanalmente:

oxigênio dissolvido (O₂-mg/L), condutividade elétrica (CE-mS/cm), amônia tóxica (NH₃-mg/L), nitrito (NO₂--mg/L), dureza em carbonatos (KH-mg/L), gás carbônico (CO₂ mg/l), Nitrato (NO₃-) e Ferro (Fe). As aferições de temperatura e condutividade elétrica serão realizadas por meio de um medidor digital de Totais de Sólidos Dissolvidos (TDS), o potencial Hidrogeniônico (pH) será aferido por um medidor de pH digital e os demais parâmetros através de testes tituláveis. Todas as mensurações serão realizadas seguindo as especificações dos fabricantes de cada aparelho e titulações.

4.6 Indicadores de desempenho das tilápias

Foram avaliados os seguintes indicadores:

- Ganho de peso individual – GPID (g/dia);
- Taxa de sobrevivência – SV (%);
- Peso médio dos peixes – Pm (g);
- Biomassa estimada - BE (kg);
- Conversão alimentar – CA;
- Densidade de estocagem – DE (peixes/área);
- Ciclo de produção – CP;
- Produção total – PT (kg).

A seguir é apresentado as equações para determinar os indicadores avaliados.

A Equação (4.1) avalia o ganho de peso individual do peixe:

$$GPID = \frac{P_{mpf} - P_{mpi}}{D_c} \quad (4.1)$$

Onde:

P_{mpf} - Peso médio final, em g;

P_{mpi} - Peso médio inicial, em g;

D_c - Dias de cultivo.

A Equação (4.2) avalia a taxa de sobrevivência dos peixes:

$$SV = \frac{N_d}{N_e} \cdot 100 \quad (4.2)$$

Onde:

N_d - Número de peixes despescados;

N_e - Número de peixes estocados.

A Equação (4.3) avalia o peso médio dos peixes:

$$P_m = \frac{P_{peixe}}{N_{peixe}} \quad (4.3)$$

Onde:

P_{peixe} - Peso total dos peixes, em kg;

N_{peixe} - Número de peixes.

A Equação (4.4) avalia Biomassa estimada dos peixes:

$$BE = \frac{N_e \cdot P_m}{1000} \quad (4.4)$$

Onde:

N_e - Número de peixes estocados;

P_m - Peso médio dos peixes.

A Equação (4.5) avalia a conversão alimentar:

$$CA = \frac{Q_f}{B_f - B_i} \quad (4.5)$$

Onde:

Q_f - Quantidade de ração fornecida;

B_f - Biomassa final;

B_i - Biomassa inicial.

A Equação (4.6) avalia a densidade de estocagem:

$$DE = \frac{Q_{rf}}{A_c} \quad (4.6)$$

Onde:

Q_{rf} - Quantidade de ração fornecida, em kg;

A_c - Área de cultivo, em m².

A Equação (4.7) avalia o ciclo de produção:

$$CP = Dia_i - Dia_f \quad (4.7)$$

Onde:

Dia_i - Início dia;

Dia_f - Final dia.

A Equação (4.8) avalia a produção total:

$$PT = \sum P_d \quad (4.8)$$

Onde:

P_d - Peixes despescados ao final do ciclo, em kg.

4.7 Análise de Viabilidade Econômica do Sistema

Neste tópico serão apresentados os métodos de análise econômica para avaliar se a instalação do sistema de aquaponia com energia solar é viável. Nesse estudo, serão utilizados quatro métodos de análises de investimentos para comprovar que o projeto não irá trazer riscos financeiros ao proprietário. Os métodos que serão utilizados para essa análise são: VPL (Valor Presente Líquido), TIR (Taxa Interna de Retorno), Payback descontado e Payback simples.

4.7.1 Valor presente líquido (VPL)

A técnica do Valor Presente Líquido (VPL) ou Valor Líquido Atual é um método sofisticado para análise de investimento, de modo que calcula em termos de valor presente o

impacto dos eventos futuros associados a uma alternativa de investimento. Ou seja, esse método analisa o valor presente dos fluxos de caixas gerados pelo projeto ao longo de uma vida útil (SANTOS, 2016). O VPL é calculado pela equação (4.9).

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^T \frac{FC_t}{(1+K)^t} \quad (4.9)$$

Em que:

- I = investimento inicial;
- FC_t = fluxo de caixa no t-ésimo período;
- K = custo de capital ou custo de oportunidade.

Tem-se que valores de VPL negativos implicam que as despesas serão maiores que as receitas, tornando assim o projeto inviável. Para um valor de VPL positivo, as receitas serão maiores que as despesas, tornando o projeto viável. E para valores de VPL iguais a zero, os valores de despesas e receitas serão iguais, tornando a decisão de investimento neutra. Como o VPL indica o lucro em reais que o projeto trará, quanto maior for o valor de VPL encontrado, mais lucrativo e viável será o projeto (SANTOS, 2016).

No VPL, as saídas e entradas do fluxo de caixa gerados pelo projeto ao longo de sua vida útil, são traduzidas em valores monetários atuais, descontando-se o fluxo de caixa, uma taxa de retorno mínima (K) que se espera obter com o projeto, esta taxa também é conhecida como taxa mínima de atratividade (TMA) e é definida pelo investidor (SANTOS e LEANDRO, 2016). Com os valores do fluxo de caixa é possível que os mesmos sejam comparados com os valores do investimento inicial, possibilitando, assim, obter a resposta acerca da viabilidade ou não do investimento.

4.7.2 Taxa interna de retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR), tem como finalidade determinar o rendimento que um determinado negócio pode vir a dar em um período. A TIR é a técnica mais usada para avaliações de alternativas de investimentos. Ao contrário do VPL, que tem como função avaliar a rentabilidade absoluta a determinado custo do capital, o TIR tem como objetivo encontrar uma taxa intrínseca de rendimento. Para tanto, calcula-se a taxa de desconto na qual o fluxo de caixa deve ter para que o seu VPL seja igual a zero. A TIR é determinada pela equação (4.10).

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^T \frac{FC_t}{(1+i)^t} = 0 \quad (4.10)$$

Neste método, o projeto é considerado economicamente viável quando o valor da TIR for maior que a TMA (SANTOS e LEANDRO, 2016).

4.7.3 *Payback descontado e simples*

O *payback* descontado se trata do indicador que mostra o tempo necessário para que haja a recuperação financeira de determinado investimento. Nele os valores de entrada e saída de capital são baseados nos valores presentes, uma vez que o mesmo desconta os custos de capital nos fluxos de caixa. Este método tem como objetivo determinar o (T) da equação dada a seguir (SAMANEZ, 2010; SANTOS, 2016):

$$I = \sum_{t=1}^T \frac{FC_t}{(1+K)^t} \quad (4.11)$$

O *payback* simples, assim como o *payback* descontado, é um indicador que mostra o tempo necessário para a recuperação financeira de um investimento. Porém ele é menos eficaz, uma vez que não considera o valor do dinheiro no tempo. Nesse método, os fluxos de caixa de cada período são somados, até que o valor da soma se iguale ao valor do investimento inicial. Logo, se torna mais confiável a utilização do *payback* descontado (SAMANEZ, 2010).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Manejo do sistema – Sistema de aquaponia

5.1.1 Arraçoamento

Baseado nos resultados das biometrias realizadas durante as fases de criação dos peixes se estabeleceu à quantidade de ração diária a ser ofertada de acordo com os valores sugeridos por Wambach (2012, p.10). As biometrias também permitiram determinar a duração de cada fase e a quantidade total de ração ofertada em cada fase e durante todo o ciclo de criação dos peixes, conforme apresentado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Percentual e quantidade de ração sugerida e ofertada diariamente, consumo total de ração por tanque e biomassa dos peixes nos tanques 1 e 2 obtidos a partir das biometrias realizadas durante as fases inicial, crescimento e engorda.

Biometria (1)	Biomassa peixes (kg) (2)		Ração sugerida/dia (3)		Ração ofertada/dia (4)		Duração das fases (5)	Consumo total Ração/tanque (4 x 5)
Fase Inicial								
Data	T1	T2	(%)	(g)	(%)	(g)	Dias	(kg)
28/01	1,1	1,1	10,0	110,0	11,8	130,0	10	1,3
07/02	2,42	2,42	7,0	169,5	7,0	169,5	8	1,356
15/02	4,4	4,4	6,0	264,0	6,0	264,0	7	1,848
TOTAL							25	4,504
Fase de Crescimento								
22/02	5,5	5,5	5,0	275,0	5,0	275,0	10	2,750
03/03	8,25	8,25	4,0	330,0	2,5	206,3	47	9,696
19/04	14,3	15,84	3,0	452,1	2,0	301,4	83	25,016
TOTAL							140	37,462
Fase de Engorda								
11/07	27,44	24,74	2,0	521,8	1,9	496,0	48	23,808
TOTAL							48	23,808
Total							213	65,774

* T1- tanque de criação de peixes 1; T2 – tanque de criação de peixes 2.

Fonte: Autor, (2020).

A tabela 5.1 permitiu fazer uma leitura do percentual de ração ofertada durante as três fases de criação, na qual a fase de crescimento (2,5% e 2,0%) se mostrou abaixo do sugerido na literatura (4,0% e 3,0%). As demais fases se mostraram eficientes quanto ao fornecimento de ração.

Na fase inicial foram gastos com ração do tipo AL10 nos dois tanques 9,1 kg, onde o valor do quilograma custou R\$ 2,80 totalizando R\$ 25,48. Na fase de crescimento ofertou-se 74,9 kg da ração do tipo PR50 com valor do quilograma R\$ 2,40 totalizando R\$ 179,76. Na fase de engorda foram gastos 47,6 kg de ração do tipo PR300 com preço do quilograma R\$ 2,20 que totalizou R\$ 104,72. Ao todo foram fornecidos nas três fases 131,5 kg que corresponde ao custo de R\$ 309,96 em sete meses. Em doze meses o custo total com ração seria de R\$ 531,36, o que corresponde a 1,7 ciclos/ano.

O Ciclo de criação foi de 213 dias, onde a duração da fase de crescimento (140 dias) ficou acima do esperado, tendo como principal fator o baixo consumo de ração ofertado nessa fase fazendo com que os peixes demorassem a atingir o peso aproximado (300g) para dar início a fase seguinte (engorda).

A Tabela 5.2 permite fazer uma leitura detalhada do fornecimento de ração durante as fases inicial, crescimento e engorda; onde os valores referentes à quantidade ofertada de ração por dia/tanque permitiram determinar quantos metros quadrados de plantas de alface poderiam ser produzidos no período referente a cada fase. Sendo estabelecida uma relação de 60g de ração ofertada/dia para cada 1m² de plantas de alface.

Tabela 5.2 - Peso médio dos peixes obtidos a partir das biometrias, quantidade diária de ração ofertada por tanque, frequência e quantidade fracionada por refeição durante as fases inicial, crescimento e engorda.

Biometria		PV (%)	Quantidade (g) ofertada/dia/tanque		Frequência diária	Quantidade (g) fracionada/refeição	
Peso médio (g)			T1	T2		T1	T2
Fase Inicial							
T1	T2		T1	T2		T1	T2
10	10	11,8%	130,0	130,0	4	32,5	32,5
22	22	7%	169,5	169,5	4	42,37	42,7
40	40	6%	264,0	264,0	4	66,0	66,0
Fase de Crescimento							
50	50	5%	275,0	275,0	4	68,8	68,8

75	75	2,5%	206,3	206,3	4	51,6	51,6
130	144	2%	286,0	316,8	4	71,5	79,2
Fase de Engorda							
280	255	1,9%	521,4	470,0	4	130,4	117,5

Fonte: Autor, (2020).

As dificuldades encontradas no manejo de um sistema de aquaponia são tantas quanto as encontradas em outros tipos de criação animal, porém é importante antes de se implantar o sistema de criação aquapônico, estudar bastante os parâmetros físico-químicos da água e o comportamento alimentar dos peixes.

5.1.2 Parâmetros limnológicos da água

Durante as fases de criação dos peixes foram aferidos diariamente e semanalmente os parâmetros de qualidade da água e em seguida foi calculado as médias, de acordo com a Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Médias dos parâmetros de qualidade da água, potencial hidrogeniônico (pH), temperatura em graus Celsius (T°C), amônia tóxica (NH₃), nitrito (NO₂-), Nitrito (NO₃-), oxigênio dissolvido (O₂D), condutividade elétrica (CE), Total Dissolved Solids (TDS) dureza em carbonatos (KH) e gás carbônico (CO₂) durante o ciclo de produção de tilápias do Nilo no sistema de aquaponia nas fases de criação inicial, crescimento e engorda nos tanques 1 e 2.

Parâmetros avaliados	Fase inicial		Fase crescimento		Fase engorda	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
pH	7,5	7,2	7,6	7,3	7,1	7,0
T °C	29	29	27	27	27	27
NH ₃ - mg/L	0,013	0,014	0,101	0,044	0,005	0,026
NO ₂ - mg/L	2,8	1,75	1,75	1,38	0,5	0,8
NO ₃ ⁻ mg/L	5	5	25	25	10	10
O ₂ D- mg/L	8	8	5	5	7,7	7,7
CE -mS/cm	0,44	0,79	0,42	0,62	0,46	0,48
TDS - ppm	219,0	550,2	209,0	396,2	227,5	231,0
KH - mg/L	80,6	98,4	85,9	107,4	62,6	80,6
CO ₂ - mg/l	4,7	11,4	3,8	9,0	9,5	15,0

T1- tanque 1; T2 – tanque 2.

Fonte: Autor, (2020).

As médias do potencial hidrogeniônico (pH) se mantiveram entre 7,0 e 7,6; valores dentro do intervalo permitido na criação de tilápias do Nilo. Segundo Kubitzka (2011) o pH ideal

para o cultivo da tilápia do Nilo varia de 6,0 a 8,5. Já para as bactérias nitrificantes o pH ótimo é de 7,0 a 8,0 (CARNEIRO et al., 2015). Em nossa pesquisa o do nitrito se mostrou acima permitido em todas as fases de criação mesmo com pH estando dentro do aceitável para este parâmetro (7,0 e 8,0.) FAO (2014), indica que o mais adequado é o pH entre 6,0 e 7,0; pois essa taxa é mais apropriada para as plantas e peixes.

A temperatura da água é um parâmetro primordial para a produção de peixes, uma vez que influencia o desempenho do seu metabolismo, por serem animais ectotérmicos (MOURA et al., 2007). As médias de temperatura da água (27 a 29°C) se mantiveram dentro do intervalo ideal para a espécie, mantendo-se dentro do conforto térmico das tilápias de 27 a 30°C o que garante uma boa taxa de crescimento (SOMERVILLE et al., 2014).

A amônia entra originalmente no sistema aquapônico por meio ração dos peixes, geralmente rotulado como proteína bruta e medido como uma porcentagem. Um pouco desta proteína é usada pelos peixes para crescimento, e o restante é liberado como resíduos na forma de amônia (SOMERVILLE et al., 2014). No presente estudo a amônia tóxica (NH_3) apresentou valor acima do permitido para a espécie (0,101 mg/L) no tanque 1, e valor próximo ao permitido (0,044 mg/L) no tanque 2, ambos na fase de crescimento. É recomendável que a concentração de amônia não ionizada não exceda 0,05 mg/L para peixes tropicais como a tilápia do Nilo (KUBITZA, 1998).

O valor alto de NH_3 nessa fase fez com que tivéssemos que diminuir a quantidade diária de ração ofertada em função do peso vivo dos animais, evitando desperdício de ração e consequentemente diminuindo a concentração de amônia, visto que, a ração é rica em nitrogênio e só aumentaria os níveis de NH_3 no sistema.

O fator de conversão baixo de amônia pode ter sido influenciado pelo tipo de substrato alternativo usado nos biofiltros (conduíte). O pH e a temperatura, parâmetros que interferem diretamente na disponibilidade de amônia tóxica, estiveram dentro do esperado. Geralmente as bactérias funcionam melhor em pH mais alto, como o grupo *Nitrosomonas* preferindo um pH de 7,2-7,8, e o grupo *Nitrobacter* preferindo um pH de 7,2-8,2 (SOMERVILLE et al., 2014).

A concentração média de nitrito (NO_2^-) se manteve em estado de perigoso (1,38 a 2,8 mg/L) nas fases inicial e crescimento, e crítico (0,5 e 0,8 mg/L) na fase de engorda. Em uma unidade de aquaponia com biofiltração adequada, os níveis de nitrito devem ser próximos a zero, ou no máximo 1,0 mg/L, valores acima evitam o transporte de oxigênio na corrente sanguínea dos peixes (FAO, 2014). Essa diminuição do transporte de oxigênio no sangue causa

estresse aos peixes, mesmo em ambiente com oxigenação boa os peixes podem apresentar dificuldade de respirar e conseqüentemente diminuir o consumo de ração.

As médias de nitrato (NO_3^-) foram de 5mg/L na fase inicial, 25 mg/L na fase de crescimento e 10 mg/L na fase de engorda. O nitrato é a forma de nitrogênio mais acessível para as plantas, e sua produção é o objetivo do biofiltro. A faixa tolerável para os peixes é de até 300 mg/L, em níveis elevados (> 250 mg/L) haverá impacto negativo nas plantas, levando a crescimento vegetativo excessivo e acúmulo perigoso de nitratos em folhas, o que é perigoso para a saúde humana. De acordo com Somerville et al., (2014), é recomendável manter o nitrato em níveis de 5–150 mg/l, caso os valores se elevem acima do recomendado será necessário realizar uma troca parcial de água no sistema (TPA) ou adição de sal de cozinha.

Os níveis de oxigênio dissolvido (O_2D) estiveram dentro dos valores recomendados (8,0 e 7,7 mg/L) nas fases inicial e engorda. A fase de crescimento manteve o valor mínimo recomendado (5,0 mg/L) para a espécie. De acordo com a FAO (2014), os níveis ótimos de oxigênio apontados para sistemas aquapônicos são de 5 a 8mg/l, sendo que a tilápia tolera até 2mg/l, porém quanto mais alta taxa de oxigênio melhor será para os organismos envolvidos no sistema.

Os níveis de sólidos dissolvidos totais (TDS) se mantiveram em valores ideais para o sistema de aquaponia estando em intervalo de (209 a 550 ppm) e a condutividade elétrica (CE) entre (0,42 e 0,79 mS/cm). Em um sistema aquapônico, níveis consideravelmente mais baixos de TDS (200 a 400 ppm) ou CE (0,3 a 0,6 mS/cm) produzirá bons resultados porque os nutrientes são gerados continuamente” (RAKOCY; MASSER e LOSORDO, 2006, p.11).

A Dureza em Carbonatos (KH) mede a concentração de carbonatos e bicarbonatos que tamponam o pH (criam resistência à mudança de pH) e o nível ótimo para aquaponia é de cerca de 60-140 mg/L sendo suficiente para neutralizar o ácido nítrico produzido durante o processo de nitrificação e tamponar o pH em seu nível ideal (FAO, 2014). Em nosso trabalho o valor de (KH) esteve dentro do recomendado em intervalos que variaram de 62,6 a 107,4 mg/L.

Os valores de CO_2 ficaram entre 3,8 e 15 mg/L, a saturação de CO_2 na água gira em torno de 0,2 a 4,0 mg/L, porém quando há concentrações adequadas de oxigênio dissolvido os peixes podem tolerar valores maiores que 10 mg/L. Já em baixas concentrações de OD valores de CO_2 maiores que 25 mg/L podem afetar o desenvolvimento produtivo ou até causar asfixia dos peixes (KUBITZA, 1999).

5.1.3 Desempenho produtivo do sistema

A partir dos indicadores de produção foi possível estabelecer alguns parâmetros determinantes para avaliar a qualidade técnica do manejo do sistema de aquaponia, conforme apresentado na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Desempenho produtivo das tilápias obtidos a partir dos indicadores de produção Ganho de Peso Individual Diário (GPID), peso médio (Pm), biomassa estimada (BE), conversão alimentar (CA), taxa de sobrevivência (SV), densidade de estocagem (DE), ciclo de produção (CP) e produção total (PT).

Indicadores de produção	Fase inicial		Fase Crescimento		Fase engorda		Total*
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	
GPID/peixe (g)	1,6	1,6	1,64	1,46	4,0	4,3	2,15
Pm/peixe (g)	50	50	280	255	474	462	468
BE (kg)	5,5	5,5	27,44	24,74	46,45	44,81	103,0
CA	1,02	1,02	1,71	1,95	1,25	1,19	1,48
SV (%)	100	100	100	100	89	88	88,5
DE (peixe/m ³)	55	55	55	55	49	48,5	48,75
CP (dias)	-	-	-	-	-	-	213
PT (kg)	-	-	-	-	46,5	44,8	91,3

Fonte: Autor, (2020).

5.2 Sistema de Energia Solar Fotovoltaica

5.2.1 Identificação da unidade consumidora

O local utilizado para o estudo de implementação de todo o sistema foi uma residência, localizada na área rural da região do Maciço de Baturité, em Aracoiaba-CE. As coordenadas geográficas são latitude -4,365923° Sul e -38,8154552 longitude ° Oeste. Esta unidade é específica para o sistema em estudo.

5.2.2 Característica de consumo do sistema de aquaponia

Foi realizado um levantamento da potência instalada de todos os equipamentos empregados no sistema de aquaponia, e assim, pôde-se estimar o consumo mensal. Como consequência, foi proposto um sistema de energia solar fotovoltaica que atenda à necessidade energética do sistema de aquaponia.

A Tabela 5.4 apresenta em detalhe todos os equipamentos que foram utilizados para atender as exigências do projeto, além de mostrar a potência de cada dispositivo, os tempos que são ligados e desligado, as horas de funcionamento, consumo diário e mensal.

Tabela 5.5 – Dispositivos utilizados no sistema de aquaponia

Dispositivos	Objetivo	Quant.	Potência (W)	Tempo Ligada (min)	Tempo desligada (min)	Horas por dia (h)	Consumo diário (kWh)	Consumo mensal (kWh)
<i>Bombas 1</i>	Utilizada para recirculação do sump.	2	35	15	15	12	0,84	25,20
<i>Bombas 2</i>	Utilizada para recirculação dentro do tanque de cultivo dos peixes.	4	35	10	5	16	2,24	67,20
<i>Compressor de ar</i>	Melhorar a circulação oxigenação da água	1	35	15	15	12	0,420	12,60
Consumo Total (kWh)							105,00	

Fonte: Autor, (2020).

Como pode ser observado, o consumo mensal para atender a necessidade energética é de 105kWh. Dessa forma, mesmo que o sistema fotovoltaico gere o suficiente para zerar a conta de energia, o titular da unidade consumidora deverá pagar o custo de disponibilidade, que no local de estudo é equivalente a 30kWh, visto que a unidade é atendida com rede monofásica, e assim o sistema de energia solar deverá suprir aproximadamente 75kWh mensais. A seguir serão realizados a análise e o dimensionamento de todo o sistema de energia solar (SANTOS, 2016; ANEEL, 2015).

5.2.3 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

Para o dimensionamento do sistema, é realizada uma consulta no banco de dados do *Sundata/CRESESB*, através da qual são obtidos os dados de irradiação solar diária média mensal do local mais próximo à localização do sistema. Tais dados são obrigados a partir das coordenadas geográficas do local. A Figura 5.1 ilustra os dados de irradiação solar das cidades mais próximas ao local de instalação do sistema.

Figura 5.1 - Dados de irradiação solar diária média adquiridos no banco de dados da *Sundata/CRESESB*

Localidades próximas

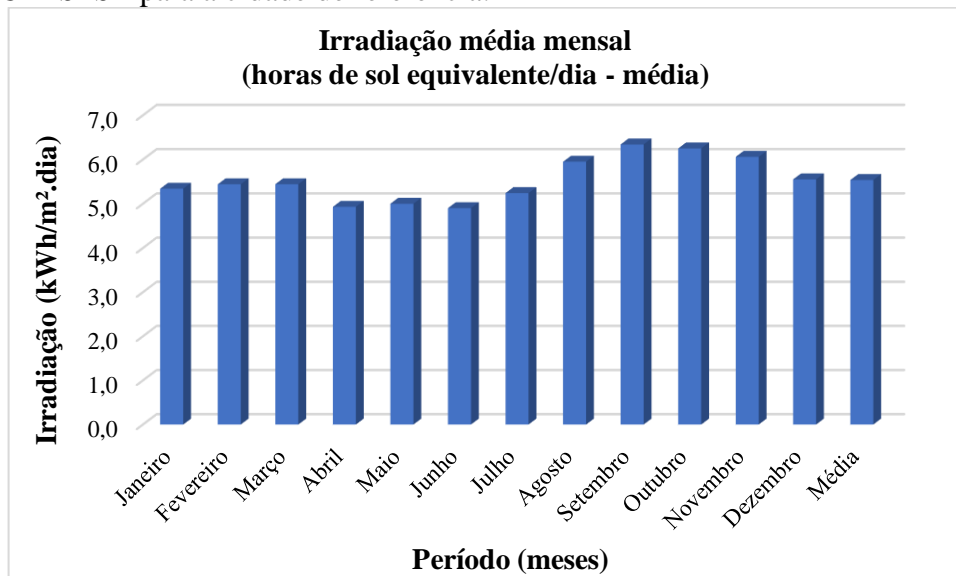
Latitude: 4,503622° S
Longitude: 38,828456° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]																
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
<input checked="" type="checkbox"/>	Capistrano	Capistrano	CE	BRASIL	4,501° S	38,849° O	2,3	5,34	5,44	5,44	4,93	5,00	4,90	5,24	5,95	6,34	6,25	6,06	5,55	5,54	1,44
<input checked="" type="checkbox"/>	Aracoiaba	Aracoiaba	CE	BRASIL	4,501° S	38,749° O	8,8	5,33	5,46	5,45	5,01	5,13	4,97	5,32	6,00	6,38	6,31	6,12	5,56	5,59	1,40
<input checked="" type="checkbox"/>	Itapiuna	Itapiuna	CE	BRASIL	4,601° S	38,849° O	11,1	5,46	5,48	5,45	5,00	5,11	4,87	5,28	6,01	6,40	6,33	6,16	5,55	5,59	1,53

Fonte: *Sundata/CRESESB* (2020).

Note que a estação de medição mais próxima ao local onde será instalado o sistema fotovoltaico é a cidade de Capistrano, a 2,3km de distância. Dessa forma, tomando como referência a cidade de Capistrano, a Figura 5.2 apresenta os dados de irradiação em diferentes inclinações para a cidade de referência adotado.

Figura 5.2 - Dados de irradiação solar diária média adquiridos no banco de dados da *Sundata/CRESESB* para a cidade de referência.



Fonte: *Sundata/CRESESB* (2020).

A inclinação ideal para se ter o melhor rendimento do sistema em termos de geração, é determinada utilizando-se a latitude local, de aproximadamente 4,50°. O ângulo de inclinação dos módulos para um melhor aproveitamento da irradiação solar incidente, de acordo com a equação (5.6), será:

$$\beta = 3,7 + (0,69 \times 4,50)$$

$$\beta = 6,805^\circ \quad (5.1)$$

Conforme calculado, a inclinação ideal dos módulos é 6,80°. No entanto, para o Brasil, não é indicado um ângulo de inclinação menor do que 10°, pois prejudicaria na autolimpeza dos módulos (VERAS, 2017; MIRANDA, 2014).

Para estimar a geração de energia pelo sistema fotovoltaico, é útil desprezar os efeitos da variação da irradiação a cada instante e considerar uma totalidade de energia elétrica convertida em intervalos de horário. Assim, é conveniente expressar um valor acumulado de energia solar ao longo de um dia, conhecida como Horas de Sol Pleno (HSP). Essa grandeza apresenta o número de horas equivalentes por dia durante os quais a irradiação solar permanece constante e igual a 1 kWh/m² (1.000W/m²), de modo que a energia resultante seja igual à energia disponibilizada pelo Sol, acumulada ao longo de um dado dia (GTES, 2014).

$$HSP = \frac{5,54 [kWh / m^2 \cdot dia]}{1 [kWh / m^2]} = 5,54 [h / dia] \quad (5.2)$$

A partir dos dados obtidos anteriormente, é possível determinar a potência do sistema para suprir o consumo do sistema de aquaponia é calculada a partir da equação (5.3).

$$P_{int} = \frac{75}{5,54 \times 30 \times 0,70} = 644Wp \quad (5.3)$$

A quantidade de módulos para atender esta potência do sistema é determinado na equação (5.4).

$$N_{mod} = \frac{644}{335} \cong 1,92 \text{ módulos} \quad (5.4)$$

No Cálculo, foi estimado que 2 módulos atenderiam a necessidade do cliente, porém, para que o inversor ligue todos os dias, ele precisa de uma tensão de circuito aberto mínimo do conjunto das placas para iniciar sua operação. Assim, foi utilizado 3 módulos fotovoltaicos com potência de 335Wp para atender a necessidade do consumo total da unidade. Assim, a potência instalada do sistema é 1.005kW. A Tabela 5.5 e 5.6 apresentam respectivamente, as especificações técnicas e mecânicas do módulo escolhido

Tabela 5.7 – Especificações técnicas do módulo FV⁴

Fabricante	BYD
Modelo	335PHK-36
Máxima Potência (P_m)	335
Eficiência	17%
Tensão de Máxima Potência (V_m)	38,10
Corrente de Máxima Potência (I_m)	8,79
Tensão de Circuito Aberto (V_{oc})	45,44
Corrente de Curto-Circuito (I_{sc})	9,25

Fonte: BYD (2020).

Tabela 5.8 – Especificações mecânicas do módulo FV

Dimensões do módulo	1922x0,992x35
Proteção	IP65
Número de células e tipo	144, policristalina
Peso do módulo	22 kg

Fonte: BYD (2020).

A escolha desse modelo se deu a partir do embasamento teórico detalhado na subseção 3.1.2, e preço dos equipamentos, visto que o custeio de todo o sistema foi arcado por mim.

O inversor utilizado foi da marca *Canadian* com potência de 1,6kW. A Tabela 5.9 apresenta as especificações técnicas do inversor utilizado.

Tabela 5.9 – Especificações do inversor *Canadian*

Fabricante	<i>Canadian</i>
Modelo	CSI-1.5K-TL
Máxima Potência Recomendada (STC)	1900W
Máxima Eficiência	97%
Potência de Saída	1600W
Corrente Máxima CA	7,80

Fonte: BYD (2020).

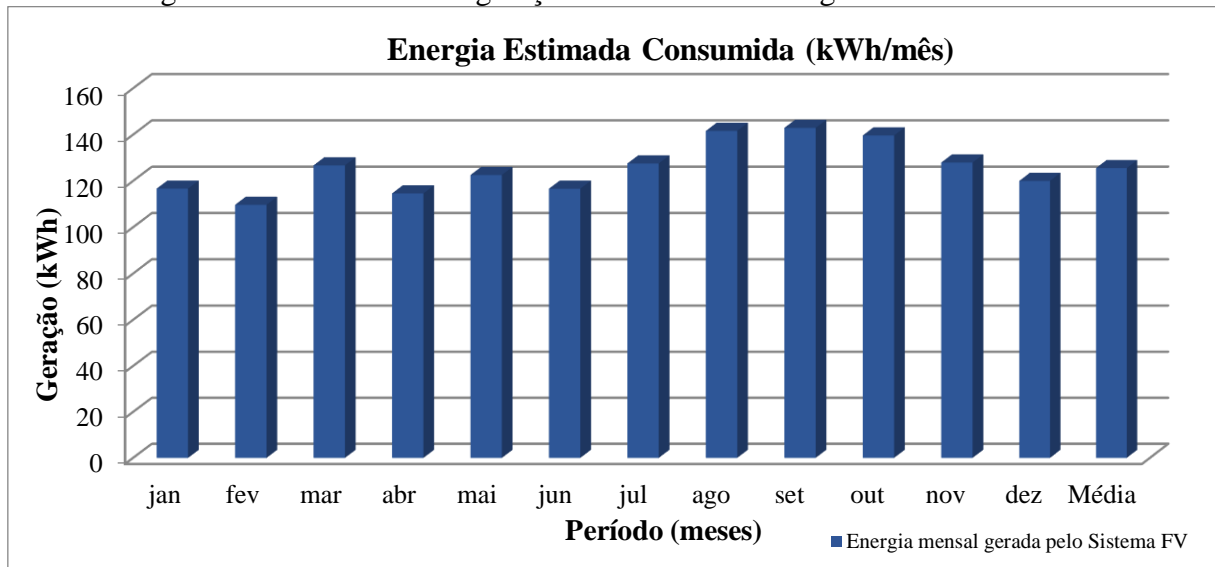
É importante ressaltar que todo o projeto deve ser homologado pela concessionária local. Todo o projeto se encontra em Anexo B.

5.2.4 Estimativa de geração

A partir dos parâmetros descritos anteriormente, pôde-se determinar a geração de energia no primeiro ano de operação do sistema. A Figura 5.3 apresenta a geração no decorrer do primeiro ano.

⁴ Condições padrão de teste STC/CPT: Irradiação de 1.000 W/m²; espectro de Massa de Ar 1.5 e Temperatura de Célula de 25°C.

Figura 5.3 - Estimativa de geração do sistema de energia solar fotovoltaica



Fonte: Autor (2020).

Conforme pode ser observado, o sistema irá gerar uma média de 125kWh por mês, geração esta que está acima da estimativa de consumo. O sistema sempre vai gerar mais energia e assim ficarão créditos no sistema de compensação. Esses créditos serão utilizados pelo proprietário na unidade consumidora após a conclusão da pesquisa, visto que o mesmo irá expandir o sistema, ou seja, vai aumentar a carga instalada de equipamentos elétricos.

As Figuras 5.4 e 5.5 ilustram os equipamentos instalados e em pleno funcionamento na unidade em estudo.

Figura 5.4 – Imagem aérea do sistema de aquaponia e do sistema fotovoltaico



Fonte: Autor (2020).

Figura 5.5 – Inversor e sistema de proteção



Fonte: Autor (2020).

5.3 Análise de Viabilidade Econômica do Sistema

Para o estudo de viabilidade econômica do sistema de aquaponia com energia solar, fez-se necessário analisar a produção dos peixes, hortaliças, além da produção de energia do sistema ao longo da vida útil dos módulos e inversores, de forma a ter uma estimativa da economia gerada, em reais, a cada ano de operação do sistema. A seguir serão apresentadas algumas considerações para realização da análise.

5.3.1 Considerações iniciais

A Tabela 5.10 apresenta os dados

de 1 ciclo de produção de peixe e alface obtidos em 7 meses de análise. Essas informações serão replicadas numa produção ano a ano, até atingir 25 anos de dados, e assim, se obter o retorno financeiro da produção, para se verificar se o investimento inicial foi realmente viável, e assim, comprovar se a ideia de um sistema de aquaponia integrada com energia solar é uma alternativa econômica para pequenas comunidades rurais.

Tabela 5.10 – Parâmetros de produção do sistema de aquaponia

Produto	Ciclos (dias)	Produção	Custos com ração	Receita Total
Peixe	213	91,30 Kg	R\$ 309,96	R\$ 639,10
Alface	56	252 unid.	-	R\$ 768,00
Receita total				R\$ 1.407,10

Fonte: Autor (2020).

Conforme pode-se observar na tabela anterior, a receita total para um ciclo de produção de peixe e de alface é R\$ 1.407,10. Para a análise de viabilidade financeira, é considerado uma receita anual na produção de peixes, assim, pode-se estimar uma receita anual de R\$ 1.095,50 na produção de peixes e R\$ 1.316,00 na produção da alface, ou seja, a receita total em um ano de produção do sistema é de aproximadamente R\$ 2.411,50. O custo com a ração em doze meses é equivalente a R\$ 531,36.

O período de 25 anos para a análise de geração de energia e estimativa de economia gerada, uma vez que os módulos utilizados possuem uma referência de 80% de rendimento em 25 anos de operação. Assim, tomando com esta referência, é utilizada para estimativa de geração dos módulos. É importante considerar que os módulos são expostos ao processo de degradação natural, provocando um decaimento médio anual em torno de 0,8% na eficiência. Assim, com base na estimativa de geração de energia para o primeiro ano, considerou-se essa depreciação ano a ano para os próximos 25 anos.

Pode-se observar na Tabela 5.8 a produção em um ciclo de peixe equivalente a 91,30 kg, que ocorreu em período de 7 meses e 3 dias. Na produção da alface, um ciclo ocorre em apenas 56 dias, obtendo-se 252 unidades, assim, em um ciclo da produção de peixe que dura aproximadamente 7 meses, pode-se obter 960 unidades de alface. Conforme pode ser observado também, o custo com ração para um ciclo de produção do peixe é equivalente a R\$ 309,96. Dessa forma, esse é o custo fixo para produção dos peixes. Logo, ao fim de cada ciclo, a receita total em ambos os produtos é R\$ 1.407,10 em 7 meses de produção.

A seguir é realizado o estudo de análise de investimento para saber se essa ideia é realmente viável em termos financeiros.

5.3.2 Estimativa de economia

Com base nos dados de geração, consumo, tarifa vigente e custo do investimento inicial, custos fixos e receita na produção dos peixes e alface, apresentados na Tabela 4.1, realizou-se a análise de viabilidade econômica do sistema de aquaponia com energia solar fotovoltaica.

É importante ressaltar que a tarifa cobrada na unidade em estudo é 0,18767 R\$/kWh. Desse modo, a unidade é beneficiada com a tarifa social de energia elétrica, conforme previsto por Lei e publicado no dia 12/01/2016 na Aneel.

A Tarifa Social de Energia Elétrica – TSEE foi criada pela **Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002**. Por meio dela, são concedidos descontos para os consumidores enquadrados na Subclasse Residencial Baixa Renda. Os consumidores da subclasse

Residencial Baixa Renda são beneficiados com a isenção do custeio da Conta de Desenvolvimento Energético - CDE e do custeio do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA (ANEEL, 2020).

Além dessas isenções, no restante da tarifa residencial são aplicados os descontos, de modo cumulativo, de acordo com a tabela a seguir:

Tabela 5.11 – Descontos na tarifa de energia para unidade de baixa renda

Parcela de consumo mensal de energia elétrica	Desconto	Tarifa para aplicação da redução
de 0 a 30 kWh	65%	B1 subclasse baixa renda
de 31 kWh a 100 kWh	40%	
de 101 kWh a 220 kWh	10%	
A partir de 221 kWh	0%	

Fonte: Aneel (2020).

Para fins de análise da viabilidade econômica consideraram-se para o primeiro ano dois períodos: jan/20 a jun/20 e jul/20 a dez/20. Para o primeiro período, foi utilizada uma tarifa de 0,18 R\$/kWh; no segundo período, ao analisar a fatura de energia da propriedade, viu-se um aumento de aproximadamente 2,99% na tarifa. Assim, nos próximos períodos considerou-se um aumento conservador anual de 7,5% aplicado a partir de todo mês de abril (período em que geralmente ocorre um reajuste da tarifa da Enel), com base na tarifa anterior, fez-se isso até o 25º ano (VERAS, 2017).

A título de verificação, realizou-se, ano a ano, a estimativa da economia com e sem geração de energia do sistema fotovoltaico. Na coluna “Créditos de Energia (kWh)” sinaliza os meses em que o sistema gerou além da necessidade de consumo. Nos meses em que foram gerados créditos, estes são sinalizadas na cor verde com a simbologia (↑). Caso os créditos sejam necessários para abater os próximos meses, isso será sinalizado pela simbologia (→), a qual representa o uso dos créditos do mês anterior. Observa-se que em cada período, os créditos vão sendo acumulados e são representados com (↑), caso a geração no período atual preciso dos créditos, são sinalizados por (→).

A Tabela 5.12 apresenta a economia total do sistema fotovoltaico, incluindo os custos fixos da produção dos peixes, receita de produção e economiza no valor da energia elétrica.

Observa-se na Tabela 5.10 que no período “set/29 a abr/30” a estimativa de geração do sistema de energia solar foi equivalente a 516,02 kWh, e o consumo acumulado permaneceu 630kWh. Observa-se que houve a necessidade do uso de créditos para compensar a diferença de consumo. Assim, foi utilizada a simbologia → para indicar que houve compensação nesse

período. Assim sendo, a unidade gerou menos energia e manteve o mesmo consumo estimado. Em outras palavras, o sistema fotovoltaico gerou menos energia nesses períodos.

Pode-se notar também que do primeiro ao décimo quarto ano a unidade foi taxada com o custo de disponibilidade equivalente a 30 kWh, devido ao fato de o sistema ter gerado créditos acumulados desde o primeiro mês de operação do sistema.

Tabela 5.12 – Economia total anual estimada com o uso de créditos gerados

Ano	Períodos	Eficiência anual dos módulos	Geração com depreciação (kWh)	Consumo (kWh)	Créditos de Energia (kWh)	Reajuste Tarifário	Tarifação (R\$/kWh)	Custo sem GD	Custo com GD	Economia total anual
1*	jan/20 a jun/20	100,00%	757,06	630	↑ 127,06	0,00%	0,18	R\$ 113,40	R\$ 5,40	R\$ 108,00
	jul/20 a dez/20		862,88	630	↑ 359,95	3,00%	0,18540	R\$ 116,80	R\$ 5,56	R\$ 111,24
2*	jan/21 a jun/21	99,20%	751,01	630	↑ 480,95	0,00%	0,18540	R\$ 116,80	R\$ 5,56	R\$ 111,24
	jul/21 a dez/21		855,98	630	↑ 706,93	7,50%	0,19931	R\$ 125,56	R\$ 5,98	R\$ 119,58
3*	jan/22 a jun/22	98,40%	738,99	630	↑ 815,92	0,00%	0,19931	R\$ 125,56	R\$ 5,98	R\$ 119,58
	jul/22 a dez/22		842,28	630	↑ 1028,21	7,50%	0,21425	R\$ 134,98	R\$ 6,43	R\$ 128,55
4*	jan/23 a jun/23	97,60%	721,26	630	↑ 1119,46	0,00%	0,21425	R\$ 134,98	R\$ 6,43	R\$ 128,55
	jul/23 a dez/23		822,07	630	↑ 1311,53	7,50%	0,23032	R\$ 145,10	R\$ 6,91	R\$ 138,19
5*	jan/24 a jun/24	96,80%	698,18	630	↑ 1379,70	0,00%	0,23032	R\$ 145,10	R\$ 6,91	R\$ 138,19
	jul/24 a dez/24		795,76	630	↑ 1545,47	7,50%	0,24760	R\$ 155,99	R\$ 7,43	R\$ 148,56
6*	jan/24 a jun/24	96,00%	670,25	630	↑ 1585,71	0,00%	0,24760	R\$ 155,99	R\$ 7,43	R\$ 148,56
	jul/24 a dez/24		763,93	630	↑ 1719,65	7,50%	0,26617	R\$ 167,68	R\$ 7,98	R\$ 159,70
7*	jan/24 a jun/24	95,20%	638,08	630	↑ 1727,72	0,00%	0,26617	R\$ 167,68	R\$ 7,98	R\$ 159,70
	jul/24 a dez/24		727,26	630	↑ 1824,98	7,50%	0,28613	R\$ 180,26	R\$ 8,58	R\$ 171,68
8*	jan/24 a jun/24	94,40%	602,34	630	→ 1797,33	0,00%	0,28613	R\$ 180,26	R\$ 8,58	R\$ 171,68
	jul/24 a dez/24		686,54	630	↑ 1853,86	7,50%	0,30759	R\$ 193,78	R\$ 9,23	R\$ 184,55
9*	jan/24 a jun/24	93,60%	563,79	630	→ 1787,66	0,00%	0,30759	R\$ 193,78	R\$ 9,23	R\$ 184,55
	jul/24 a dez/24		642,60	630	↑ 1800,26	7,50%	0,33066	R\$ 208,31	R\$ 9,92	R\$ 198,39
10*	jan/24 a jun/24	92,80%	523,20	630	↑ 1693,46	0,00%	0,33066	R\$ 208,31	R\$ 9,92	R\$ 198,39
	jul/24 a dez/24		596,33	630	→ 1659,79	7,50%	0,35546	R\$ 223,94	R\$ 10,66	R\$ 213,27
11*	jan/24 a jun/24	92,00%	481,34	630	→ 1511,13	0,00%	0,35546	R\$ 223,94	R\$ 10,66	R\$ 213,27
	jul/24 a dez/24		548,62	630	→ 1429,76	7,50%	0,38212	R\$ 240,73	R\$ 11,46	R\$ 229,27
12*	jan/24 a jun/24	91,20%	438,99	630	→ 1238,74	0,00%	0,38212	R\$ 240,73	R\$ 11,46	R\$ 229,27
	jul/24 a dez/24		500,35	630	→ 1109,09	7,50%	0,41077	R\$ 258,79	R\$ 12,32	R\$ 246,46
13*	jan/24 a jun/24	90,40%	396,84	630	→ 875,93	0,00%	0,41077	R\$ 258,79	R\$ 12,32	R\$ 246,46
	jul/24 a dez/24		452,31	630	→ 698,24	7,50%	0,44158	R\$ 278,20	R\$ 13,25	R\$ 264,95
14*	jan/24 a jun/24	89,60%	355,57	630	→ 423,82	0,00%	0,44158	R\$ 278,20	R\$ 13,43	R\$ 143,77
	jul/24 a dez/24		405,27	630	→ 199,09	7,50%	0,47470	R\$ 299,06	R\$ 120,92	R\$ 178,14
15*	jan/24 a jun/24	88,80%	315,75	630	-	0,00%	0,47470	R\$ 299,06	R\$ 163,42	R\$ 135,64
	jul/24 a dez/24		359,88	630	-	7,50%	0,51030	R\$ 321,49	R\$ 153,15	R\$ 168,34
16*	jan/24 a jun/24	88,00%	277,86	630	-	0,00%	0,51030	R\$ 321,49	R\$ 195,01	R\$ 126,48
	jul/24 a dez/24		316,70	630	-	7,50%	0,54858	R\$ 345,60	R\$ 188,33	R\$ 157,27
17*	jan/24 a jun/24	87,20%	242,29	630	-	0,00%	0,54858	R\$ 345,60	R\$ 229,14	R\$ 116,46
	jul/24 a dez/24		276,16	630	-	7,50%	0,58972	R\$ 371,52	R\$ 226,36	R\$ 145,16
18*	jan/24 a jun/24	86,40%	209,34	630	-	0,00%	0,58972	R\$ 371,52	R\$ 265,76	R\$ 105,76
	jul/24 a dez/24		238,60	630	-	7,50%	0,63395	R\$ 399,39	R\$ 267,15	R\$ 132,24
19*	jan/24 a jun/24	85,60%	179,20	630	-	0,00%	0,63395	R\$ 399,39	R\$ 304,81	R\$ 94,58
	jul/24 a dez/24		204,24	630	-	7,50%	0,68149	R\$ 429,34	R\$ 310,60	R\$ 118,75
20*	jan/24 a jun/24	84,80%	151,96	630	-	0,00%	0,68149	R\$ 429,34	R\$ 346,23	R\$ 83,11
	jul/24 a dez/24		173,20	630	-	7,50%	0,73261	R\$ 461,54	R\$ 356,63	R\$ 104,91
21*	jan/24 a jun/24	84,00%	127,64	630	-	0,00%	0,73261	R\$ 461,54	R\$ 390,01	R\$ 71,53
	jul/24 a dez/24		145,49	630	-	7,50%	0,78755	R\$ 496,16	R\$ 405,21	R\$ 90,95
22*	jan/24 a jun/24	83,20%	106,20	630	-	0,00%	0,78755	R\$ 496,16	R\$ 436,15	R\$ 60,01
	jul/24 a dez/24		121,04	630	-	7,50%	0,84662	R\$ 533,37	R\$ 456,29	R\$ 77,08
23*	jan/24 a jun/24	82,40%	87,51	630	-	0,00%	0,84662	R\$ 533,37	R\$ 484,68	R\$ 48,69
	jul/24 a dez/24		99,74	630	-	7,50%	0,91011	R\$ 573,37	R\$ 509,90	R\$ 63,47
24*	jan/24 a jun/24	81,60%	71,41	630	-	0,00%	0,91011	R\$ 573,37	R\$ 535,69	R\$ 37,69
	jul/24 a dez/24		81,39	630	-	7,50%	0,97837	R\$ 616,37	R\$ 566,10	R\$ 50,28
25*	jan/24 a jun/24	80,80%	57,70	630	-	0,00%	0,97837	R\$ 616,37	R\$ 589,28	R\$ 27,10
	jul/24 a dez/24		65,76	630	-	7,50%	1,05175	R\$ 662,60	R\$ 624,99	R\$ 37,61
								R\$ 15.330,70	R\$ 8.483,80	R\$ 6.846,89

Fonte: Autor (2020).

Ao analisar a Tabela 5.12, observou-se que a econômica estimada total em 25 anos com o sistema fotovoltaico conectado à rede, levando em consideração as perdas de eficiência do módulo, aumento tarifário e uso dos créditos gerados, obteve-se uma economia de R\$ 8.483,80, representando aproximadamente 45,00% do custo total pago sem o uso do sistema

fotovoltaico. Contudo, o sistema continua gerando após os 25 anos de vida útil, mas com uma queda de eficiência maior do que os 0,8% ao ano.

5.3.3 *Análise do payback descontado*

A partir dos dados referentes à economia anual, apresentado no subtópico 5.3.2, pôde-se realizar a análise do *payback* para saber se realmente é viável o investimento de todo o sistema de aquaponia com energia solar fotovoltaica. Dessa forma, foram utilizados os valores de economia, ano a ano, com o objetivo de determinar o fluxo de caixa descontando através do método VPL, e aplicá-lo na técnica do *payback* descontado, e assim, determinar o período mínimo de retorno do investimento.

O investimento inicial para a instalação de todo o sistema de aquaponia e de energia solar resultou em um valor de R\$ 10.336,22. A receita anual obtida na produção dos peixes e alface é R\$ 2.411,50 e custo operacional de R\$ 531,36 com ração dos peixes.

Para a análise da viabilidade desse investimento deve-se considerar a taxa mínima de atratividade (TMA), definida com base na média anual do índice referente à taxa de rendimento da poupança nos últimos dois anos. Esses dados podem ser obtidos no *site* Portal Brasil. A Tabela 5.13 apresenta o índice de rendimento dos últimos dois anos, 2018 e 2019.

Tabela 5.13 – Índice de rendimento anual da poupança

Ano	Índice Acumulado (%)
2018	4,68
2019	4,34
Média	4,51

Fonte: Portal Brasil (2020).

O índice apresentado possui um rendimento média ao ano de 4,51%. Definiu-se então uma taxa mínima de atratividade de 10% a.a., garantindo, assim, um retorno maior do que aplicar o investimento na poupança. O valor da TMA será comparado com a taxa interna de retorno (TIR) com intuito de avaliar a viabilidade econômica de todo o projeto.

A Tabela 5.12 mostra os métodos de viabilidade do investimento. A Figura 5.6 apresenta a tendência do fluxo de caixa acumulado em todo o período de 25 anos de vida útil do sistema fotovoltaico com a produção dos peixes e alface.

Os cálculos para a determinação do VPL, TIR e *Payback's* foram facilitados pelo uso da ferramenta Microsoft Excel que dispõe de várias funções de análise econômica.

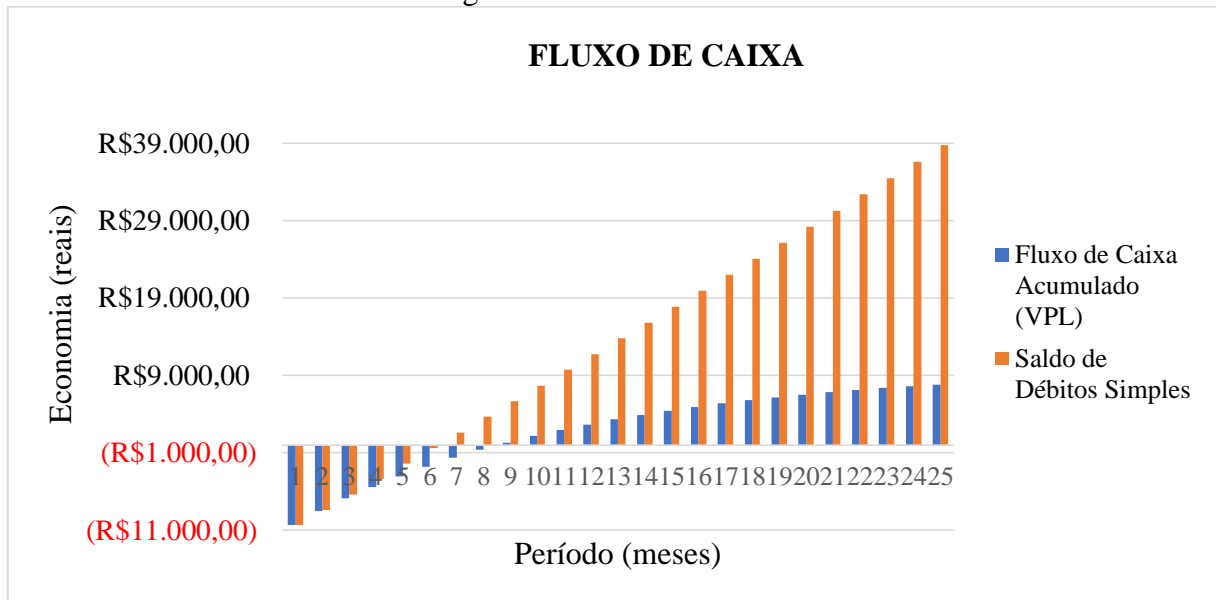
Tabela 5.14 – Estimativa do Payback descontado

Ano	Fluxo de Caixa	Saldo de Débitos Simples	Fluxo de Caixa Descontado (Valor Presente)	Fluxo de Caixa Acumulado (VPL)
0	-R\$ 10.336,22	-R\$ 10.336,22	-R\$ 10.336,22	-R\$ 10.336,22
1	R\$ 2.099,38	-R\$ 8.236,84	R\$ 1.908,53	-R\$ 8.427,69
2	R\$ 2.102,62	-R\$ 6.134,22	R\$ 1.737,70	-R\$ 6.689,99
3	R\$ 2.110,96	-R\$ 4.023,26	R\$ 1.586,00	-R\$ 5.103,99
4	R\$ 2.119,31	-R\$ 1.903,95	R\$ 1.447,51	-R\$ 3.656,48
5	R\$ 2.128,27	R\$ 224,32	R\$ 1.321,49	-R\$ 2.334,99
6	R\$ 2.137,24	R\$ 2.361,57	R\$ 1.206,42	-R\$ 1.128,57
7	R\$ 2.146,88	R\$ 4.508,45	R\$ 1.101,69	-R\$ 26,88
8	R\$ 2.156,53	R\$ 6.664,98	R\$ 1.006,04	R\$ 979,16
9	R\$ 2.166,89	R\$ 8.831,87	R\$ 918,97	R\$ 1.898,13
10	R\$ 2.177,26	R\$ 11.009,12	R\$ 839,43	R\$ 2.737,56
11	R\$ 2.188,40	R\$ 13.197,52	R\$ 767,02	R\$ 3.504,58
12	R\$ 2.199,54	R\$ 15.397,06	R\$ 700,84	R\$ 4.205,42
13	R\$ 2.211,52	R\$ 17.608,58	R\$ 640,60	R\$ 4.846,02
14	R\$ 2.223,49	R\$ 19.832,07	R\$ 585,52	R\$ 5.431,53
15	R\$ 2.236,37	R\$ 22.068,44	R\$ 535,37	R\$ 5.966,90
16	R\$ 2.249,25	R\$ 24.317,68	R\$ 489,50	R\$ 6.456,40
17	R\$ 2.263,09	R\$ 26.580,77	R\$ 447,74	R\$ 6.904,14
18	R\$ 2.276,93	R\$ 28.857,70	R\$ 409,53	R\$ 7.313,67
19	R\$ 2.291,81	R\$ 31.149,51	R\$ 374,73	R\$ 7.688,40
20	R\$ 2.306,69	R\$ 33.456,19	R\$ 342,87	R\$ 8.031,27
21	R\$ 2.322,68	R\$ 35.778,88	R\$ 313,87	R\$ 8.345,14
22	R\$ 2.338,68	R\$ 38.117,56	R\$ 287,30	R\$ 8.632,43
23	R\$ 2.355,87	R\$ 40.473,43	R\$ 263,10	R\$ 8.895,53
24	R\$ 2.373,07	R\$ 42.846,50	R\$ 240,93	R\$ 9.136,46
25	R\$ 2.391,55	R\$ 45.238,05	R\$ 220,73	R\$ 9.357,19

TMA	10% ao ano			
VPL	R\$			9.357,19
TIR	20%			
Payback Simples	5	anos	2	meses
Payback Descontado	7	anos	3	meses
Resultado	VIÁVEL			

Fonte: Autor (2020).

Figura 5.6 – Fluxo de caixa



Fonte: Autor (2020).

A Tabela 5.14 apresenta que o investimento será viável, com tempo estimado para recuperação do investimento no *payback* descontando de 7 anos e 3 meses de operação do sistema fotovoltaico, com um valor presente líquido (VPL) de retorno positivo no oitavo ano de R\$326,81. A taxa interna de retorno (TIR) para o investimento apresentou 19% a.a., sendo maior do que a taxa mínima de atratividade (TMA), e ainda maior que o índice de rendimento da poupança de 4,51%. Portanto, como critério de decisão através das técnicas VPL, TIR e *Payback* descontado, o investimento no projeto de implantação do sistema de aquaponia com energia solar é viável, apresentando um ganho total em 25 anos estimado em R\$ 9.357,19.

Pode-se analisar que o valor acumulado é baixo, porém uma justificativa para esse valor ser menor do que se espera é justamente pelo fato de a unidade ser classificada como baixa renda, possuindo, portanto, um benefício de 65% de desconto na tarifa vigente.

Ao analisar o *payback* simples na Tabela 5.12, o retorno do investimento apresenta uma redução em comparação com o *payback* descontando, resultando 5 anos e 2 meses. Porém esse método não condiz com a realidade, visto que o mesmo não leva em consideração a taxa de juros para correção do dinheiro no tempo.

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi apresentado um sistema aquaponia de baixo custo com a finalidade de mostrar a viabilidade em aplicação de propriedades rurais. Inovando esta pesquisa, é utilizado um sistema de energia solar para suprir a demanda energética de todo o sistema de aquaponia, e assim reduzir o custo com energia elétrica, visto que o sistema requer um funcionamento constante e seu consumo é proporcional do tamanho do sistema.

Os parâmetros da água analisados estiveram dentro do esperado, com exceção da amônia (NH_3) e nitrito (NO_2^-) que apresentaram medidas no limite aceitável ou/e acima em algumas testagens, porém isso não interferiu de forma negativa no desempenho produtivo dos peixes e plantas de alface.

Para tanto, é recomendável que em padrões comerciais de produção haja substituição dos materiais utilizados nos filtros biológicos (Conduítes), por mídias (*Moving Bed Biofilm Reactor*) MBBR (Reator de biofilme de leito móvel) Alfa de Polipropileno com altura/diâmetro de 15/30mm. Isso tornará o sistema menos vulnerável a possíveis problemas com amônia e nitrito por ser um material desenvolvido para tal finalidade. Sendo que os conduítes utilizados são um material alternativo para fixação de bactérias.

Os indicadores de produção estiveram dentro dos valores esperados para o sistema de aquaponia, com destaque positivo para a conversão alimentar de 1:1,48, onde para cada 1 quilograma de peixe produzido foi necessário 1,48 quilogramas de ração. Valor esse considerado bom para um sistema aquapônico.

No que se refere à produção de alface, as quantidades de ração ofertada nos tanques dos peixes com relação de proporção de 60 à 100g/m² de hortaliças folhosas, foram adequadas à nutrição das plantas de alface propiciando o bom crescimento vegetativo tornando-as aptas para o consumo e comercialização.

Do ponto de vista técnico o atual sistema mostrou-se eficiente para serem replicados em comunidades rurais, ou até mesmo em terraços onde haja disponibilidade de água e luz solar.

Na análise de viabilidade econômica, foi realizado um levantamento bibliográfico com base na literatura para dimensionar o sistema fotovoltaico e estimar a geração de energia ao longo de 25 anos de operação. Em seguida, pôde-se avaliar o lucro gerado ano a ano, e concluir se o investimento é viável ou não. O sistema foi dimensionado para atender a um consumo estimado de 75 kWh mensais, e apresentou uma potência instalada de 1,005kW. Com essa potência, observou-se que nos primeiros anos o sistema sempre gerará créditos para utilizar futuramente. Além disso, a unidade será taxada apenas com o custo de disponibilidade equivalente a 30kWh.

A unidade consumidora é beneficiada com tarifa social, que consiste no direito a um desconto de 45% sobre a tarifa. Assim, possui a tarifa em torno de 0,18 centavos a cada quilowatt consumido. Esse é um fator importante na análise de viabilidade, visto que mesmo com esse benefício, o sistema é viável. Na análise, foi considerado um aumento de 7,5% sobre a tarifa uma vez por ano, e assim nos próximos 25 anos.

Ao analisar a viabilidade do sistema, pôde-se observar que para a unidade seria viável, obtendo uma economia ao logo de 25 anos de operação do sistema de R\$ R\$ 9.357,19 no pagamento da fatura de energia, representando aproximadamente 45% do valor pago sem o uso do sistema fotovoltaico. É importante ressaltar que essa economia está atrelada também à venda dos produtos produzidos na própria unidade, que em um ano apresentou uma receita de R\$ 2.411,50, com custo operacional de R\$ 531,36 com ração dos peixes.

Ainda na análise da viabilidade econômica, verificou-se também uma TIR de 20% a.a., sendo maior que TMA, definida em 10%, sendo ainda maior que rentabilidade da poupança de 4,51% a.a., com um valor presente líquido (VPL) de retorno positivo no sétimo ano de operação com um valor R\$ R\$ 9.357,19. Portanto, como critério de decisão dos métodos utilizados, o investimento no projeto de implantação de todo o sistema de aquaponia com energia solar é viável, apresentando um ganho total em 25 anos, estimado em R\$ 9.357,19. Com esse lucro, o projeto apresentou resultados satisfatórios e mostrou mais uma vez que é uma alternativa viável e sustentável.

Pode-se concluir então que o uso de energia solar para a geração de energia elétrica é uma fonte altamente segura e renovável, trazendo economia para a unidade em questão. Esta pesquisa foi fundamental para mostrar que esse sistema pode ajudar no desenvolvimento de renda para comunidades rurais que tentam produzir seu próprio alimento, ou até mesmo vender a produção que é feita na própria unidade.

REFERÊNCIAS

_____. **Resolução Normativa 482/2012.** 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2020.

_____. **Resolução Normativa 687/2015.** 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2020.

_____. **Sundata: base de dados de irradiação solar incidente.** 2017. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>>. Acesso em: 05 set. 2017.

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, **Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica**, Revisão 8, vigente a partir de 01/01/2017.

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**, 3ed., Brasília – DF, Brasil, 2008.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **2013-SCG/ANEEL: Proposta de abertura de Consulta Pública para recebimento de contribuições visando o estabelecimento de condições e procedimentos a serem observados para emissão de outorgas de autorização para implantação e exploração de Centrais Geradoras Fotovoltaicas.** Brasília, 2013. 6 p. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta_publica/documentos/NT_180TA2404.pdf>. Acesso em: 30 set. 2016.

ANEEL: **Atlas, cap. 3 – Energia solar** – Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)>. Acesso em: 08 de abri. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16690: norma brasileira sobre sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro, p. 75. 2019.

ABNT, Norma Brasileira - Instalações Elétricas de Baixa Tensão NBR 5410:2004 versão corrigida, 2008.

BYD. **Datasheets módulo fotovoltaico BYD.** 2020. Disponível em: <<https://download.aldocom.br/pdfprodutos/Produto41389IdArquivo19126.pdf>>. Acesso em: 10 abri. 2020.

BALARINE, O. F. O. **Tópicos de matemática financeira e engenharia econômica.** 2. Ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2004.

BLIDARIU F. et al. Increasing the Economical Efficiency and Sustainability of Indoor Fish Farming by Means of Aquaponics. **Scientific Papers: Animal Science and Biotechnologies**, 44 (2). 1.– Review. 2011.

BRITO (CRESESB). **Energia Solar: princípios e aplicações.** 2006. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2020.

BUARQUE, C. **Avaliação econômica de projetos**. Rio de Janeiro: Campus, 1984. 266 p. p. 148-152.

BÜHLER, Alexandre José. **Determinação de parâmetros fotovoltaicos a partir de ensaios de curvas características sem iluminação**. 2007. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/10621/000598650.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 04 mar. 2020.

CANADIAN. **Datasheets inversores Canadian**. 2020. Disponível em: <<https://download.aldo.com.br/pdfprodutos/Produto39513IdArquivo17204.pdf>>. Acesso em: 10 abri. 2020.

CAMARGO, Lucas Tamanini. **Projeto de Sistemas Fotovoltaicos conectados à Rede Elétrica**. 2017. 103 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017. Disponível em: http://www.uel.br/ctu/deel/TCC/TCC2017_LucasTamaniniCamargo.pdf. Acesso em: 06 mar. 2020.

CANASTRA, I. I. O. **Aquaponia: construção de um sistema de aquaponia a uma escala modelo e elaboração de um manual didático**. 2017. 70 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017.

CARNEIRO, P. C. F. et al. Aquaponia: produção sustentável de peixes e vegetais. In: TAVARES-DIAS, M.; MARIANO, W. S. (Org.). **Aquicultura no Brasil: novas perspectivas**. São Carlos: Editora Pedro & João, 2015b. 429 p.

CARNEIRO, P. C. F. et al. **Aquaponia: produção sustentável de peixes e vegetais**. Macapá, 2015c. 683–706p. v2.

CARNEIRO, P. C. F. et al. **Produção integrada de peixes e vegetais em aquaponia**. 23 p. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1961, 189). 2015a.

CARNEIRO, P. C. F. et al. **Produção integrada de peixes e vegetais em aquaponia**. 30 p. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1953, 189). 2015d.

CASARO, Marcio Mendes; MARTINS, Denizar Cruz. MODELO DE ARRANJO FOTOVOLTAICO DESTINADO A ANÁLISES EM ELETRÔNICA DE POTÊNCIA VIA SIMULAÇÃO. **Eletrônica de Potência**, Florianópolis, v. 13, n. 3, p.1-6, ago. 2008. Disponível em: <<http://www.dee.ufrj.br/FAE/download/rvol13no3p2.pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2020.

CASTRO, M. P. S. de. **Plano de negócio para uma empresa de aquaponia no Rio de Janeiro**. Projeto de Graduação - UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia de Produção, 2019. Rio de Janeiro. 78 p.

CLEMENTE, A. et al. **Projetos empresariais e públicos**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2008. 344 p. p. 155-162.

COELHO, Roberto Francisco. **Estudo dos conversores buck e boost aplicados ao rastreamento de máxima potência de sistemas solares fotovoltaicos**. 2008. 198 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Engenharia Elétrica, Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/91051>>. Acesso em: 01 mar. 2020.

DI ZOUSA, R. **Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica: livro digital de introdução aos sistemas solares**. Ribeirão Preto: Blue Sol, 2016. Disponível em:<<https://pt.scribd.com/doc/307285540/Livro-Digital-de-Introducao-aos-Sistemas-Solaresnovo-pdf>>. Acesso em: 06 mar. 2020.

EDGERTON, M. D. Increasing crop productivity to meet global needs for feed, food, and fuel. **Plant Physiology**, Rockville, v. 149, p. 7-13, 2009.

EISBERG,R., RESNICK, R. Física Quântica. Elsevier. Rio de Janeiro, R. J. 1979

EMBRAPA Tabuleiros Costeiros. **Produção integrada de peixes e vegetais em aquaponia**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros, 2015. 30p.

EPE. Consumo Anual de Energia Elétrica por classe (nacional) – 1995-2016. 2017.

FAQUIN. V.; FURTINI N. A. E.; VILELA, L. A. A. **Produção de Alface em Hidroponia**. Lavras: UFLA, 1996. 50 p.

FLORES, Roberto Manolio Valladão. **Gerenciamento econômico da produção**. Curso EAD SENAR, 2017.

GASPARIN, Fabiano Perin. **Desenvolvimento de um traçador de curvas características de módulos fotovoltaicos**. 2009. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/15729/000689840.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 05 mar. 2020.

GEISENHOFF, L. O. et al. Effect of different substrates in aquaponic lettuce production associated with intensive tilapia farming with water recirculation systems. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.36, n. 2, p.291-299, 2016.

GODDEK, S. et al. **Challenges of sustainable and commercial aquaponics**. *Sustainability*, Basel, Switzerland, v. 7, p. 4199-4224, 2015.

HUNDLEY, G. M. C. et al. Aproveitamento do efluente da produção de tilápia do Nilo para o crescimento de manjeriço (*Origanum basilicum*) e manjerona (*Origanum majorana*) em sistemas de aquaponia. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.3, p.51-55, 2013.

Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE). **Perfil básico municipal de Aracoiaba**. Fortaleza, 2017. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/wpcontent/uploads/sites/45/2018/09/Aracoiaba_2017.pdf>. Acesso em: 18 Janeiro 2020.

LOVSHIN, L. L. Tilapia aquaculture in Brasil. In: COSTA-PIERCE, B. A.; RAKOCY, J. E. (Ed.). **Tilapia aquaculture in the Americas 2**. Baton Rouge: The World Aquaculture Society, 2000. p. 133-140.

MALVINO, Albert; BATES, David J. Eletrônica (v. 1). AMGH Editora, 2009.

MIRANDA, Arthur Biagio Canedo Montesano. **ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE**. 2014. 98 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10010504.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2020.

MOURA, G. S. et al. Desempenho e atividade de amilase em tilápias-do-nilo submetidas a diferentes temperaturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 1609-1615, 2007.

NASCIMENTO, Cássio Araújo do. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**. 2004. 21 f. Monografia (Especialização) - Curso de Fontes Alternativas de Energia, Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004. Disponível em: <http://www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2020.

NUNES, Otacílio José de Macêdo. **Estudo da viabilidade da eletrificação alternativa de uma unidade de consumo residencial de fortaleza-ce a partir de um sistema fotovoltaico**. 2011. 59 f. Monografia (Especialização) - Curso de Física, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2011. Disponível em: <http://uece.br/fisica/index.php/arquivos/doc_download/104-estudo-da-viabilidade-da-eletrificacao-alternativa-de-uma-unidade-de-consumo-residencial-de-fortalez>. Acesso em: 01 mar. 2020.

CABO SOLAR. **Cabo Solar Nexans**. 2020. Disponível em: <https://www.nexans.com.br/eservice/Brazil-pt_BR/navigate_227613/Cabos_para_painel_solar.html#>. Acesso em: 10 abri. 2020.

NUSSENZWEIG, Moisés. Curso de Física Básica: Ótica e Física Moderna v.4 4ª ed., Edgard Blücher Editora, 2002

OHSE, S. et al. Qualidade de cultivares de alface produzidos em hidroponia. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, v.1, p. 181-185, 2001.

OLIVEIRA, E. G. et al. **Produção de tilápia: Mercado, espécie, biologia e recria**. Circular Técnica, vol. 45, n. 12, p. 1-12, 2007.

OLIVEIRA, F. I. C. de. Aquaponia de pequeno porte: implantação, produção e viabilidade econômica. **Monografia** - Curso de Agronomia, Redenção, 2018. 72f.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO A CIÊNCIA E A CULTURA - UNESCO – Agenda de Desenvolvimento pós-2015 - **UNESCO e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <<http://www.unesco.org/new/pt/brasilia/post-2015-development-agenda/>>. Acesso em: 07 de março de 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **ONU diz que população mundial chegará a 8,6 bilhões de pessoas em 2030**. Nova York. 2017. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2017-06/onu-diz-que-populacao-mundial-chegara-86-bilhoes-de-pessoas-em-2030>>. Acesso em: 08 mar. 2020.

PEREIRA, Jonathan. **Teoria dos Semicondutores e o Diodo Semicondutor**. Rio Grande do Norte: Ifce, 2002. 30 slides, color. Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/jonathanpereira/disciplinas/electronica-analogica/aula-2-teoria-de-semicondutores>>. Acesso em: 02 mar. 2020.

Pierret, R. F., 1997. “**Semiconductor Device Fundamentals**”, Addison-Wesley, United States of America, 792p.

PINTO, L. I. C.; MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. P. O mercado brasileiro da energia eólica, impactos sociais e ambientais. **Revista Ambiente e Água**, v. 12, n. 6, p. 1082-1100, 2017.

POPMA, T.; MASSER, M. **Tilapia Life History and Biology**. South Regional Aquaculture Center, n. 283, 1999.

PORTAL SOLAR (Comp.). **Meio rural atinge bons resultados na utilização de energia solar**. 2018. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/2904.html>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

PROAUTO. **Datasheets stringbox CC**. 2020. Disponível em: <<https://www.proautomacao.com.br/wp-content/uploads/2019/08/Cat%C3%A1logo-de-Strings-020719.pdf>>. Acesso em: 10 abri. 2020.

production systems: Aquaponics- integrating fish and plant culture. Srac publication - southern regional aquaculture center, n. 454, p. 1–16, 2006.

RAKOCY, J. E. **Ten Guidelines for Aquaponic Systems**. *Aquaponics Journal*, v.46: 14-17, 2007.

RAKOCY, J. E.; MASSER, M. P.; LOSORDO, T. M. **Recirculating aquaculture tank**
RESH, H.M. **Hydroponic food production**. 5th ed. Califórnia, EUA, Woodbridge Press Publishing Company, 1996, 527 p.

RESNICK, Robert; HALIDAY, David; KRANE, Kenneth S. *Física 3*. 4. ed. p. 3. Rio de Janeiro: Editora LCT – Livros Técnicos e Científicos, 1996.

RETIEF, F. et al. Global megatrends and their implications for environmental assessment practice. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 61, p. 52–60. 2016.

RIBEIRO, Mariana Rabelo. **Conexão de um sistema solar fotovoltaico na rede de distribuição de energia elétrica**. 2015. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10015257.pdf>>. Acesso em: 02 mar. 2020.

SANTOS, Johnantan Oliveira dos. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica: um estudo de caso**. 2016. 174 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará Campus de Sobral, Sobral, 2016.

SANTOS, S. G.; Almeida, B. R.; Pacheco, J. O.; Oliveira Junior, D. S. Conversor monofásico multiporta aplicado a microgeração residencial. In: XXII Congresso Brasileiro de Automática - CBA, 2018, João Pessoa - PB. CBA2018, 2018.

SEDRA, A. S., SMITH, K. C., Microeletrônica, Makron Books do Brasil Editora Ltda., São Paulo 2000.

SEGUEL, Júlio Igor López. **Projeto de um sistema fotovoltaico autônomo de suprimento de energia usando técnica mppt e controle digital**. 2009. 222 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <<http://www.ppgee.ufmg.br/defesas/216M.PDF>>. Acesso em: 03 mar. 2020.

SERWAY, R.A. e JEWETT JR., J.W., Princípios de Física: Ótica e Física Moderna. Vol. 4. Editora Pioneira, 1ª ed., 2009.

SANTOS, Johnantan Oliveira dos. **SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA: UM ESTUDO DE CASO**. 2016. 174 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará Campus de Sobral, Sobral, 2016.

SILVA, André Nelson Matias e. **Sistema de conversão de energia solar fotovoltaica**. 2008. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Universidade do Porto, Porto, 2008. Disponível em: <[https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59213/2/Texto integral.pdf](https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59213/2/Texto%20integral.pdf)>. Acesso em: 04 mar. 2020.

SILVA, C. E. V. da. Montagem e operação de um sistema de aquaponia. 2016. 60 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Aquicultura) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

SILVA, E. M. et al. Qualidade de alface crespa cultivada em sistema orgânico, convencional e hidropônico. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 2, 2011.

SOARES, I. **Alface**: cultivo hidropônico. Fortaleza: Editora UFC, 2002. 50 p.

SOLYMAR, L. and WALSH, D., Electrical Properties of Materials. Oxford University Press, Oxford, 1998.

SOMERVILLE, C. et al. **Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming**. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589. Rome, FAO. 262 p. 2014.

TANIGUCHI, F. Análise da viabilidade técnico-econômico da produção de juvenis de tilápia, *Oreochromis niloticus*, um estudo de caso. 2010. 77 p. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia de Pesca) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010. p.39-42.

TIPLER, Paul A; MOSCA, Gene. Física para Cientistas e Engenheiros: Ótica e Física Moderna Vol.3 6ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

TOKUIAMA, T. et al. Nitrosomonas communis strain YNSRA, na ammonia-oxidizing bacterium, isolated from the reed rhizoplane in na aquaponics plant. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, Osaka, v. 98, n. 4, p. 309-312, 2004.

TYSON, R. V., TREADWELL, D. D. & SIMONNE, E. H. (2011). Opportunities and challenges to sustainability in aquaponic systems. **Hort Technol.**, 21(1):6-13.

VASCONCELOS, Vinicius Belmuds. **Estudo de implantação de um sistema de microgeração distribuída residencial**. 2013. 153 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Controle e Automação, Engenharia de Controle e Automação, Instituto Federal do Espírito Santo, Serra, 2013. Disponível em: <<http://gera.sr.ifes.edu.br/wp-content/uploads/2012/10/Estudo-de-Implantação-de-um-Sistema-de-Microgeração-Distribuída-Residencial.pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2020.

VERAS, C. K. O. **Análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede na fazenda Mirassol**. 2017. 144 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade da Integração da Lusofonia Afro-brasileira, 2017. Disponível em: <http://www.repositorio.unilab.edu.br:8080/xmlui/handle/123456789/943>>. Acesso em: 02 mar. 2020.

VICENTE, I. S. T.; ELIAS, F.; FONSECA-ALVES, C.E. Perspectivas da produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) no Brasil. **Revista Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 37, n.4, p. 392-398, 2014.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Módulos monocristalinos vão dominar o mercado de energia solar**. São Paulo: Canal Solar, 2019. 28 p. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/index.php/artigos/item/182-modulos-mono-vao-dominar-o-mercado-solar>. Acesso em: 10 mar. 2020.

VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia solar fotovoltaica conceitos e aplicações – Sistemas isolados e conectados à rede**. São Paulo: Érica, 2012. 224p.
WAMBACH, X. F. Manejo Prático Aplicado a Piscicultura de Água Doce. 2012, 28f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2012. p. 10-12.

WILSON, G. **Australian barramundi farm goes aquaponic**, Aquaponics Journal, 37p. 12-16. Sidney, Australia, 2005.

XSEGET SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 2013, Resende. **Modelagem e Simulação de um gerador fotovoltaico em MATLAB™ para estudo do uso de Cargas intermitentes**. Resende: Xseget, 2013. 16 p. Disponível em: <www.aedb.br/seget/arquivos/artigos13/34218330.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2020.

ANEXO A – DATASHEET DO MÓDULO FOTOVOLTAICO

PHK-36-SÉRIE-4BB**156.75P**

18.8%

Eficiência celular média de até 18,8%
Excelente desempenho óptico

10
Years

10 anos de garantia para o produto
25 anos de garantia de desempenho linear



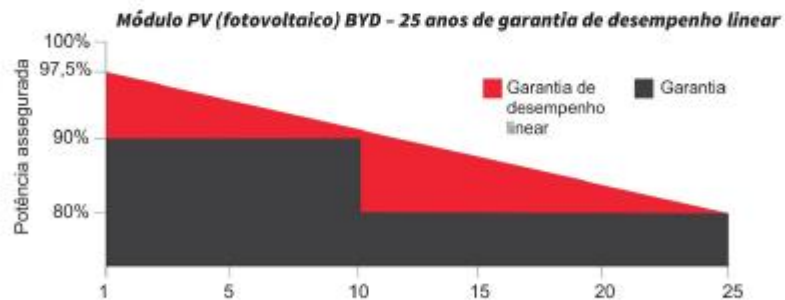
Sistemas residenciais para telhados
Sistemas comerciais *on-grid* (ligados à rede) e
off-grid (fora de rede)
Redes de serviços *on-grid* (ligadas à rede) e
off-grid (fora de rede)

HIGH
Potability

PID free
Sem micro fissuras
5400Pa para teste com carga de neve
2400Pa para teste com vento



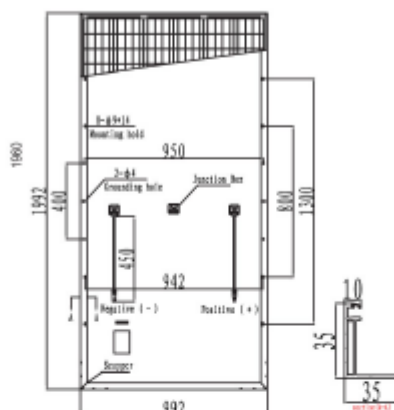
IEC 61215, IEC 61730, UL1701
ISO9001:2008, ISO14001:2004

**BYD ENERGY DO BRASIL**

PHK-36-SÉRIE-4BB

325 – 345W

156.75P



FICHA TÉCNICA

Célula	4 Bus Bar Solar Half Cell 156.75 x 78.735mm
Número de células	144 (6 x 24) unidades
Dimensão do módulo	1992 x 992 x 35 mm (78,43 x 39,06 x 1,38 polegadas)
Peso	22,2 kg (48,84 Lb)
Vidro frontal	Vidro temperado de 3,2 mm com revestimento de AR
Estrutura	Liga de alumínio anodizado
Caixa de junção	IP67
Conector	IP67
Diodos bypass	3 unidades
Tipo de conector	Compatível com MC4
Área de seção do cabo	4 mm ² (0,0062 Sq in)
Comprimento do cabo	2 x 450 mm (2 x 17,72 polegadas)

COEFICIENTES DE TEMPERATURA

Coefficiente de temperatura da corrente de curto-circuito	5.0 mA/°C
Coefficiente de temperatura da tensão de circuito aberto	-171mV/°C
Coefficiente de temperatura de potência de pico	-0,43%/°C

INFORMAÇÕES SOBRE A EMBALAGEM

Embalagem	40' HC
Unidades / palete	30
Paleta / contêiner	22
Unidades / contêiner	660

ESPECIFICAÇÕES ELÉTRICAS – BYD PHK-36-SÉRIE-4BB

Tipo de módulo	325PHK-36	330PHK-36	335PHK-36	340PHK-36	345PHK-36
Tensão de circuito aberto (Voc)	44.94 V	45.19 V	45.44 V	45.69 V	45.94 V
Tensão máxima de funcionamento (Vmp)	37.57 V	37.83 V	38.10 V	38.36 V	38.62 V
Corrente de curto-circuito (Isc)	9.14 A	9.20 A	9.25 A	9.31 A	9.36 A
Corrente de potência de pico (Imp)	8.65 A	8.72 A	8.79 A	8.85 A	8.93 A
Potência máxima em STC (Pmax)	325 Wp	330 Wp	335 Wp	340 Wp	345 Wp
Eficiência do módulo	16.45%	16.70%	16.95%	17.21%	17.46%
Temperatura de operação	-40°C – 85°C				
Valor nominal da corrente máxima do fusível	15A				
Tensão máxima do sistema	1500 VCC				
Tolerância de saída de potência	0 – 5 W				
Classe de aplicação	Classe A				

Valores em condições de teste normalizadas STC: IRRADIÂNCIA de 1000W/m² temperatura do módulo de 25°C, AM (massa de ar) = 1.5. Redução média de eficiência de 4.5% a 200 W/m²

Sobre a BYD

Gigante global especializada em energia limpa, a BYD foi fundada em 1995 e rapidamente se tornou a maior fabricante mundial de baterias recarregáveis, sistemas de armazenamento de energia, ônibus e caminhões 100% elétricos. Desde 2015, a BYD também vem surpreendendo o mundo como a maior fabricante de automóveis elétricos e híbridos *plug-in* do mundo (2015, 2016 e 2017). Presente em cinco continentes, mais de 50 países e em cerca de 200 cidades, têm entre seus sócios o americano *Warren Buffet*. No Brasil, a BYD abriu sua primeira fábrica em 2015 para produção de ônibus elétricos e comercialização de veículos e empilhadeiras em Campinas, interior de São Paulo. Em abril de 2017, neste mesmo local, inaugurou sua planta de produção de módulos fotovoltaicos.

ANEXO B – DATASHEET INVERSOR CANADIAN 1,5KW



CSI SINGLE PHASE STRING INVERTER

CSI-1.5K-TL and CSI-3K-TL



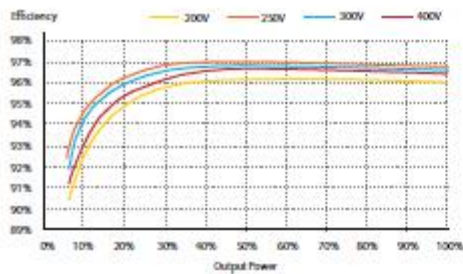
KEY FEATURES:

- Maximum efficiency of 97% and wide input voltage range
- Internal DC switch
- Transformerless GT topology
- Compact design
- Ethernet / RF technology / Wi-Fi
- Sound control
- Standard Warranty: 5 years, extension up to 10 years

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading manufacturer of solar modules and PV project developer with over 14 GW of premium quality modules deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) is one of the most bankable solar companies worldwide.

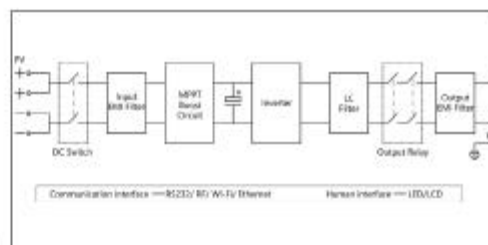
EFFICIENCY CURVE

CSI-1.5K-TL@220 Vac



INVERTER TOPOLOGY

CSI-1.5K-TL and CSI-3K-TL



CANADIAN SOLAR (USA) INC.

2430 Camino Ramon, Ste. 240, San Ramon, CA, USA 94583-4385, www.canadiansolar.com, sales.us@canadiansolar.com

TECHNICAL DATA

MODEL NAME	CSI-1.5K-TL	CSI-3K-TL
DC INPUT		
Max. Recommended PV Power(STC)	1900W	3400W
Max. DC Input Voltage	450V	550V
Start Voltage	80V	
DC Voltage Range	70-450V	70-550V
MPP Work Voltage Range/ Nominal Voltage	70-450V/250V	70-550V/360V
Full Load DC Voltage Range	175-400V	250-500V
Max. Input Current	10A	13A
Max. Input Current per String	10A	13A
Number of MPP Trackers /Strings per MPPT	1/1	1/2
AC OUTPUT		
Rated AC Output Power	1600W	3000W
Max. AC Output Power	1650W	3000W
Max. Output Current	7.8A	14.3A
AC Nominal Voltage; Range	220,230,240Vac; 180-280Vac	
AC Grid Frequency; Range	50,60Hz; ±5 Hz	
Power Factor	1	
THDI	<3%	
AC connection	Single Phase	
EFFICIENCY		
Max. Efficiency	97%	
CEC Efficiency	96.5%	
MPPT Efficiency	99.5%	
PROTECTION		
DC Reverse Polarity Protection	Yes	
DC Switch Rating for Each MPPT	Yes	
Output Over Current Protection	Yes	
Output Over Voltage Protection-Varistor	Yes	
Ground Fault Monitoring	Yes	
Grid Monitoring	Yes	
Integrated All-Pole Sensitive Leakage Current Monitoring Unit	Yes	
GENERAL DATA		
Dimensions(W/H/D)	271x267x142mm	271x320x142mm
Weight	6.1Kg	8.8Kg
Operating Temperature Range	-25°C ~ +60°C with derating above 45°C	
Noise Emission (Typical)	≤25 dB(A)	
Altitude	2000m without derating	
Self-Consumption Night	<0.5 W	
Topology	Transformerless	
Cooling Concept	Natural	
Environmental Protection Rating	IP 65	
Relative Humidity	100%	
FEATURES		
DC Connection	H4	
AC Connection	Connector	
Display	LCD	
Interfaces: RS232/ RF/ Wi-Fi/ Ethernet	Yes/Optional/Optional/Optional	
Warranty: 5 Years / 10 Years	Yes/Optional	
CERTIFICATES AND APPROVALS		
CE; VDE 0126-1-1; IEC 62109; G83; AS4777; AS/NZS 3100; INMETRO		

CANADIAN SOLAR (USA) INC. November 2016. All rights reserved, Inverter Product Datasheet V1.1C1_EN

Caution: For professional use only. Please read safety and installation instructions before using the product.

