

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS  
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**ANA CAROLINE RIBEIRO DA SILVA**

**DIMENSIONAMENTO DE UMA UNIDADE HÍBRIDA SOLAR-HIDROcinÉTICA  
PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM COMUNIDADES RIBEIRINHAS  
ISOLADAS NA AMAZÔNIA**

**MANAUS**

**2018**

**ANA CAROLINE  
RIBEIRO DA SILVA**

**DIMENSIONAMENTO DE UMA UNIDADE HÍBRIDA SOLAR-  
HIDROCINÉTICA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM  
COMUNIDADES RIBEIRINHAS ISOLADAS NA AMAZÔNIA**

**UEA  
2018**

**ANA CAROLINE RIBEIRO DA SILVA**

**DIMENSIONAMENTO DE UMA UNIDADE HÍBRIDA SOLAR-HIDROcinÉTICA  
PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM COMUNIDADES RIBEIRINHAS  
ISOLADAS NA AMAZÔNIA**

Trabalho de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade do Estado do Amazonas (UEA).

Orientador: Prof. MSc. Adalberto Gomes de Miranda

Coorientador: Prof. Dr. José Costa de Macêdo Neto

**MANAUS**

**2018**

RIBEIRO DA SILVA, Ana Caroline.

Dimensionamento de uma unidade híbrida solar-hidrocinética para geração de energia elétrica em comunidades ribeirinhas isoladas na Amazônia, da Universidade do Estado do Amazonas - UEA, da Escola Superior de Tecnologia – EST / Ana Caroline Ribeiro da Silva – 2018, Il., Xf., enc.; 30cm.

Orientador: Adalberto Gomes de Miranda, Msc.

Coorientador: José Costa de Macêdo Neto, Dr.

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade do Estado do Amazonas, 2018

Inclui anexo e bibliografia:

1. Energia Solar
2. Energia Hidrocinética
3. Geração de Energia
4. Fontes Renováveis

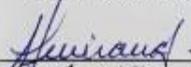
ANA CAROLINE RIBEIRO DA SILVA

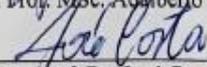
**DIMENSIONAMENTO DE UMA UNIDADE HÍBRIDA SOLAR-HIDROcinÉTICA  
PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM COMUNIDADES RIBEIRINHAS  
ISOLADAS NA AMAZÔNIA**

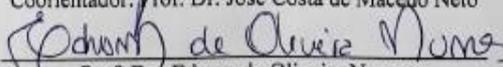
Este Trabalho de Curso foi considerado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade do Estado do Amazonas (UEA) e aprovado em sua forma final pela comissão examinadora.

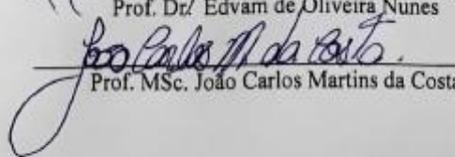
Manaus, 12 de junho de 2018.

Banca examinadora:

  
Orientador: Prof. MSc. Adalberto Gomes de Miranda

  
Coorientador: Prof. Dr. José Costa de Macêdo Neto

  
Prof. Dr. Edvam de Oliveira Nunes

  
Prof. MSc. João Carlos Martins da Costa

*Dedico este trabalho primeiramente a Deus, principal guia desta jornada. Aos meus pais e irmã, pelo apoio e paciência com que me ajudaram a superar todos os desafios. Aos meus amigos, pelas alegrias e tristezas compartilhadas. E, por fim, a toda pessoa que de alguma forma contribuiu para a realização deste sonho.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço imensamente a Deus, que iluminou meu caminho durante esta jornada, me concedendo força e coragem para encarar os desafios e medos que puderam ser transformados em aprendizado pessoal.

Agradeço aos meus pais, estes que durante toda a vida fizeram algum tipo de abdição para que eu pudesse ter as melhores oportunidades de estudo. Que sempre apoiaram minhas decisões e me incentivaram a buscar e alcançar todos os meus sonhos, de maneira honesta e respeitando a todos.

Agradeço a minha irmã, que pôde me acompanhar durante a graduação, compartilhando experiências e conselhos.

Agradeço à Universidade, incluindo seu corpo docente e técnicos, que sempre ofereceram o melhor para que eu me tornasse uma profissional completa e competente.

Agradeço a todos os meus amigos que partilharam momentos felizes e tristes, mas sempre contribuindo com meu aprendizado. Aos que já alcançaram os objetivos, aos que resolveram alçar outros voos e aos que estão conquistando esse sonho junto comigo.

Por fim, conforme dito por Marthin Luther King, “Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

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

*(Marcelo Proust)*

## RESUMO

O dimensionamento e a viabilidade de implantação de uma unidade híbrida solar-hidrocinética tem como objetivo contribuir para o atendimento da necessidade energia elétrica em comunidades isoladas na Amazônia, de forma sustentável, utilizando recursos naturais como fontes de geração. A ideia surgiu através do pensamento de explorar recursos naturais locais em prol do desenvolvimento de comunidades isoladas, considerando as dificuldades de abastecimento por fontes tradicionais de energia, impedimentos geográficos e econômicos. Dessa maneira, optou-se por explorar os recursos naturais locais, considerando a geração de energia acessível, de maneira limpa, bem como inserindo novas opções de geração na matriz energética do país. Considerando a posição privilegiada do Brasil em relação ao Sol e a extensa capacidade hídrica do país, em especial na Região Amazônica, busca-se unir a produção de energia elétrica por meio das fontes solar e hidrocinética, apresentando como alternativa à escassez de energia em localidades isoladas. O estudo é realizado através das metodologias de pesquisas bibliográficas, levantamento de dados, além da classificação qualitativa e quantitativa da unidade.

**PALAVRAS- CHAVE:** Energia Solar. Energia Hidrocinética. Comunidades Isoladas. Fontes Renováveis.

## **ABSTRACT**

Dimensioning and feasibility of a solar-hydrokinetic hybrid unit in order to contribute with the electricity generation for isolated communities in the Amazon using natural resources as a source of generation. The idea came from the concept of exploring local natural resources for the development of isolated communities, considering the supplying difficulties of traditional sources, geographical and economic impediments. In this way, it was decided to explore the local natural resources, considering the generation of accessible energy, in a clean way, as well as inserting new generation options in the country's energy matrix. Considering the privileged position of Brazil in relation to the Sun and the extensive water capacity of the country, especially in the Amazon Region, it is sought to unite the production of electric energy by solar and hydrokinetic means, presenting as an alternative to the energy shortage in isolated regions, demonstrating the possibility of meeting the basic needs of the population through the use of natural resources available in Brazilian territory. The study is carried out through the bibliographic research methodologies, data collection, besides the qualitative and quantitative classification of the unit.

**KEYWORDS:** Solar energy. Hydrokinetic Energy. Isolated Communities. Renewable sources.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b>	–	Variação da radiação solar no Brasil	24
<b>Figura 2</b>	–	Camadas de um módulo fotovoltaico	25
<b>Figura 3</b>	–	Estações do ano no hemisfério Sul	26
<b>Figura 4</b>	–	Compreensão geométrica das variáveis que descrevem a posição do Sol em relação a um ponto na superfície terrestre	27
<b>Figura 5</b>	–	Componentes da radiação solar	28
<b>Figura 6</b>	–	Sistemas de seguimento solar de um (a,b) e dois (c) eixos	28
<b>Figura 7</b>	–	Turbina Hidrocinética Axial	31
<b>Figura 8</b>	–	Representação do triângulo de velocidades	33
<b>Figura 9</b>	–	Gráfico de demanda de energia por horário	36
<b>Figura 10</b>	–	Etapas de desenvolvimento da metodologia do trabalho	38
<b>Figura 11</b>	–	Componentes de uma turbina hidrocinética	42
<b>Figura 12</b>	–	Perdas de velocidade do vento na passagem por um conjunto de pás	43
<b>Figura 13</b>	–	Triângulo de velocidades para rotor de máquina hidráulica motora axial	47
<b>Figura 14</b>	–	Razão de velocidade da pá em função do Limite de Betz	48
<b>Figura 15</b>	–	Modelo de alternador elétrico 3,5 KvA em atendimento ao projeto	50
<b>Figura 16</b>	–	Modelo de caixa multiplicadora idealizada para o projeto	51
<b>Figura 17</b>	–	Sistema Fotovoltaico isolado para eletrificação individual	54
<b>Figura 18</b>	–	Irradiação Solar no Plano Inclinado - Codajas - AM - Brasil	55
<b>Figura 19</b>	–	Modelo de inversor idealizado para o projeto	60
<b>Figura 20</b>	–	Arranjo da unidade fotovoltaica	60

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	– Características hidráulicas, hidroquímicas e sedimentológicas dos rios Solimões e Negro na altura do encontro das águas	35
<b>Tabela 2</b>	– Demanda diária de energia – Residência	40
<b>Tabela 3</b>	– Demanda diária de energia - Área de convivência	40
<b>Tabela 4</b>	– Demanda diária de energia - Iluminação e abastecimento de água	40
<b>Tabela 5</b>	– Demanda total diária de energia da comunidade	41
<b>Tabela 6</b>	– Parâmetros do gerador em atendimento ao projeto	50
<b>Tabela 7</b>	– Parâmetros do multiplicador de velocidade em atendimento ao projeto	51
<b>Tabela 8</b>	– Características dos tipos de freios	52
<b>Tabela 9</b>	– Características de 3 modelos de módulos fotovoltaicos monocristalinos	56

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>ANEEL</b>	Agência Nacional de Energia Elétrica
<b>SIN</b>	Sistema Interligado Nacional
<b>ONU</b>	Organização das Nações Unidas
<b>CC</b>	Corrente Contínua
<b>CA</b>	Corrente Alternada
<b>MHM</b>	Máquina Hidráulica Motora
<b>ABRADEE</b>	Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
<b>CEMING</b>	Companhia Energética de Minas Gerais
<b>NREL</b>	<i>National Renewable Energy Laboratory</i>
<b>CRESESB</b>	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
<b>MPPT</b>	<i>Maximum Power Point Tracking</i>

## LISTA DE SIMBOLOS

$P_{\text{turbina}}$  = Potência de saída da turbina [W]

$V$  = Velocidade do escoamento [m/s]

$C_p$  = Coeficiente de potência

$\eta_{\text{turb}}$  = Rendimento do conjunto da turbina hidrocínética

$A$  = Área do rotor [ $\text{m}^2$ ]

$c$  = Velocidade absoluta do fluido [m/s]

$u$  = Velocidade da pá do rotor (tangencial) [m/s]

$w$  = Velocidade relativa da corrente fluida [m/s]

$c_m$  = Componente meridiana da velocidade absoluta [m/s]

$c_u$  = Componente tangencial da velocidade absoluta [m/s]

$\alpha$  = Ângulo formado pela velocidade absoluta e a velocidade tangencial, chamado de ângulo do escoamento absoluto

$\beta$  = Ângulo formado pela velocidade relativa e a velocidade tangencial, chamado de ângulo do escoamento relativo ou ângulo construtivo da pá

$\omega$  = Velocidade angular [rad/s]

$n$  = Rotação [rpm]

$\lambda$  = Razão de velocidade

$r_{\text{rot}}$  = Raio do rotor [m]

$D_{\text{rot}}$  = Diâmetro do rotor [m]

$E_c$  = Energia cinética [J]

$m$  = Massa do fluido [kg]

$\dot{m}$  = Taxa de massa do fluido ou vazão mássica [ $\text{m}^3/\text{kg}$ ]

$\rho$  = Densidade do fluido [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$T$  = Torque [N.m]

$D_{\text{fotovoltaica}}$  = Demanda de energia fotovoltaica para atendimento à comunidade [kWh]

$C_{\text{dia}}$  = Demanda de energia elétrica diária da comunidade [kWh]

HSP = Horas de Sol Pleno

$\eta_{\text{fotov}}$  = Eficiência dos componentes de um sistema fotovoltaico

$N$  = Quantidade de painéis fotovoltaicos

$P_{\text{max}}$  = Potência máxima do painel fotovoltaico [W]

$I_{\text{banco}}$  = Capacidade do banco de baterias [Ah]

$D_{auto}$  = Dias de autonomia do banco de baterias

$V_b$  = Tensão da bateria [V]

$Dod$  = Profundidade de descarga

$Amp$  = Corrente armazenada pela bateria [Ah]

$I_{contr}$  = Corrente elétrica do controlador [A]

$I_{sc}$  = Corrente de curto-circuito produzida por cada módulo fotovoltaico [A]

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>17</b>
1.1	Problematização e hipóteses	18
1.2	Delimitação do estudo	19
1.3	Objetivos	19
1.3.1	<i>Objetivo geral</i>	19
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i>	19
1.3.3	<i>Justificativa</i>	20
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>21</b>
2.1	Energia elétrica no Brasil	21
2.2	Fontes renováveis	22
2.3	Energia Solar	23
2.3.1	<i>Energia Fotovoltaica</i>	24
2.4	Energia Hidráulica	30
2.4.1	<i>Energia hidrocínética</i>	30
2.4.2	<i>Componentes da turbina hidrocínética</i>	31
2.4.3	<i>Triângulo das velocidades</i>	32
2.5	Características dos principais rios da Amazônia	35
2.6	Horário de ponta e demanda de energia	36
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>38</b>
<b>4</b>	<b>ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS</b>	<b>40</b>
4.1	Demanda diária de energia da comunidade idealizada	40
4.2	Dimensionamento da turbina hidrocínética	42
4.2.1	<i>Rotor</i>	43
4.2.2	<i>Pás</i>	48
4.2.3	<i>Gerador</i>	50
4.2.4	<i>Caixa multiplicadora</i>	51
4.2.5	<i>Freio</i>	53
4.2.6	<i>Sistema de Ancoragem</i>	54
4.3	Dimensionamento da Unidade Solar Fotovoltaica	55
4.3.1	<i>Painéis Fotovoltaicos</i>	56
4.3.2	<i>Sistema de armazenamento de energia</i>	59
4.3.3	<i>Controlador de carga</i>	60
4.3.4	<i>Inversor</i>	61

<b>5</b>	<b>SINTESE CONCLUSIVA .....</b>	<b>63</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>65</b>
<b>7</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>67</b>
	<b>Anexo I – Características da bateria Freedom 240ah .....</b>	<b>67</b>
	<b>Anexo II – Características do painel fotovoltaico Canadian 350P.....</b>	<b>68</b>
	<b>Anexo III – Características do controlador de carga Xantrex modelo C60.....</b>	<b>69</b>
	<b>Anexo IV – Características do gerador Toyama 3,5 kW .....</b>	<b>70</b>
	<b>Anexo V – Características do multiplicador de velocidade CR-700.....</b>	<b>71</b>
	<b>Anexo VI – Características do inversor 5000W 127V .....</b>	<b>72</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Sendo praticamente indispensável na vida do ser humano, a energia é um recurso estratégico para o bem estar e desenvolvimento socioeconômico no mundo inteiro. Apesar de ser considerada uma necessidade básica, a energia elétrica ainda não é acessível a todos, levando o homem a buscar meios e adaptações para produzi-la.

Com o avanço da tecnologia, foi possível obter outros meios para a geração de energia elétrica a partir das mais variadas fontes. Sabe-se hoje que nem todas as fontes são renováveis, fazendo com que o ser humano trabalhe em busca de outras formas de garantir o fornecimento de energia elétrica, descobrindo formas renováveis, econômicas, comumente em abundância e menos agressivas ao mundo, logo, à vida do homem.

Em alguns pontos do Brasil o acesso a energia elétrica se torna difícil por questões geográficas, como a dificuldade de construir circuitos de transmissões em longos e isolados trajetos a partir de unidades geradoras ou a implementação de novas subestações em lugares mais remotos.

Para suprir a carência de energia elétrica nessas regiões é preciso investir em soluções que possam ser adequadas ao contexto geográfico e otimizadas para aproveitar de maneira eficiente os recursos disponíveis. Como maneira de otimização, visa-se aproveitar todas as fontes disponíveis em determinado lugar. A combinação de mais de uma fonte de energia é definida como sistema híbrido de energia, que permite gerar e distribuir energia elétrica a custos mínimos, de maneira eficaz e confiável.

Considerando a posição privilegiada do Brasil em relação ao Sol e a extensa capacidade hídrica do país, em especial na Região Amazônica, busca-se unir a produção de energia elétrica por meio solar e hidrocínético, apresentando como alternativa à escassez de geração de energia elétrica nessas localidades.

A energia solar, além de inesgotável, é atrativa por possuir uma grande quantidade de radiação emitida todos os dias sobre o planeta. Na Amazônia, localizada próxima à linha do Equador, há pouca variação na incidência solar ao longo do ano, conferindo vantagens para o aproveitamento do recurso solar.

A energia hidrocínética por sua vez é a energia extraída a partir da correnteza de rios e mares, sem necessidade de barragens ou bloqueios, apenas movimentando um motor e

gerando conseqüentemente energia elétrica. Com o imenso potencial hídrico do Brasil, a energia hidrocínética é uma alternativa limpa, de fácil aproveitamento e normalmente disponível próxima a comunidades isoladas. É uma forma de gerar energia elétrica ainda pouco utilizada no país, sendo extremamente importante o início do seu estudo e aproveitamento como alternativa para os problemas de escassez atuais.

Além do desenvolvimento do projeto e sua funcionalidade, o uso racional da energia elétrica é um fator importante a ser levantado durante a construção da unidade. Considerando os limites geograficamente impostos e os limites de geração, é de fundamental importância a educação da comunidade para fazer o uso racional da energia, garantindo o bom funcionamento e capacidade do processo.

### **1.1 Problematização e hipóteses**

1) Poderia ser solucionada a problemática de geração e fornecimento de energia para comunidades ribeirinhas isoladas na Amazônia?

Por questões geográficas e de infraestrutura, ainda é difícil garantir o fornecimento de energia para todos os cidadãos brasileiros. A unidade híbrida possui como objetivo a demonstração da existência de possibilidades para saneamento da deficiência de geração de energia elétrica e possibilidade de fornecimento a todos os brasileiros, através da utilização recursos naturais em abundância disponíveis nas comunidades ou regiões de atendimento, garantindo fornecimento limpo e a baixo custo.

2) Seria o sistema capaz de atender grandes demandas?

O sistema será projetado de acordo com a demanda atual da comunidade idealizada para o dimensionamento e viabilidade inicial deste projeto, visando atender integralmente as necessidades dos habitantes. A produção de energia para uma comunidade ribeirinha isolada difere da geração para uma metrópole por questões sociais e culturais. Normalmente a população de comunidades isoladas possui hábitos de subsistência que não requerem uma grande demanda de energia, podendo-se admitir menores unidades para a geração de energia. A unidade será projetada para uma determinada demanda, podendo ser aumentada de acordo com a disponibilidade de recursos naturais e crescimento da população local.

### 3) A relação custo-benefício é viável para a realização do projeto?

A unidade híbrida possui um custo de investimento elevado, por contar com equipamentos que estão em crescimento no mercado e que possuem elevado valor de compra. Apesar do custo de investimento elevado, a unidade opera através de fontes que estão disponíveis a custo zero, reduzindo consideravelmente os custos de operação se comparada a outras fontes de geração de energia. Considerando ainda a geografia do país, deficiência no sistema de transmissão e a ineficiência na produção, pode-se considerar o investimento na unidade consideravelmente baixo se considerada a tentativa de interligar as comunidades isoladas com outras comunidades geradoras distantes.

## **1.2 Delimitação do estudo**

Definir a melhor configuração para o dimensionamento e viabilidade de uma unidade geradora de energia elétrica, considerando avaliações que visam qualificar os sistemas de geração de energia na sua eficiência entre consumo e produção, bem como a possibilidade de utilização de fontes sustentáveis e o impacto refletido no desenvolvimento da comunidade atendida.

## **1.3 Objetivos**

### *1.3.1 Objetivo geral*

Aplicar os conhecimentos adquiridos no decorrer do curso para dimensionar uma unidade híbrida solar-hidrocinética para a geração de energia elétrica em comunidades isoladas na Amazônia.

### *1.3.2 Objetivos específicos*

Projetar ou dimensionar uma unidade híbrida solar-hidrocinética para uma determinada comunidade ribeirinha isolada, que esteja localizada em uma posição ideal para atender as definições do projeto e assegurar sua funcionalidade.

Expandir o uso de fontes alternativas para a geração de energia e alcance de comunidades mais pobres e isoladas.

### 1.3.3 *Justificativa*

Há atualmente a busca por uma maneira de aliar a economia à sociedade e ao meio ambiente. O presente projeto busca colocar em prática conceitos da engenharia, que sejam benéficos ao homem e à natureza, comprovando que ambos podem caminhar em harmonia. A natureza colaborando com as fontes para a geração de energia para o benefício da população e a mesma respeitando o tempo e necessidades da natureza.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Energia elétrica no Brasil**

Um dos fatores a serem observados para considerar um país desenvolvido é o acesso a certas variáveis que atendam a sociedade. Saneamento básico, transportes, telecomunicações e energia formam essas variáveis, possibilitando o bem estar e realização das ações humana (ANEEL, 2008).

Conforme levantamento realizado pelo Banco Mundial, cerca de 1,2 bilhão de pessoas ainda vive sem eletricidade no mundo. A sociedade tem evoluído acompanhada da procura por ferramentas que facilitem às atividades diárias e garantam o mínimo de conforto à população, tornando-se praticamente impossível a vivência do cotidiano sem o auxílio da energia elétrica e tecnologias que criadas em prol do ser humano (SILVA JUNIOR, 2013).

A falta de acesso à energia ocorre normalmente em áreas remotas, relacionando a localização e dificuldades físicas ou econômicas. Essa realidade atinge o setor de energia que passa a trabalhar com dois extremos, um para atingir maior qualidade e eficiência tanto na produção quanto aplicação dos recursos energéticos e outro na ação que visa fornecer energia elétrica ao maior número possível de pessoas, utilizando instalações simples e de baixo custo (ANEEL, 2008).

As regiões do Brasil apresentam características geográficas diferentes entre si, determinando os contornos da geração, transmissão e distribuição ao longo do tempo. Na administração e operação dos avanços em energia tem-se uma indústria que busca a exploração dos recursos naturais estratégicos e que termina no fornecimento do serviço à sociedade, explorando o potencial geográfico para a produção de energia (ANEEL, 2008).

O Brasil conta com um Sistema Interligado Nacional (SIN) que funciona como uma “rodovia de eletricidade” e interliga as usinas de distribuição através de linhas e ativos de transmissão, transmitindo a energia proveniente de diversas usinas distribuídas por maior parte do território brasileiro.

A maior parte da geração de energia no Brasil é por usinas hidrelétricas, a geração nacional depende do regime de chuvas nas bacias hidrográficas, variando em cada região. O Sistema Interligado Nacional (SIN) cria uma interconexão elétrica das usinas, obtendo uma melhor eficiência e menos sujeito às variações regionais (ABRADEE, 2016).

Em lugares remotos, algumas comunidades não conseguem se ligar ao SIN, optando por criar Sistemas Isolados. Esses sistemas estão distribuídos por áreas de difícil acesso no país, normalmente na região Amazônica que é composta por floresta densa e rios, dificultando a construção de linhas de transmissão que permitissem a conexão ao SIN. Os sistemas isolados surgem como opção para a geração de energia elétrica para as comunidades isoladas, representando cerca de 40% do território brasileiro e 3% da população do país (ABRADEE, 2016).

## **2.2 Fontes renováveis**

A oferta de energia, embora reflita na melhoria de qualidade de vida e economia, está aliada a aspectos negativos. Problemas como desastres ecológicos e esgotamento de recursos não renováveis para a produção de energia ganham a cada dia destaque, fazendo com que soluções alternativas para esses problemas têm sido um dos maiores desafios da atualidade.

O desafio por soluções tem levado às pesquisas que incentivam o uso de fontes alternativas renováveis e estímulo ao uso eficiente da energia. O Brasil possui capacidade para se tornar uma potência energética, com possibilidades de crescimento econômico, tecnológico e social, colaborando com a qualidade de vida da população (CEMING, 2012).

Pode-se definir energia renovável como uma energia que pode ser obtida a partir de fontes que são capazes de se regenerar, sendo assim consideradas inesgotáveis. São consideradas fontes limpas por não afetarem o meio ambiente com poluentes que possam provocar desequilíbrio ambiental.

Por muito tempo o petróleo tem sido utilizado, mas como fonte não renovável, a possibilidade de esgotamento tornou-se uma realidade não distante. É a principal fonte de energia utilizada atualmente, criando desafios para a sua substituição por fontes renováveis, sendo elas solar (painel solar, célula fotovoltaica), eólica (turbina eólica, cata-vento), hídrica (rota d'água, turbina aquática) e biomassa (matéria de origem vegetal).

A maneira mais saudável de se garantir geração contínua de energia é diversificando o seu meio de geração. Como o petróleo que domina o mercado atualmente, não se pode substituir, por exemplo, toda a geração por usinas hidrelétricas, pois mesmo sendo fonte de

energia renovável e limpa, sofre variações de produção de acordo com a época sazonal. O equilíbrio entre todas as fontes de energia tem sido a melhor projeção para a área.

### **2.3 Energia Solar**

A energia solar chega à Terra nas formas térmica e luminosa. De acordo com estudos feitos pela Empresa de Pesquisa Energética, é possível atender milhares de vezes o consumo anual de energia no mundo com a irradiação solar anual na superfície terrestre. Os raios infravermelhos e ultravioletas representam a maior parte da energia solar após passar pela atmosfera da terra. Porém, essa radiação não é capaz de atingir de maneira uniforme todas as áreas do planeta, sendo condicionada à latitude, período sazonal e condições atmosféricas. (ANEEL, 2008).

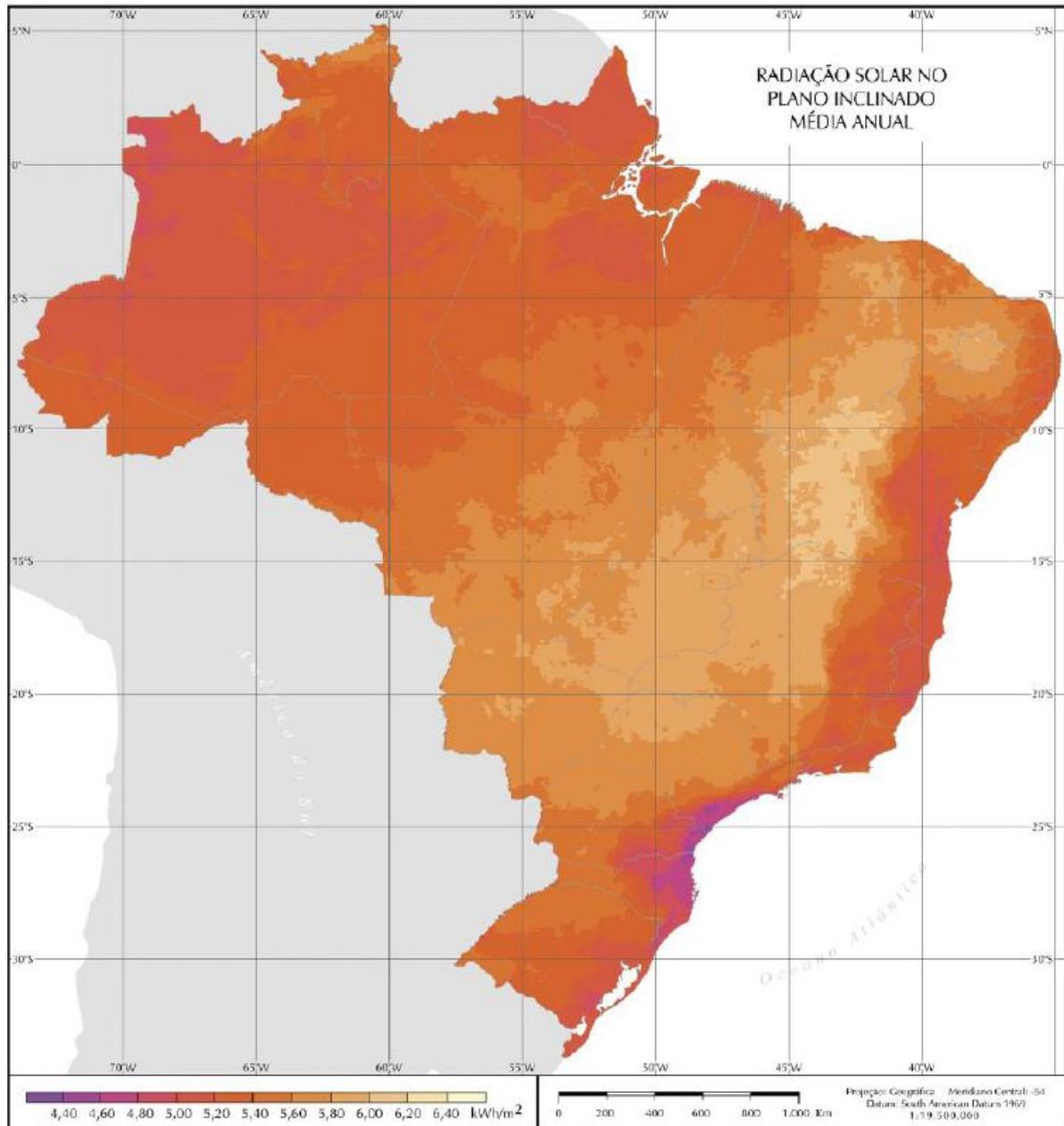
A luz capturada pode ser transformada em energia térmica ou elétrica, sendo definidas pelo tipo de equipamento utilizado na captação da radiação. Para a produção de energia elétrica, existem os sistemas heliotérmico e fotovoltaico. No sistema heliotérmico há a conversão de irradiação solar em calor, sendo usado em usinas termelétricas. O processo é indireto, compreendendo algumas fases antes da geração, como: coleta da irradiação, conversão em calor, transporte e armazenamento. (ANEEL, 2008).

O sistema fotovoltaico por sua vez conta com uma produção de energia direta. Os raios passam por um material semicondutor (normalmente silício), gerando um fluxo eletrônico de partículas positivas e negativas. O fluxo de energia na forma de corrente contínua é iniciado com a radiação da luz sobre a região da junção, fazendo com que o campo existente permita o fluxo eletrônico. Diferente do sistema heliotérmico que exige incidência direta da radiação, o sistema fotovoltaico pode gerar eletricidade em dias nublados com pouca incidência de radiação. (ANEEL, 2008).

De acordo com o Atlas Solarimétrico do Brasil, a radiação que cerca o país varia de 8 a 22 MJ (megajoules) por metro quadrado ( $m^2$ ) durante o dia, sendo as menores variações nos meses de maio a julho, considerando ainda que maior a proximidade com a linha do Equador apresenta a maior a radiação solar recebida na superfície terrestre.

A figura 1 é capaz de mostrar as regiões do Brasil com melhor radiação, sendo o Nordeste a região de maior incidência e o Sul e Sudeste com as menores radiações.

Figura 1 - Variação da radiação solar no Brasil



Fonte: PINHO e GALDINO (2014)

### 2.3.1 Energia Fotovoltaica

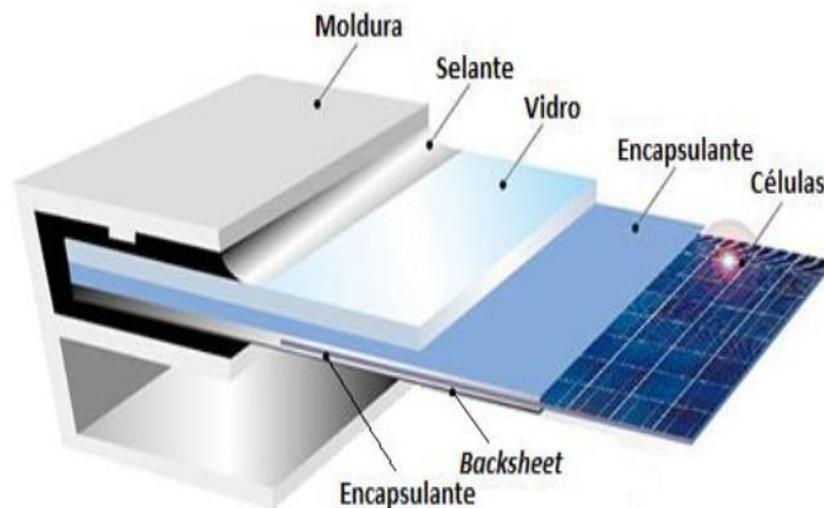
Os sistemas fotovoltaicos tem ganhado espaço em instalações remotas, uma vez que sua vida útil longa e baixo custo de manutenção são pontos importantes para a instalação de unidades geradoras em ambientes isolados. O projeto, instalação e operação são simples, mas

requer envolvimento dos beneficiados para entender o funcionamento, características e limitações da tecnologia.

O silício é o principal elemento na fabricação de células fotovoltaicas, sendo ainda o segundo elemento mais abundante na Terra, depois do oxigênio, com sua exploração e utilização em formas cristalinas, policristalinas e amorfas, sendo as células que utilizam silício monocristalino consideradas normalmente as que apresentam maior eficiência (CEMING, 2012).

A célula fotovoltaica é o principal elemento para a geração fotovoltaica. Ela faz parte de um conjunto de outros componentes que melhoram o aproveitamento da produção de energia. Esse conjunto é definido como módulo fotovoltaico e possui 5 elementos, sendo estes apresentados na figura 2 a seguir (TOLMASQUIM, 2016).

Figura 2 - Camadas de um módulo fotovoltaico



Fonte: Adaptado de RITEK SOLAR (2018)

A moldura é a parte externa da estrutura responsável pela fixação e normalmente feita de alumínio, sendo este um material leve e resistente à corrosão por possuir uma camada protetora de óxido. Selante é o composto adesivo usado para unir as partes internas do módulo à moldura, funcionando como protetor de choques e vibrações, além de impedir a passagem de sujeira e umidade para dentro do módulo. O vidro é a camada protetora das células, devendo ser utilizado um vidro especial com baixo teor de ferro, para que evite a reflexão de luz e permita a entrada da luz para conversão. Encapsulante é o filme que envolve as células fotovoltaicas que compõem a parte responsável pela conversão de energia eletromagnética em elétrica, com o intuito de aperfeiçoar a condução e proteger. E por último o *Backsheet* que

funciona como isolante elétrico e protege a parte inferior do módulo contra umidade e agentes externos (TOLMASQUIM, 2016).

O funcionamento e a geração elétrica em uma célula fotovoltaica ocorrem através dos átomos de silício que se caracterizam por possuírem quatro elétrons que se ligam com outros em proximidade, formando uma rede cristalina. Se um átomo com cinco elétrons for adicionado, haverá um elétron em excesso e ficará sobrando, permitindo que ele seja liberado para outra banda de condução. Esse átomo que ao se unir, permite a sobra de elétrons, é denominado dopante doador de elétrons, ou dopante n. (TOLMASQUIM, 2016).

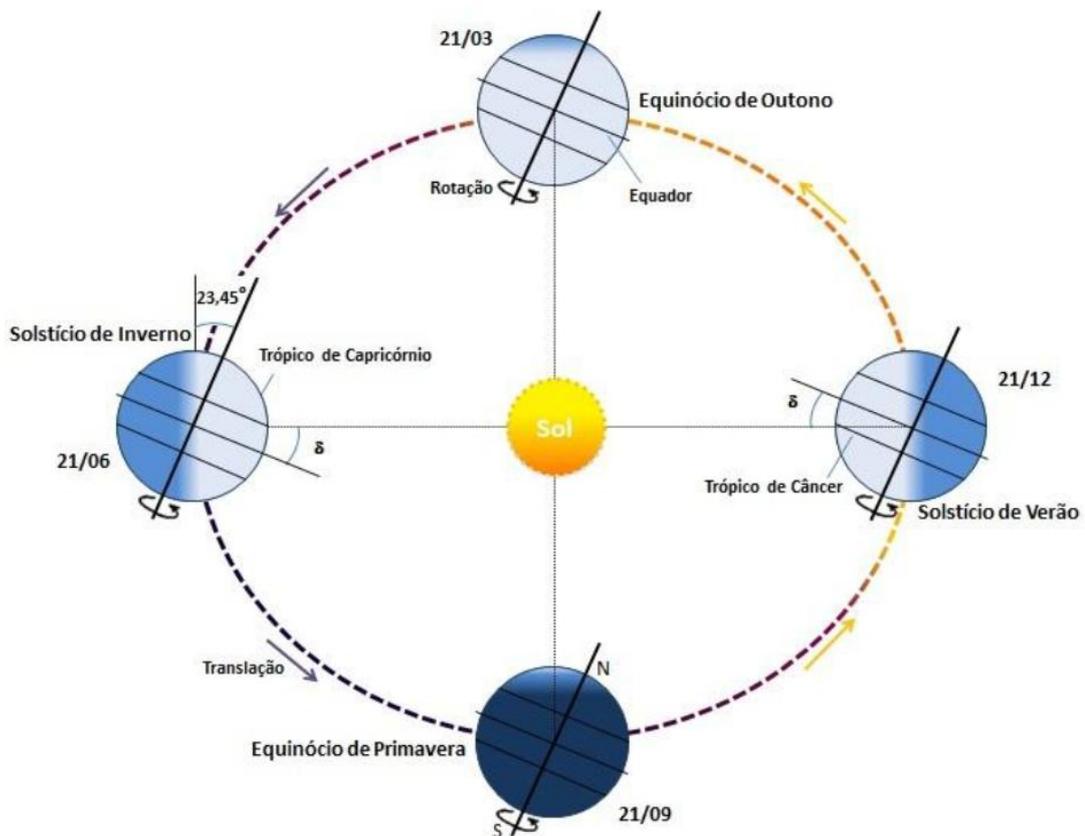
Se átomos com menos elétrons forem adicionados, como por exemplo, um átomo de três elétrons, faltará um elétron para satisfazer as ligações com o átomo de silício. A energia para que um elétron de um átomo vizinho ocupe essa posição é mínima. Esse átomo que permite a criação de um “buraco” com a falta de um elétron é denominado dopante p. (TOLMASQUIM, 2016).

Quando átomos dopantes n e p são adicionados ao silício puro, será formada a junção pn que permite que elétrons livres passem do lado n para o lado p, fazendo com que haja uma região negativamente carregada devido ao acúmulo de elétrons e outra positivamente carregada devido à redução de elétrons, essas cargas dão origem a um campo elétrico. Se essa junção pn for exposta a fótons, as cargas serão aceleradas na região onde o campo elétrico é diferente de zero, gerando corrente. O deslocamento de cargas origina uma diferença de potencial que define o chamado efeito fotovoltaico (TOLMASQUIM, 2016).

Para melhor aproveitamento e eficiência na geração elétrica através de painéis fotovoltaicos é necessário considerar a inclinação dos coletores, principalmente quanto maior for a altitude. O ângulo considerado ótimo é igual à latitude local, orientado ao norte, no hemisfério sul, fazendo com que a superfície a receber radiação esteja perpendicular aos raios solares, atenuando a variação de irradiação ao longo do ano e maximizando a quantidade de energia (CEMING, 2012).

A quantidade e duração de energia incidente sobre a Terra variam ainda de acordo com o ciclo diário e anual, uma vez que, devido à inclinação em graus do eixo axial da Terra com relação ao plano orbital do planeta em relação ao Sol, a duração do dia pode variar ao longo do ano para diferentes altitudes, estando estas relacionadas às estações do ano.

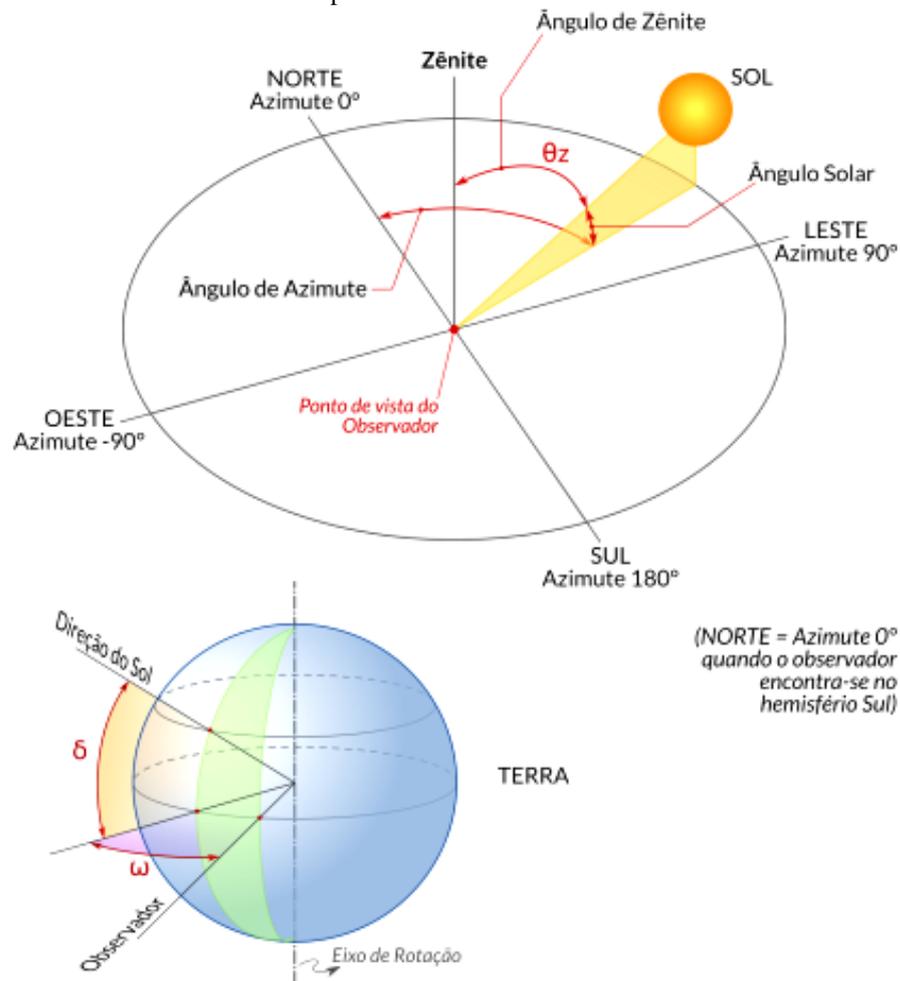
Figura 3 - Estações do ano no Hemisfério Sul



Fonte: PINHO e GALDINO (2014)

Além do movimento de translação, o movimento de rotação também é considerado fator importante na quantificação da radiação solar. A fim de definir a variabilidade de radiação que atinge a atmosfera da Terra, dados geométricos são considerados, como a declinação solar ( $\delta$ ) formado pela inclinação do plano equatorial da Terra e a linha de direção Sol-Terra, o ângulo horário solar ( $\omega$ ) que corresponde ao deslocamento angular do movimento aparente do Sol devido à rotação da Terra, o ângulo zenital solar ( $\theta_z$ ) formado entre a vertical no ponto de observação e a direção da linha que liga o mesmo ponto da superfície da Terra ao Sol e o ângulo azimutal do Sol formado entre a linha de projeção da direção do Sol no plano horizontal com o meridiano do observador. (PEREIRA E. B et al, 2006)

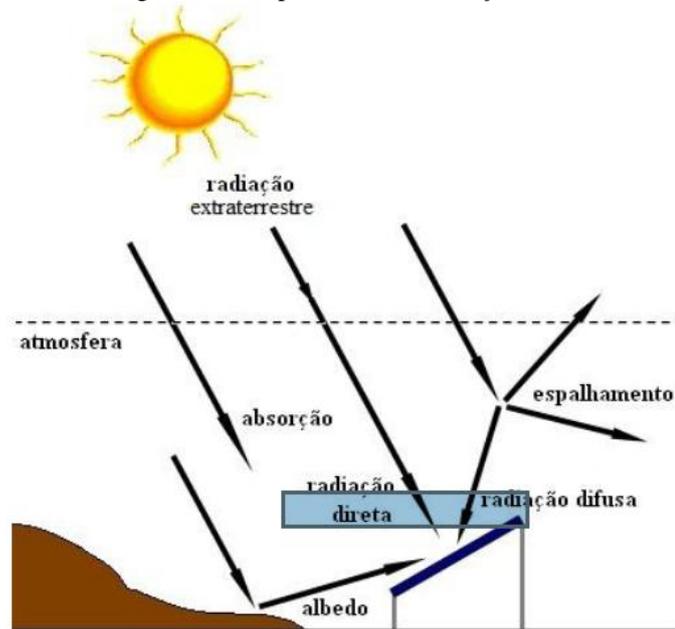
Figura 4 - Compreensão geométrica das variáveis que descrevem a posição do Sol em relação a um ponto na superfície terrestre



Fonte: PEREIRA, E. B et al. (2017)

Além dos fatores astronômicos que estabelecem a variabilidade da radiação, a energia incidente sobre uma superfície também sofre incidência de fatores físicos que influenciam na intensidade da radiação. A radiação incidente sobre uma superfície é definida por componentes direta e difusa. A direta não sofre interferências dos componentes atmosféricos, sendo considerada a parcela direta de incidência entre o sol e a superfície. A difusa engloba o restante da radiação proveniente das demais direções do processo de espalhamento pelos componentes atmosféricos. Assim, a radiação será definida pela soma das parcelas direta, difusa e albedo (superfície inclinada).

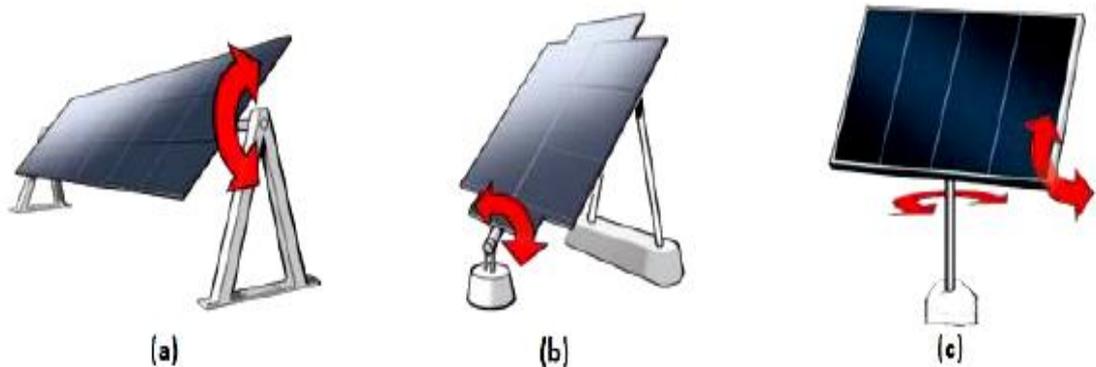
Figura 5 - Componentes Da Radiação Solar



Fonte: PINHO e GALDINO (2014)

O posicionamento dos coletores com ângulos que favoreçam a radiação deve ser considerado quando se almeja aumentar a eficiência do projeto, que pode gerar um ganho de 20% a 50% na geração de energia. Sistemas que movimentem as placas de maneira que as mesmas sigam a trajetória do Sol devem ser implantados, podendo ser mecanismos ou estruturas de um ou dois eixos, como mostra a seguinte imagem. (TOLMASQUIM, 2016).

Figura 6 - Sistemas de seguimento Solar de um (A,B) e dois (C) eixos



Fonte: TOLMASQUIM (2016)

Na produção fotovoltaica, enquanto a luz incide na celular solar, há geração de energia. A geração se acontece em corrente contínua (CC), sendo transformada para corrente alternada (CA) através de um inversor. Em sistemas isolados, baterias e controladores de cargas são adicionados para possibilitar o funcionamento do sistema (CEMING, 2012).

## **2.4 Energia Hidráulica**

“A água é o recurso natural mais abundante na Terra: com um volume estimado de 1,36 bilhão de quilômetros cúbicos recobre 2/3 da superfície do planeta sob a forma de oceanos, calotas polares, rios e lagos.” (ANEEL, 2002). A energia hidráulica se baseia em extrair energia cinética ou potencial de correntes de água e transformá-la em energia elétrica através de turbinas, possuindo elevado potencial na geração de energia em função da vasta disponibilidade do recurso.

Recursos naturais que podem ser utilizados como fontes de produção de energia são bens estratégicos para qualquer país, pois reduz a dependência do suprimento externo, garantindo assim o abastecimento de energia que é considerado um serviço vital ao desenvolvimento econômico e social. No caso dos potenciais hídricos, a esses argumentos favoráveis, somam-se outros dois: o baixo custo de suprimento na comparação com outras fontes e o fato de a operação das usinas não provocar emissão de gases causadores do efeito estufa (ANEEL, 2002).

### *2.4.1 Energia hidrocínética*

Energia hidrocínética se refere ao aproveitamento da energia cinética presente em correntes em rios e oceanos, convertendo-a em eletricidade. Trata-se de um esforço para o desenvolvimento tecnológico a partir dispositivos rudimentares que desempenham o mesmo papel, como exemplo as rotas d'água. Esse desenvolvimento desencadeia alta taxa e eficiência na geração de energia através da evolução das turbinas hidráulicas usadas no processo de geração de eletricidade (BRASIL JUNIOR, 2007).

É uma forma de geração de energia limpa, que possui vantagens em relação às outras formas de energia hidráulica, como exemplo as usinas hidrelétricas, eliminando a necessidade

de alagamentos, mobilização de comunidades e possibilidade de instalação em rios que beiram comunidades ribeirinhas isoladas.

Para a geração de energia, utilizam-se turbinas que convertem a energia hidráulica em potência mecânica de eixo, sendo convertida em energia elétrica por um gerador. A água passa pelas pás do rotor, produzindo torque que é transmitido ao eixo. (BRASIL JUNIOR, 2007).

O design dos rotores das turbinas, bem como seu material deve ser profundamente estudado para que se obtenha uma melhor eficiência. Materiais com maior resistência à corrosão e cavitação podem prolongar a vida útil da turbina, bem como evitar repetitivas paradas para a manutenção, garantindo uma boa funcionalidade. Materiais leves e que permitam a construção de um melhor formato para a turbina. (BRASIL JUNIOR, 2007).

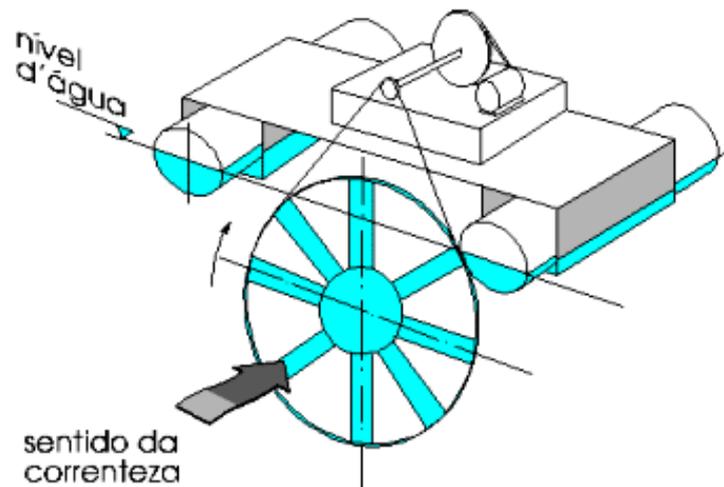
#### 2.4.2 Componentes da turbina hidrocínética

As turbinas são projetadas através de um conjunto de componentes que permitem realizar a conversão da energia cinética do rio em energia elétrica, são eles:

- Carcaça e difusor: As partes que compõem a carcaça e o difusor são moldadas em fibras de vidro, que possui alta resistência a impacto e corrosão, sendo normalmente utilizada em aplicações estruturais.
- Núcleo conversor: Elemento responsável por transmitir a potência mecânica do rotor ao gerador elétrico. O gerador é componente responsável por transformar a energia mecânica em energia elétrica útil. Normalmente são de corrente alternada ou contínua, sendo mais utilizados os de corrente alternada que trabalham melhor em distintas velocidades de rotação.
- Rotor: É o componente mais importante da turbina. Formado por pás, sua função é extrair do rio uma fração de energia cinética e convertê-la em energia mecânica, encaminhada a um gerador elétrico. As pás presentes no rotor podem ter seus ângulos regulados através do cubo do rotor para se ter um melhor aproveitamento dinâmico. Um dos maiores problemas no rotor, em termos de confiabilidade e duração é a fadiga provocada por vibração, por isso deve ser projetado de maneira a evitar grandes esforços que possam prejudicar seu funcionamento.

- Anel: O anel metálico que suporta o núcleo da máquina na carcaça; Este anel foi fundido em alumínio ordinário (QUISPE, 2005).

Figura 7 - Turbina Hidrocinética Axial



Fonte: CRUZ (2000)

Como inovação, destaca-se a instalação de um difusor cônico para aumentar a velocidade de escoamento na entrada, permitindo assim aumentar o coeficiente de potência. Porém, conforme salientado em (BRASIL JUNIOR, 2007), a incorporação do difusor resultou em um aumento das dimensões da turbina, tornando-a inadequada para uso em rios com baixa profundidade.

As turbinas são projetadas de acordo com as características do lugar a ser instalada. O diâmetro do rotor depende da velocidade da correnteza do rio. Assim, há necessidade de verificar as velocidades máximas e mínimas de acordo com as características sazonais do meio, bem como a profundidade do rio, tendo uma distância segura do fundo para que se evite a presença de resíduos que se depositam no fundo, como troncos e pedras. (QUISPE, 2005).

### 2.4.3 *Triângulo das velocidades*

Ao adentrar a turbina, o fluido compõe duas correntes chamadas de fluxo e de circulação. A de fluxo é a corrente na qual o fluido adentra a turbina e tende a deixá-la depois

e a de circulação é a qual o fluido tende a girar no espaço compreendido entre as palhetas, quando da sua indução a girar. A composição dessas correntes indica que o efeito na distribuição da velocidade e pressão no rotor é que as mesmas variam ao longo do canal formado pelas palhetas.

Os triângulos de velocidade de entrada e saída das pás fornecem as referências necessárias para o cálculo do torque ou potência ideal, definindo o desempenho sob condições ideais. A estes vetores e suas componentes atribuem-se os seguintes índices:

- um ponto situado logo após a entrada do rotor, já no espaço entre as pás giratórias;
- um ponto situado logo após a saída do rotor, ainda no espaço entre as pás giratórias.

Para a formulação do triângulo de velocidades é necessário entender quais velocidades o compõem, sendo estas definidas:

#### 2.4.3.1 Velocidade relativa ( $w$ )

É a velocidade percebida por um observador que se move junto com o rotor. Assim, a trajetória da partícula acompanha o perfil da pá, ou seja, como se o rotor estivesse parado e o fluido escoasse através das pás. A velocidade tangente à essa trajetória é definida como velocidade relativa.

#### 2.4.3.2 Velocidade tangencial ( $u$ )

É a velocidade do fluido que acompanha a movimentação do rotor, podendo ser determinada através do diâmetro e rotação do rotor, conforme equação:

$$u = \omega r_{rot} = \frac{\pi D_{rot} n}{60} \quad (1)$$

#### 2.4.3.3 Velocidade absoluta ( $c$ )

É a velocidade percebida por um observador estacionário. A trajetória da partícula é composta por dois movimentos, sendo um dentro dos canais do rotor e outro de rotação do rotor. A velocidade tangente a essa trajetória é definida como velocidade absoluta.

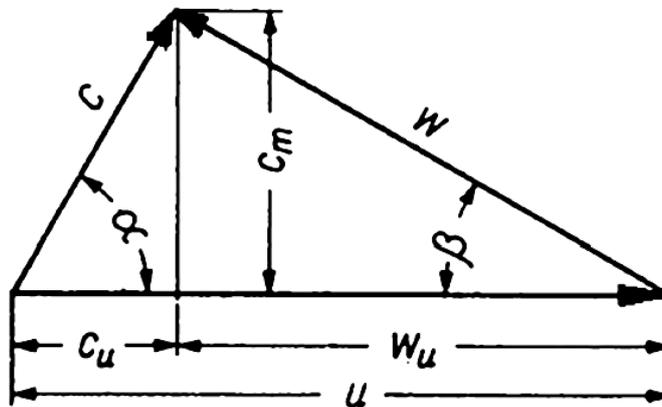
Assim, a velocidade real do fluido é definida pela soma vetorial da velocidade relativa com a velocidade das pás:

$$c = w + u \quad (2)$$

O triângulo de velocidades pode ser construído em qualquer ponto do rotor, porém a entrada e saída são os pontos mais importantes e que deverão ser utilizados para a definição do projeto. No dimensionamento do rotor, através do triângulo de velocidades é possível definir qual o melhor ângulo construtivo das pás a fim de maximizar a eficiência da unidade.

A representação gráfica do triângulo das velocidades e suas componentes podem ser verificadas conforme figura a seguir:

Figura 8 - Representação do triângulo de velocidades



Fonte: CAMPOS (1996)

Onde :

$c$  : velocidade absoluta (m/s) do escoamento no ponto em estudo;

$u$ : velocidade tangencial (m/s) do escoamento no ponto em estudo;

$w$ : velocidade relativa (m/s) do escoamento no ponto em estudo;

$c_m$ : componente meridiana da velocidade absoluta;

$c_u$ : componente tangencial da velocidade absoluta;

$\alpha$ : ângulo formado pela velocidade absoluta e a velocidade tangencial, chamado de ângulo do escoamento absoluto;

$\beta$ : ângulo formado pela velocidade relativa e a velocidade tangencial, chamado de ângulo do escoamento relativo ou ângulo construtivo da pá.

## 2.5 Características dos principais rios da Amazônia

Considerada a maior bacia do planeta, 80% da água doce do mundo encontram-se na região amazônica. Os rios da região se diferem por características diferentes a respeito de relevo, tipos nutrientes que determinam suas colorações e climas.

Dois principais rios do estado do Amazonas são o Negro e o Solimões. A nascente do rio Solimões está localizada nos Andes e a nascente do Rio Negro está localizada no Escudo das Guianas. Ambos os rios possuem características diferentes, que após centenas de quilômetros percorridos, impedem que os mesmos se misturem ao se encontrarem. (FRANZINELLI, 2011)

A coloração dos rios é determinada por nutrientes e substâncias, muitas vezes provenientes de tipos de rocha, que definem ainda a qualidade da água e carga de sólidos. Os rios de águas pretas, como o Negro, possuem ácidos húmicos e fúlvicos, resultante da decomposição do húmus no solo. Os rios de águas claras, como o Tapajós, são pouco ácidos e nascem dos escudos cristalinos. Os rios de águas barrentas, como o Solimões, provem de regiões montanhosas proporcionando essa coloração. (FRANZINELLI, 2011).

A “água branca” do Solimões deve a sua cor e o aspecto turvo aos sedimentos carregados em suspensão: argilas, siltes e areias finas (nas enchentes) em quantidades de 37 mg/l nas épocas de seca e 165 mg/l nas enchentes, de acordo com Sioli (1984). Entretanto, a grande quantidade de ácidos húmicos que provém da decomposição da matéria orgânica e os óxidos de ferro dissolvidos, confere acidez e cor marrom avermelhada às águas do Rio Negro (FRANZINELLI, 2011).

A situação geográfica privilegiada, com canais que correm paralelamente à linha do Equador, garante que as estações de chuva ocorram em tempos diferentes nos hemisférios, resultando em uma situação de equilíbrio para o aporte das águas ao canal principal (FRANZINELLI, 2011).

A quase ausência de atrito da grande massa de água no leito e nas margens da grande seção transversal garante uma velocidade de 0,5 m/s até 2,5 m/s no rio Solimões. Comparado ao Solimões, o rio Negro tem velocidade mais baixa, chegando a ser quase represada se comparada aos picos máximos de velocidade do Solimões. Outra característica que difere

entre os dois rios é a temperatura, sendo mais baixa no Solimões (29°C) e mais elevada no Negro (30°C a 31°C). (FRANZINELLI, 2011)

Tabela 1 - Características hidráulicas, hidroquímicas e sedimentológicas dos Rios Solimões e Negro na altura do Encontro Das Águas.

Variáveis	Rio Solimões	Rio Negro
Área das bacias	2.200.000 km <sup>2</sup>	600.000 km <sup>2</sup>
Amplitude média	2-5 km	3-20 km (máxima no Baixo Rio Negro)
Profundidade média	20-35 m	20-30 m (90 máxima próximo ao encontro das águas)
Descarga líquida média	100.000 m <sup>3</sup> /s	30.000 m <sup>3</sup> /s
ph	6,2-7,2	3,8-4,9
Descarga sólida	700 x 10 <sup>6</sup> mt/ano	6 x 10 <sup>6</sup> mt/ano
Carga dissolvida	205 x 10 <sup>6</sup> t/ano	5,7 x 10 <sup>6</sup> t/ano
Sedimentos de fundo	Areia grossa, média e fina	argila solta de cor creme
Velocidade da corrente	0,5-1 m/s (2-2,5 m/s na vazante)	1 cm/s
Temperatura	29° ± 1° C	30° ± 1° C

Fonte: FRANZINELLI (2011)

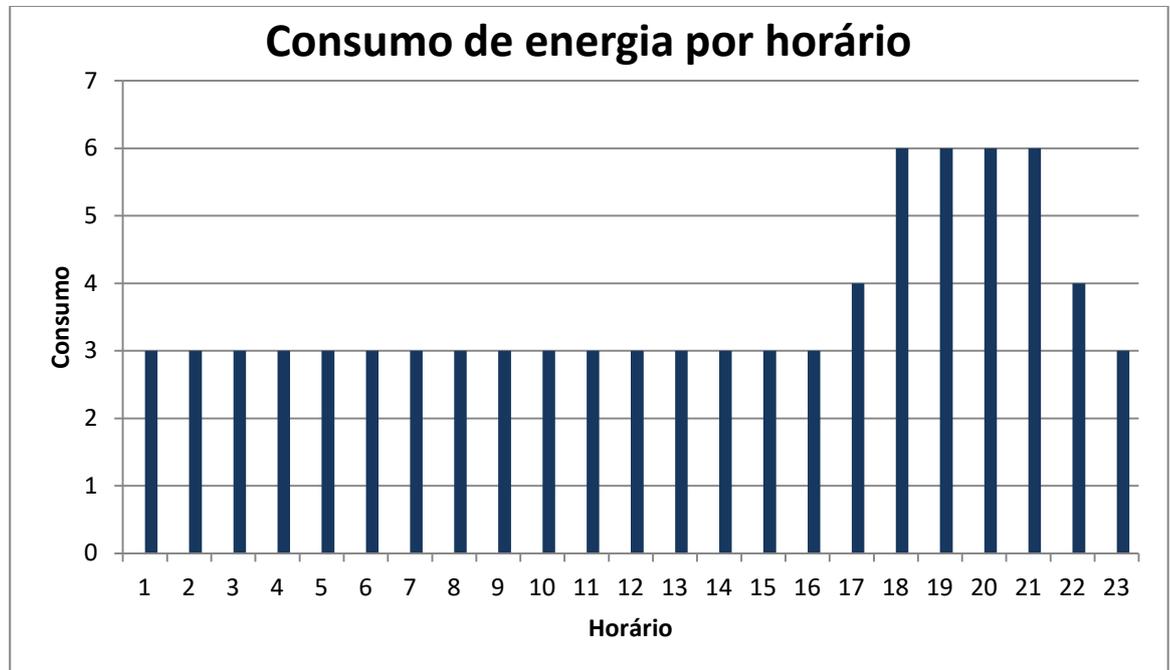
Para a instalação de turbinas hidrocínéticas é necessária a maior velocidade possível, além de garantia de profundidade para a instalação e operação das turbinas independente do período sazonal. Outro fator a ser considerado é o ph e quantidade de sólidos presentes para a escolha de um material durável sob tais condições.

## 2.6 Horário de ponta e demanda de energia

O consumo de energia varia durante as 24 horas do dia. Valores máximos e mínimos são registrados de acordo com a demanda de uso da população. De acordo com a ANEEL, são escolhidas três horas entre o período das 17 até as 22 horas, definindo o horário de ponta. É o horário em que o consumo de energia é muito maior que em outros horários, devido ao

funcionamento ao mesmo tempo de fabricas, iluminação publica, residência e vários eletrodomésticos. Também é definido um horário

Figura 9 - Gráfico de demanda de energia por horário



Fonte: Autor (2018)

A carga média dos horários fora de ponta é chamada de carga de base. O sistema de geração de energia deve ser capaz de suprir o pico da demanda de energia no horário de ponta e operar no horário de base, permanecendo com a capacidade ociosa quando menos solicitado.

Para se entender a demanda de energia elétrica em uma comunidade é preciso analisar seus hábitos e economia. Para saber o consumo total de energia elétrica em um dia, deve-se calcular o consumo de cada equipamento envolvido nas atividades da comunidade, multiplicando pela potência e tempo de utilização diário. A demanda de energia de cada comunidade vai definir a necessidade mínima a ser atendida pelo projeto.

### 3 METODOLOGIA

Para a realização do projeto, considera-se a metodologia de levantamento do tema a ser analisado, a avaliação das necessidades do projeto, a efetivação do estudo do caso e a apresentação da solução e/ou conclusão. Para a realização do projeto, foram consideradas as técnicas de pesquisa que incluíram a realização da pesquisa do conteúdo a ser explorado, através de referenciais como livros, publicações, jornais e demais meios de comunicação. Além do levantamento de dados e coletas realizadas *in loco* ou através de técnicas exploratórias, a fim de associar o conteúdo teórico ao real e permitir a viabilidade da elaboração do projeto.

Assim, definindo a contextualização e execução do projeto em etapas, pode-se definir que a primeira etapa da metodologia consiste em realizar o levantamento da necessidade apresentada como tema. Neste projeto, verifica-se a necessidade de geração de energia elétrica para as comunidades isoladas na região amazônica através de fontes renováveis disponíveis localmente. A avaliação da necessidade surge a partir da verificação através de anúncios em meios de comunicação e entrevistas à população onde apontam que o acesso ao direito básico de disponibilização e usufruto de energia elétrica está somente restringindo a uma parcela da população.

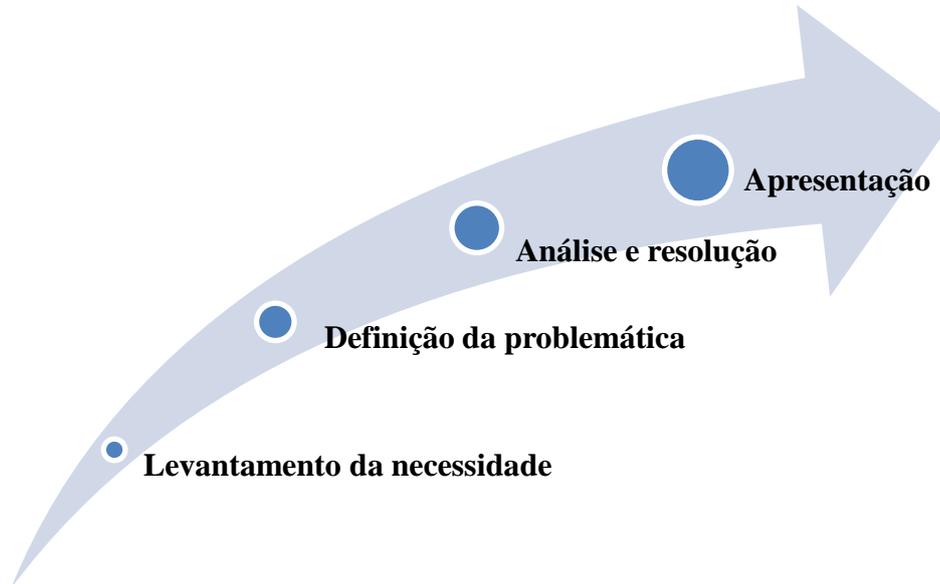
A segunda fase da metodologia consiste em identificar e definir a causa da problemática, viabilizando a solução ou melhoria desta através do projeto. Sendo, para o tema deste trabalho, a causa definida pela dificuldade de geração de energia em virtude de condições econômicas, geográficas e sociais das comunidades isoladas na região amazônica.

A terceira fase consiste na análise e resolução da problemática, permitindo a apresentação de soluções que minimizem ou reduzam os impactos causados pela problemática principal do projeto. Neste caso, a análise constitui com a projeção e viabilidade do fornecimento de energia elétrica à comunidade através de uma unidade híbrida solar hidrocínética, permitindo que a problemática da falta de acesso da população a este direito básico seja sanada e garantindo que novas soluções tecnológicas sejam aplicadas em favor do homem.

Por fim, a apresentação do projeto, verificando o êxito quanto à resolução da problemática ou, em caso de verificação de impossibilidade desta, exemplificação dos

parâmetros de impedimento e apresentação de possíveis soluções e medidas para que a viabilização se torne possível.

Figura 10 - Etapas de desenvolvimento da metodologia do trabalho



Fonte: Autor (2018)

## 4 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

### 4.1 Demanda diária de energia da comunidade idealizada

A unidade deve ser construída para atender uma comunidade idealizada com 20 residências comuns, cada uma com 5 habitantes, totalizando 100 pessoas. Além disso, conta-se com uma área comum com 3 salas e um salão principal para a realização de eventos na comunidade, bem como para a realização de projetos sociais e atendimento médico.

Além das residências e espaços comuns, é necessário o fornecimento de iluminação para as áreas em torno das residências e entrada da comunidade, bem como para o funcionamento de uma bomba para a coleta água do rio até a caixa d'água de distribuição.

Para o projeto da unidade, é necessário mensurar a quantidade de energia necessária para suprir as demandas da comunidade. Assim, considera-se o uso diário de eletrodomésticos básicos para a integração e bem estar da comunidade, bem como uma parcela para eletrodomésticos de uso facultativo, como carregadores de celular e computador, liquidificador, ou outros maquinários utilizados conforme necessidade.

Os aparelhos elétricos necessitam de energia elétrica para funcionar. Ao receber a energia, eles a transformam em outra forma de energia, conforme sua descrição. Como exemplo, um ventilador transforma energia elétrica em energia mecânica, um chuveiro transforma energia elétrica em térmica, etc. A quantidade de energia transformada, conforme uma unidade de tempo é denominada potência, cujo valor é levantado como fonte de dado para determinar o consumo de energia que será necessária para executar a ação do determinado eletrodoméstico, sendo gerado assim o valor do consumo de energia, que pode ser calculado conforme a seguir:

$$\text{Consumo} = (\text{potência em watt}/1000) \times (\text{tempo/número de horas}) = \text{total em KWh}$$

Assim, seguem a seguir as tabelas que consideram o consumo diário de energia necessário para atendimento à comunidade, conforme necessidade e disponibilização dos eletrodomésticos nas residências:

Tabela 2 - Demanda diária de energia – Residência

Demanda diária de energia - Residência					
Eletrodomésticos	Potência (W)	Quantidade (UN)	Potência total (W)	Tempo de uso (h)	Demanda (kWh)
Geladeira 310l	120	1	120	24	2,88
Televisão 32"	100	1	100	6	0,6
Ventilador Médio	100	2	200	10	2
Lâmpada fluorescente	25	6	150	6	0,9
Outros	200	1	200	3	0,6

Fonte: Autor (2018)

Tabela 3 - Demanda diária de energia - Área de convivência

Demanda diária de energia - Área de Convivência					
Eletrodomésticos	Potência (W)	Quantidade (UN)	Potência total (W)	Tempo de uso (h)	Demanda (kWh)
Freezer Horizontal 330l	150	1	150	8	1,2
Projeto	215	1	215	6	1,29
Ventilador Médio	100	7	700	10	7
Lâmpadas	25	11	275	6	1,65
Outros	500	1	500	3	1,5

Fonte: Autor (2018)

Tabela 4 - Demanda diária de energia - Iluminação e abastecimento de água

Demanda diária de energia - Iluminação e abastecimento de água					
Eletrodomésticos	Potência (W)	Quantidade (UN)	Potência total (W)	Tempo de uso (h)	Demanda (kWh)
Lâmpada LED	28	15	420	6	2,52
Bomba d'água	450	1	450	4	1,8

Fonte: Autor (2018)

Assim, sabendo-se que a comunidade possui 20 residências com a mesma distribuição de equipamentos, multiplica-se o valor total de consumo diário de residências pela quantidade das mesmas para saber o consumo total diário de energia pelos habitantes em suas atividades comuns. Para o valor total de demanda, acrescenta-se ainda a possibilidade de eventos na área comum, bem como o abastecimento e iluminação em determinados períodos de utilização

determinado conforme tabela, obtendo-se o valor total do consumo diário da comunidade, conforme a seguir:

Tabela 5 – Demanda total diária de energia da comunidade

<b>Demanda total diária</b>	<b>Demanda (kWh)</b>
Residências	139,6
Area de convivência	12,64
Iluminação e abastecimento	4,32
<b>Total</b>	<b>156,56</b>

Fonte: Autor (2018)

O valor da demanda total diária de energia é 156,56 kWh, sendo este valor considerado o suficiente para atender as necessidades básicas da comunidade, podendo a unidade ser aperfeiçoada e expandida conforme necessidades maiores ou crescimento da comunidade.

Para melhor dimensionamento e aproveitamento dos recursos naturais disponíveis, a unidade será projetada a fim de garantir percentuais diferentes de geração de energia através da utilização de cada recurso natural disponível. Assim, a geração hidrocínética será projetada para atender 70% da demanda de energia diária da população e a geração fotovoltaica será responsável por atender os 30% restantes, principalmente durante o período de ponta, onde a demanda de energia alcança seu pico. Tal fato é considerado em virtude da disponibilidade do recurso gerador, dos custos de investimento e manutenção da unidade.

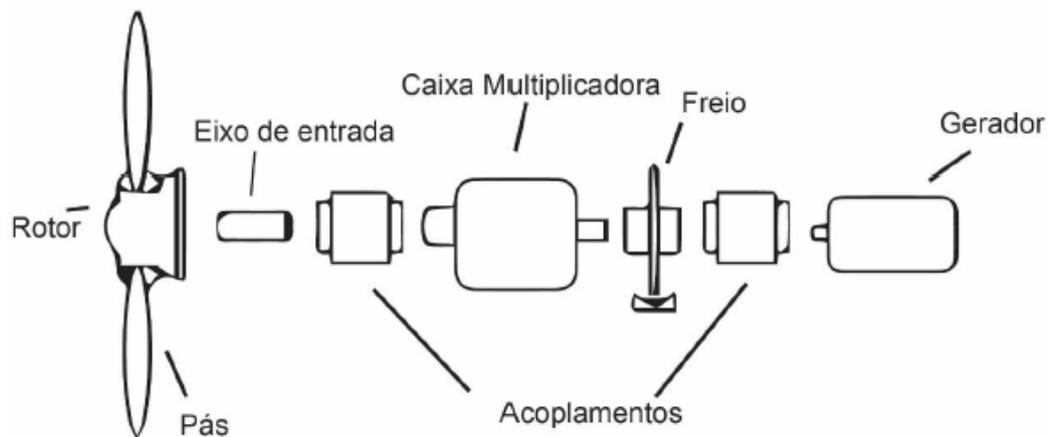
#### **4.2 Dimensionamento da turbina hidrocínética**

Turbinas hidrocínéticas são máquinas que permitem uma transferência de energia entre um fluido e um rotor formado por pás, convertendo energia cinética em mecânica, sendo esta enviada a um gerador para ser convertida em energia elétrica e abastecer a comunidade. A transferência de energia é efetuada através de um gradiente de pressão dinâmica que é produzido entre a saída e a entrada do fluido no rotor, assim, para o dimensionamento e melhor otimização da energia a ser gerada por essa transferência, é fundamental trabalhar

sobre grandezas como: fluxo, pressão, potência, velocidade de rotação, dimensão, massa específica, viscosidade, etc.

Para o dimensionamento da turbina é necessário realizar o levantamento de quais componentes serão dimensionados para que se atinja o objetivo proposto de geração de energia. Dessa forma, conforme especificado na literatura, para o projeto da turbina é necessário calcular seus componentes que são: rotor, pás, acoplamentos, caixa multiplicadora, eixo da saída e gerador.

Figura 11 - Componentes de uma turbina hidrocínética



Fonte: DE OLIVEIRA FARIA (2017)

#### 4.2.1 Rotor

O dimensionamento do rotor é uma das mais importantes partes para a composição de uma turbina, pois é através do rotor que a corrente de fluido passará, aplicando força sobre as pás, estas que serão responsáveis por emitir torque ao eixo. A potência de uma turbina hidrocínética pode ser definida em função da velocidade e densidade do fluido que atravessa o rotor, bem como sua área.

Para dimensionamento do rotor, é necessário estabelecer inicialmente critérios de base e simplificadores para a formulação do projeto e que estes sejam após transformados em reais e aplicados fatores de correção. Nesse caso, inicialmente será considerada a teoria unidimensional para uma máquina de fluxo, admitindo-se que um só fio de corrente representa todos os demais e que a trajetória relativa do filete coincide com o perfil das pás.

Como o recurso gerador da unidade é a correnteza do rio, é necessário o estudo do fluido de trabalho para melhor definição das variáveis do projeto. Assim, como a geração de

energia ocorre através da transformação de energia cinética em energia elétrica, é necessário o estudo do movimento do fluido. A energia cinética a energia produzida pelo fluido através do movimento pode ser representada pela seguinte fórmula:

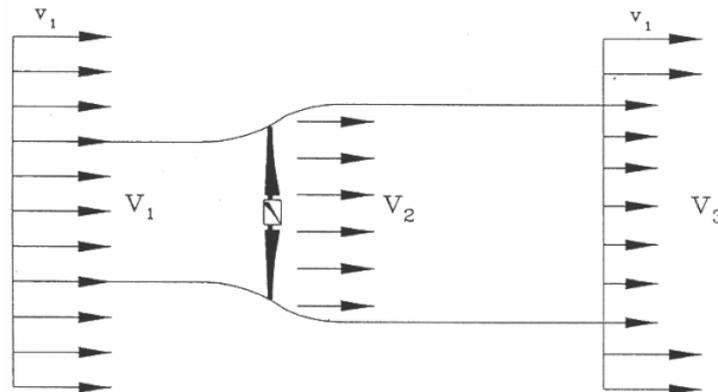
$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad (3)$$

A potência extraída do fluxo pode por sua vez ser definida como:

$$P_{\text{turbina}} = \frac{1}{2}\dot{m}v^2 \quad (4)$$

A fim de determinar o valor máximo de energia que pode ser extraída do fluido, o físico alemão Betz considerou, através de um experimento, que um conjunto de tubo com pás no seu interior através das quais o fluido avançaria, caso a velocidade de entrada e saída fossem iguais ( $v_1=v_3$ ), o fluxo de massa seria igual a zero, bem como caso a velocidade de saída fosse igual a zero ( $v_3$ ), o fluxo de massa também seria zero, não sendo extraída nenhuma potência em ambos os casos. (DUTRA, 2009).

Figura 12 - Perdas de velocidade do vento na passagem por um conjunto de pás



Fonte: DUTRA (2008)

Assim, o movimento representado na equação será a diferença entre a velocidade de entrada e de saída do rotor, representando a energia cinética extraída do fluxo conforme ele avança pelo rotor, sendo assim a potência extraída representada pela equação:

$$P_{\text{turbina}} = \frac{1}{2}\dot{m}(v_1^2 - v_3^2) \quad (5)$$

A taxa de massa do fluido é indicada pela seguinte equação:

$$\dot{m} = \rho A v_2 \quad (6)$$

Onde

$$v_2 = \frac{v_1 + v_3}{2} \quad (7)$$

Substituindo a equação 5 na equação 4, tem-se:

$$\dot{m} = \frac{\rho A (v_1 + v_3)}{2} \quad (8)$$

Substituindo a equação 6 na equação 3, tem-se a potência do fluido:

$$P_{\text{turbina}} = \frac{1}{2} \rho A v_1^3 \left\{ \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{v_3}{v_1} \right] \left[ 1 + \left( \frac{v_3}{v_1} \right)^2 \right] \right\} \quad (9)$$

Sendo o Coeficiente de Potência:

$$C_p = \left\{ \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{v_3}{v_1} \right] \left[ 1 + \left( \frac{v_3}{v_1} \right)^2 \right] \right\} \quad (10)$$

Conforme estudo do físico Betz, o aproveitamento num escoamento permanente jamais ultrapassa 59%, sendo o coeficiente de potência (ou limite de Betz) máximo definido 0.59. Esse limite indica que a velocidade do fluido no rotor é 2/3 da velocidade em seu percurso livre. (DE FARIA MACHADO, 2014)

Para o projeto será definido um limite de Betz de 0,4, considerando que a unidade não irá operar com um aproveitamento máximo, em virtude de possíveis perdas relativas ao processo.

Além do limite de Betz, para o cálculo de potência é necessário incluir o rendimento  $\eta_{\text{turb}}$ , este associado à eficiência do gerador, sistema de transmissão elétrica, mecânica, etc. Sendo assim a equação final de potência gerada pelo fluido igual a:

$$P_{\text{turbina}} = \frac{1}{2} \rho A v_1^3 \eta_{\text{turb}} C_p \quad (11)$$

#### 4.2.1.1 Potência (P)

Conforme demanda diária de energia da comunidade, é necessário o dimensionamento da unidade para que atenda ao solicitado de 156,56 kWh. Desta maneira, para a definição da área do rotor será considerada a potência definida em função da demanda, esta que quando disponibilizada em watts equivale a 3480W.

#### 4.2.1.2 Velocidade do fluido (V)

O fator chave na definição do dimensionamento e eficiência de uma turbina hidrocínética é a velocidade da água do rio que fluirá pelo interior da turbina. Esta velocidade sofre variações ao longo do ano, em virtude do período sazonal que abrange a região

amazônica. A água quando flui através de um canal encontra resistência maior quando da proximidade das margens e ao longo do leito em função do atrito da água com as matérias sólidas. Desta maneira, a velocidade do rio é maior no centro do curso do rio e na superfície, onde encontra menos resistência.

Os rios possuem forte variação no seu volume em função da influência do período de chuva da região amazônica. Assim, quando há um grande volume de precipitação de chuvas, há aumento no volume do rio, aumentando a distância entre suas margens e o fundo do seu leito, fazendo com que a água flua mais livremente. Ao contrário, durante o período da seca (vazante), quando não há um grande volume de precipitações, o volume de água do rio diminui e conseqüentemente sua velocidade. O período de chuvas e cheia dos rios é compreendido entre novembro e março, com o período de seca ocorrendo entre os meses de maio e setembro.

Para estudo e dimensionamento do projeto, inicialmente serão considerados os dados do rio Solimões, uma vez que este comparado ao Rio Negro possui melhor aproveitamento em virtude da maior velocidade de sua correnteza. Assim, conforme dados apresentados na tabela 1, a velocidade do rio Solimões será considerada 1 m/s quando do menor volume do rio no período de seca e 2m/s quando do maior volume do rio no período de cheia, ficando estabelecido a velocidade média de estudo em 1,5m/s.

#### 4.2.1.3 Densidade ( $\rho$ )

Para definição do valor da densidade da água é preciso considerar a profundidade a qual a turbina será posicionada no rio, uma vez que um fenômeno chamado estratificação térmica deve ser considerado, este cujo é definido como a divisão em camadas de um curso de água em função de sua densidade e temperatura.

A temperatura é uma grandeza definida como o grau de agitação das moléculas de um corpo, assim quando o corpo estiver com um elevado grau de agitação, terá uma elevada temperatura e um volume maior ocupado por estas moléculas. Caso contrário, as moléculas vão se agrupando cada vez mais, garantindo um menor volume. Este volume ajuda a definir a densidade de um corpo, pois quanto maior é seu volume, menor será sua densidade.

Assim, a densidade possui valores maiores quanto maior for a profundidade do rio e menor a temperatura, possibilitando assim melhores níveis de geração de energia. Assim, para

alocar a turbina é necessário considerar uma posição não tão distante da superfície para obter os melhores valores de velocidade e com uma proximidade razoável do fundo do leito do rio para uma maior densidade do fluido e melhor eficiência quanto à potência produzida pela turbina. Devem ser considerados ainda os sólidos suspensos presentes na água, uma vez que quando mais próximo ao fundo do leito do rio, maior será a presença de sólidos como areia, pedregulhos e pedaços de madeira que podem interferir na vida útil da turbina, em função do desgaste causado pelo atrito com estes.

Assim, considerando que a estação deva ter sua haste de fixação instalada em terreno sólido na comunidade e considerando que as placas solares serão fixadas sobre a parte superior da instalação das turbinas hidrocínicas, considera-se para nível de dimensionamento que a turbina ficará disposta há 25 metros da margem do rio no período de vazante e há uma distância mínima de 2 metros do fundo do rio. Esta disposição vai assegurar que a turbina tenha um bom desempenho por estar mais próxima ao centro do curso do rio onde a velocidade da água é mais elevada, bem como não manterá a unidade totalmente ao centro do curso do rio, evitando conflitos com embarcações. A disposição da unidade pode ser verificada conforme a seguir:

#### 4.2.1.4 Rendimento ( $\eta$ )

O rendimento de uma turbina determina a relação entre a energia na saída da turbina ao ser encaminhada ao gerador e a energia disponível na entrada da turbina, que será transformada. Considerando todas as dissipações de energia através dos componentes da unidade, entre eles transmissão e gerador, que influenciam no rendimento da turbina hidrocínica, adota-se para o projeto um rendimento máximo da unidade de 75%.

#### 4.2.1.5 Área

Com todos os valores das variáveis definidos, é possível dimensionar a área do rotor através da equação 11 para cálculo de potência, conforme verificado a seguir:

$$P_{\text{turbina}} = \frac{1}{2} \eta \rho A V^3 C_p$$

Onde:  $\eta=0,75$

$$\rho=996,2\text{kg/m}^3$$

$$v=1,5\text{m/s}$$

$$C_p=0.4$$

$$P_{\text{turbina}} = 70\% \text{ de } 3480\text{W}$$

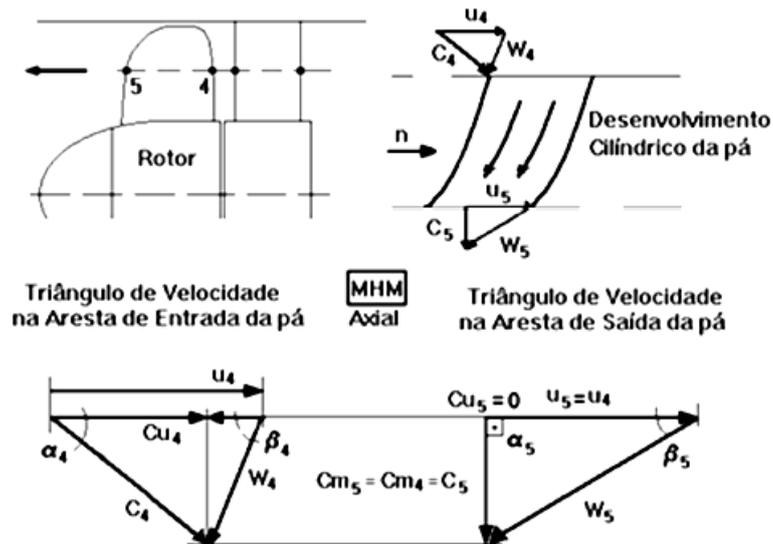
Aplicando os valores na equação obtém-se área  $A=4,83\text{m}^2$ , esta que por ser muito grande, demonstra a necessidade de utilização de outras turbinas hidrocínéticas a fim de que possam ser projetadas turbinas com áreas menores, adequando-se ainda à profundidade do rio em seu nível mais crítico. Considera-se a necessidade de 3 turbinas hidrocínéticas que juntas produzirão energia elétrica para suprir a demanda em sua totalidade, assim tem-se que a área  $A= 4,83/3=1,61\text{m}^2$ , que aplicada à equação da área de base de um cilindro  $A=\frac{\pi D_{\text{rot}}^2}{4}$ , demonstra que o diâmetro necessário do rotor é  $D_{\text{rot}}=1,43\text{m}$ , com o comprimento de cada pá sendo  $r_{\text{rot}}=D_{\text{rot}}/2=0,72\text{m}$ .

#### 4.2.2 Pás

O formato das pás é parte importante no projeto visto melhor aproveitamento da energia que flui através delas e gera torque necessário para a geração de potência. Conforme teoria do triângulo das velocidades.

O triângulo de velocidades da turbina hidrocínética pode ser visualizado conforme imagem a seguir:

Figura 13 - Triângulo de velocidades para rotor de máquina hidráulica motora axial



Fonte: CAMPOS (1996)

O triângulo de velocidades fornece os dados suficientes para determinar a contribuição do elemento da pá para o torque do rotor, bem como determinar qual o melhor ângulo de

ataque das pás ( $\beta$ ) para melhor rendimento da turbina. Este ângulo pode ser encontrado através da aplicação de relações trigonométricas no triângulo de velocidades.

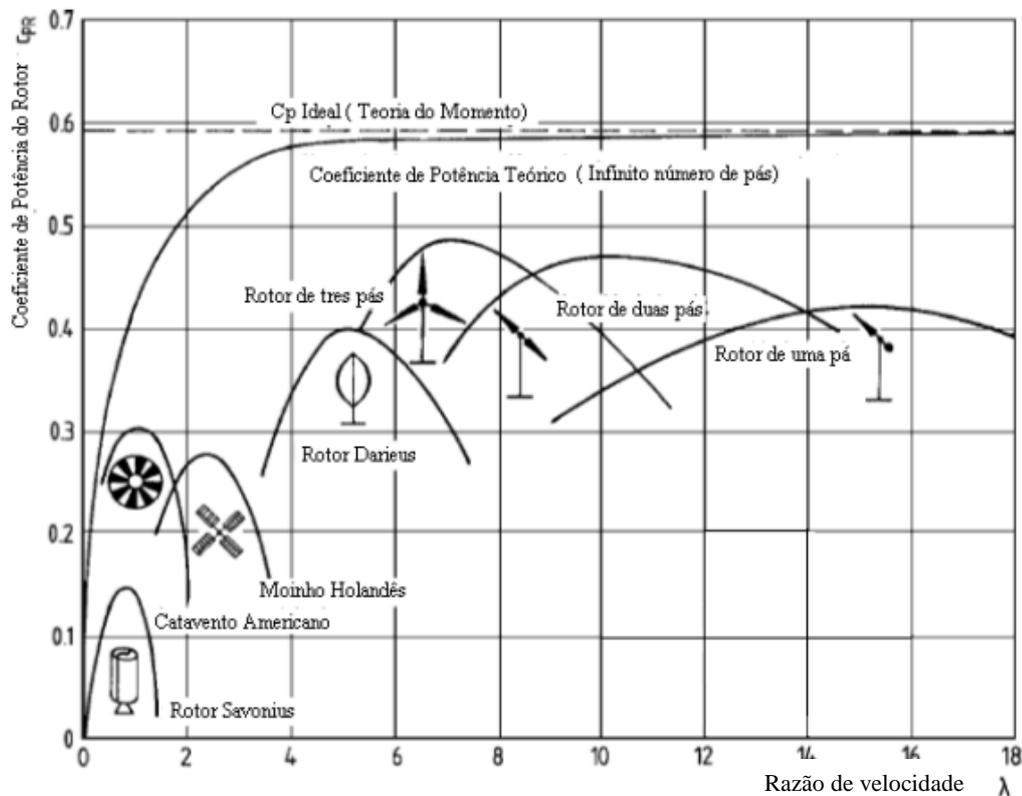
A partir da componente tangencial  $c_{u4}$  é possível encontrar a componente meridiana  $c_{m4}$  aplicando-se o valor na equação. Essas variáveis definirão os ângulos de escoamento absoluto  $\alpha$  e ângulo construtivo da pá  $\beta$ .

$$\text{sen } \alpha = \frac{c_{m4}}{c_4} \quad (12)$$

$$\text{sen } \beta = \frac{c_{m4}}{w_4} \quad (13)$$

A velocidade angular pode ser calculada utilizando da razão de velocidade da pá, que pode ser definida através do gráfico a seguir, cujo define a razão de velocidade em função do Limite de Betz e quantidade de pás que compõem o rotor da turbina. A turbina será dimensionada considerando 3 pás, considerando maior simplicidade de fabricação e manutenção, além de fornecer um torque de saída mais uniforme quando comparado a maiores números de pás instalados.

Figura 14 - Razão de velocidade da pá em função do limite de Betz



Fonte: DE MELO (2009)

Assim, conforme gráfico e coeficiente de Betz definido em 0,4, tem-se que a razão de velocidade  $\lambda=6,5$ m/s, possibilitando a definição da velocidade angular, rotação e torque, conforme a seguir:

$$\lambda = \frac{\omega r}{V} \rightarrow \omega = \frac{\lambda V}{r} = 13,54 \frac{rad}{s} \quad (14)$$

$$n = \frac{30\omega}{\pi} = 129,32 \text{ rpm} \quad (15)$$

$$T = \frac{P_{turbina}}{\omega} = \frac{0,7.3480}{129,32} = 18,84 \text{ N.m} \quad (16)$$

Para definição dos ângulos  $\alpha$  e  $\beta$ , é necessário a identificação das componentes meridianas e tangenciais das velocidades. Analisando o triângulo de velocidades verifica-se que a meridiana da entrada da pá é igual à meridiana e velocidade absoluta da saída. E, conforme definido pela Lei de Betz, a velocidade relativa na saída da pá equivale a um terço da velocidade relativa inicial, assim:

$$c_5 = \frac{1}{3}c_4 = c_{m4} = 0,5 \text{ m/s} \quad (17)$$

Com  $c_4 = 11,25 \text{ m/s}$

$$u_4 = \omega.r = 9,75$$

$$w_4 = 1,5 \text{ m/s}$$

$$\text{sen } \alpha = \frac{c_{m4}}{c_4} = 2,55^\circ \quad (18)$$

$$\text{sen } \beta = \frac{c_{m4}}{w_4} = 2,94^\circ \quad (19)$$

#### 4.2.3 Gerador

Parte essencial da turbina, o gerador é responsável por converter energia mecânica em energia elétrica, com seu funcionamento baseado em fenômenos eletrostáticos ou indução eletromagnética. O gerador é amplamente utilizado na produção de energia em grandes sistemas elétricos interligados e em sistemas isolados, com uma vasta gama de potência disponível no mercado.

Assim, para a definição do gerador a ser utilizado neste projeto, será adotada a potência máxima a ser gerada pela turbina hidrocínética, acrescida de uma margem de segurança. Dessa maneira, conforme disponibilidade de geradores no mercado, optou-se pelo gerador de 3,5kW, com as características definidas a seguir:

Tabela 6 – Parâmetros do gerador em atendimento ao projeto

<b>Parâmetros do gerador</b>	
Potência (W)	3500
Voltagem (V)	110/220
Velocidade de rotação (rpm)	1800
Frequência (Hertz)	60
Peso (kg)	44/48
Dimensões (mm)	520x490x440

Fonte: Ficha técnica em anexo IV (2018)

Para a escolha do gerador é necessário levar em conta a frequência de trabalho dos principais eletrodomésticos utilizados no Brasil, além do peso e velocidade de rotação, uma vez que esta última está diretamente ligada à capacidade de geração em função da máxima velocidade de rotação adotada pela turbina hidrocínética.

Figura 15 - Modelo de alternador elétrico 3,5 Kva em atendimento ao projeto



Fonte: Ficha técnica em anexo IV (2018)

#### 4.2.4 Caixa multiplicadora

A caixa multiplicadora é responsável por transmitir a energia mecânica fornecida até o gerador, permitindo que uma rotação lenta do eixo de entrada se multiplique e seja repassada

em um valor superior ao gerador elétrico, sendo esta constituída por eixos, engrenagens de transmissão e acoplamentos que permitem a realização dessa multiplicação.

A velocidade angular no rotor é normalmente baixa quando comparada à velocidade de rotação de um gerador, sendo necessária a utilização da caixa multiplicadora a fim de atingir a rotação necessária para que o gerador possa produzir energia elétrica suficiente para atendimento à demanda da comunidade.

Assim, para atendimento ao projeto, a caixa multiplicadora deve ser capaz de transformar a rotação do eixo de entrada  $n_1$  de 141,04 rpm para a rotação do eixo de saída da caixa multiplicadora e entrada do eixo do gerador elétrico especificado para o projeto  $n_2$  1800 rpm. Conforme necessidade de multiplicação apresentada, foi definida caixa multiplicadora no mercado que atende às necessidades do projeto, sendo suas características descritas:

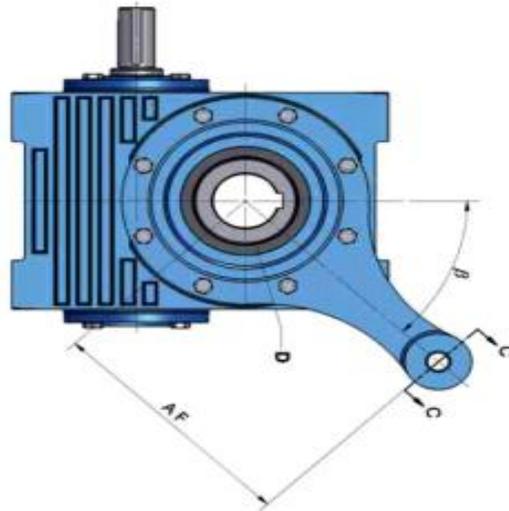
Tabela 7 - Parâmetros do multiplicador de velocidade em atendimento ao projeto

<b>Parâmetros do multiplicador de velocidade</b>	
Potência máxima admitida na saída (W)	3677,49
Rendimento (%)	0,85
Rotação de saída (rpm)	1750
Rotação de entrada (rpm)	129,32

Fonte: Ficha técnica em anexo V (2018)

Observando-se a limitação quando à rotação de saída para que esta não ultrapasse a rotação definida do gerador, bem como a rotação de entrada do multiplicador superior à rotação de saída da turbina hidrocínética, garantindo a operação e segurança dos equipamentos.

Figura 16 - Modelo de caixa multiplicadora idealizada para o projeto



Fonte: Ficha técnica em anexo V (2018)

#### 4.2.5 Freio

O freio é o componente responsável por controlar a velocidade do sistema, garantindo a segurança e operação de todos os equipamentos, uma vez que pode haver variações nos parâmetros que influenciam na velocidade do eixo da turbina hidrocínética, assumindo valores acima do permitido para a projeção do sistema.

Os freios podem ser divididos em eletromagnéticos, eletrohidráulicos e pneumáticos, apresentando as seguintes características:

Tabela 8 – Características dos tipos de freios

<b>Características dos tipos de freios</b>		
<b>Eletromagnéticos</b>	<b>Eletrohidráulicos</b>	<b>Pneumáticos</b>
Extrema rapidez de atuação	Controle de velocidade de frenagem	Frenagens mais suaves
Alta performance	Controle de força de frenagem	Trabalha com ar seco e lubrificado
Utilização em locais com alto grau de contaminação e regimes severos de trabalho	Não necessita de fonte ou painel para funcionamento	Projetados para ocupar menos espaço físico
Modo de economia de energia		Facilidade de manutenção

Fonte: Catálogo da Tector (2018)

Cada tipo de freio possui sua particularidade, sendo definido para este projeto o freio eletromagnético em virtude da rapidez de atuação, bem como utilização em locais com alto grau de contaminação, uma vez que ele estará exposto a tipos de intempéries provenientes do local de instalação da unidade hidrocínética.

Neste projeto, o freio deverá ser alocado antes da caixa multiplicadora de velocidade, a fim evitar níveis de rotação acima do permitido pela caixa. Assim, para atendimento e definição do parâmetro de atendimento do freio, é possível definir o torque nesse trecho através da equação 16, resultando em:

$$T = \frac{P_{turbina}}{\omega} = \frac{0,7.3480}{129,32} = 18,84 \text{ N.m} \quad (20)$$

#### 4.2.6 Sistema de Ancoragem

A unidade hidrocínética precisa ser fixada, levando em consideração o nível de profundidade do leito de água, bem como a distância até a margem do rio. Dessa maneira, há dois tipos de ancoragem que pode ser efetuados, a ancoragem sólida e a ancoragem flutuante.

A ancoragem sólida consiste em fixar a unidade hidrocínética à margem do rio com o auxílio de hastes, sendo considerado um suporte robusto, mas que permite boa fixação da unidade e possibilidade de disposição de itens na parte externa através das hastes. A ancoragem flutuante consiste em fixar a unidade em boias que irão sustentar o conjunto e impedir que este afunde. Para este tipo de ancoragem também é necessária a utilização de cabos de fixação acoplados à margem do rio, evitando o deslocamento da unidade junto com a correnteza.

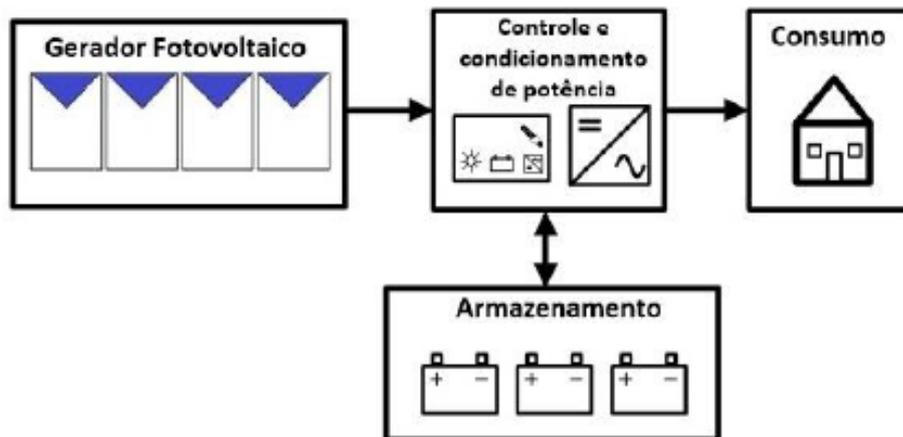
Considerando a variação do volume dos rios da Amazônia em função das condições climáticas, opta-se por utilizar um sistema de ancoragem cujo não permita que a unidade atinja uma distância inferior a 2 metros do leito do rio, impedindo assim que a unidade sofra com o desgaste dos sólidos presentes no leito do rio.

Dessa maneira, será considerado um sistema de ancoragem sólida, com travas na disposição das hastes que impeçam que a unidade se desloque em uma profundidade inferior à profundidade limite. Em caso de níveis muito baixos do volume de água dos rios que impeçam o funcionamento da unidade, a mesma deverá ser desligada.

### 4.3 Dimensionamento da Unidade Solar Fotovoltaica

Para dimensionamento da unidade solar fotovoltaica devem ser considerados elementos como a demanda de energia pela comunidade, a disponibilidade do recurso solar a ser utilizado, o arranjo e orientação dos módulos, bem como definição da área a ser utilizada pelos painéis solares. Para a geração e fornecimento de energia elétrica à comunidade através de módulos fotovoltaicos, o sistema deve ser projetado de maneira a gerar, controlar e condicionar a potência, distribuir e/ou armazenar, conforme descrito no diagrama de blocos a seguir:

Figura 17 - Sistema fotovoltaico isolado para eletrificação individual



Fonte: PINHO e GALDINO (2014)

O módulo deve ser projetado de maneira a ser capaz de fornecer instantaneamente tensão e corrente suficientes para o atendimento da demanda de energia elétrica da comunidade, bem como armazenar energia em baterias para posterior usufruto da comunidade.

#### 4.3.1 *Painéis Fotovoltaicos*

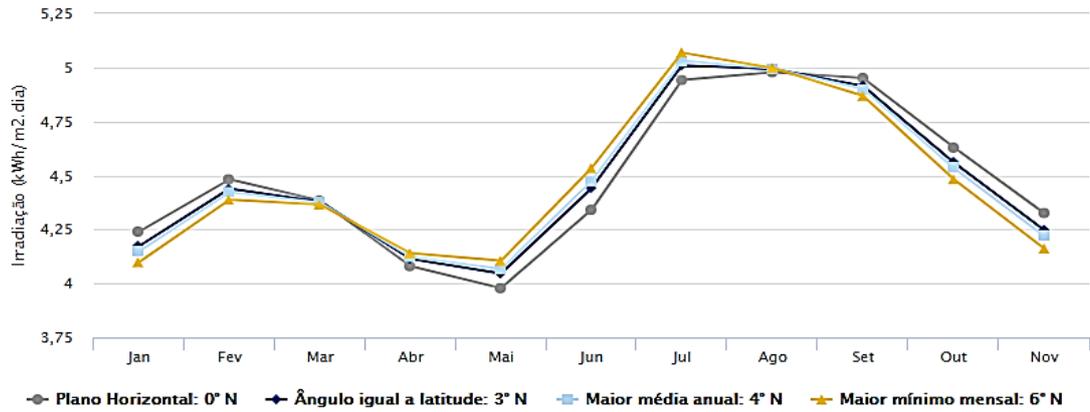
A disponibilidade da energia solar está diretamente ligada às variações astronômicas. O primeiro fator a ser considerado é a posição relativa entre Terra e Sol, esta que influenciará diretamente sobre fluxo de radiação solar. A Terra orbita o Sol a uma distância média de cerca de 150 milhões de quilômetros, completando um ciclo a cada 365,25 dias. Durante esse ciclo, a distância pode sofrer variações entre 147 e 152 milhões de quilômetros, influenciando sobre a constante solar que oscila entre  $1.325 \text{ W/m}^2$  e  $1.412 \text{ W/m}^2$ , com seu valor médio igual a  $1.366 \text{ W/m}^2$ . (ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2017)

Assim, todos esses fatores são considerados quando do levantamento de dados e criação do mapa de irradiação da área que receberá a unidade. Os dados são levantados com o auxílio de instrumentos de mensuração de irradiação solar, como o piranômetro e pireliômetro, ou através de satélites e outros equipamentos utilizados para medir variáveis meteorológicas. Vários institutos de pesquisa e universidades realizam o levantamento de dados, de maneira a obter um histórico que permita o aperfeiçoamento de estudos voltados ao aperfeiçoamento do uso da energia solar.

A fim de considerar a melhor disposição do ângulo de incidência dos raios solares a serem recebidos pelo módulo fotovoltaico é comum realizar a instalação considerando um ângulo de inclinação igual à latitude do local, considerando ainda o ângulo azimutal igual com placa instalada para o norte geográfico.

Assim, como a unidade está idealizada para ser realizada em comunidades ribeirinhas na Amazônia, serão considerados os dados levantados para o estado do Amazonas e, como base para dimensionamento da unidade, a radiação obtida na cidade de Codajas, por estar localizada às margens do Rio Solimões, fonte de estudo para a parte hidrocínética da unidade híbrida. A cidade de Codajas está localizada a uma latitude de  $3,501^\circ\text{S}$  (FONTE: CRESESB), devendo o módulo solar possuir um ângulo de inclinação recomendado de  $3^\circ$ . Assim, conforme dados disponíveis para a cidade, a radiação média diária é definida:

Figura 18 - Irradiação solar no plano inclinado - Codajas - AM - Brasil



Estação: Codajas  
 Município: Codajas , AM - BRASIL  
 Latitude: 3,501° S  
 Longitude: 62,749° O  
 Distância do ponto de ref. ( 3,470395° S; 62,805047° O ) : 7,1 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
☑	Plano Horizontal	0° N	4,22	4,42	4,32	4,03	3,93	4,27	4,39	4,94	4,97	4,93	4,64	4,30	4,45	1,03
☑	Ângulo igual a latitude	3° N	4,16	4,38	4,32	4,07	4,00	4,36	4,48	5,01	4,98	4,90	4,57	4,22	4,45	1,01
☑	Maior média anual	4° N	4,13	4,36	4,31	4,07	4,02	4,39	4,51	5,03	4,99	4,88	4,54	4,19	4,45	1,01
☑	Maior mínimo mensal	7° N	4,06	4,31	4,30	4,10	4,08	4,48	4,59	5,08	4,99	4,83	4,46	4,10	4,45	1,02

FONTE: CRECESB (2018)

O gráfico informa a quantidade de radiação solar média diária para cada mês, devendo ser considerado o valor do mês com menor incidência, uma vez que no caso do sistema ser projetado para atender a condição mais crítica, ele será também capaz de atender a demanda dos demais meses com incidência mais elevada, sendo definida para a cidade de Codajas no mês de janeiro (mês crítico) um total de 4,06kW/m<sup>2</sup>.

Para cálculo da potência necessária, deve-se levar em consideração o consumo diário da comunidade C<sub>dia</sub>, a quantidade de Horas de Sol Pleno (HSP), esta que define o número de horas em que a irradiância solar deve permanecer constante e igual a 1kW/m<sup>2</sup>, definindo a quantidade de energia disponibilizada pelo Sol na localidade e acumulada ao longo do dia, bem como deve ser considerado um fator de eficiência dos componentes (η<sub>fotov</sub>) do sistema, este engloba perdas por temperatura, incompatibilidade elétrica, acúmulo de sujeira sobre a superfície e perdas no cabeamento, sendo comumente definido em 0,80. Assim, a demanda de energia necessária pode ser definida como:

$$D_{\text{fotovoltaica}} = \frac{0,3 C_{\text{dia}}}{HSP \cdot \eta_{\text{fotov}}} = \frac{46,97}{4,06 \cdot 0,80} = 14,46 \text{ kWh} \tag{21}$$

Para definição da quantidade de módulos é necessário definir a necessidade do projeto conforme disponibilidade de área, investimento, eficiência dos módulos, etc. Assim, para quantificação dos módulos foram levantadas as características de 3 módulos monocristalinos com potência, eficiência e áreas distintas, para adoção do melhor, conforme necessidade do projeto:

Tabela 9 - Características de 3 modelos de módulos fotovoltaicos monocristalinos

<b>Módulos Fotovoltaicos</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Potência de saída ( $P_{max}$ )	350 W	260 W	100 W
Eficiência do módulo ( $\eta_{mod}$ )	18,0%	16,0%	15,1%
Tensão em $P_{max}$ ( $V_{mpp}$ )	38,10 V	30,4 V	18,78 V
Intensidade em $P_{max}$ ( $I_{mpp}$ )	9,21 A	8,56 A	5,34 A
Tensão em circuito aberto ( $V_{oc}$ )	46,20 V	37,4 V	22,54 V
Corrente em curto-circuito ( $I_{sc}$ )	9,79 A	9,24 A	5,85 A
Área do módulo ( $A_{painel}$ )	1,94 m <sup>2</sup>	1,63 m <sup>2</sup>	0,66 m <sup>2</sup>
Energia necessária ( $E_{nec}$ )	14460 Wh	14460 Wh	14460 Wh
Energia gerada ( $E_{painel}$ )	1.136,80 Wh	844,48 Wh	324,80 Wh
Módulos (N)	13	18	45
Área necessária de instalação (A)	25,28 m <sup>2</sup>	29,28 m <sup>2</sup>	29,82 m <sup>2</sup>
Investimento (Inv)	R\$13337,00	R\$13230,00	R\$23535,00

Fonte: Autor (2018)

A energia diária capaz de ser gerada por cada módulo fotovoltaico, considerando a máxima radiação solar, a potência do gerador fotovoltaico e a eficiência do sistema, é dada por:

$$E_{painel} = HSP \cdot P_{max} \cdot \eta_{fotov} \quad (22)$$

O número de módulos necessários para atender a 30% da demanda da comunidade é definido pela razão da quantidade de energia necessária pela quantidade de energia gerada em um dia, conforme a seguir:

$$N = \frac{D_{fotovoltaica}}{E_{painel}} \quad (23)$$

A escolha do local para a instalação dos painéis é um fator determinante no seu desempenho, uma vez que a interferência de elementos de sobreamento ou superfícies reflexivas próximas podem afetar e conseqüentemente diminuir a eficiência do sistema fotovoltaico. Assim, a fim de obter melhor utilização da área disponível, bem como o valor do investimento inicial necessário para a aquisição dos painéis, opta-se pela utilização do módulo fotovoltaico de 300 Wp, que possui área necessária à instalação reduzida e valor de investimento aceitável, comparado às demais opções, considerando assim a necessidade de 13 painéis fotovoltaicos para atendimento ao projeto.

#### 4.3.2 Sistema de armazenamento de energia

Em sistemas *off grid*, ou seja, isolados da rede, cujo recurso disponível para a geração de energia está condicionado à disponibilidade de recursos, na ocasião de variações ou indisponibilidade deste recurso natural, é recomendável a utilização de dispositivos de armazenamento que atendam a demanda em períodos nos quais a geração é insuficiente. Dentre as inúmeras formas de armazenamento, tem-se a bateria eletroquímica como a de mais comum utilização. A bateria é capaz de armazenar energia elétrica em energia química por meio de um processo de oxidação e redução e, quando conectada a uma carga elétrica, é capaz de desenvolver o processo reverso, produzindo corrente contínua.

O número de baterias é definido através da demanda diária de energia, estando esta relacionada à eficiência do processo de carga e descarga e a profundidade de descarga, que indica quanto da capacidade nominal da bateria foi retirado a partir do estado de plena carga. Há restrições quanto à profundidade de descarga, uma vez que quanto maior for esta, menor será a quantidade de ciclos que a bateria vai representar em sua vida útil. Assim, para o projeto, será definida uma profundidade de descarga de 70%. Além disso, para o dimensionamento da bateria é necessário considerar o período de autonomia do sistema, definindo quanto tempo o sistema de baterias consegue fornecer energia elétrica para a comunidade sem que haja geração elétrica. Para a comunidade, será considerado um período de 2 dias, considerando quaisquer intempéries que possam interromper o fornecimento do sistema durante esse período. Assim, a capacidade do banco de baterias pode em função da demanda de energia elétrica da comunidade pode ser calculada conforme a seguir:

$$I_{\text{banco}} = \frac{E_{\text{nec}} \cdot D_{\text{auto}}}{V_b \cdot \eta_{\text{fotov}} \cdot D_{\text{od}}} = \frac{14460 \times 2}{12 \times 0,8 \times 0,7} = 4303,57 \text{Ah} \quad (24)$$

Para determinação da quantidade de baterias necessárias para armazenamento da demanda de energia elétrica da comunidade é necessário definir no mercado qual o tipo de bateria ideal a ser instalada. Uma vez que a demanda de energia da comunidade é considerada elevada, comparada à capacidade comum das baterias eletroquímicas, opta-se por considerar no mercado a bateria com maior capacidade de armazenamento, a fim de considerar a menor quantidade necessária e consequentemente menor área demandada para a instalação. Assim, conforme pesquisa no mercado produtor de energia fotovoltaica, verificou-se a recomendação da bateria de 240Ah como sendo a maior e melhor dimensionada para atendimento ao sistema. Dividindo-se a quantidade de corrente a ser fornecida pelo sistema, pela quantidade de corrente que pode ser armazenada pela bateria de 240Ah, é necessária a seguinte quantidade:

$$\text{N}^\circ \text{ de Baterias} = \frac{C_{\text{banco}}}{\text{Amp}} = \frac{4303,57}{240} = 18 \quad (25)$$

#### 4.3.3 Controlador de carga

O controlador de carga é responsável por garantir que a bateria não sofra interferências de cargas ou descargas excessivas, garantindo sua vida útil. A geração dos módulos pode variar em função dos diversos valores de temperaturas que podem ser obtidos durante o funcionamento diário, o que pode facilmente resultar em sobrecargas, ou no caso contrário, em subcargas, danificando o banco de baterias. Além de proteger quanto às intempéries da temperatura, os controladores são ainda responsáveis por desconectar o gerador fotovoltaico quando a bateria atingir seu nível de carga plena, bem como interromper o fornecimento de energia à comunidade quando o nível de carga da bateria atingir seu valor mínimo, podendo ainda monitorar a corrente e tensão da bateria ou carga e acionar alarmes caso algum problema seja identificado, sendo considerado fator necessário de segurança do sistema.

Alguns controladores possuem a capacidade de desviar a energia produzida pelo módulo fotovoltaico quando as baterias estiverem completamente carregadas e permitir o abastecimento direto da comunidade, até que o fornecimento seja insuficiente para a demanda e o banco de baterias assuma novamente o fornecimento.

Para definir o controlador de carga é necessário definir a disposição dos módulos fotovoltaicos, uma vez os valores de tensão e corrente desse gerador fotovoltaico podem ser definidos de acordo com a disposição em série ou paralelo dos mesmos. Assim, a fim de obter um nível mais seguro de geração, opta-se pelo arranjo em paralelo dos painéis, uma vez que, em caso de defeito de algum módulo, o restante poderá continuar a gerar energia. Dessa maneira, com os módulos em paralelo, a tensão se mantém a mesma para o arranjo de painéis e a corrente total é soma da corrente de todos os módulos em paralelo.

O dimensionamento do controlador baseia-se na definição do maior nível de corrente gerado pelo sistema, considerando o arranjo dos 13 painéis em paralelo. A corrente elétrica máxima (curto-circuito) produzida por cada módulo é de 9,79A, assim a corrente a ser atendida pelo controlador pode ser definida como:

$$I_{\text{contr}} = I_{\text{sc}} \cdot N = 9,79 \cdot 13 = 127,27\text{A} \quad (26)$$

Como o valor da corrente a ser atendida é elevado, propõe-se utilizar um controlador MPPT de 60A e 12/24V para cada dois arranjos de 4 painéis em paralelo e um arranjo de 5 painéis em paralelo, totalizando 3 controladores necessários para o projeto.

#### 4.3.4 *Inversor*

Inversores são aparelhos capazes de converter as baixas tensões de bateria em altas tensões alternadas para alimentar aparelhos elétricos. O inversor converte a tensão contínua pura em tensão contínua pulsante para que essa possa ser aplicada em um transformador, capaz de obter uma alta tensão alternada, devendo esta tensão de saída ter amplitude, frequência e conteúdo harmônico adequado às cargas a serem alimentadas.

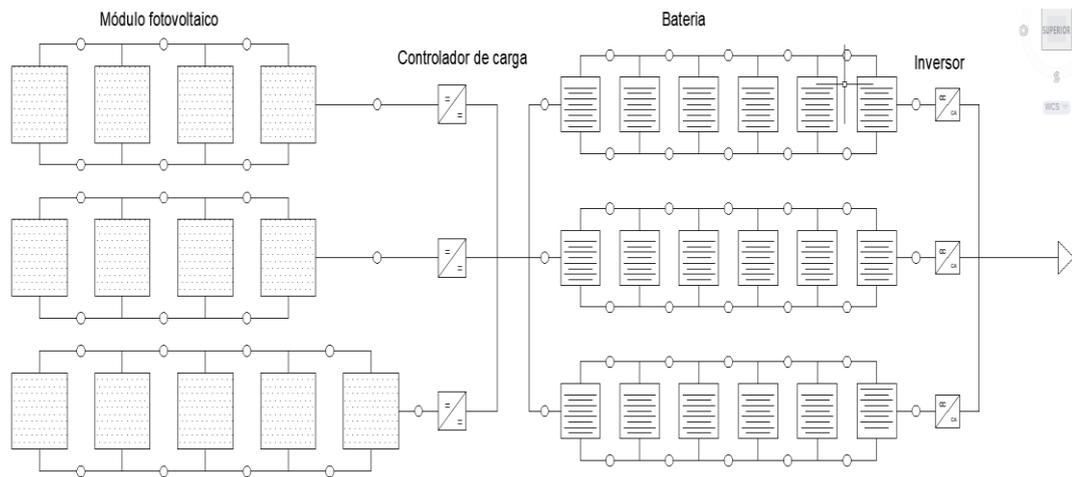
Considerando que a demanda necessária de energia elétrica a ser fornecida a partir do banco de baterias é de 14,46kWh, há a necessidade de projetar inversores que sejam capazes de garantir a saída de corrente alternada para as cargas a serem alimentadas. Assim, como no projeto o banco de baterias é exposto em três arranjos em paralelo, opta-se por distribuir um inversor para cada arranjo, estando estes sincronizados e capazes de fornecer a demanda total de energia requisitada pela comunidade. Outra possibilidade é definir quais cargas serão abastecidas por cada inversor, tornando-os independentes um do outro. Portanto, considerando que os inversores trabalharão em conjunto, foi verificado no mercado o inversor que, em três quantidades atenderia ao projeto, sendo definido um inversor de 5000W e 127V da Hayonik, conforme verificado na figura 21.

Figura 19 - Modelo de inversor idealizado para o projeto



Fonte: Ficha técnica em anexo VI (2018)

Figura 20 - Arranjo da unidade fotovoltaica



Fonte: Autor (2018)

## 5 SÍNTESE CONCLUSIVA

Através do dimensionamento da unidade híbrida é possível constatar que a falta de acesso à energia elétrica por comunidades ribeirinhas isoladas na Amazônia, e até mesmo em outros lugares no mundo, pode ser amenizada através da utilização de recursos naturais disponíveis localmente, contribuindo para a garantia do direito à energia elétrica a toda e qualquer pessoa, bem como uma geração de energia limpa através da utilização de recursos naturais e a possibilidade de diversificação da matriz energética, diminuindo a necessidade e dependência de geração a partir de fontes esgotáveis.

Para o desenvolvimento do trabalho, foram aplicadas concepções de engenharia mecânica e outras engenharias que puderam ser desenvolvidas durante a graduação, como exemplo as noções básicas para desenvolvimento de projetos, definição de variáveis para a escolha do equipamento adequado ao uso e verificação de viabilidade em condições de segurança.

Através do dimensionamento da unidade hidrocínética, foi possível verificar ser um item ainda pouco abordado no Brasil, com limitações de bibliografia e aplicações, mas que possui potencial nível de desenvolvimento em virtude da grande disponibilidade do recurso natural gerador, possibilitando assim o melhor aproveitamento e eliminando, por exemplo, a necessidade de grandes alterações que interfiram no meio ambiente e vida da comunidade.

O dimensionamento da unidade fotovoltaica mostrou também sua potencialidade de desenvolvimento e aplicação a partir da utilização de painéis fotovoltaicos que estão sendo cada vez mais desenvolvidos e capazes de garantir elevada quantidade de geração, utilizando como recurso único gerador a disponibilidade da radiação solar sobre a superfície terrestre, garantindo o fornecimento de energia limpa e possibilitando o aproveitamento da vantagem do país quanto sua posição geográfica e elevados níveis de radiação solar.

Dentre os pontos positivos do dimensionamento e viabilização da unidade híbrida, pode ser destacado que, apesar de possuir um elevado valor inicial de investimento, a unidade apresenta benefícios a curto e longo prazo que demonstram a viabilidade e utilização da unidade autônoma. Em curto prazo há o imediato acesso à energia elétrica por comunidades que, por fatores econômicos, geográficos e sociais, encontram-se distantes da garantia a esse direito. Em longo prazo considera-se a não existência de elevados custos em função de o recurso gerador ser natural e estar disponível em abundância, havendo apenas a necessidade

de manutenção da unidade que pode ser feita em períodos determinados por profissional habilitado e por próprio membros da comunidade devidamente treinados.

## 6 REFERÊNCIAS

- ABRADEE, Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica. **Sistema Interligado**. Disponível em <<http://www.abradee.com.br/setor-eletrico/sistema-interligado>>. Acesso em: 11 Abrl. 2018.
- ALVARENGA, C A. **Energia solar**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2011.
- ANDRADE, M. M. **Introdução a Metodologia do Trabalho Científico**. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2000. 172 p.
- ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília:ANEEL, 2008.
- ATHAYDE, R M; MARTINS FILHO, J S L. BRASIL JUNIOR, A C P. **Avaliação da sustentabilidade de sistemas de energia em comunidades isoladas**. Artigo submetido ao Elsevier Preprint, 2001.
- BAHAJ, A S; MEYERS L E. **Fundamentals applicable to the utilization of marine current turbines for energy production**. Renewable Energy Vol 28, pp. 2205-2211, 2003.
- BASSAM, N. El. **Renewable energy for rural communities**. Renewable Energy, junho de 2001.
- BRASIL JUNIOR, A C P et al. **Turbina Hidrocinética Geração 3**. Universidade de Brasília.
- BRASIL JÚNIOR, C.P.; ELS R.V.; ROSÁRIO, T.R.do; **Alternativas energéticas para comunidades isoladas da Amazônia: a energia hidrocinética no Maracá, sul do Amapá**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, DF/2005.
- BRUNETTI, F. **Mecânica dos Fluidos**. 2ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.
- CAMPOS, M. C. **Apostila de Máquinas Hidráulicas-UFPR**. Curitiba: 1996.
- CEMING. **Alternativas Energéticas: uma visão Ceming**. Companhia Energética de Minas Gerais. Belo Horizonte: 2012.
- CRECESB, Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito. **Potencial Solar – SunData v 3.0**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>>. Acesso em: 20 de Mar. 2018.
- CRUZ, R W A. **Geração de eletricidade com turbina hidrocinética na Amazônia: o caso da comunidade de São Sebastião**. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas.
- DE FARIA MACHADO, C. F; **Projeto de uma turbina eólica de eixo horizontal**. Projeto de Graduação, Rio de Janeiro, 2014
- DE MELO, GILBERTO MARTINS. **Estudo da viabilidade de pequenos aerogeradores na produção de energia elétrica**. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Pernambuco. 2009

DE OLIVEIRA FARIA, A. R. *Projeto de uma turbina hidrocínética de fluxo axial e eixo horizontal para geração de baixas potências*. Projeto de Graduação. Rio de Janeiro. 2017.

DUTRA, RICARDO. *Energia Eólica – Princípios e Tecnologias*, 2009.

FRANZINELLI, E. *Características morfológicas da confluência dos rios Negro e Solimões (Amazonas, Brasil)*. Revista Brasileira de Geociências, 2011.

LINSLEY, R. K; FRANZINI, J. B. *Engenharia de Recursos Hídricos*. São Paulo: Editora McGraw-Hill do Brasil, 1978.

LUIZ, A M., SANTOS J.C: *Disponibilidade de Energia Solar no Brasil*. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v.44, p. 1, 1972.

MAIA, M A M. *Geodiversidade do estado do Amazonas*. Organização Maria Adelaide Mansini Maia e José Luiz Marmos. Manaus: CPRM, 2010

MESQUITA, A. L. et al, “**Análisis Hidrodinámica de Rotores Axiales para Uso de Energía Cinética de los Ríos**”. Revista Informacin Tecnológica del Chile, vol. 11:2, 2000.

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

PINHO, João Tavares; GALDINO Marco Antonio. *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. CEPTEL – CRESESB, Rio de Janeiro, 2014.

QUISPE, F M; *Diseño de una turbina de río para la generación de electricidad en el distrito de Mazán-Región Loreto*. Monografía Técnica. Peru, 2005.

RITEK SOLAR. *Crystalline (C-Si) solar modules*. Disponível em: <[www.riteksolar.com.tw/eng/p2-solar\\_modules.php](http://www.riteksolar.com.tw/eng/p2-solar_modules.php)>. Acesso em: 15 Abr. 2018.

RUIZ, J.A. *Metodologia científica: guia para eficiência nos estudos*. 3.ed. São Paulo: Atlas, 1993.

SILVA JÚNIOR, Altamiro. *Segundo o banco mundial 1,2 bilhão de pessoas não tem eletricidade*. Disponível em: <<https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,segundo-o-banco-mundial-1-2-bilhao-de-pessoas-nao-tem-eletricidade,154858e>>. Acesso em: 20 Abr. 2018.

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

TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Porto Alegre:UFRGS/ABRH, 3ª ed, 2004.

VILLALVA, Marcelo Gradella. *Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações – Sistemas isolados e conectados à rede*. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2015. 224p.

ZOLIN, I. *Materiais de construção mecânica*. 3. ed. – Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria: Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2011.

## 7 ANEXOS

### Anexo I – Características da bateria Freedom 240ah

#### 3.2 Principais características elétricas

Modelos		DF300	DF500	DF700	DF1000	DF2000	DF2500	DF3000	DF4001
Capacidade @25°C (Ah)	10 h	24	30	41	54	94	130	156	200
	20 h	26	36	45	60	105	150	170	220
	100 h	30	40	50	70	115	165	185	240
Dimensões (mm)	Comprimento	175	175	210	244	330	511	511	525
	Largura	175	175	175	175	172	213	213	275
	Altura	175	175	175	175	240	230	230	250
Peso (Kg)		8,8	9,7	12,5	14,7	27,1	44,6	48,3	60,3

#### Correntes de descarga (A) em diferentes regimes a 25°C (tensão final 10,5V)

Modelo	HORAS															MINUTOS			
	100hs	20hs	10hs	9hs	8hs	7hs	6hs	5hs	4,5hs	4hs	3,5hs	3hs	2,5hs	2hs	1,5hs	1h	45'	30'	15'
Bateria	100hs	20hs	10hs	9hs	8hs	7hs	6hs	5hs	4,5hs	4hs	3,5hs	3hs	2,5hs	2hs	1,5hs	1h	45'	30'	15'
DF300	0,3	1,3	2,4	2,6	2,9	3,3	3,8	4,4	4,9	5,4	6,0	7,0	8,2	10,0	12,8	18,0	21,0	25,0	40,0
DF500	0,4	1,8	3,0	3,3	3,7	4,2	4,9	5,8	6,2	6,8	7,6	8,6	9,9	12,0	15,0	20,0	25,3	33,0	52,0
DF700	0,5	2,3	4,1	4,5	5,0	5,6	6,5	7,5	8,2	9,2	10,0	11,5	13,6	16,3	21,0	27,0	32,0	43,0	65,0
DF1000	0,7	3,0	5,4	5,8	6,4	7,3	8,2	9,8	10,5	11,5	12,5	14,5	17,0	19,0	25,2	35,0	42,5	55,0	84,0
DF2000	1,2	5,3	9,4	10,2	11,5	13,0	14,5	17,0	18,4	20,3	22,6	25,0	29,5	34,5	44,0	60,0	75,0	96,0	150,0
DF2500	1,7	7,5	13,0	14,4	16,2	18,0	20,0	23,0	25,0	28,0	31,0	34,0	40,0	47,0	58,0	81,0	99,0	130,0	200,0
DF3000	1,9	8,5	15,6	17,0	19,0	21,4	24,7	28,0	30,0	33,0	36,0	41,0	48,0	57,0	72,0	95,0	112,0	152,0	231,0
DF4001	2,4	11,0	20,0	21,5	24,0	26,5	30,0	35,0	38,0	41,5	46,0	52,0	60,0	72,0	90,0	120,0	145,0	191,0	290,0

#### 3.3 Instruções de carga

- Tensão de flutuação: 13,2 a 13,8 V @ 25°C
- Tensão de equalização e carga: 14,4 a 15,5 V @ 25°C

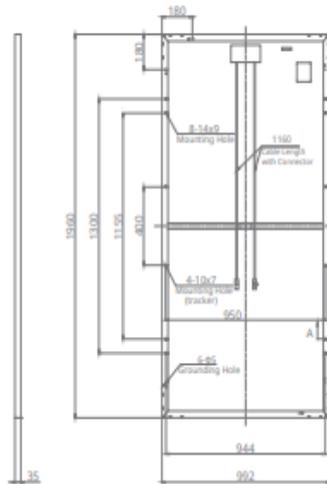
#### 3.4 Compensação de temperatura

Para cada 1°C acima de 25°C, subtrair 0,033 V e para cada 1°C abaixo de 25°C, adicionar 0,033 V.

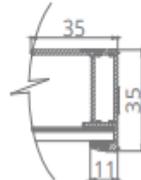
## Anexo II – Características do painel fotovoltaico Canadian 350P

### ENGINEERING DRAWING (mm)

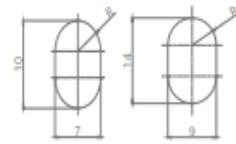
Rear View



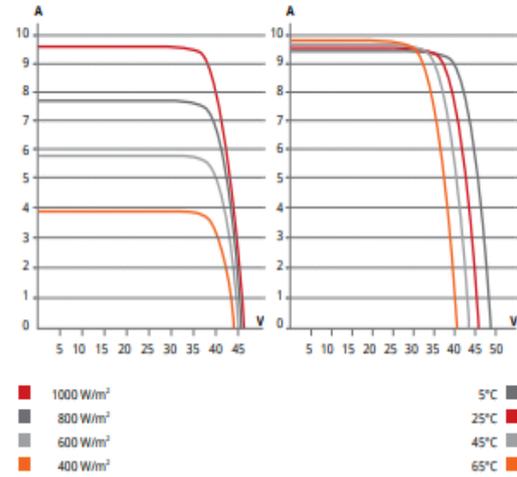
Frame Cross Section A-A



Mounting Hole



### CS6U-345P / I-V CURVES



Potência máxima nominal	<b>350W</b>
Tensão de operação	38,1V
Corrente de operação	9,21A
Tensão em circuito aberto	46,2V
Corrente em curto circuito	9,79A
Eficiência do módulo	18%
Temperatura de operação	-40°C / +85°C
Tolerância de potência	0 /+5W
Tipo de célula	Policristalina
Dimensões	1960x992x35mm
Massa	22,4kg
Cabo	4,0mm <sup>2</sup>

## Anexo III – Características do controlador de carga Xantrex modelo C60

**xantrex**

Smart Choice for Power

Electrical Specifications	C35	C40	C60
Voltage Configurations	12 and 24 VDC	12, 24, and 48 VDC	12 and 24 VDC
Maximum PV Open Circuit Array Voltage	55 VDC	125 VDC	55 VDC
Charging / Load Current (@ 25 °C)	35 amps DC	40 amps DC	60 amps DC
Maximum Peak Current	85 amps	85 amps	85 amps
Maximum Voltage Drop Through Controller	0.30 volts	0.30 volts	0.30 volts
Typical Operating Consumption	15 ma	15 ma	15 ma
Typical Idle Consumption	3 ma	3 ma	3 ma
Recommended Breaker Size	45 amps	50 amps	60 amps rated at 100% continuous duty
Recommended Wire Size	# 8 AWG	# 8 AWG	# 6 AWG rated at 90 °C
Lead Acid Battery Settings	Adjustable	Adjustable	Adjustable
NiCad Battery Settings	Adjustable	Adjustable	Adjustable
Load Control Mode			
Low Voltage Reconnect	Adjustable (sticker provided with unit)	Adjustable (sticker provided with unit)	Adjustable (sticker provided with unit)
Low Voltage Disconnect	User selectable manual or automatic reconnection - includes warning flash before disconnect and provides a one time, user selected grace period		

### Mechanical Specifications

Specified Temperature Range	32 °F to 104 °F (0 °C to 40 °C)	32 °F to 104 °F (0 °C to 40 °C)	32 °F to 104 °F (0 °C to 40 °C)
Enclosure Type	Indoor, ventilated, powder coated steel with 3/4" and 1" knockouts	Indoor, ventilated, powder coated steel with 3/4" and 1" knockouts	Indoor, ventilated, powder coated steel with 3/4" and 1" knockouts
Unit Weight	2.5 lb (1.2 kg)	3.0 lb (1.4 kg)	3.0 lb (1.4 kg)
Shipping	3.0 lb (1.4 kg)	3.5 lb (1.6 kg)	3.5 lb (1.6 kg)
Dimensions (H x W x D)	8.0" x 5.0" x 2.5" (20.3 cm x 12.7 cm x 6.4 cm)	10" x 5" x 2.5" (25.4 cm x 12.7 cm x 6.35 cm)	10" x 5" x 2.5" (25.4 cm x 12.7 cm x 6.35 cm)
Shipping Dimensions (H x W x D)	12.4" x 7" x 2.5" (31.5 cm x 17.8 cm x 6.4 cm)	12.4" x 7" x 2.5" (31.5 cm x 17.8 cm x 6.4 cm)	12.4" x 7" x 2.5" (31.5 cm x 17.8 cm x 6.4 cm)
Mounting	Vertical wall mount - indoor only	Vertical wall mount - indoor only	Vertical wall mount - indoor only
Altitude			
Operating	15,000' (4,572 m)	15,000' (4,572 m)	15,000' (4,572 m)
Non-Operating	50,000' (15,240 m)	50,000' (15,240 m)	50,000' (15,240 m)

### Features and Options

Regulation Method	Solid state, three-stage (bulk, absorption, and float), pulse width modulation
Field Adjustable Control Setpoints	Two user adjustable voltage setpoints for control of loads or charging sources - settings retained if battery is disconnected
Control Panel	CM, CM/R-50, or CM/R-100 - optional LCD - backlit, alphanumeric display showing battery voltage, DC amperage, cumulative amp hours, and amp hours since last reset - remote includes 50' (15 m) or 100' (30.5 m) cable
Equalization Charge	User selectable manual or automatic equalization - every 30 days
Battery Temperature Sensor	BTS - optional remote battery temperature sensor for increased charging precision

### Common Specifications

Listings	UL Listed to UL 1741 - 1999 and to CSA 22.2 No. 107.1-95 Standards, CE compliant
----------	--

## Anexo IV – Características do gerador Toyama 3,5 kW



### Características

Versatilidade de uso.

Pode ser usado nos mais diversos tipos de geradores

Em ferro fundido

Duplo mancal

Auto regulado

Auto excitado

Caixa de ligação reforçada

Embalagem reforçada

Placa de identificação em aço

## FICHA TÉCNICA

Alternador Monofásico

### TA3.5CS2

Código do Produto

270-001

### Informações Técnicas

Tipo Compound

Potência 3,5 kW

Nº de fases Monofásico

Tensão 110 V / 220 V

Frequência 60 Hz

Corrente máxima 31,8 / 15,9 A

Rotação 1800 rpm

Carcaça 132 mm

Grau de proteção IP21

Embalagem Madeira

### Informações Logísticas

Classificação Fiscal 85016100

Dimensões da Embalagem 520 x 490 x 440 mm

Peso Líquido / Bruto 44 kg / 48 kg

Código de Barras 7898438034222

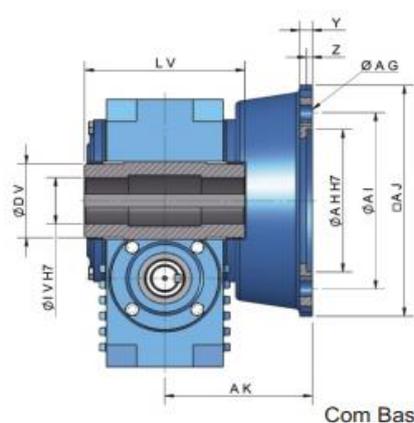
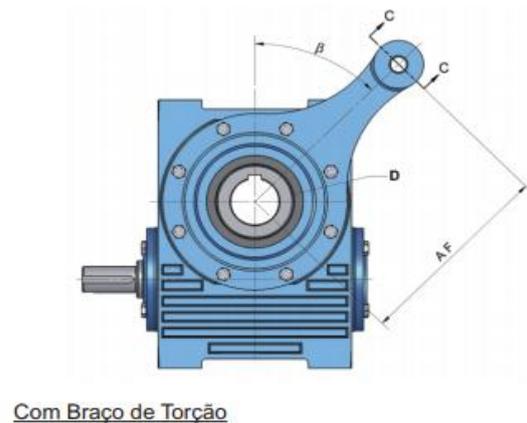
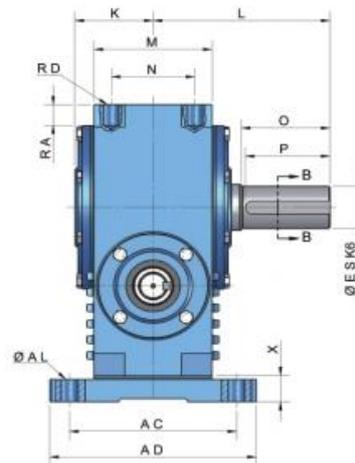
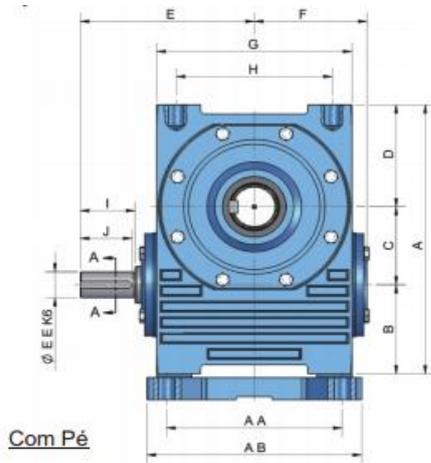
Anexo V – Características do multiplicador de velocidade CR-700



Linha CR - Capacidades: 1750 rpm na entrada  
Estágio simples - Potências / Torção / Rendimento



Modelo	Regime de trabalho uniforme 10h/dia, 10 arranques/h	Redução Nominal Tabelada - Padrões de Linha									
		10	15	20	25	30	40	50	60	80	
<b>CR-700</b>	Potência máx. admitida na entrada	CV	5,00	3,81	3,15	2,99	2,39	2,20	1,78	1,50	1,12
	Momento de torção na saída	kgf.m	17,39	18,24	19,08	22,03	19,71	21,77	19,99	19,52	16,87
	Rendimento %	h	0,85	0,78	0,74	0,72	0,65	0,62	0,56	0,53	0,46
	Redução Efetiva	i	10,00	15,00	20,00	25,00	31,00	39,00	49,00	60,00	80,00
	Rotação efetiva no eixo de saída	n2	175,00	116,67	87,50	70,00	56,45	44,87	35,71	29,17	21,88

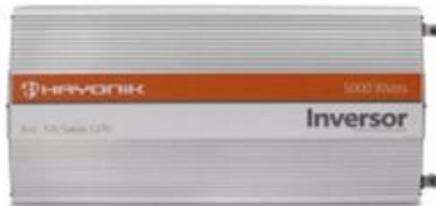


Dimensões	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	
Modelo	CR - 700	250	85	71	94	160	105	175	140	50	48	75	163	110	80	80	76	8	28	12	43	14	48,8	30
Dimensões	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	DV	IV	LV	EE	ES	RA	RD	β	
Modelo	CR - 700	24	12	5	155	190	155	190	12,5	180	13	205	240	220	135	13	70	45	150	25	40	17	M12	60°

## Anexo VI – Características do inversor 5000W 127V

### **INVERSOR** LINHA ROBUSTA ONDA MODIFICADA

- IDEAL PARA:
- APARELHOS ELETRÔNICOS MAIS POTÊNTES
  - ALIMENTAR E RECARREGAR VIA CABO USB



<b>CÓD</b>	<b>56143</b>
<b>TENSÃO</b>	12Vdc/127Vac
<b>ONDA</b>	Modificada
<b>ENTRADA</b>	Bornes (PT/VM)
<b>SAÍDA USB</b>	5Vdc 500ma
<b>TOMADAS</b>	4 padrão 3 Pinos
<b>FREQUÊNCIA</b>	60 Hz
<b>CORRENTE ENT. E SAÍDA</b>	E: 541A S:39A
<b>CABO</b>	Não Incluso
<b>CX. MASTER</b>	1Pç