

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

PEDRO CONTE CORREA

**PROJETO DO SISTEMA DE PROPULSÃO DE UMA
EMBARCAÇÃO SOLAR/EÓLICA**

**Taubaté - SP
2019**

PEDRO CONTE CORREA

**PROJETO DO SISTEMA DE PROPULSÃO DE UMA
EMBARCAÇÃO SOLAR/EÓLICA**

Trabalho de Graduação apresentado para
obtenção do Certificado de Graduação do
curso de engenharia mecânica do
Departamento de Engenharia Mecânica da
Universidade de Taubaté.

Orientadora : Profa.Me. Maria Regina
Hidalgo de Oliveira Lindgren

Coorientador: Prof.Me. Paulo Cesar
Corrêa Lindgren

Taubaté – SP

2019

PEDRO CONTE CORREA

PROJETO DO SISTEMA DE PROPULSÃO DE UMA EMBARCAÇÃO
SOLAR/EÓLICA

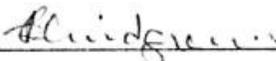
Trabalho de Graduação apresentado
para obtenção do Certificado de
Graduação do curso de engenharia
mecânica do Departamento de
Engenharia Mecânica da Universidade
de Taubaté.

DATA: 29/11/19

RESULTADO: APROVADO

BANCA EXAMINADORA:

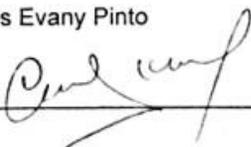
Profa.Me. Maria Regina H O Lindgren UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Assinatura: 

Prof.Me. Paulo Cesar Corrêa Lindgren UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Assinatura: 

Prof.Me. Carlos Evany Pinto UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Assinatura: 

29/11/2019

SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU

C824p Correa, Pedro Conte
 Projeto do sistema de propulsão de uma embarcação solar/eólica / Pedro
 Conte Correa. -- 2019.
 40 f. : il.

 Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de
 Engenharia Mecânica e Elétrica, 2019.

 Orientação: Profa. Ma. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren,
 Departamento de Engenharia Mecânica.

 Coorientação: Prof. Me. Paulo Cesar Corrêa Lindgren, Departamento de
 Engenharia Mecânica.

 1. Energia solar. 2. Energia eólica. 3. Motor elétrico. I. Graduação
 em Engenharia Mecânica. II. Título.

CDD – 333.79

Dedico este trabalho à minha querida avó Mari Ivoneti de Azevedo Conte, pelo apoio incondicional durante toda minha vida, eterna saudades.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer à minha família, minha avó Mari Ivoneti, minha mãe Vivian Conte, meu pai Walter Fernandez e minha madrastra Adriana Lerro, minha tia Meire Beraldo, meu tio Francisco Azevedo pelo total suporte durante esse período. Com toda certeza não estaria me formando se não fosse pelo empenho e dedicação de cada um de vocês.

Aos grandes amigos Rafael Gomes, Rodrigo Rezende pela parceria durante todo o curso e fundamentais para esse momento.

À Universidade de Taubaté – UNITAU, que ofereceu um excelente ambiente educacional com profissionais qualificados

A minha orientadora, *Profa. Me. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren* por ter aceitado ser minha orientadora e total suporte durante a escrita deste trabalho. Tenho enorme admiração.

Ao meu Co-orientador, *Prof. Me. Paulo Cesar Corrêa Lindgren* por ter aceitado entrar junto nesse trabalho.

Ao Professor Me. Carlos Evany Pinto por aceitar compor a banca examinadora.

Às funcionárias da Secretaria pela dedicação, presteza e principalmente pela vontade de ajudar.

“Ninguém nunca ganhou uma partida de
xadrez abandonando”
(SAVIELLY TARTAKOWER, GRANDE
MESTRE DE XADREZ)

RESUMO

A urgência para a redução da emissão de gases do efeito estufa provenientes de combustíveis fósseis torna a pesquisa sobre fontes de energia renováveis extremamente importante. A embarcação híbrida (solar e eólica), além de ser limpa, pode permitir a navegação em regiões com dificuldade de acesso aos combustíveis tradicionais. Este trabalho tem por objetivo produzir um projeto do sistema de propulsão para embarcações alimentadas por energia solar e eólica. A fundamentação deste trabalho se justifica pela utilização de fontes bibliográficas da engenharia mecânica e elétrica, além de outros autores pertinentes ao assunto. Foi escolhido um barco de transporte de passageiros impulsionado por um motor elétrico de 80HP, realizando estudos de viabilidade bem como cálculo do projeto. O tipo de energia solar que será levado em consideração é a energia solar fotovoltaica, que transforma a energia solar diretamente em energia elétrica por meio do “efeito fotovoltaico”. A energia eólica transforma, por meio de pás e de uma turbina, a energia mecânica proveniente do vento em energia elétrica. O motor elétrico, nos moldes como estudado neste trabalho, vem sendo usado desde o século XIX. Com essa pesquisa se tornará possível entender a viabilidade do uso de energia renovável em embarcações, demonstrando o rendimento energético de todo o sistema, calculando a área necessária de painéis fotovoltaicos suficientes para alimentar o motor elétrico da embarcação, a quantidade e o tamanho dos aerogeradores que podem carregar o banco de baterias mesmo com o barco não sendo utilizado, possibilitando o dimensionamento de um sistema para a produção de embarcação do tipo híbridas (solar e eólica) pela indústria de produção de embarcações.

Palavras-chave: Energia solar – Energia eólica – Embarcações – Motor elétrico

ABSTRACT

The urgency to reduce greenhouse gas emissions from fossil fuels makes research on renewable energy sources extremely important. The hybrid boat (solar and wind), besides being clean, can allow navigation in regions with difficult access to traditional fuels. This work will produce a propulsion system project for solar and wind powered boat. The basis of this work is justified by the use of bibliographic sources of mechanical and electrical engineering, as well as other authors pertinent to the subject. A passenger boat powered by an 80HP electric motor was chosen, carrying out feasibility studies as well as design calculation. The type of solar energy that will be taken into consideration is photovoltaic solar energy, which transforms solar energy directly into electrical energy through the "photovoltaic effect". Wind energy transforms, by means of blades and a turbine, mechanical wind energy into electrical energy. The electric motor, in the molds as studied in this work, has been used since the nineteenth century. With this research it will be possible to understand the feasibility of using renewable energy in vessels, demonstrating the energy efficiency of the entire system, calculating the required area of photovoltaic panels sufficient to power the boat's electric motor, the number and size of aero generators. that can charge the battery bank even when the boat is not in use, making it possible to design a system for the production of hybrid (solar and wind) type by the boat production industry.

KEYWORDS: Solar Energy - Wind Energy - Boats - Electric Motor

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Regiões do Brasil e radiação média diária.....	16
Figura 2 – Barco Aquavan	23
Figura 3 – Motor DEEP BLUE	25
Figura 4 – Bateria BMW I3.....	26
Figura 5 – Painel solar LG NEON 2 405W.....	28
Figura 6 – Aerogerador.....	30

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características do barco AQUAVAN.....	22
Quadro 2 – Características do motor DEEP BLUE 50 RXL	24
Quadro 3 – Características da bateria BMW I3	26
Quadro 4 – Potência do sistema.....	27
Quadro 5 – Características do painel LG NEON 2 405W	28
Quadro 6 – Potência do conjunto	29
Quadro 7 – Características do aereo gerador.....	30
Quadro 8 – Dados do conjunto	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 ENERGIA SOLAR.....	13
2.1.1 DEFINIÇÃO.....	13
2.1.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	14
2.1.3 PAINÉIS FOTOVOLTAICOS.....	16
2.2 ENERGIA EÓLICA.....	17
2.2.1 DEFINIÇÃO.....	17
2.3 MOTOR ELÉTRICO.....	18
2.3.1 DEFINIÇÃO.....	18
2.3.2 MOTOR ELÉTRICO.....	18
2.4 EMBARCAÇÃO.....	19
3. METODOLOGIA.....	21
4. DESENVOLVIMENTO.....	22
4.1 BARCO ESCOLHIDO.....	22
4.2 MOTOR ESCOLHIDO.....	23
4.3 BATERIA ESCOLHIDA.....	25
4.4 PAINEL FOTOVOLTAICO ESCOLHIDO.....	27
4.5 AEROGERADOR ESCOLHIDO.....	30
4.6 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE PROPULSÃO.....	31
5. RESULTADOS E DISCUSSAO.....	33
6. CONCLUSÃO.....	35
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36
8.ANEXOS.....	38

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento constante das inovações tecnológicas exige a necessidade de desenvolver em conjunto de diversos profissionais a construção e consolidação de projetos sustentáveis que encontrem fontes de energia alternativas e que seja funcional da mesma forma das convencionais. Visto que, todos os mecanismos são movidos por algum tipo de energia. No mundo atual é perceptível o crescimento da necessidade do investimento no desenvolvimento de melhores soluções para desafios resolutos de forma que esta não atende mais as novas demandas e o uso de fontes de energia finitas. Pois novos desafios e problemas estruturais nos surpreendem na sociedade com consequências irreparáveis. Assim, esta situação propulsiona para que novos profissionais assumam esta responsabilidade como uma causa pessoal.

O montante de graduados no Brasil cresce anualmente no meio acadêmico e na prática diária de todas as profissões, dá-se a maior facilidade ao acesso a educação e iniciativas de inserções sócias, permitindo assim com que mais profissionais de todas as áreas aumente gradativamente. Este recorte possibilita a compreensão de que há maiores possibilidades da concretização de medidas mais eficazes na resolução de problemas atuais. Tornando desta forma diversos projetos sustentáveis mais concreto, além disso, há uma responsabilidade ainda maior com o meio ambiente e com o desenvolvimento constante destas iniciativas.

É visível também que durante a graduação o profissional necessite se contextualizar em algum enfoque social para que seja posto em pratica os conhecimentos apreendidos gerando assim resultados de impacto em alguma área específica. Este trabalho terá enfoque no projeto de um sistema de propulsão solar e eólica para barcos de transporte de passageiros, para a população que depende diretamente deste tipo de serviço, e que moram em locais remotos de difícil acesso, podendo estes, vir a ter dificuldades na realização destas locomoções diárias. Desta forma, torna-se crucial o objetivo deste projeto para o atendimento desta demanda do país.

Neste país, apesar de ser bem menos utilizado que o transporte rodoviário, o transporte fluvial é de extrema importância, principalmente para acessar áreas e povoados distantes. Outras finalidades são igualmente

Importantes, como o trabalho e a pesca, essa fundamental para o sustento de diversas famílias ao longo da costa e dos rios.

Apesar de ser menos poluente que o transporte rodoviário, o atual modelo de transporte fluvial também gera resíduos por onde navega, muitas das vezes com restos de óleo e combustíveis utilizados na embarcação.

A energia solar vem sendo estudada desde o século XIX, inicialmente aproveitando-se apenas o calor concentrado dos raios solares para se aquecer alguma substância e assim poder converter em energia mecânica. Neste trabalho o foco será na produção de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos, que conseguem transformar os raios solares diretamente em energia elétrica. Seu conceito também surgiu no século XIX, porém seus avanços tecnológicos se deram no período pós-guerra, com o surgimento de novos materiais avançados o que elevou sua eficiência energética.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ENERGIA SOLAR

A energia solar é a energia mais abundante no Planeta Terra. A forma mais antiga e mais utilizada ainda é a energia solar térmica, que é utilizada para aquecer alguma substância ou objeto. Nos últimos 70 anos vem se desenvolvendo bastante a energia solar fotovoltaica, com o avanço principalmente da tecnologia de materiais.

2.1.1 DEFINIÇÃO

Existem três tipos de energia solar (NEOSOLAR,2006):

- **Energia solar térmica:** O tipo mais comum e simples de se aproveitar a energia proveniente do sol. Nesse tipo de sistema temos coletores solares, que podem ser até construídos de maneira artesanal, que tem como objetivo transferir a radiação para a água ou óleo, afim de aquecer agua para chuveiros ou piscina e até mesmo ambientes ou algum sistema para maquinas e equipamentos. Esse tipo de sistema pode ser encontrado em casas, hotéis, indústrias.
- **Energia solar fotovoltaica:** A energia solar é transformada em energia elétrica, explicado pelo “efeito fotovoltaico”, através de células fotovoltaicas. Essas células normalmente são montadas em painéis com o objetivo de maximizar a produção de energia elétrica. O material mais comum para a produção das células é o silício, porém, diversos outros tipos de materiais vem sendo estudadas.
- **Energia termosolar:** Apesar de ser um tipo de energia térmica, sua finalidade é a produção de energia elétrica. Através de um sistema de espelhos, raios solares são concentrados para o aquecimento de água, que por sua vez vai produzir energia elétrica. Pela complexidade de fabricação e custos, não é um tipo muito comum.

Para o desenvolvimento desse trabalho será estudada a energia solar fotovoltaica.

2.1.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A produção de energia solar fotovoltaica data do século XIX (Machado e Miranda, 2015), quando o físico Frances Edmond Becquerel observou que duas placas de latão imersas em um eletrólito líquido produziam energia elétrica, quando expostas à luz solar e nomeou essa reação como efeito fotovoltaico.

Durante o século XIX outros testes foram realizados, mas nunca se conseguiu passar de 1% de eficiência de conversão elétrica. Apesar de um resultado prático ainda pouco expressivo, esses experimentos ajudaram a quebrar um paradigma, de que seria necessário a queima de combustíveis para a produção de energia elétrica.

Somente em 1954 foi produzida a primeira célula solar a base de silício (Machado e Miranda, 2015) por cientistas do Bell Labs, alcançando uma eficiência energética de 6%.

A possibilidade de usar a energia solar como fonte de energia é um pensamento comum para a maioria das pessoas e de fato a quantidade de energia enviada pelo sol seria suficiente para alimentar a humanidade se conseguirmos um meio de captação que consiga ser eficiente:

“ De fato, o anúncio do jornal The New York Times estava correto. A quantidade de energia que o sol fornece todos os dias a terra é suficiente para alimentar toda demanda energética diária do planeta diversas vezes. A superfície da terra recebe cerca de 3×10^{24} Joules por ano, ou seja, $9,5 \times 10^4$ TW (Terawatts) de energia solar, cerca de 10.000 vezes a mais do que toda a população terrestre consome. Considerando que no ano 2000 o consumo global de energia foi de 13 TW e a estimativa de consumo para 2050 é de 30 TW, a energia enviada pelo sol está sobrando excessivamente.” (Machado, 2015)

No início da década de 1990, com os avanços adicionais de tecnologia e a significativa redução nos seus custos, além de urgências de ordem ambiental, a conversão fotovoltaica teve as suas aplicações ampliadas e inseriu-se crescentemente no mercado mundial. (SCENERGIA,2014)

Um sistema fotovoltaico não precisa do brilho do sol para operar. Ele também gera eletricidade em dias nublados, entretanto, a quantidade de energia gerada depende da densidade das nuvens. Devido a reflexão da luz do sol, dias com poucas nuvens podem resultar em mais produção de energia do que dias completamente claros. (SCENERGIA,2014)

Um painel solar fotovoltaico é composto por vários materiais. O principal é a célula fotovoltaica, é feita de uma folha de cristal de silício ultra puro, extremamente frágil, pode se quebrar facilmente, com espessura de aproximadamente 185 microns e que representa aproximadamente 60% do custo de um painel fotovoltaico. (PORTAL SOLAR, 2019)

Para proteção da célula fotovoltaica é utilizado um vidro fotovoltaico, vidro ultra puro e isento de ferro, desenvolvido para refletir o mínimo possível de radiação solar, é um tipo de vidro temperado de até 4mm de espessura e representa aproximadamente 10% do custo de uma célula fotovoltaica. (PORTAL SOLAR, 2019)

Outro material utilizado é o filme encapsulante para painel solar – EVA (Acetato-vinilo de etileno), ele ajuda a proteger o painel contra o envelhecimento causados por raios UV, temperaturas extremas e humidade e representa aproximadamente 8% do custo de uma célula fotovoltaica. (PORTAL SOLAR, 2019)

Na parte de trás do painel é utilizado um filme de plástico branco conhecido como backsheet, além de proteger a célula ele é isolante elétrico e representa aproximadamente 8% do custo do painel fotovoltaico. (PORTAL SOLAR, 2019)

Outra parte fundamental é a caixa de junção, uma espécie de “gabinete”, onde as células estão ligadas em série e também diodos de bypass que visam garantir a segurança e um bom funcionamento do painel do solar e representa aproximadamente 6% do custo de um painel fotovoltaico. (PORTAL SOLAR, 2019)

A moldura do painel é feita de alumínio anodizado e é responsável tanto para a proteção a intempéries como também é responsável pela rigidez física do painel, não permitindo o movimento de torção, o que quebraria as células fotovoltaicas e tem espessura de pelo menos 4 cm e custam aproximadamente 6% do custo de um painel fotovoltaico. (PORTAL SOLAR, 2019)

2.1.3 PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Durante a década de 1990 o desenvolvimento da indústria fotovoltaica acelerou (DO NASCIMENTO,2004) e diversos programas para incentivo do uso e fabricação desse tipo de fonte energética foram criados ao redor do mundo.

Para os cálculos deste trabalho utilizou-se média da radiação solar média diária conforme mostra a figura1.

Figura 1 – Regiões do Brasil e radiação média diária
Regiões do Brasil e radiação média diária



Fonte: PEREIRA (2002)

2.2 ENERGIA EÓLICA

2.2.1 DEFINIÇÃO

Denomina-se energia eólica a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento). Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão de energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, também denominadas aero geradores, para a geração de eletricidade, ou cata-ventos (moinhos), para trabalhos mecânicos como bombeamento d'água. (FARIAS, 2011)

Na forma de energia mecânica, a energia eólica é utilizada a milhares de anos, com funções como bombeamento de água, moagem de grãos entre outros. Como fonte de energia elétrica, os primeiros estudos datam do final do século XIX, porém, apenas quase um século depois, com a crise internacional do petróleo na década de 1970 é que houve interesse e investimento para a aplicação de aero geradores em escala comercial. (FARIAS, 2011)

A primeira turbina eólica comercial ligada à rede elétrica pública data de 1976 na Dinamarca (FARIAS, 2011)

2.2.2 AEROGERADORES

Os aerogeradores podem ser decompostos em três grandes pacotes: pacote de conversão eletromecânica, pacote aerodinâmico e pacote de sustentação.

- **PACOTE DE CONVERSÃO ELETROMECÂNICA:** O pacote de conversão eletromecânica é o de maior sofisticação tecnológica e no qual os maiores avanços de engenharia foram realizados. Os sistemas de geração, controle e conversão de energia que o compõe são intensivos em tecnologias de eletrônica, de controle e automação, de novos matérias e de engenharia mecânica. (ARAÚJO, 2018)
- **PACOTE AERODINÂMICO:** Ele é composto pelas pás e pelo cubo no qual elas são fixadas. O pacote aerodinâmico tem relação direta com a eficiência e a capacidade de geração dos aero geradores, uma vez que

é responsável pelo aproveitamento da energia mecânica dos ventos. (ARAUJO, 2018)

- PACOTE DE SUSTENTAÇÃO: O pacote de sustentação contém a torre e elementos estruturais dos aero geradores (ARAUJO,2018) e neste trabalho terá menor importância do que um aero gerador de grandes proporções.

2.3 MOTOR ELÉTRICO

2.3.1 DEFINIÇÃO

Motor elétrico é a denominação de uma máquina elétrica que converte energia elétrica em energia mecânica. (CHAPMAN, 2013)

O campo magnético é utilizado para realizar essa conversão e quatro princípios básicos descrevem como esses campos magnéticos são utilizados (CHAPMAN, 2013):

- Um campo magnético é produzido na vizinhança de um fio condutor de corrente elétrica.
- Fundamento de ação do gerador: Um campo magnético variável no tempo passa por uma bobina, induzindo uma tensão elétrica.
- Fundamento de ação do gerador: Um fio movendo-se na presença de um campo magnético tem uma tensão induzida nele.
- Fundamento de ação do motor: Uma força é induzida em um fio condutor quando este está em presença de um campo magnético

2.3.2 MOTOR ELÉTRICO

O motor elétrico pode ser dividido em três grandes componentes (WEG, 2019):

- **Carcaça:** Tem como principal função apoiar e proteger o motor, mas também aloja o pacote de chapas e enrolamentos do estator. Normalmente fabricado em aço soldado, forma um

conjunto robusto e é a base estrutural do motor, suportando esforços mecânicos provenientes da vibração ou de agentes externos.

- **Estató:** É um pacote laminado de chapas de aço com ranhuras para alojar o enrolamento do estató, que produz o campo magnético girante.
- **Roto:** Dependendo das características construtivas e aplicação do motor, o rotor pode ser construído com polos lisos, salientes laminados ou sólidos. Ele é formado pela estrutura que compõe ou suporta os polos, os enrolamentos de campo e a gaiola de partida para polos lisos e salientes laminados, que são as partes ativas girantes do motor síncrono. Os polos do campo são magnetizados através de uma corrente contínua proveniente do rotor da excitatriz ou diretamente de anéis coletores e escovas. Quando em funcionamento, os polos se alinham magneticamente e giram em sincronismo com o campo girante do estató. Os eixos são fabricados em aço forjado e usinados conforme cada aplicação. As pontas do eixo normalmente são cilíndricas ou flangeadas.

2.4 EMBARCAÇÃO

A Lei N° 9.537 de 11 de dezembro de 1997 define o conceito de embarcação (AMARAL, 2011) como qualquer construção sujeita a inscrição na autoridade marítima e suscetível a se locomover na água por meios próprios ou não, transportando pessoas ou carga.

De uma outra maneira, embarcação pode ser definida como uma construção feita de madeira, concreto, ferro ou aço que flutua e tem como finalidade transporta pessoas ou carga pela água. (AMARAL, 2011).

Pequenos estaleiros deram origem ao segmento náutico no Brasil segundo relatório da ACOBAR (2005), durante as décadas de 70 e 80 é que começaram a profissionalizar a construção de barcos no Brasil, as regiões de São Paulo e Rio de Janeiro concentram mais de 60% dos estaleiros existentes no Brasil.

Existem diversos tipos de embarcações que podem variar tanto em relação ao material de fabricação quanto a forma do casco utilizado. Um dos tipos mais comuns são as embarcações feitas em alumínio e com casco redondo. Os cascos desse tipo são eficientes em deslocamentos de baixa velocidade, e são os mais comuns e normalmente possuem quilha ou estabilizadores para melhor a navegabilidade. (HORTA e GALVÃO, 2008)

3. METODOLOGIA

Este trabalho irá utilizar do estudo de caso como metodologia qualitativa que consiste no aprofundamento de uma unidade individual, sendo esta do tipo analítica no qual constrói e desenvolve novas formas de utilização de teorias já existentes e que irão contribuir para o avanço tecnológico.

A pesquisa se baseou em diversos artigos científicos e livros referência na área, além de documentação técnica fornecida pelos fabricantes dos componentes. Análises e cruzamentos dessas informações possibilitaram o dimensionamento do projeto proposto.

Definido o tipo de embarcação, uma análise será feita para definir quais são os componentes adequados para o sistema proposto.

Usando a embarcação movida a combustível fóssil é possível definir um motor elétrico que possa manter as características originais da embarcação, principalmente no quesito velocidade. Com o motor escolhido é possível definir o consumo do sistema e assim dimensionar e escolher as baterias. Os painéis fotovoltaicos contribuem para o aumento da autonomia da embarcação, o espaço disponível na embarcação definiu a quantidade de painéis utilizados. O aerogerador terá a função de carregar as baterias quando o barco não tiver acesso a energia solar fotovoltaica.

Com todos os dados dos componentes organizados, é possível definir autonomia da embarcação conforme velocidade de uso.

Todos os dados e comparações realizadas serão apresentadas nos capítulos quatro e cinco, desenvolvimento e resultados e discussão.

4. DESENVOLVIMENTO

Esse trabalho apresenta um estudo de caso sobre o uso de energia solar e eólica para propulsão de um barco.

Para o desenvolvimento do projeto, uma linha lógica foi desenvolvida para clara compreensão, primeiro sendo analisado cada um dos componentes principais do sistema de propulsão, em seguida são feitos os cálculos do sistema como um todo.

A variedade de tipos de embarcações e motorização foi um desafio para esse trabalho. Diversos tipos de abordagens eram possíveis, desde sua finalidade (Lazer, Transporte, Trabalho) até o seu tamanho, materiais de fabricação, design, etc.

Nesse estudo foi considerado um barco da fabricante Metal Glass, muito comum em diversas regiões do Brasil.

4.1 BARCO ESCOLHIDO

O barco escolhido para esse estudo é uma embarcação feita de alumínio e com teto, muito utilizada para transporte de passageiros denominada AQUAVAN. O barco é fabricado pela empresa Metal Glass com as seguintes características mostradas no quadro 1 e mostrado na figura 2:

Quadro 1 – Características do barco AQUAVAN

Características AQUAVAN	
Comprimento	7,75m
Boca	2,20m
Pontal	0,98m
Calado	0,35m
Deslocamento	2.400 Kg
Peso	600Kg
Peso Máximo	1800Kg
Potência	80HP
Lotação	15 passageiros + 1Piloto

Fonte: Web site da fabricante Metal Glass

Figura 2 – Barco Aquavan



Fonte: Web site da fabricante Metal Glass

Com o tipo de embarcação escolhida foi possível procurar por um motor elétrico que pudesse substituir o motor original de combustão interna sem alterar a performance do projeto original da embarcação. Temos aproximadamente 12m² de área disponível para instalação dos painéis elétricos no teto da embarcação.

4.2 MOTOR ESCOLHIDO

Para manter as características originais da embarcação foi necessário utilizar um motor elétrico proporcional ao motor de combustão interna de 80HP. Optou-se pelo motor elétrico da marca TORQEEDO denominado DEEP BLUE 50 RXL. Esse modelo de motor é o que a fabricante recomenda para se substituir um motor de 80HP.

Abaixo seguem as características do motor, mostradas no quadro 2:

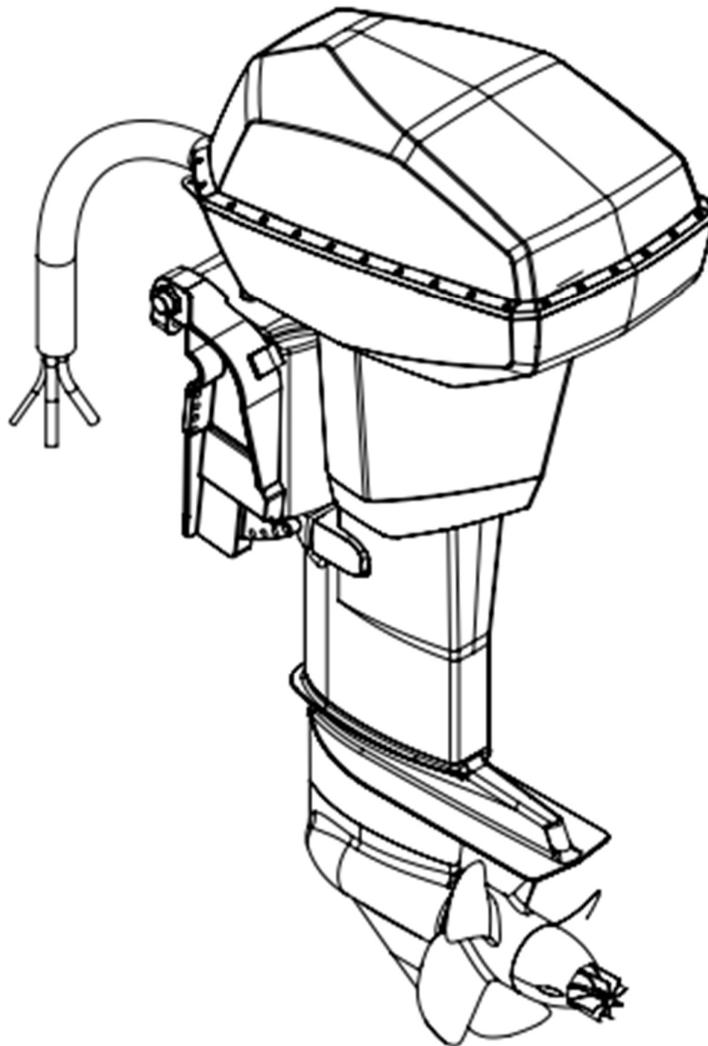
Quadro 2 – Características do motor DEEP BLUE 50 RXL

Fonte: Web site da TORQEEDO

Características do motor DEEP BLUE 50 RXL	
Potência de entrada (continua)	55,1KW
Potência propulsora	32,4KW
Máxima eficiência geral	54%
Peso	145Kg
Comprimento de eixo	635mm
Velocidade máxima da hélice	2400RPM
Velocidade baixa	7,5Km/h
Velocidade máxima	36-54 Km/h
Consumo em potência máxima por 5 horas	763,89 AH

Algumas considerações devem ser assumidas para o cálculo desse projeto. Foi estimado um uso de 5 horas diárias da embarcação. Com essa informação podemos calcular a quantidade de energia demandada pelo sistema e qual velocidade média e autonomia a embarcação pode desenvolver. O desenho do motor é mostrado na figura 3:

Figura 3 – Motor DEEP BLUE



Fonte: Web site da TORQEEEDO

4.3 BATERIA ESCOLHIDA

Para o projeto do sistema de propulsão foi utilizada uma bateria de lítio fabricado pela montadora alemã BMW em conjunto a empresa TORQEEEDO.

As características da bateria são apresentadas a seguir no Quadro 3 e na figura 4:

Quadro 3 – Características da bateria BMW i3

Características da bateria BMW i3	
Voltagem nominal	360v
Máximo desempenho	55KW
Capacidade	40Kwh / 111,11Ah
Peso	278Kg
Autonomia Velocidade baixa	6h
Autonomia velocidade máxima	35min

Fonte: Web site da TORQEEDO

Figura 4 – Bateria BMW i3

Fonte: Web site da TORQEEDO

Por limitação de peso e tamanho, as baterias acabaram sendo o ponto crítico do projeto. Duas baterias serão utilizadas. Com esses dados é possível calcular a energia que poder ser utilizada pelo sistema conforme mostrado no Quadro 4.

Quadro 4 – Potência do sistema

No de baterias	Capacidade por bateria	Capacidade do sistema	Consumo do motor em potência máxima em 5 horas
2	111,11Ah	222,22Ah	763,89

Fonte: Elaborado pelo autor

Se motor for utilizado em sua potência máxima, o sistema terá uma autonomia de apenas 18 minutos, aproximadamente. Para poder operar pelo tempo proposto de cinco horas, o motor deve trabalhar com 30% de sua potência, com velocidade aproximada de 12Km/h e uma autonomia de 60Km.

Durante o desenvolvimento do projeto será exposta a relação autonomia x potência para um melhor entendimento do sistema.

4.4 PAINEL FOTOVOLTAICO ESCOLHIDO

Para este trabalho foi escolhido um painel solar da marca LG, **LG NEON 2 405W**, empresa que vem atuando nesse segmento nos últimos 30 anos. O painel foi escolhido por sua alta eficiência energética se comparada com outros painéis fotovoltaicos disponíveis no mercado.

A seguir algumas características do painel escolhido serão mostradas no quadro 5 e na figura 5:

Quadro 5 – Características do painel LG NEON 2 405W

PAINEL LG NEON 2 405W	
Número de células	6 x 12
Dimensões (L x C x A)	2.024 x 1.024 x 40 mm
Potência máxima	405W
Voltagem	41 V
Corrente	9,89A
Capacidade	
Corrente de curto circuito	10,51A
Eficiência	19,5%
Garantia do produto	25 anos

Fonte: Web site da LG

Figura 5 – Painel solar LG NEON 2 405W

Fonte: Web site da LG

Utilizando a área disponível (12m², 6m x 2m) para instalação das placas no teto da embarcação chegamos em um número de seis painéis fotovoltaicos,

com esses dados já se pode calcular o tempo que os painéis levam para carregar as bateria e também o quanto eles podem aumentar a autonomia da embarcação. A seguir são mostrados no quadro 6 a potência do conjunto e o recurso médio solar no Brasil

Quadro 6 – Potência do conjunto

Quantidade de painéis	Potência do painel	Potência do conjunto	Recurso médio solar no brasil
6	405W	2430W	4,5KWh/m2

Fonte: Elaborado pelo autor

Energia fornecida pelo conjunto:

$$E_p = E_c + E_{perdas}$$

Onde:

$$E_p = \text{Energia}$$

$$E_c = \text{Energia de cargas}$$

$$E_{perdas} = \text{Energia de perdas}$$

$$E_p = \frac{2430}{41} \times 4,5 = 266,70 \text{ Ah}$$

$$\text{Fator de perdas} = 0,729$$

$$E_c = 266,70 \times 0,729 = 194,43 \text{ Ah}$$

4.5 AEROGERADOR ESCOLHIDO

A função do aerogerador para esse projeto é recarregar a bateria em condições em que a energia solar não está disponível para alimentação do sistema, mas também para gerar energia durante o movimento do barco.

Foi escolhido o aerogerador fabricado pela empresa NATURE POWER denominado 2000w-48 VMARINE GRADE WIND TURBINE.

As características do aero gerador são apresentas abaixo no quadro 7 e gráfico 1:

Quadro 7 – Características do aero gerador

Características do aero gerador 2000W -48V Marine Grade Wind Turbine	
Diâmetro do rotor	1776mm
Peso	18Kg
Número de pás	3
Material da pá	Fibra de Carbono
Material do corpo	Alumínio injetado
Velocidade mínima de operação	12,5m/s; 45 Kmh
Velocidade máxima de operação	20m/s; 72Kmh
Potência máxima	2 KW
Voltagem	48V

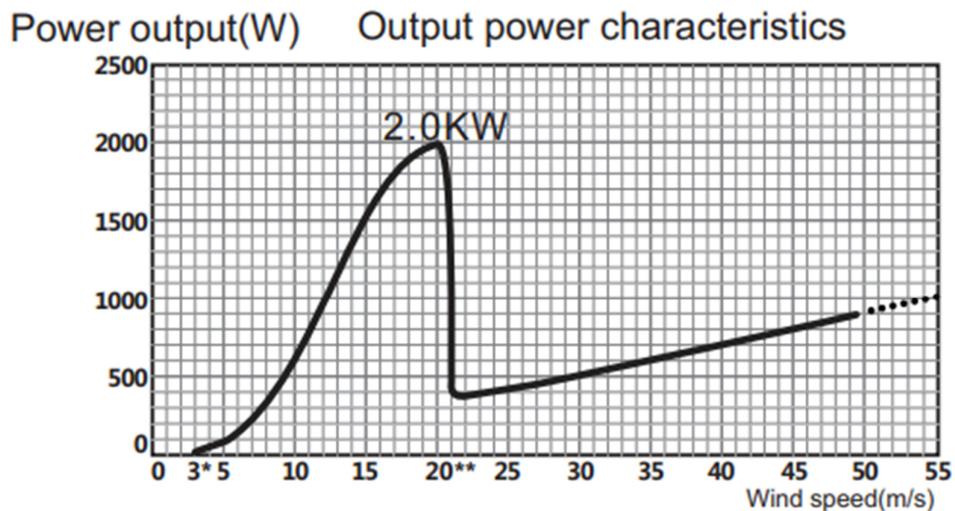
Fonte: Web site da Nature Power

Figura 6 – Aerogerador



Fonte: Web site da Nature Power

Gráfico 1 – Potência de saída do aero gerador



Fonte: Web site da Nature Power

Com essas informações é possível calcular o quanto de energia o aero gerador pode fornecer para o sistema. Assumindo uma velocidade média de 12Km/h, por meio do gráfico tem-se uma potência gerada de 900W ou 18,75Ah. Com essas informações, é possível definir que o aerogerador consegue carregar as baterias em aproximadamente 12 horas.

4.6 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE PROPULSÃO

Com todas as informações de cada um dos componentes do sistema, pode-se definir o sistema como um todo. Dois fatores foram determinantes para o dimensionamento:

a quantidade de bateria e área disponível para instalação dos painéis solares.

Os dados do conjunto são apresentados no quadro 8:

Quadro 8 – Dados do conjunto

Número de baterias	2
Número de painéis solares	6
Número de aero geradores	1
Potência máxima (bateria + painel solar)	416,65Ah
Tempo de uso em potência máxima	33 minutos
Velocidade média para 5 horas de uso	19,5Km
Autonomia	97,5Km

Fonte: Elaborado pelo autor

O aerogerador se mostrou uma peça importante no sistema, podendo carregar a bateria durante a noite, hora que normalmente não se está navegando com um barco.

5. RESULTADOS E DISCUSSAO

Este trabalho teve por objetivo estudar e produzir um projeto de um sistema de propulsão híbrido para embarcações navais alimentado por energia solar fotovoltaica combinada com energia eólica. A busca por alternativas aos combustíveis fósseis nas aplicações cotidianas é um esforço que vem sendo realizado por inúmeros cientistas através de seus trabalhos e publicações na tentativa de se produzir uma sociedade sustentável ambientalmente e economicamente.

Foi mostrado que é possível fabricar embarcações movida a energia alternativa com a tecnologia já disponível hoje em dia. Alguns pontos críticos devem ser levados em conta para assim poder produzir um projeto consistente, pois as baterias e as áreas de instalação de painéis solares foram os limitadores desse projeto. Apesar disso, se conseguiu elaborar um arranjo que atendesse a demanda de um barco de transporte.

A energia eólica é utilizada pelo homem desde a antiguidade, seja para mover moinhos ou até mesmo barcos através das velas. A ideia de converter a energia mecânica proveniente do vento em energia elétrica surgiu no final do século XIX, e vem evoluindo desde então. Hoje existem diversos tipos de aerogeradores e seu uso na malha de produção elétrica vem crescendo em diversos países.

O aerogerador se mostrou uma fonte importante para recarregar o banco de baterias quando o barco não está usado, mas também fornecer alguma energia enquanto ele está em movimento.

O motor elétrico nos moldes como conhecemos atualmente foi criado no final do século XIX, porém experiências com máquinas eletrostáticas foram realizados no século XVII e o próprio fenômeno da eletricidade estática foi observado pelo filósofo Tales de Mileto na Grécia antiga em 641 a.C. Seu funcionamento acontece pela interação de campos eletromagnéticos, e transforma a energia elétrica que está passando por fios de cobre em energia mecânica, nesse estudo será utilizado um motor que produz movimento circular.

A diversidade de motores elétricos que se encontra no mercado é muito grande. Para esse trabalho utilizou-se um motor de alta tecnologia e com uma potência equivalente a motor de combustível fóssil.

Todas as ferramentas para a produção desse projeto se encontram disponíveis no mercado, sendo um limitante o valor dos equipamentos, muitas vezes cotado na moeda Dólar Americano. Incentivos tanto fiscais quanto para investimento em equipamento são fundamentais para o crescimento da indústria verde, deve-se tornar uma política de estado, fundamental para a sobrevivência da espécie humana no planeta Terra.

6. CONCLUSÃO

O objetivo do trabalho de se produzir um projeto de uma embarcação movida a energia solar e eólica foi alcançado. Diversas questões precisam ser estudadas na tentativa da evolução da tecnologia dos pontos críticos mostrados no projeto.

O projeto mostra que já é possível construir uma embarcação com fonte de energia renovável.

O sistema de baterias ainda é uma tecnologia que limita os projetos elétricos, apesar de toda evolução nos últimos anos. Peso e custo são questões a serem levadas em conta durante a elaboração de um projeto. Novos materiais e tipos de bateria devem continuar a serem estudadas pelos cientistas em seus trabalhos científicos.

Os painéis fotovoltaicos são outra tecnologia que precisa evoluir principalmente na questão de custo. Sua evolução tecnológica é notável, alcançando eficiência energética que não se imaginava.

Todos os componentes necessários para a fabricação do projeto se encontram no mercado, o acesso já não é tão restrito a grandes empresas. Penso que o melhor caminho seria uma política de Estado para o incentivo do consumo e fabricação dos componentes usados em sistemas de energia renovável. Apenas com entendimento de que essa questão é fundamental para a vida no planeta terra será possível reduzir ou até mesmo reverter a destruição dos recursos naturais. Em outras palavras, apenas com o incentivo da ciência e da educação, poderemos formar pessoas capazes do entendimento crítico dessa questão e assim poderem exigir políticas públicas que vão de interesse da vida no planeta.

O melhor meio de implementar esse projeto seria com financiamento para se produzir a embarcação solar e eólica, assim dando alternativas a empresas e órgãos públicos de se locomoverem ou transportarem pessoas para regiões remotas e com difícil acesso aos bens de consumo.

Muitas outras abordagens e pesquisas podem surgir do desenvolvimento desse trabalho e acredito que a pesquisa deve sempre continuar na direção de encontrarmos soluções para questões urgentes para humanidade

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOBAR - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CONSTRUTORES DE BARCOS E SEUS IMPLEMENTOS. **Indústria náutica brasileira: fatos e números 2005**. Relatório anual de 2005.

AMARAL, M. T. **Técnico em pesca e Aquicultura**. IFAM. Pará, 2011.

ARAÚJO, B. P. D., & Willcox, L. D. (2018). **Reflexões críticas sobre a experiência brasileira de política industrial no setor eólico**.

CHAPMAN, S.J. **Fundamentos de máquinas elétricas**. AMGH Editora, 2013.

DO NASCIMENTO, C. A. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**. Diss. Universidade Federal de Lavras(2004).

FARIAS, L. M.; SELLITTO, M.A. **Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras**. *Revista Liberato* 12.17 (2011): 01-106. [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica(3).pdf)

FONSECA, M., M. **Arte Naval**. Serviço de Documentação da Marinha, 7ed. Rio de Janeiro, 2005

HORTA, B. S.; Galvão, D.M. **NOA – Embarcação de Transporte para integração com transporte público**. Monografia (Graduação). Universidade de Brasília. Brasília, 2008.

LG NEON 2, Disponível em: https://www.lg.com/us/business/download/resources/BT00002151/Neon2_72_80115_ck_FRD_V4.pdf Acesso em: 12 de Novembro de 2019.

MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S. (2015). **Energia Solar Fotovoltaica: uma breve revisão**. *Revista Virtual de Química*, 7(1), 126-143.

NATURE POWER, Instruction Manual version 1.0, Disponível em: https://www.naturepowerproducts.com/doc_db/nemo2000-48v-manual.pdf. Acesso em: 13 de Novembro de 2019.

NEOSOLAR. Energia Solar. 2006. Disponível em: <http://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/energia-solar> Acesso em: 14 de maio de 2015.

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

PORTAL SOLAR, Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/passo-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html> . Acesso em 09 de Novembro de 2019.

SCENERGIA. Energia solar. 2014. Disponível em: <<http://www.scmaisenergia.sc.gov.br/sds/?p=167>>. Acesso em: 06 de outubro de 2019.

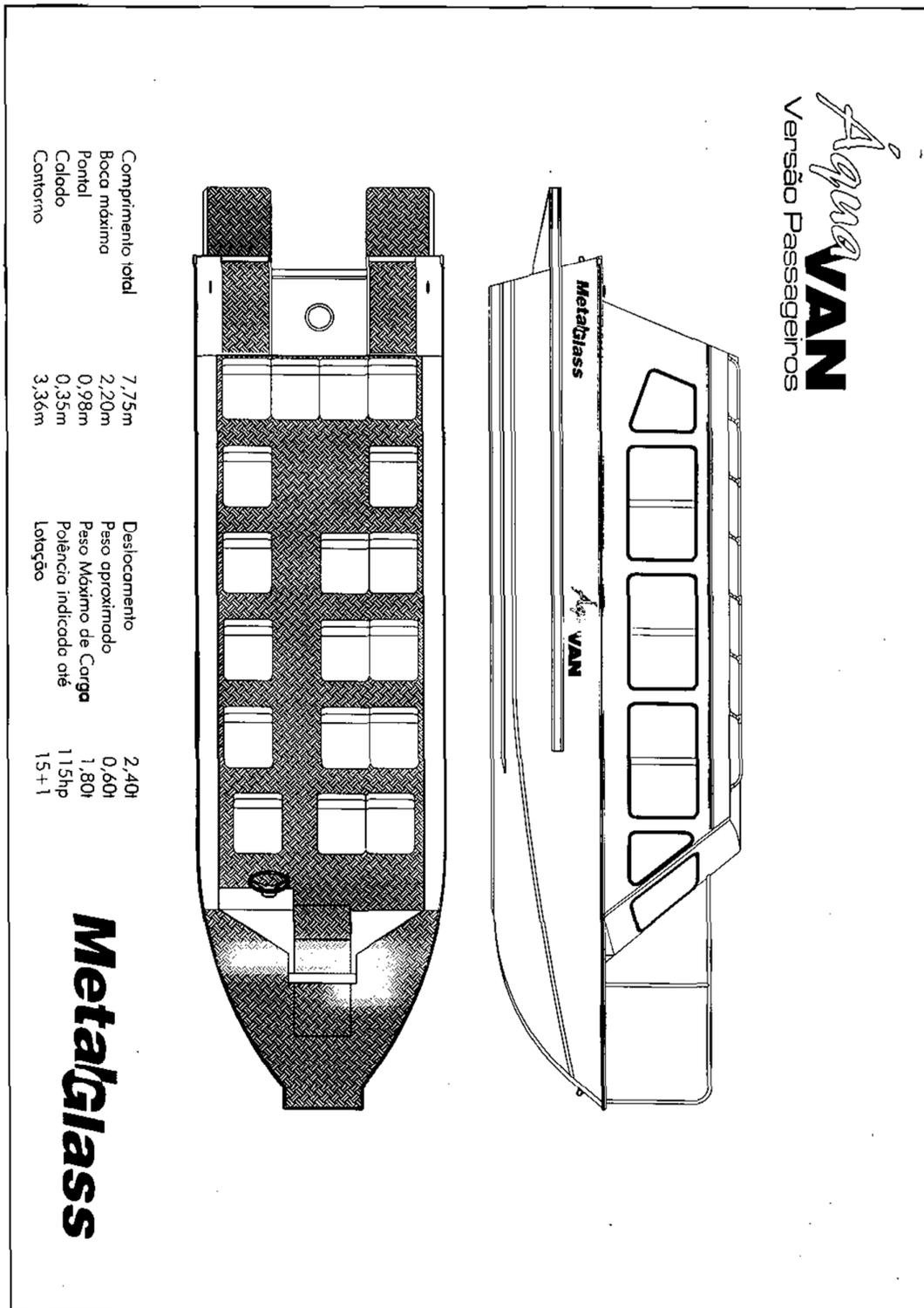
TORQEEDO, Torqeedo Deep blue 80 RXL. Disponível em: <<https://media.torqeedo.com/technical-drawings/torqeedo-deep-blue-80-rxl-measurements.pdf>> Acesso em: 11 Novembro de 2019.

TORQEEDO DEEP BLUE, Deep Blue operation manual. Disponível em: <<https://media.torqeedo.com/downloads/manuals/torqeedo-deep-blue-manual.pdf>> Acesso em: 11 Novembro de 2019.

WEG, Equipamentos Elétricos S.A. Motores Síncronos. 2012. Disponível em: <<http://catalogo.weg.com.br/files/wegnet/WEG-motores-sincronos-artigo-tecnicoportugues-br.PDF>>. Acesso em: 17 de Novembro de 2019.

8 ANEXOS

ANEXO A – Embarcação Aquavan



ANEXO B – Painel fotovoltaico LG NEON 2

