

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA  
ÊNFASE ELETROTÉCNICA**

**EVANDRO HEIMBECKER MARQUES  
PAULO EDUARDO BASTARZ**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DE IMPLANTAÇÃO DE UM  
SISTEMA FOTOVOLTAICO COMO FONTE DE ENERGIA ELÉTRICA  
AUXILIAR EM UMA EMBARCAÇÃO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CURITIBA  
2012**

**EVANDRO HEIMBECKER MARQUES  
PAULO EDUARDO BASTARZ**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DE IMPLANTAÇÃO DE UM  
SISTEMA FOTOVOLTAICO COMO FONTE DE ENERGIA ELÉTRICA  
AUXILIAR EM UMA EMBARCAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Industrial Elétrica - Ênfase em Eletrotécnica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Me. Ney José Kloster.

**CURITIBA  
2012**

Evandro Heimbecker Marques  
Paulo Eduardo Bastarz

## Análise da viabilidade técnica de implantação de um sistema fotovoltaico como fonte de energia elétrica auxiliar em uma embarcação

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 16 de Agosto de 2012.

---

Prof. Emerson Rigoni, Dr.  
Coordenador de Curso  
Engenharia Elétrica

---

Prof. Marcelo de Oliveira Rosa, Dr.  
Coordenador dos Trabalhos de Conclusão de Curso  
de Engenharia Elétrica do DAELT

### ORIENTAÇÃO

---

Ney José Kloster, Me.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientador

### BANCA EXAMINADORA

---

Ney José Kloster, Me.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Antônio Carlos Pinho, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Gerson Máximo Tiepolo, Me.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica

Aos nossos familiares e amigos, pelo apoio e compreensão.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecemos imensamente aos nossos familiares, cujo apoio e compreensão foram essenciais para tornar possível a realização deste trabalho de conclusão de curso.

Gostaríamos também de agradecer aos nossos amigos, que contribuíram, das mais diferentes formas, com este estudo. Aproveitamos para versar nossa reverência ao Prof. Me. Ney José kloster e ao Prof. Dr. Jair Urbanetz pela orientação, atenção e disposição durante todas as etapas deste estudo.

Não poderíamos deixar de prestar nosso profundo agradecimento à empresa de travessias hidroviárias CatSul, representada pelo Sr. Marco Gonçalves e Sr. Alexandre Rosa, que atenciosamente nos receberam durante a visita técnica ao centro de operações da empresa, assim como, pelo Comandante Jonas e Comandante Luís, que prontamente disponibilizaram muitas das informações necessárias a respeito da operação das embarcações *Carlos Nobre* e *Anita Garibaldi*, objetos de estudo deste trabalho, com as quais a empresa opera a travessia do Rio Guaíba, no município de Porto Alegre – RS.

Por último e não menos importante, agradecemos à Universidade Tecnológica Federal do Paraná *campus* Curitiba, pela disposição de sua estrutura e acervo bibliográfico.

A todos, muito obrigado.

Não sou aquele que sabe, mas aquele que busca. (HESSE,  
Hermann, 1927).

## RESUMO

BASTARZ, Paulo Eduardo; MARQUES, Evandro H. **Análise da viabilidade técnica de implantação de um sistema fotovoltaico como fonte de energia elétrica auxiliar em uma embarcação.** 2012. 126 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Programa de Graduação em Engenharia Industrial Elétrica com ênfase em Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

Este trabalho apresenta um estudo de caso à respeito da implantação de um sistema fotovoltaico de geração de energia elétrica em uma embarcação de transporte de passageiros, que realiza a travessia entre os municípios de Porto Alegre e Guaíba, localizados em margens opostas do Rio Guaíba, no Estado do Rio Grande do Sul. O estudo tem como foco a análise da viabilidade técnica da implantação de tal sistema na embarcação, contando com uma análise da radiação solar local, da operação mais eficiente das cargas embarcadas, assim como uma análise do dimensionamento dos principais componentes de um sistema fotovoltaico.

**Palavras-chave:** Energia renovável. Sistema fotovoltaico. Transporte de passageiros.

## ABSTRACT

BASTARZ, Paulo Eduardo; MARQUES, Evandro H. **Analysis of the technical feasibility of implementation of a photovoltaic system as a source of electric power assist on a vessel.** 2012. 126 l. Trabalho de Conclusão de Curso – Programa de Graduação em Engenharia Industrial Elétrica com ênfase em Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

This paper presents a case study about the implementation of a photovoltaic power generation in a carrying passengers vessel, which makes the transportation of people between the cities of Porto Alegre and Guaíba, located on opposite banks of the Rio Guaíba in State of Rio Grande do Sul. The study focuses on the analysis of the technical feasibility of deploying such a system on the vessel, with an analysis of local solar radiation, and the more efficient operation of the onboard loads, as well as an analysis of the sizing of the main components of a photovoltaic system.

**Keywords:** Renewable energy. Photovoltaic system. Carriage of passengers.

## LISTA DE ACRÔNIMOS

ABRAVA	Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento
ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
ATLAS	Conjunto de mapas ou cartas geográficas
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
DAER	Departamento Autônomo de Estradas e Rodagens
ECO-92	Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD)
LED	<i>Light Emission Diode</i>
METROPLAN	Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional
POA	Município de Porto Alegre
SYNDARMA	Sindicato Nacional das Empresas de Navegação Marítima

## LISTA DE SÍMBOLOS

CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono ou Gás Carbônico, elemento químico
V	Volts, unidade de tensão elétrica
I	Corrente Elétrica, grandeza elétrica
A	Ampère, unidade de corrente elétrica
h	Hora, unidade de tempo
A.h	Ampère-hora, relação unitária
°C	Graus Celsius, unidade de temperatura
Hz	Hertz, unidade de frequência
s	Segundos, unidade de tempo
k	Quilo, unidade de grandeza
W	Watts, unidade de potência elétrica
W/m <sup>2</sup>	Watt por metro quadrado, relação unitária
W.h	Watt-hora, relação unitária
W.p	Watt-pico, relação unitária
Si	Silício, elemento químico
m	Metros, unidade de comprimento
m <sup>2</sup>	Metro quadrado, unidade de área
Pb	Chumbo, elemento químico
PbO <sub>2</sub>	Óxido de Chumbo, elemento químico
%	Porcentagem, relação percentual
A	Autonomia do banco de baterias
$A_{FVtotal}$	Área útil total do arranjo fotovoltaico
$A_{módulo}$	Área de cada módulo fotovoltaico
$C_{diárioCA}$	Consumo médio diário em CA
$C_{diárioCC}$	Consumo médio diário em CC
$C_{TotalCargas}$	Consumo médio diário total das cargas em CC e CA
$C_{TotCorr}$	Consumo total corrigido
$C_{TotalBB}$	Capacidade total do banco de baterias
$C_{nomBat}$	Capacidade nominal da bateria
$H_{mín}$	Radiação solar média mínima
$I_{ccMódulo}$	Corrente de curto-circuito do módulo fotovoltaico
$I_{ccPainel}$	Corrente de curto-circuito do painel fotovoltaico
$I_{Contr}$	Corrente de carga do controlador
$I_{mínCont}$	Corrente mínima do controlador de cargas
$I_{Módulo}$	Corrente de máxima potência do módulo
$I_{Projeto}$	Corrente de projeto do painel fotovoltaico
$I_{ProjCorr}$	Corrente de projeto corrigida
$I_{pico}$	Corrente de pico
$\eta_{ConvPot}$	Eficiência de equipamentos de conversão de potência (inversor e conversor)
$\eta_b$	Eficiência da bateria
$\eta_f$	Eficiência relativa à fiação
$\eta_{Módulo}$	Fator de correção do módulo fotovoltaico
$N_{BP}$	Número de baterias em paralelo
$N_{BS}$	Número de baterias em série
$N_{CP}$	Número de controladores de carga em paralelo
$N_{inversores}$	Número total de inversores do sistema

$N_{MFV}$	Número total de módulos fotovoltaicos do sistema
$N_{MP}$	Número de módulos fotovoltaicos em paralelo
$N_{MS}$	Número de módulos fotovoltaicos em série
$N_{totalBat}$	Número total de baterias
$P_{CA}$	Potência consumida pelas cargas em CA
$P_{CC}$	Potência consumida pelas cargas em CC
$P_{inv}$	Potência nominal de entrada de cada inversor
$SP$	Número de horas de Sol Pleno
$V_{CA}$	Tensão de corrente alternada
$V_{CC}$	Tensão de corrente contínua
$V_{nom}$	Tensão nominal do sistema fotovoltaico
$V_{Módulo}$	Tensão de máxima potência do módulo fotovoltaico
$V_{CarregBat}$	Tensão necessária para carregamento das baterias
$V_{nomBat}$	Tensão nominal de cada bateria

## LISTA DE SIGLAS

BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BB	Bombordo
EB	Estibordo
CA	Corrente Alternada, grandeza elétrica
CC	Corrente Contínua, grandeza elétrica
DVD	<i>Digital Versatile Disc</i>
FV	Fotovoltaico
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HD	<i>Hard Disk</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IST	Instituto Superior Técnico
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracker</i>
PD	Profundidade de Descarga
RS	Estado do Rio Grande do Sul
SP	Sol Pleno
SPH	Superintendência dos Portos e Hidrovias do Estado do Rio Grande do Sul
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
VHF	<i>Very High Frequency</i>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Embarcação de transporte de passageiros da empresa CatSul.....	19
Figura 2 – Percurso da travessia do Rio Guaíba .....	19
Figura 3 – Estrutura do trabalho proposto.....	25
Figura 4 – Movimento de translação da Terra e as estações do ano .....	27
Figura 5 – Formas de incidência da radiação solar na atmosfera terrestre .....	28
Figura 6 – Célula fotovoltaica de silício cristalino.....	30
Figura 7 – Componentes básicos de um sistema fotovoltaico isolado .....	31
Figura 8 – Arranjo de um sistema fotovoltaico isolado .....	32
Figura 9 – Arranjo de um sistema fotovoltaico híbrido.....	33
Figura 10 – Conjunto de módulos fotovoltaicos.....	35
Figura 11 - Módulo solar com uma célula sombreada .....	39
Figura 12 – Operação de um diodo de passo .....	40
Figura 13 – Inversor eletrônico, modelo 34197, da fabricante Hayonik .....	41
Figura 14 – Bateria Náutica, modelo 12MB220, da fabricante Moura.....	45
Figura 15 – Controlador de carga, modelo C60, da fabricante Xantrex .....	48
Figura 16 – Conversor CC-CC, modelo BTDC2412-50AL, da fabricante Batelco .....	49
Figura 17 – Desembarque de veículos na década de 1950.....	53
Figura 18 – Ponte rodoviária móvel Getúlio Vargas.....	53
Figura 19 – Percurso rodoviário entre Porto Alegre e Guaíba.....	54
Figura 20 – Terminal de embarque da CatSul em Porto Alegre.....	55
Figura 21 – Embarcação do tipo catamarã, Carlos Nobre, no terminal de embarque de Porto Alegre .....	56
Figura 22 – Características da embarcação operada pela CatSul.....	57
Figura 23 – Cabine de passageiros da embarcação Anita Garibaldi.....	58
Figura 24 – Convés de proa da embarcação Carlos Nobre .....	58
Figura 25 – Teto da embarcação Carlos Nobre, com vista da proa para a popa.....	60
Figura 26 – Teto da embarcação Carlos Nobre, com vista da popa para a proa.....	60

<b>Figura 27 – Croqui das áreas disponíveis para a instalação dos módulos fotovoltaicos no teto da embarcação .....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 28 – Televisores LCD e lâmpadas LED da cabine de passageiros .....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 29 – Vista frontal da embarcação Carlos Nobre.....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 30 – Convés de popa da embarcação Carlos Nobre.....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 31 – Terminal Hidroviário de Porto Alegre visto do Rio Guaíba .....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 32 – Atracadouro do Terminal Hidroviário de Guaíba .....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 33 – Folheto apresentando o percurso realizado pela embarcação.....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 34 – Folheto comparando os transportes hidroviário e rodoviário .....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 35 – Croqui dos módulos fotovoltaicos (KD135SX-UPU) distribuídos na área disponível do teto da embarcação .....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 36 – Croqui dos módulos fotovoltaicos (KD210GX-LP) distribuídos na área disponível do teto da embarcação .....</b>	<b>91</b>
<b>Figura 37 – Televisores LCD na cabine de passageiros .....</b>	<b>97</b>
<b>Figura 38 – Imagem do GPS ligado durante o período de desembarque no Terminal Hidroviário de Guaíba.....</b>	<b>98</b>
<b>Figura 39 – Croqui da disposição das lâmpadas LED no convés de popa, sanitários e cabine de passageiros .....</b>	<b>99</b>
<b>Figura 40 – Croqui dos módulos fotovoltaicos (KD210GX-LP) distribuídos na área disponível do teto da embarcação, fazendo referência ao possível aumento de 14 para 20 módulos FV. ....</b>	<b>105</b>
<b>Figura 41 – Diagrama do arranjo do painel fotovoltaico em 24 Volts .....</b>	<b>110</b>
<b>Figura 42 – Foto da popa do catamarã mostrando os cascos que também servem como sala de máquinas .....</b>	<b>120</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela das cargas alimentadas em 220 V <sub>CA</sub> pelo gerador a diesel.....	62
Tabela 2 – Tabela das cargas elétricas alimentadas em 12 V <sub>CC</sub> pelas baterias.....	63
Tabela 3– Tabela dos horários das travessias entre Porto Alegre e Guaíba.....	68
Tabela 4 – Tabela do consumo médio diário dos equipamentos embarcados .....	70
Tabela 5 – Tabela da radiação diária média para todos os meses do ano, em Porto Alegre .....	72
Tabela 6 – Tabela dos valores de eficiência padrão para dispositivos de conversão de potência.....	77
Tabela 7 - Tabela dos valores de eficiência relativos a perdas de energia através dos condutores (fiação) e de perdas internas das baterias.....	77
Tabela 8 – Tabela dos valores padrão para fatores de ajuste de corrente de módulos fotovoltaicos para condições de campo .....	79
Tabela 9 – Tabela dos parâmetros para dimensionamento do sistema fotovoltaico....	80
Tabela 10 – Tabela dos dados técnicos dos módulos fotovoltaicos .....	83
Tabela 11– Dados técnicos do módulo fotovoltaico, modelo KD210GX-LP - Kyocera .	85
Tabela 12 – Tabela da energia gerada por dia, em função da radiação solar incidente ao longo de um ano .....	94
Tabela 13 - Tabela do consumo médio diário dos equipamentos embarcados .....	96
Tabela 14 – Tabela do consumo médio diário dos equipamentos, com os valores alterados para o sistema com tensão nominal em 12 V <sub>CC</sub> .....	100
Tabela 15 – Tabela do consumo médio diário dos equipamentos, com os valores alterados para o sistema com tensão nominal em 24V <sub>CC</sub> .....	101
Tabela 16 – Dados dos painéis fotovoltaicos dimensionados .....	108
Tabela 17 – Dados técnicos da bateria, modelo 12MB220 – Moura .....	115
Tabela 18 – Dados técnicos do controlador de carga, modelo C60 – Xantrex .....	117
Tabela 19 – Dados técnicos do inversor, modelo 34197 - Hayonik.....	117
Tabela 20 – Dados técnicos do conversor, modelo BTDC122410 - Batelco .....	118
Tabela 21 – Dados gerais dos principais equipamentos que constituem o sistema fotovoltaico .....	119

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1 – Curva característica da corrente versus tensão (linha azul) e de potência (linha alaranjada). Na condição padrão de radiação solar de 1000 W/m<sup>2</sup>, temperatura de célula 25 °C .....</b>	<b>37</b>
<b>Gráfico 2 – Curva IxV de um módulo fotovoltaico com temperatura constante.....</b>	<b>38</b>
<b>Gráfico 3 – Curva IxV de um módulo fotovoltaico com radiação constante .....</b>	<b>38</b>
<b>Gráfico 4 – Comportamento da capacidade da bateria com: (a) variação de corrente e (b) variação de temperatura .....</b>	<b>43</b>
<b>Gráfico 5 – Variação do tempo de vida útil da bateria em relação à temperatura de operação.....</b>	<b>44</b>
<b>Gráfico 6 – Radiação diária média no ano no município de Porto Alegre .....</b>	<b>72</b>
<b>Gráfico 7 – Variação da geração de energia em função da radiação solar incidente ao longo do ano .....</b>	<b>94</b>

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
1.1	TEMA E DELIMITAÇÃO DE PESQUISA .....	17
1.2	PROBLEMA E PREMISSAS .....	18
1.3	OBJETIVOS .....	20
1.3.1	Objetivo Geral .....	20
1.3.2	Objetivos Específicos .....	21
1.4	JUSTIFICATIVA .....	21
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	23
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	24
<b>2</b>	<b>ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E SISTEMAS FOTOVOLTAICOS</b> .....	<b>26</b>
2.1	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	26
2.2	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....	30
2.2.1	Sistemas Fotovoltaicos Isolados.....	32
2.2.2	Sistemas Fotovoltaicos Híbridos .....	33
2.3	PRINCIPAIS COMPONENTES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	34
2.3.1	Módulos Fotovoltaicos.....	34
2.3.2	Inversores CC-CA .....	40
2.3.3	Baterias.....	42
2.3.3.1	Baterias de chumbo-ácido.....	45
2.3.3.2	Baterias de níquel-cádmio.....	46
2.3.4	Controladores de Carga.....	47
2.3.5	Outros Componentes .....	49
<b>3</b>	<b>ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E DO LOCAL DE OPERAÇÃO DA EMBARCAÇÃO</b> ....	<b>52</b>
3.1	BREVE HISTÓRICO ACERCA DA TRAVESSIA DO RIO GUÁIBA .....	52
3.2	EMBARCAÇÃO DE TRANSPORTE DE PASSAGEIROS.....	56
3.2.1	Áreas Úteis Disponíveis para a Instalação dos Módulos Fotovoltaicos .....	58
3.2.2	Cargas Elétricas Embarcadas .....	61
3.3	OPERAÇÕES DE TRAVESSIA .....	65
3.3.1	Principais Características do Percurso .....	65
3.3.2	Consumo Médio Diário de Energia Elétrica.....	68
3.4	NÍVEIS DE RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTES DA REGIÃO.....	71
3.5	RESUMO DOS DADOS TÉCNICOS OBTIDOS .....	72

<b>4</b>	<b>ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO</b>	<b>74</b>
4.1	MÉTODO PARA O DIMENSIONAMENTO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS	75
4.1.1	Cálculos Preliminares para o Dimensionamento do Painel Fotovoltaico	75
4.1.2	Método de Dimensionamento do Painel Fotovoltaico	78
4.2	APLICAÇÃO DO MÉTODO E ANÁLISE DA ÁREA REQUERIDA PELAS CARGAS EMBARCADAS PARA A INSTALAÇÃO DO PAINEL FOTOVOLTAICO	80
4.2.1	Quantidade de Módulos Fotovoltaicos e Determinação da Área Requerida para o Sistema com Tensão Nominal em 12 Volts	82
4.2.2	Quantidade de Módulos Fotovoltaicos e Determinação da Área Requerida para o Sistema com Tensão Nominal em 24 Volts	85
4.3	DIMENSIONAMENTO DO PAINEL FOTOVOLTAICO A PARTIR DA ÁREA DISPONÍVEL	87
4.3.1	Dimensionamento do Painel Fotovoltaico para o Sistema em 12 Volts	87
4.3.2	Dimensionamento do Painel Fotovoltaico para o Sistema em 24 Volts	90
4.4	DIMENSIONAMENTO DO PAINEL A PARTIR DE ESTUDO DE MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SISTEMA	92
4.4.1	Estudo da Variação da Energia Gerada ao Longo do Ano	93
4.4.2	Estudo da Redução do Consumo Médio Diário dos Equipamentos Embarcados	95
4.4.3	Verificação da Eficácia da Redução de Consumo Proposta	101
4.4.4	Dimensionamento do Painel Fotovoltaico para o Sistema em 24 Volts Considerando a Redução do Consumo Médio Diário das Cargas Embarcadas	103
4.5	RESUMO DA ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA	106
<b>5</b>	<b>ANÁLISE DA CONFIGURAÇÃO DO PAINEL FOTOVOLTAICO E DIMENSIONAMENTO DOS DEMAIS EQUIPAMENTOS DO SISTEMA</b>	<b>108</b>
5.1	ANÁLISE DA CONFIGURAÇÃO DO PAINEL FOTOVOLTAICO	108
5.2	MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DOS DEMAIS COMPONENTES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	110
5.2.1	Método para o Dimensionamento de Bancos de Baterias	110
5.2.2	Método para o Dimensionamento de Controladores de Carga	112
5.2.3	Método para o Dimensionamento de Inversores CC-CA	113
5.2.4	Método para o Dimensionamento de Conversores CC-CC	113
5.3	DIMENSIONAMENTO DOS DEMAIS EQUIPAMENTOS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	114
5.3.1	Dimensionamento do Banco de Baterias	114
5.3.2	Dimensionamento do Controlador de Cargas	116
5.3.3	Dimensionamento do Inversor CC-CA	117
5.3.4	Dimensionamento do Conversor CC-CC	118
5.4	CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	119

6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	121
	REFERÊNCIAS .....	124

## 1 INTRODUÇÃO

Este capítulo é composto pelo tema e delimitação de pesquisa, pela apresentação dos problemas e premissas evidenciadas, seguidos dos objetivos estabelecidos, os quais são subdivididos em objetivos geral e específicos. Em seguida, são integrados ao capítulo a justificativa, os procedimentos metodológicos e, a estrutura do trabalho, utilizados como diretrizes para a realização do mesmo.

### 1.1 TEMA E DELIMITAÇÃO DE PESQUISA

Em 1992, foi realizada no Rio de Janeiro a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida no Brasil como ECO-92 (SYNDARMA..., 2011). Nessa reunião, adotou-se a convenção: Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima ou *United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)*; um tratado sobre o meio ambiente com o propósito de reduzir as descargas de gases do efeito estufa, na tentativa de combater o aquecimento global (Idem, 2011).

Desde então, e com o desenvolvimento industrial e crescimento econômico do Brasil, aumentou-se o consumo energético tanto quanto a necessidade de geração de energia. Assim, a preocupação com os impactos ambientais provenientes da emissão de dióxido de carbono originados do desflorestamento e da queima de combustíveis fósseis e matéria orgânica, tornou-se cada vez mais evidente (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2011).

A geração e o consumo de energia são fatores relacionados com um grande número de alterações ambientais produzidas no planeta e, pelo fato de utilizar grande parte da energia não renovável, o setor de transporte contribui diretamente com os impactos relacionados à exploração dos recursos naturais, visto que, comparado aos demais setores econômicos, o de transporte utiliza combustíveis de origem fóssil de forma bem mais intensa (PINTO; SANTOS, 2004).

Em vista desses fatos, esforços são realizados na busca de novas alternativas para a geração de energia de forma sustentável. No entanto, considerando o transporte hidroviário em regiões urbanas e, por consequência, os fatores de poluição ambiental, a agregação de diferentes tecnologias de geração de energia em prol da redução dos impactos ambientais dos veículos de transporte

hidroviário também inclui o uso de combustíveis alternativos aos fósseis (OS TRANSPORTES E A EMISSÃO..., 2011).

Segundo Marinoski, et al (2004, p.1), uma das tecnologias sustentáveis mais recentes e que vem sendo cada vez mais utilizada é a energia solar fotovoltaica. Tal energia provém de um sistema de módulos fotovoltaicos compostos por fotocélulas. Uma fotocélula, ou célula fotovoltaica, é um dispositivo que tem seu funcionamento fundamentado no efeito fotovoltaico, que consiste essencialmente na conversão de energia luminosa incidente sobre materiais semicondutores, convenientemente tratados, em energia elétrica (FALCÃO, 2005).

Em razão do exposto, propõe-se neste trabalho uma pesquisa de campo pautada em um estudo de caso da viabilidade técnica de implantação de um sistema fotovoltaico como fonte auxiliar de geração de energia elétrica em uma embarcação de transporte hidroviário de passageiros.

O projeto em estudo contempla as fundamentações teóricas acerca do tema abordado, o levantamento de dados técnicos da embarcação e das demais características envolvidas com a operação da mesma, a análise de viabilidade técnica e o dimensionamento e especificação dos componentes básicos de um sistema fotovoltaico, com base na área disponível e no consumo energético da embarcação.

## 1.2 PROBLEMA E PREMISSAS

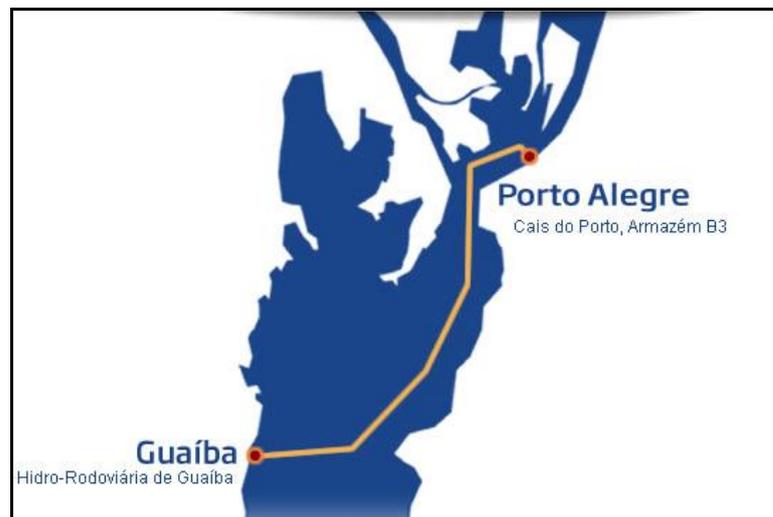
O estudo tomou como referência uma embarcação modelo catamarã, conforme apresentada na Figura 1 a seguir, utilizada na travessia hidroviária de passageiros entre os municípios de Porto Alegre e Guaíba, localizados em margens opostas do Rio Guaíba, no Estado do Rio Grande do Sul. Serviço este, fundamental para os moradores do município de Guaíba que trabalham em Porto Alegre, cuja ligação terrestre entre os dois municípios dista 32 km, via BR-116 (BANCO..., 1999).



**Figura 1 – Embarcação de transporte de passageiros da empresa CatSul**

**Fonte: TRAVESSIA POA – GUAÍBA, 2012.**

De propriedade da empresa CatSul, pertencente ao grupo Ouro e Prata, que atua no setor de transporte rodoviário e hidroviário, o catamarã é movido por dois motores a diesel e tem capacidade de transportar 120 passageiros sentados e mais dois cadeirantes, com o conforto do ar-condicionado, televisor, sistema de som e imagem, além do espaço reservado para o transporte de bicicletas (CATSUL, 2012). Para melhor ilustrar, a Figura 2 a seguir apresenta o percurso realizado pela embarcação da empresa CatSul.



**Figura 2 – Percurso da travessia do Rio Guaíba**

**Fonte: CATSUL, 2012.**

Com foco no objeto de estudo e a partir da crescente preocupação com os impactos ambientais causados pela atividade humana, surge a necessidade de se implantar inovações tecnológicas capazes de reduzir as agressões ao meio

ambiente, assim como, contribuir com a conscientização da sociedade e com a disseminação da tecnologia e aplicação das energias renováveis.

Contudo, qual destas tecnologias, capazes de contribuir com a diminuição desses impactos causados ao meio ambiente, é possível implantar em uma embarcação com fonte energética limitada e isolada?

Dentre as energias renováveis destaca-se a fotovoltaica, que apresenta como principais vantagens: a possibilidade de fornecimento de eletricidade em locais isolados da rede de distribuição de energia, os custos serem menos suscetíveis a flutuações como o petróleo, a possibilidade de ser modulada e ter suas potencialidades ampliadas até seu limite dimensional, de acordo com as necessidades e a coincidência da produção com os picos de consumo de energia (STEM, 2007).

Segundo Marinowski, et al (2004), a cada dia, novas pesquisas vêm apresentando diferentes tecnologias para utilização e aproveitamento de energia.

“O uso de painéis fotovoltaicos apresenta uma alternativa inteligente ao cenário intertropical brasileiro, com altos índices de radiação solar, vindo de encontro com a atual conscientização e busca por energias alternativas” (BECKER et al., 2009).

Desta forma, delinea-se um estudo da viabilidade técnica de implantação de um sistema de geração de energia elétrica limpa, com o uso de painéis fotovoltaicos, que contribua com a disseminação da tecnologia fotovoltaica, bem como, com a conscientização da sociedade para a importância da preservação ambiental e do uso consciente das fontes de energia.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade técnica de implantação de um sistema fotovoltaico como fonte auxiliar de energia elétrica para a alimentação dos equipamentos auxiliares, em uma embarcação de transporte de passageiros utilizada em travessias hidroviárias entre os municípios de Porto Alegre e Guaíba, no estado do Rio Grande do Sul.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Estudar o referencial teórico a respeito da energia solar fotovoltaica e dos sistemas fotovoltaicos e seus componentes;
- Realizar o levantamento de dados técnicos sobre as características de operação, composição do sistema elétrico e do consumo de energia elétrica da embarcação;
- Realizar o levantamento de dados a respeito dos índices de radiação solar incidentes na região de operação da embarcação;
- Determinar a área útil disponível na embarcação para a instalação do conjunto de módulos fotovoltaicos;
- Determinar a tensão nominal do painel fotovoltaico;
- A partir da área útil disponível, dos índices da radiação solar incidente e do consumo de energia elétrica da embarcação, dimensionar a quantidade de módulos fotovoltaicos e o potencial de geração de energia elétrica na mesma;
- Analisar a viabilidade de implantação, sob o ponto de vista técnico, de um sistema fotovoltaico como fonte de energia elétrica auxiliar na embarcação;
- Dimensionar e especificar equipamentos complementares ao painel fotovoltaico, tais como, baterias, inversores CC-CA, conversores CC-CC e controladores de carga;
- Determinar a configuração do sistema fotovoltaico;
- Apresentar as considerações finais do estudo realizado, bem como, recomendações para estudos posteriores.

### 1.4 JUSTIFICATIVA

A motivação para realização do estudo proposto neste trabalho encontra sustentação na crescente preocupação com as questões ambientais, cada vez mais presentes no cotidiano, haja vista os constantes impactos materiais e humanos causados pelos fenômenos climáticos e pela instabilidade do preço do petróleo, como exemplos.

Com relação aos benefícios sociais e ambientais, o estudo contribui para a reflexão da sociedade a respeito da necessidade da preservação ambiental, contribuindo, também, para a manutenção da imagem da empresa perante o público consumidor dos seus serviços. Com relação a este último, prevê-se que, com a eventual implantação do sistema fotovoltaico como fonte de energia elétrica na embarcação, a empresa, proprietária da embarcação e responsável pelas operações de travessia, possa ser beneficiada no que tange à exploração do uso deste sistema como objeto de *marketing* e melhoria da imagem da empresa, por meio do *marketing* verde.

Segundo Scarpelli e Ragassi (2003), o chamado *marketing* verde simboliza os reais compromissos que as empresas estabelecem para a preservação e educação ambiental, sendo este um fator muito importante nas relações com os consumidores e, despertando destes uma visão positiva de responsabilidade com o meio ambiente, da empresa.

Não obstante, o *marketing* verde tem o objetivo de promover meios que sustentem as estratégias das empresas em relação às atitudes que estas praticam como um diferencial entre outros concorrentes, assim como sendo também objeto que agrega valor ao produto. Neste caso, os serviços que tal empresa oferece ao mercado consumidor (SCARPINELLI; RAGASSI, 2003).

“A necessidade de se obter um diferencial competitivo é bastante explorada nos dias atuais, por essa razão, ter um instrumento que satisfaça os anseios dos consumidores é extremamente significativo, garantindo confiança e respeito no mercado” (SCARPINELLI; RAGASSI, 2003, p 4).

Contudo, de acordo com a visão de Seguel (2009), os custos iniciais dos projetos fotovoltaicos, muitas vezes, englobam grandes somas com estudos de viabilidade técnica, negociações, desenvolvimento, projetos de engenharia, aquisição de equipamentos, entre outros, desencorajando investidores. Entretanto, segundo Tachizawa (2002) *apud* Scarpelli e Ragassi (2003), uma das grandes viabilidades para as empresas é devido ao fato de que o novo contexto econômico caracteriza-se por uma rígida postura dos clientes, voltada à expectativa de interagir com organizações que sejam éticas, com boa imagem no mercado, e que atuem de forma ecologicamente responsável. Ou seja, se considerada a visão de Tachizawa (2002), os custos iniciais de investimentos, podem refletir em um ganho comercial futuro.

Não obstante, tecnicamente, a realização de um estudo, como o proposto neste trabalho, contribui para a consolidação da aplicação da tecnologia de geração de energia elétrica a partir de módulos fotovoltaicos, em embarcações de pequeno e médio porte voltadas para o transporte hidroviário. Esta consolidação conta ainda com a vocação natural do Brasil, cujos grandes rios e extenso litoral, favorecem o transporte hidroviário, já presente em grandes cidades como Aracaju, Belém, Santos, São Luis, Rio de Janeiro e Vitória (BANCO..., 1999), contribuindo ainda para o desenvolvimento tecnológico do setor abastecedor dessa tecnologia.

Do ponto de vista acadêmico, o estudo de implantação de módulos fotovoltaicos em uma embarcação do porte como a da apresentada, traz contribuições relevantes para a disseminação deste conhecimento, de modo que seja possível a reprodução fiel deste trabalho, ou mesmo a aplicação do método apresentado para outros casos similares. E, por sua vez, agrega ainda mais valor a esta instituição (UTFPR), bem como, à comunidade acadêmica em geral.

## 1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O procedimento metodológico do estudo baseou-se na realização dos objetivos estabelecidos anteriormente. Desta forma, foi realizado um trabalho de pesquisa científica aplicada, utilizando, como protocolo, um estudo de caso (MARCONI; LAKATOS, 2001).

Inicialmente, realizou-se um estudo acerca do referencial teórico em livros, artigos, dissertações de mestrado, teses de doutorado, bem como em trabalhos publicados em congressos, periódicos e afins, a respeito da energia solar fotovoltaica e dos sistemas fotovoltaicos e seus componentes.

Em seguida, efetuou-se um levantamento dos dados técnicos relevantes ao estudo, tais como: a área útil disponível para a instalação de módulos fotovoltaicos, as características a respeito da radiação solar incidente na região de operação da embarcação, a composição de seu sistema elétrico e o consumo de energia elétrica dos equipamentos embarcados. Também foi feita a coleta de dados a respeito das principais características de operação da embarcação, tais como: o trajeto realizado, o tempo de travessia, as paradas para embarque e desembarque de passageiros, entre outros dados que, por ventura, poderiam ser oportunos no decorrer do desenvolvimento do estudo. Nesta fase, foram previstas e realizadas duas visitas

técnicas ao local de operação da embarcação para o melhor entendimento do objeto de estudo.

Posteriormente, com base nos dados coletados, deu-se sequência ao estudo a partir da determinação do potencial de geração de energia elétrica fotovoltaica e da quantidade de módulos fotovoltaicos, necessários para suprir a demanda energética da embarcação. Assim, determinou-se, em primeira análise, a viabilidade (positiva ou negativa) de implantação do painel fotovoltaico na embarcação, de modo que se inviável, obter soluções para torná-lo viável.

Na sequência, determinou-se a melhor tensão nominal de geração (dentre duas estipuladas) do painel fotovoltaico e o dimensionamento e especificação dos demais componentes do sistema fotovoltaico, tais como, banco de baterias, inversores CC-CA, conversores CC-CC e controladores de carga.

Por fim, apresentaram-se as considerações finais do estudo, assim como, recomendações para estudos posteriores.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

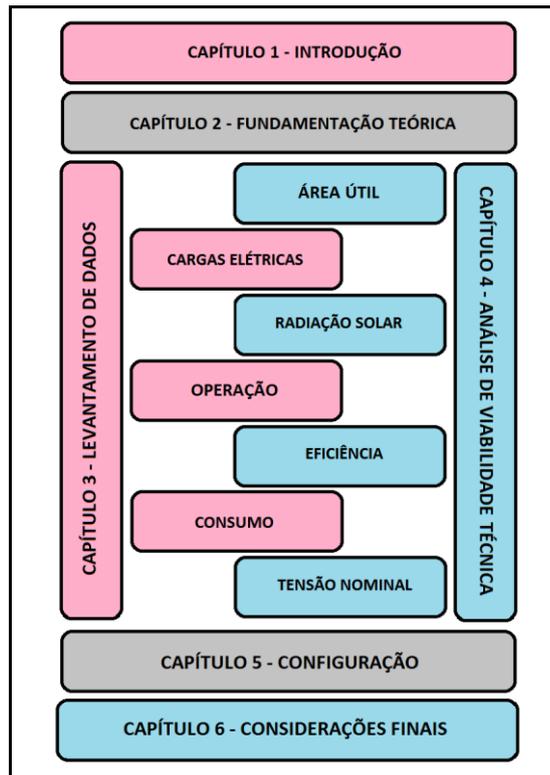
O trabalho proposto é composto por seis capítulos e tópicos subsequentes, conforme exposto na sequência.

O primeiro capítulo refere-se à exposição do tema, delimitação da pesquisa, problema e premissas, objetivo geral e objetivos específicos, justificativa e estrutura do trabalho, necessários para direcionar o desenvolvimento do estudo.

Já o segundo capítulo contempla a fundamentação teórica acerca dos principais aspectos relacionados à energia solar fotovoltaica, os sistemas fotovoltaicos e seus componentes.

Em seguida, no terceiro capítulo são apresentados os dados técnicos que servirão de base para o desenvolvimento dos objetivos estabelecidos anteriormente, tais como, o breve histórico da travessia do Rio Guaíba, a área útil disponível na embarcação, as cargas elétricas a bordo, o tempo e a frequência das travessias, os índices da radiação solar incidente em Porto Alegre, entre outros.

A Figura 3, na sequência, ilustra a composição do trabalho.



**Figura 3 – Estrutura do trabalho proposto**  
**Fonte: Autoria própria.**

Não obstante, no quarto capítulo é conduzida a análise de viabilidade técnica da implantação de um sistema fotovoltaico na embarcação, por meio do dimensionamento e quantificação dos módulos fotovoltaicos. Ainda, faz parte deste capítulo um estudo da melhoria da eficiência energética da embarcação por meio da redução do consumo de energia elétrica.

Em seguida, no quinto capítulo, com base nos dados obtidos pelos dimensionamentos dos painéis, é definido, então, o sistema cuja tensão nominal de geração do painel fotovoltaico seja a mais adequada e, com base nesta escolha, são dimensionados e especificados os demais equipamentos do sistema fotovoltaico.

E, finalmente, no sexto e último capítulo são apresentadas propostas de ações e recomendações para estudo posteriores, bem como as principais conclusões que podem ser compreendidas a partir do trabalho desenvolvido.

Elementos complementares, como as referências bibliográficas utilizadas para o estudo, também fazem parte da estrutura do trabalho, sendo apresentados posteriormente ao sexto capítulo.

## 2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

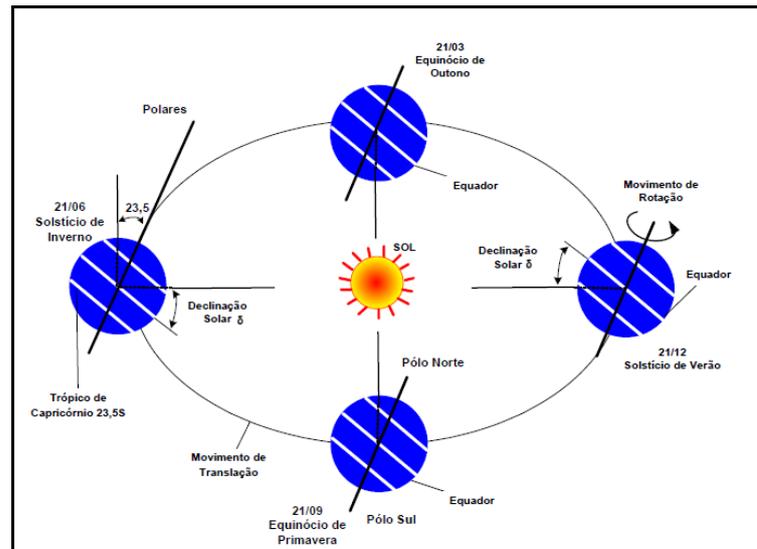
Este capítulo apresenta uma revisão teórica dos aspectos mais relevantes com relação à energia solar fotovoltaica e a geração de energia elétrica a partir da mesma, os quais serão necessários para a correta compreensão do tema acerca dos sistemas fotovoltaicos e de suas aplicações, que neste caso, verifica-se pela análise de implantação de tal sistema em uma embarcação de transporte de passageiros.

A composição do capítulo também é formada pela apresentação das principais características dos dois tipos de sistemas fotovoltaicos autônomos: isolados e híbridos. Assim como do breve detalhamento a respeito dos componentes básicos destes sistemas: módulos fotovoltaicos, baterias, inversores CC-CA, conversores CC-CC e controladores de carga, com foco, principalmente, nas características construtivas e de funcionamento destes componentes. Os aspectos relacionados ao dimensionamento dos componentes básicos serão abordados com maior ênfase no quarto capítulo, quando então, do dimensionamento e especificação dos componentes do sistema fotovoltaico como um todo.

### 2.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Segundo dados disponibilizados pela Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento, ABRAVA (2008), a energia solar, originada da fusão de hidrogênio e hélio, é emitida através do espaço sideral pela radiação solar, e desta forma se propaga devido ao princípio das ondas eletromagnéticas, incidindo na superfície terrestre. Sendo a irradiação solar a energia que engloba a radiação proveniente diretamente do Sol acrescida da radiação difundida pelos gases da atmosfera; assim como a insolação, a quantidade de horas de brilho solar diário em uma determinada região.

Muitos fenômenos influenciam na quantidade de radiação solar incidente sobre a Terra, como por exemplo, a variação da posição do planeta em relação ao Sol ao longo de um ano, resultando nas variações de estações do ano, conforme ilustrado na Figura 4 a seguir.

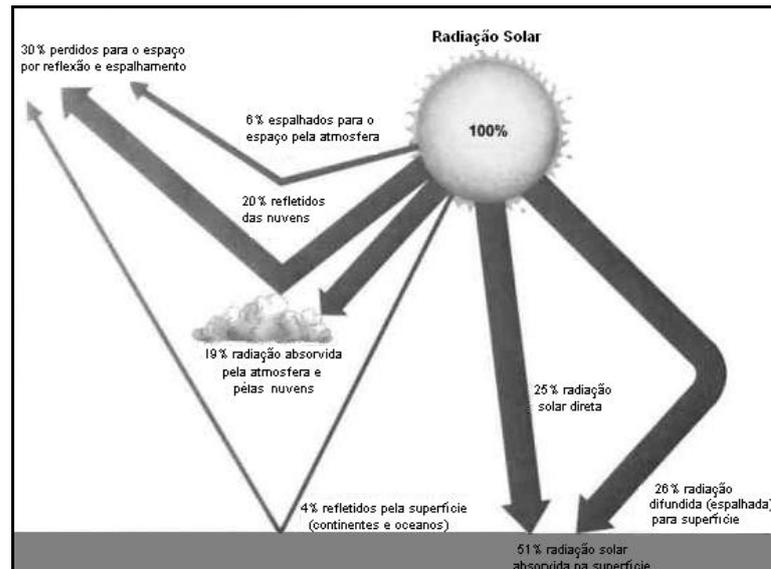


**Figura 4 – Movimento de translação da Terra e as estações do ano**  
**Fonte: FRAGA, 2009.**

De acordo com ABRAVA (2008), as estações do ano influenciam de forma significativa o nível de radiação solar. A Terra descreve uma órbita elíptica em torno do Sol conhecida como translação durante o período de um ano, com seu eixo polar Norte-Sul geográfico inclinado de  $23,5^\circ$  em relação ao plano de sua órbita, resultando em dias mais longos durante o verão e mais curtos durante o inverno, o que causa influência direta nos índices de radiação solar e insolação de uma determinada região (ABRAVA, 2008).

Segundo Vera (2009), da mesma forma que o ângulo de incidência da radiação solar na terra pode variar de acordo com a posição geográfica (latitude e longitude), outros fenômenos também estão relacionados com perdas de energia que ocorrem no caminho dos raios solares ao passarem pela atmosfera terrestre, como exemplos, a camada de ozônio, as nuvens e os vapores d'água.

Nestes casos, a radiação que incide na atmosfera e é refletida novamente para o espaço, o que corresponde a aproximadamente 30% da energia total incidida (GRIMM, 2011). Há também, uma parcela em torno de 19% da radiação que é absorvida ao incidir sobre os gases atmosféricos, sendo esta radiação, transformada em calor. Razão pela qual os gases presentes na atmosfera têm fundamental importância no aquecimento global (Idem, 2011).



**Figura 5 – Formas de incidência da radiação solar na atmosfera terrestre**

Fonte: GRIMM, 2011.

A ABRAVA (2008) categoriza a irradiação que atravessa a atmosfera incidente nos coletores solares basicamente em dois tipos. A radiação solar direta (aproximadamente 25% da radiação total), chegando à superfície terrestre após passar diretamente pela atmosfera, sem sofrer quaisquer desvios e a radiação difusa (aproximadamente 26%), composta pela parte da radiação desviada ou refletida, seja por elementos da própria atmosfera ou mesmo pela vegetação e construções civis, conforme ilustrado acima, na

Figura 5.

De acordo com Vera (2009), a radiação solar incidente ao longo da superfície terrestre pode ser convertida em energia elétrica. Contudo, são necessários dados estatísticos, extraídos por meio de medições experimentais realizadas para um longo período de tempo, dos índices da radiação solar incidente em uma determinada região do planeta, para que seja possível avaliar a melhor forma de conversão dessa energia. Estes dados são analisados e posteriormente publicados em bancos de dados a nível regional, nacional ou até mesmo internacional.

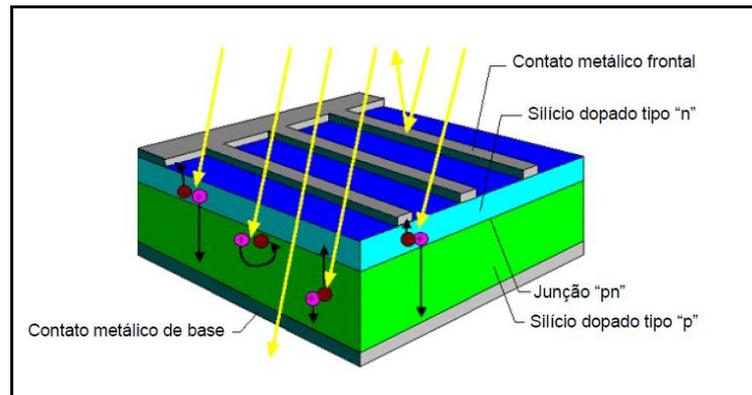
Em razão do exposto, o presente estudo considerará, para efeito de cálculos de dimensionamentos e especificações de equipamentos, os índices de radiação solar da região de Porto Alegre – RS, coletados a partir do banco de dados solar *SunData*, do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB), conforme melhor detalhado no Capítulo 3 deste trabalho.

O efeito de conversão da radiação solar em energia elétrica decorre da excitação dos elétrons de materiais semicondutores, particularmente o Silício, na presença de fótons. De acordo com o “Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos”, publicado pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), em conjunto com o CRESESB (2004), esses semicondutores possuem uma banda de valência preenchida por elétrons e uma banda de condução sem elétrons, em baixa temperatura. Esta característica é fundamental para que haja a conversão de energia, pois com o aumento da temperatura, a condutividade do material semicondutor se eleva devido à excitação térmica da banda de valência para a banda de condução.

Ainda, em CEPEL/CRESESB (2004) é afirmado que um semicondutor no estado puro, não é um bom condutor elétrico, já que o silício puro não possui elétrons livres. Por isso, dopa-se a rede cristalina do silício com porcentagens de átomos, que ligados ao semicondutor farão com que elétrons em excesso estejam fracamente ligados ao átomo de origem. Desta forma, necessita-se somente de uma pequena quantidade de energia térmica para desprendê-lo do átomo original, passando assim, o elétron da camada de valência para a banda de condução. O fósforo é o elemento utilizado com este papel de doar elétrons à rede cristalina. Por esta razão é denominado de “dopante N ou impureza N” (CENTRO..., 2004, p.31) ou mesmo “silício tipo N” (NASCIMENTO, 2004, p.12).

Outro átomo, o Boro, ao invés de doar elétrons para essa rede cristalina de silício, ele recebe os elétrons excitados, devido ao fato de possuir falta ou déficit de elétrons ou “material com cargas positivas livres” (NASCIMENTO, 2004, p.12) em seu átomo. Esta característica é denominada de lacuna ou buraco. Fato este que, ao ser utilizado na dopagem, apenas uma pequena quantidade de energia térmica será necessária para atrair o elétron para seu átomo, e com isso, deslocando-se a posição da lacuna. Este dopante é denominado de “aceitador de elétrons ou dopante P” (CENTRO..., 2004, p.31), ou ainda denominado de “silício tipo P” (NASCIMENTO, 2004, p.12).

Ao inserir em uma rede de silício inicialmente pura, uma camada fina com porcentagens de átomos de fósforo e em uma camada mais espessa, porcentagens de átomos de boro, forma-se a junção P-N, conforme a Figura 6 na sequência.



**Figura 6 – Célula fotovoltaica de silício cristalino**  
**Fonte: SEGUEL, 2009.**

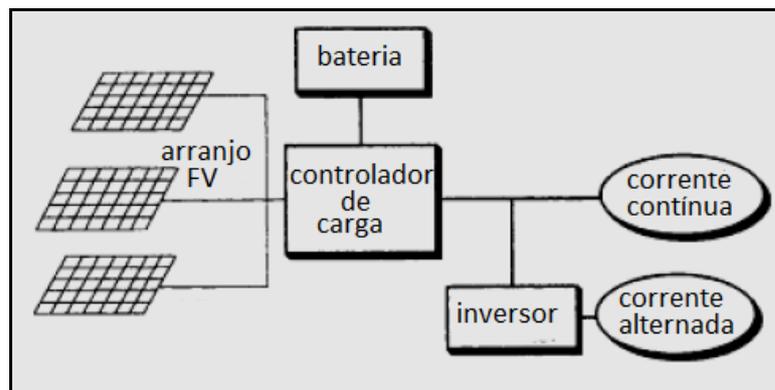
Esta junção, segundo Nascimento (2004), é responsável por originar um campo elétrico, já que os elétrons livres do silício tipo N ocupam as lacunas do silício tipo P. Se a junção P-N for exposta a fótons, ocorrerá então a geração de pares elétron-lacuna, transformando-os em condutores. Devido ao campo elétrico gerado pela junção, os elétrons fluem da camada P para a camada N. Inserindo-se condutores na camada N e na camada P e após isso fazendo a ligação de ambos, haverá condução de corrente elétrica enquanto houver fótons incidindo nos semicondutores (NASCIMENTO, 2004).

De acordo com Vera (2009), uma única célula fotovoltaica é capaz de produzir até 3 *Watts* de potência com tensão de aproximadamente 0,5 *Volts*. Para aumentar a capacidade de geração de energia elétrica, as células são interligadas formando um módulo ou mesmo um conjunto de módulos (ou painel) fotovoltaico. Ao ligar esses módulos em série, é possível aumentar a tensão disponibilizada no sistema, e em paralelo, aumentar a potência. Ao utilizar-se de células agrupadas em módulos para a geração de energia elétrica fotovoltaica, faz-se o uso de outros equipamentos conectados a estes, necessários para a correta captação, armazenamento, conversão e distribuição desta energia, resultando no que se denomina de sistema fotovoltaico, melhor exposto no tópico seguinte.

## 2.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Para Santos (2008), os sistemas fotovoltaicos compreendem o conjunto dos equipamentos necessários para transformar a radiação solar em energia elétrica, de forma adequada ao uso do consumidor, de acordo com os índices de radiação solar incidentes e das características das cargas alimentadas pelo sistema.

A energia elétrica produzida pelas células fotovoltaicas possui características específicas. Desta forma, os módulos fotovoltaicos são capazes de gerar energia elétrica apenas em corrente contínua, CC. Portanto, são necessários alguns equipamentos complementares aos módulos fotovoltaicos, para o correto uso da energia elétrica gerada, de acordo com as características das cargas alimentadas pelo sistema, tais como: inversores de corrente CC-CA, baterias e controladores de carga, conforme ilustrado na Figura 7.



**Figura 7 – Componentes básicos de um sistema fotovoltaico isolado**

**Fonte: BECKER et al, 2009.**

Segundo o CEPEL/CRESESB (2004), existem duas classificações de Sistemas Fotovoltaicos: Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica e Sistemas Fotovoltaicos Autônomos, sendo o último dividido em dois outros tipos: Sistemas Fotovoltaicos Híbridos e Sistemas Fotovoltaicos Isolados.

Neste trabalho, serão considerados os Sistemas Autônomos, como de maior relevância para o desenvolvimento do estudo, devido às características do local de implantação proposto; em uma embarcação, com sistema elétrico próprio e isolado.

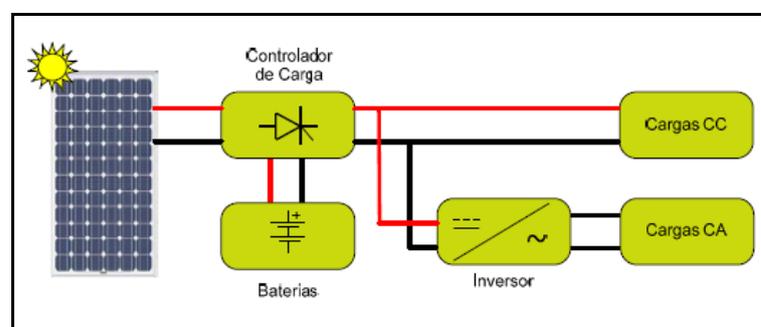
A publicação “Energia Fotovoltaica, manual sobre tecnologias, projeto e instalação”, do Instituto Superior Técnico de Portugal, IST (2004), afirma que implantações de sistemas autônomos foram uma das primeiras experiências de operação da tecnologia fotovoltaica. A implantação deste tipo de sistema é observada onde o fornecimento de energia através da rede pública de distribuição de energia elétrica, não se justifica por razões técnicas e/ou econômicas. Nestes casos, os sistemas fotovoltaicos autônomos podem constituir alternativas com uma vertente técnica, econômica, social e ambiental de elevado interesse. (IST, 2004).

A publicação afirma ainda que este cenário vem de encontro ao grande potencial para a implantação de sistemas autônomos nos países em vias de desenvolvimento, onde se encontram grandes áreas que permanecem sem fornecimento de energia elétrica. Bem como, comenta que as sucessivas evoluções tecnológicas e a diminuição dos custos de produção nos países industrializados, poderão contribuir para a generalização deste tipo de aplicação.

De acordo com o apresentado por CEPEL/CRESESB (2004), os sistemas autônomos podem ou não apresentar fontes de energia complementares à geração fotovoltaica, tais como turbinas eólicas e geração à diesel, como exemplos. Nestes casos, tem-se um sistema fotovoltaico híbrido. Já, se o sistema é puramente fotovoltaico, então ele é chamado de sistema fotovoltaico isolado.

### 2.2.1 Sistemas Fotovoltaicos Isolados

Segundo Seguel (2009), os sistemas fotovoltaicos isolados caracterizam-se por possuir como fonte primária apenas a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos. Assim, precisa-se de um sistema de armazenamento da energia captada pelos módulos fotovoltaicos, geralmente uma ou mais baterias, para garantir o fornecimento de energia durante a noite ou em períodos com baixa incidência solar. Em geral um sistema de energia fotovoltaico isolado é composto basicamente por um conjunto de módulos fotovoltaicos, um controlador de carga, uma ou mais baterias e, no caso de existirem cargas que operam com tensão em corrente alternada, CA, um inversor CC-CA, conforme exposto na Figura 8 a seguir.



**Figura 8 – Arranjo de um sistema fotovoltaico isolado**  
**Fonte: FRAGA, 2009.**

Não obstante, independente do tipo de carga, um sistema isolado exige maximização no aproveitamento da energia solar e armazenamento da energia

elétrica para que sua implantação seja viável tanto tecnicamente como economicamente. A baixa eficiência de conversão dos módulos fotovoltaicos comerciais e o alto custo de instalação, atualmente, são os maiores obstáculos deste tipo de geração de energia (SEGUEL, 2009).

De acordo com Seguel (2009), existem tecnologias que visam aumentar a eficiência do sistema, capazes de reduzir os custos da energia gerada, bem como, garantir que o sistema opere o maior tempo possível sobre o ponto de máxima potência dos módulos fotovoltaicos. Uma destas tecnologias, o *Maximum Power Point Tracker (MPPT)*, ou em tradução livre, Seguidor do Ponto de Máxima Potência, será apresentado com maior riqueza de detalhes no tópico 2.3.

### 2.2.2 Sistemas Fotovoltaicos Híbridos

Para Câmara (2011), os sistemas híbridos são aqueles que desconectados da rede convencional, apresentam várias fontes de geração de energia tais como: turbinas eólicas, geração a diesel, módulos fotovoltaicos, entre outras, conforme ilustrado na Figura 9, a seguir.

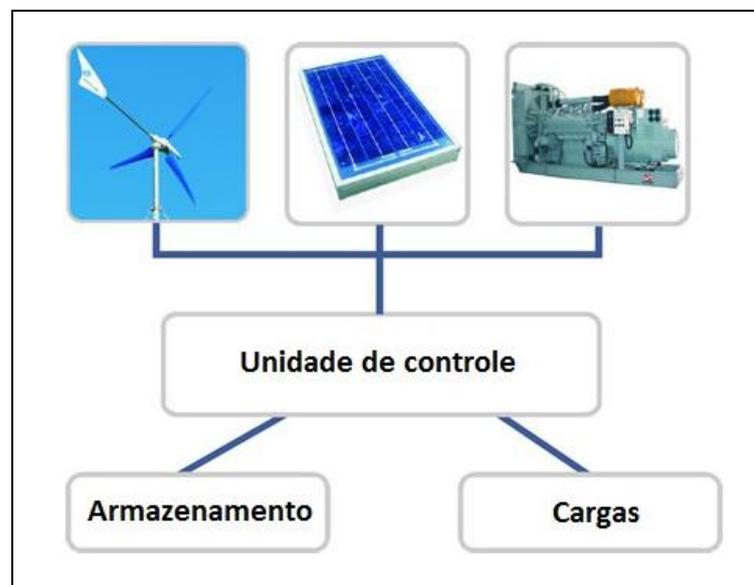


Figura 9 – Arranjo de um sistema fotovoltaico híbrido  
Fonte: CRESESB, 2011.

Contudo, uma vez apresentados os dois tipos de sistemas fotovoltaicos, previamente, delinea-se que o sistema fotovoltaico cuja implantação será estudada,

seja caracterizado como do tipo isolado, e que será mais bem explorado posteriormente, no desenvolvimento deste estudo.

Assim, prevê-se que o sistema fotovoltaico, além de um componente para o armazenamento de energia, possua também, uma unidade de controle de carga, e um inversor de corrente CC-CA, assim como, um conversor CC-CC, se o estudo apontar necessário.

Embora seja previsto que o sistema fotovoltaico atue somente como um sistema auxiliar de geração de energia elétrica, alimentando alguma parcela dos aparatos elétricos embarcados, conforme melhor explorado nos capítulos posteriores, espera-se que, ainda assim, a contribuição com a redução de emissão de gases do efeito estufa e o fomento a esta tecnologia de geração de energia limpa sejam alguns dos benefícios trazidos pela adoção deste tipo de sistema.

## 2.3 PRINCIPAIS COMPONENTES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

Este tópico apresenta as principais características construtivas e funcionais dos componentes básicos de um sistema fotovoltaico: módulos fotovoltaicos, inversores CC-CA, baterias e controladores de carga. Além de uma breve revisão a respeito de conversores CC-CC e a técnica de MPPT.

### 2.3.1 Módulos Fotovoltaicos

De acordo com o definido por CEPEL/CRESESB (2004), o conjunto de módulos ou painel fotovoltaico é a unidade básica de todo sistema fotovoltaico. Este componente é composto por células conectadas em arranjos, produzindo tensão e corrente elétrica suficientes para a utilização da energia.

Conforme Seguel (2009) é indispensável o agrupamento das células em módulos uma vez que uma célula forneça pouca energia elétrica, em uma tensão em torno de 0,5 *Volts* no ponto de máxima potência. O número de células conectadas em um módulo, que pode ser em série e/ou paralelo, depende da tensão e da corrente elétrica desejada.

Normalmente, um módulo fotovoltaico padrão é constituído por aproximadamente 36 células ligadas em série, resultando em uma tensão suficiente para alimentar uma bateria de 12 *Volts* (SEGUEL, 2009).

A afirmação de Seguel (2009) corresponde ao apresentado na publicação do IST (2004), onde consta que nas primeiras aplicações de sistemas fotovoltaicos, os acumuladores convencionais (baterias) operavam com uma tensão de 12 *Volts* carregados diretamente pelos módulos. Por esta razão escolheu-se inicialmente uma tensão próxima de 17 *Volts* para os módulos fotovoltaicos, pois assim, era garantida uma carga ótima no acumulador.

Este nível de tensão era conseguido com a ligação em série de 36 a 40 células fotovoltaicas. Uma vez que nessa época, o mercado fotovoltaico se concentrava na produção exclusiva destes módulos, acabaram por ficar conhecidos como módulos *standard*.

De forma análoga à conexão das células, o “Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos”, define que a conexão em série dos módulos fotovoltaicos é feita de um terminal positivo de um módulo a um terminal negativo de outro, e assim por diante. Quando a ligação é feita em série, as tensões são adicionadas e a corrente não é afetada. Já os módulos fotovoltaicos conectados em paralelo compreendem ligações dos terminais positivos agrupados e terminais negativos agrupados, resultando na adição das correntes enquanto que a tensão contínua permanece constante. Um exemplo da hierarquia de célula, módulo e conjunto de módulos ou painel fotovoltaico, é ilustrado na Figura 10, exibida na sequência.

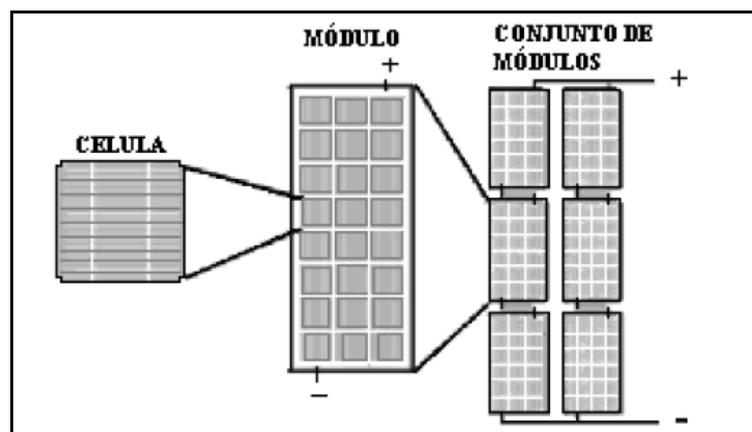


Figura 10 – Conjunto de módulos fotovoltaicos  
Fonte: BECKER et al, 2009.

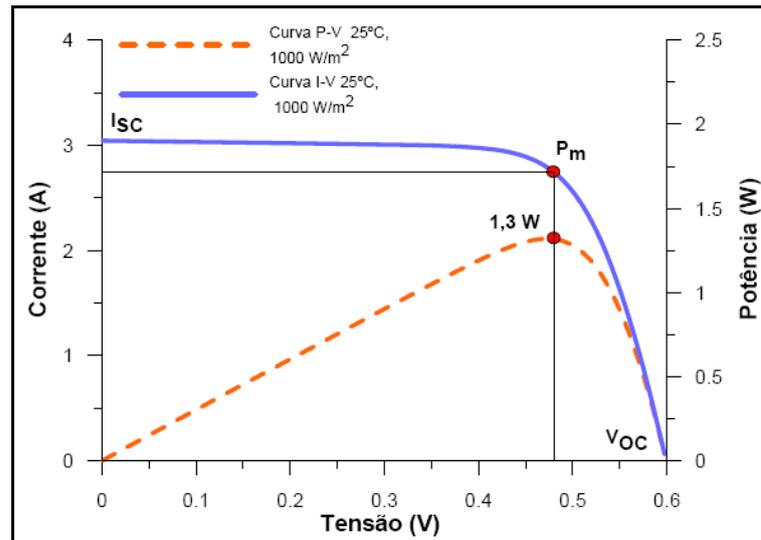
De acordo com Seguel (2009), os fabricantes fornecem as especificações dos principais parâmetros de um módulo fotovoltaico considerando as condições padrões de teste definida pela norma IEC 61215 (norma da Comissão Internacional Electrotécnica que especifica procedimentos de testes para a certificação da

qualidade de módulos fotovoltaicos),  $1000 \text{ W/m}^2$  de potência luminosa incidente total e temperatura das células de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Ainda, os principais parâmetros são:

- Potência de pico: expressa a potência dos módulos e é dada pela unidade (Wp);
- Ponto de Máxima Potência: Para cada ponto na curva  $I \times V$ , o produto corrente versus tensão representa a potência gerada para àquela condição de operação. Em um módulo fotovoltaico, para uma dada condição climática, só existe um ponto na curva  $I \times V$  onde a potência máxima pode ser alcançada. Este ponto corresponde ao produto da tensão de potência máxima e corrente de potência máxima;
- Tensão de máxima potência: corresponde à tensão no ponto de máxima potência;
- Corrente de máxima potência: corresponde à corrente no ponto de máxima potência.

Quando um módulo é conectado ao sistema, as medidas de corrente e tensão podem ser plotadas em um gráfico. De acordo com as mudanças de condições da carga, novos valores de corrente e tensão são medidos, os quais podem ser representados. Ao juntar todos os pontos, gera-se uma linha denominada curva característica  $I \times V$ . Normalmente estas curvas estão associadas às condições em que foram obtidas, como a intensidade da radiação solar e temperatura (CEPEL/CRESESB, 2004).

Assim, de forma análoga a uma célula fotovoltaica, para a determinação do desempenho de um módulo fotovoltaico, deve-se considerar a curva característica da corrente versus tensão ( $I \times V$ ), como exemplificado no Gráfico 1 a seguir.



**Gráfico 1 – Curva característica da corrente versus tensão (linha azul) e de potência (linha alaranjada). Na condição padrão de radiação solar de 1000 W/m<sup>2</sup>, temperatura de célula 25 °C**

Fonte: VERA, 2009.

A curva IxV, representa a potência gerada pela célula para uma determinada condição de operação (1.000 W/m<sup>2</sup> de radiação e temperatura a 25°C), indicando também, que só há uma tensão (e corrente correspondente) para o qual a potência será máxima (CENTRO..., 2004).

Em contraste com outras tecnologias, os sistemas fotovoltaicos raramente operam em condições nominais de funcionamento. O desempenho e as curvas características dos módulos fotovoltaicos dependem, principalmente, da temperatura das células e da intensidade da radiação solar incidente. A intensidade da corrente que atravessa o módulo é praticamente proporcional à variação da radiação ao longo do dia (IST, 2004). Contudo, segundo dados da publicação “Energia Fotovoltaica, manual sobre tecnologias, projeto e instalação”, a tensão no ponto máximo permanece relativamente constante com as variações da radiação solar.

No Gráfico 2 a seguir, pode-se observar que, para um módulo fotovoltaico, a alteração da tensão no ponto máximo produzida pelas variações da radiação solar é pequena, ao passo que a corrente diminui conforme o nível da radiação.

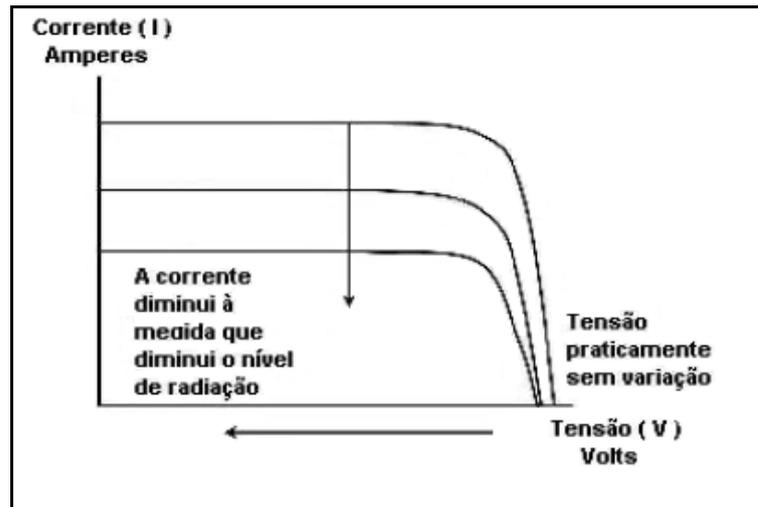


Gráfico 2 – Curva IxV de um módulo fotovoltaico com temperatura constante

Fonte: SOLARTERRA, 2012.

Não obstante, conforme dados do Instituto Superior Técnico, ou IST (2004), a tensão dos módulos fotovoltaicos é principalmente afetada pela temperatura da célula. As variações da tensão do módulo determinam a tensão do sistema e, conseqüentemente, têm uma forte influência na concepção do sistema fotovoltaico. Quando se encontram vários módulos ligados em série, por exemplo, esta condição poderá causar um aumento no nível da tensão que ultrapasse a tensão máxima permitida para outros dispositivos do sistema. O Gráfico 3, a seguir, exemplifica esta situação.

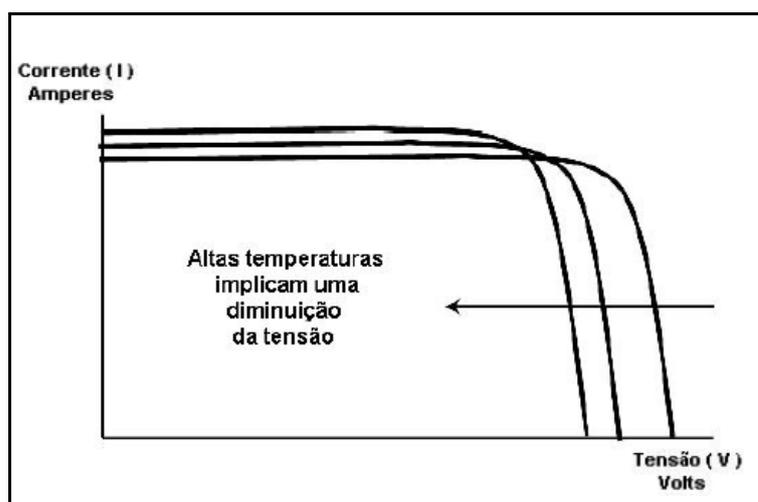


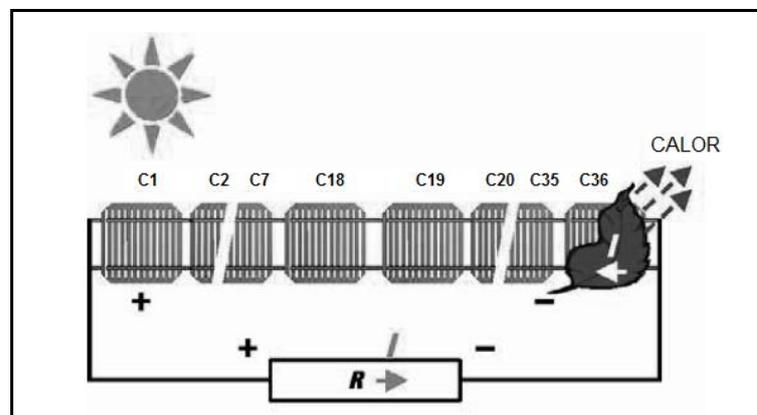
Gráfico 3 – Curva IxV de um módulo fotovoltaico com radiação constante

Fonte: SOLARTERRA, 2012.

As variações de temperatura não têm um efeito significativo na corrente, verificando-se apenas um ligeiro aumento com o aumento da temperatura. Já a redução da potência útil do módulo fotovoltaico em função de altas temperaturas, pode se elevar a níveis bastante altos, em comparação com as condições nominais. De forma a minimizar esta perda de potência, os módulos fotovoltaicos devem ter a capacidade de dissipar este excesso de calor para o exterior.

Outro fator relativo à elevação de temperatura, e que dependendo do grau de aquecimento poderia vir a danificar o módulo, se dá pelo motivo dos chamados “pontos quentes”, os quais são originados devido a “sombreamentos” que ocorrem nas células solares (IST, 2004).

Segundo o instituto (IST), o sombreamento pode ocorrer quando uma ou várias células solares estiverem sombreadas ou completamente cobertas, devido à localização do painel fotovoltaico relativo a possíveis obstáculos em relação aos raios solares. Quando isto acontece, a célula se torna inversamente polarizada, desta forma, atuando como uma carga, gerando calor, como mostrado pela Figura 11 a seguir.

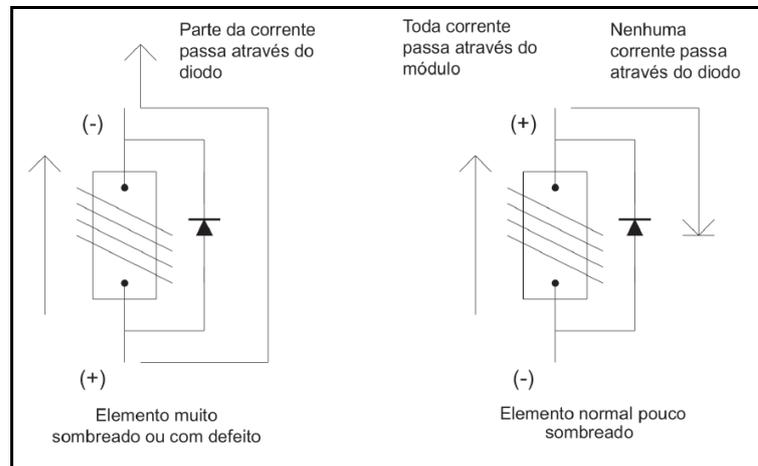


**Figura 11 - Módulo solar com uma célula sombreada**  
**Fonte: IST, 2004.**

Nota-se na figura anterior que a célula solar, denominada “C36”, está completamente bloqueada devido a uma folha, com isso, transformando essa célula em um ponto quente, sendo a corrente de curto-circuito a maior corrente que poderia passar pela célula sem danificá-la.

No entanto, para prevenir a ocorrência desses pontos quentes, são utilizados diodos de passo ou *by-pass*, o qual tem a função de servir de caminho

alternativo à corrente para o elemento sombreado ou mesmo defeituoso, como apresentado na Figura 12.



**Figura 12 – Operação de um diodo de passo**  
**Fonte: CENTRO..., 2004.**

Entretanto, segundo CEPEL/CRESESB (2004), não se faz necessário o dimensionamento desses dispositivos, pelo motivo de os fabricantes de módulos já incluírem esses diodos de proteção na estrutura dos mesmos.

### 2.3.2 Inversores CC-CA

O CEPEL/CRESESB (2004) define o inversor como o componente responsável pela conversão da corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), mais genericamente. Em algumas referências este equipamento é descrito ainda, como conversor CC-CA.

Segundo a publicação, existem dois tipos de inversores: estáticos e os eletromecânicos, sendo que apenas o primeiro é habitualmente utilizado em sistemas fotovoltaicos. Conversores eletromecânicos são menos eficientes do que os inversores estáticos para a mesma potência de saída e, por possuírem partes móveis, necessitam de manutenção periódica. Por esta razão, apenas o inversor estático (eletrônico) será estudado como componente do sistema fotovoltaico a ser analisado. Na Figura 13, para fins de exemplificação, é apresentado um inversor eletrônico  $24 V_{CC} / 220 V_{CA}$ , da fabricante Hayonik.



**Figura 13 – Inversor eletrônico, modelo 34197,  
da fabricante Hayonik  
Fonte: HAYONIK, 2012.**

Logo, a partir deste ponto, quando o texto se referir a um inversor CC-CA, entende-se por um inversor eletrônico estático, de corrente elétrica contínua para corrente elétrica alternada.

Ainda segundo o CEPEL/CRESESB (2004), o inversor utiliza dispositivos semicondutores que chaveiam a entrada CC, produzindo uma saída CA de frequência determinada, sendo que inversores monofásicos são geralmente adequados para aplicações de baixa potência, até 5 kWp, onde de 5 kWp os inversores trifásicos são mais comuns.

De acordo com dados da publicação do IST (2004), os atuais inversores fotovoltaicos são capazes de realizar as seguintes funções:

- Conversão da corrente CC gerada pelo gerador fotovoltaico em corrente CA;
- Ajuste do ponto operacional do inversor à tensão do módulo fotovoltaico;
- Registro de dados operacionais e sinalização;
- Dispositivos de proteção CA e CC (por exemplo: proteção contra sobrecargas e sobretensões).

Os inversores comumente operam com tensões de entrada de 12, 24 e 48  $V_{CC}$ , que geralmente são convertidos em 120 ou 240  $V_{CA}$ , na frequência de 60 ou 50 *Hertz*. Para especificar um inversor, é necessário considerar tanto a tensão de entrada CC quanto a tensão de saída CA. Além disso, todas as exigências que a carga fará ao inversor devem ser observadas, não somente em relação à potência, mas também em relação à variação de tensão, frequência e forma de onda.

Algumas características que devem ser consideradas na especificação de um inversor, de acordo como o CEPEL/CRESESB (2004). As principais são apresentadas a seguir:

i) Eficiência na conversão de potência: é a relação entre a potência de saída e a potência de entrada do inversor. Deve-se prever um inversor visando alcançar eficiência superior a 90%;

ii) Tensão de entrada: a tensão de entrada CC pode ser fornecida por baterias, devendo ser compatível com os requisitos de entrada do inversor. Se a bateria descarrega e a tensão diminui abaixo da tensão mínima especificada, a maioria dos inversores desliga-se automaticamente.

iii) Tensão de saída: a tensão de saída da maioria dos inversores é regulada. Ela deve atender às especificações necessárias para alimentar as cargas que serão operadas.

iv) Registro de dados operacionais: a maioria dos fabricantes oferece funções de aquisição e de registro de dados, integrados nos próprios dispositivos ou fornecidos em separado. Os dados podem ser lidos através de painéis de visualização. O registro de dados cobre, geralmente, os valores de tensão e corrente, de entrada e saída, e tempo de operação.

### 2.3.3 Baterias

Segundo Vera (2009), a função das baterias nos sistemas fotovoltaicos é armazenar a energia produzida pelo gerador fotovoltaico e entregá-la à carga quando a geração for nula, como à noite, ou insuficiente, como em períodos de baixa incidência solar. Os requisitos mais importantes que as baterias devem possuir e que são utilizados como parâmetros de avaliação, são os seguintes:

- Baixo custo;
- Alta eficiência energética;
- Baixa autodescarga;
- Longo tempo de vida;
- Baixa manutenção.

As baterias podem ser classificadas em recarregáveis e não recarregáveis (CEPEL/CRESESB, 2004). Prevê-se para o sistema fotovoltaico da embarcação,

cuja implantação será analisada posteriormente no Capítulo 4, a utilização de baterias recarregáveis.

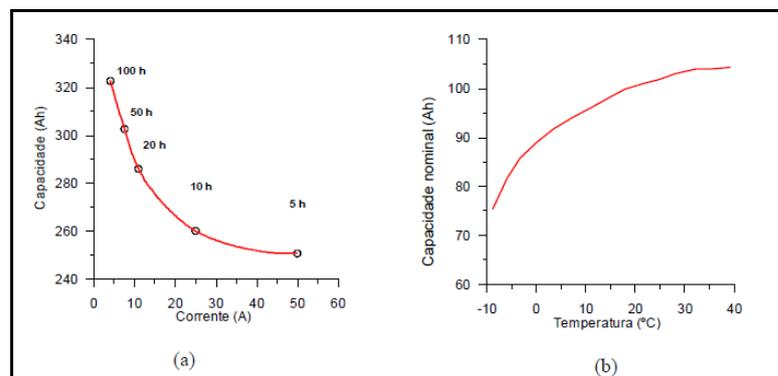
A seguir são apresentados os principais termos relativos às baterias, de acordo com o “Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos”, publicado pelo CEPEL/CRESESB (2004).

i) Ciclo: é a sequencia carga-descarga de uma bateria até uma determinada profundidade de descarga.

ii) Descarga: processo de retirada de corrente de uma bateria através da conversão de potencial eletroquímico em energia elétrica. Analogamente, o processo de autodescarga é quando ocorre, de forma espontânea, a descarga gradual de uma bateria quando esta não está em uso.

iii) Profundidade de Descarga: a profundidade de descarga indica, em termos percentuais, quanto da capacidade nominal da bateria foi retirado a partir do estado de plena carga. Por exemplo, a remoção de 25 Ah de uma bateria de capacidade nominal de 100 Ah resulta em uma profundidade de descarga de 25 %.

iv) Temperatura de operação: as baterias são projetadas para trabalharem a 25 °C. Assim, temperaturas mais baixas reduzem significativamente sua capacidade, enquanto que as temperaturas mais altas resultam em uma capacidade ligeiramente maior, acarretando, contudo, no aumento da perda de água e diminuição do número de ciclos, durante a vida útil da bateria. O Gráfico 4 a seguir, ilustra o discurso exposto.

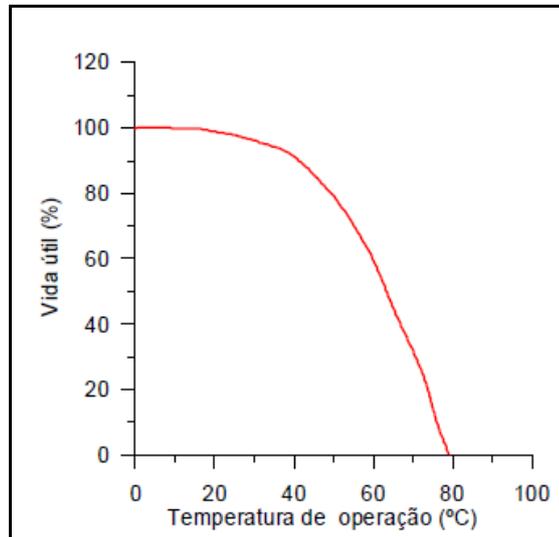


**Gráfico 4 – Comportamento da capacidade da bateria com: (a) variação de corrente e (b) variação de temperatura**

**Fonte: OLIVEIRA, 1997 apud VERA, 2009.**

v) Vida útil: é o período de tempo ou número de ciclos que a bateria pode suportar antes de apresentar falhas. Os fatores que podem influenciar na vida útil de

uma bateria são: a temperatura de operação, a profundidade de descarga e o período de ociosidade do equipamento. No Gráfico 5 a seguir é apresentada a relação entre a vida útil de uma bateria chumbo-ácida com relação a temperatura de operação.



**Gráfico 5 – Variação do tempo de vida útil da bateria em relação à temperatura de operação**

**Fonte: ARAÚJO et al., 1985 apud VERA, 2009.**

Conforme descrito anteriormente, as baterias recarregáveis são aquelas que apresentam uma constituição química que permite reações reversíveis. Com o auxílio de uma fonte externa, pode-se recuperar a composição química inicial e deixá-la pronta para um novo ciclo de operação. De acordo com a publicação do CEPEL/CRESESB (2004), elas podem ser classificadas como: de tração ou estacionárias. Estas últimas são projetadas para ciclos diários rasos com taxas de descarga reduzidas e devem suportar descargas profundas esporádicas devido a possível ausência de geração, como em dias nublados. Sendo então, as mais indicadas para a aplicação em sistemas fotovoltaicos, as baterias estacionárias.



**Figura 14 – Bateria Náutica, modelo 12MB220,  
da fabricante Moura  
Fonte: MOURA, 2011.**

A Figura 14 apresentada anteriormente exemplifica uma bateria estacionária de 12 V / 220 Ah, da fabricante Moura, especificamente empregada em sistemas elétricos náuticos.

Não obstante, segundo CEPEL/CRESESB (2004), atualmente em sistemas fotovoltaicos são utilizados dois principais tipos de baterias recarregáveis estacionárias: chumbo-ácido e níquel-cádmio.

#### 2.3.3.1 Baterias de chumbo-ácido

Fraga (2009) define as baterias de chumbo-ácido como sendo o elemento de armazenamento de energia amplamente utilizado em sistemas fotovoltaicos isolados. As baterias têm uma aceitável característica de desempenho e de custo de ciclo de vida nos sistemas fotovoltaicos.

Segundo o autor, as baterias de chumbo-ácido são formadas por duas placas, positiva e negativa, imersas em uma solução diluída de ácido sulfúrico. A placa positiva, ou cátodo, é feita de dióxido de chumbo ( $PbO_2$ ). A placa negativa, ou ânodo, é feita de chumbo (Pb). Quando no modo de carga, a corrente da bateria flui para a bateria pelo terminal positivo. Em contrapartida, o contrário ocorre no modo de descarga, ou seja, a corrente flui para fora do terminal positivo e a tensão da bateria diminui, assim como a carga da bateria diminui enquanto estiver alimentando uma carga.

O “Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos” destaca dois contrapontos a respeito das baterias chumbo-ácido.

i) Efeito da temperatura: quando a temperatura aumenta, a capacidade total também aumenta. Isto é claramente uma vantagem, porém acarreta alguns inconvenientes tais como o aumento da taxa de autodescarga: valor de corrente durante o processo de descarga de uma bateria, a redução do ciclo de vida e a sulfatação acelerada em baterias que não estão totalmente carregadas.

ii) Sulfatação: é a formação de cristais de sulfato de chumbo nas placas das células. No início do processo, existem muitos espaços em volta de cada pequeno cristal de sulfato de chumbo por onde o eletrólito pode ainda alcançar os materiais ativos (dióxido de chumbo e chumbo). Entretanto, gradualmente os pequenos cristais de sulfato de chumbo juntam-se e recristalizam-se para formar cristais maiores. Este fenômeno constitui-se em problema já que os cristais maiores não são decompostos durante a recarga da bateria.

A melhor maneira de evitar a sulfatação é carregar a célula regularmente para que todo o sulfato de chumbo seja convertido. Para aplicações em ciclos profundos, os fabricantes recomendam que as baterias sejam recarregadas imediatamente após cada descarga profunda. Isto não é possível em sistemas fotovoltaicos, quando a descarga profunda é resultante do tempo nublado. Neste caso, se faz necessário reduzir o uso de eletricidade por vários dias ou, então, recarregar as baterias por intermédio de outras fontes (CEPEL/CRESESB, 2004).

#### 2.3.3.2 Baterias de níquel-cádmio

Segundo dados do “Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos” as baterias níquel-cádmio têm estrutura física similar às de chumbo-ácido. Só que ao invés de placas de chumbo, utilizam-se hidróxido de níquel para as placas positivas e óxido de cádmio para as placas negativas. O eletrólito é o hidróxido de potássio, tão prejudicial quanto o ácido sulfúrico das células chumbo-ácido.

As baterias de níquel-cádmio são menos afetadas por sobrecargas, podem ser totalmente descarregadas, não estão sujeitas à sulfatação e seu carregamento não sofre influência da temperatura. Embora o custo inicial destas baterias seja mais alto do que as de chumbo-ácido, visto que o metal cádmio é raro, tóxico e, portanto, difícil de manusear e a construção das suas placas é mais complicada, seus baixos custos de manutenção e vida mais longa fazem com que estas sejam a escolha

mais adequada para muitas instalações fotovoltaicas, desde que o sistema esteja situado em local remoto e perigoso.

Quando seus custos são comparados em função da sua capacidade disponível durante seu ciclo de vida, as baterias níquel-cádmio podem ser mais baratas. Outra diferença para as células chumbo-ácido é que as células de níquel-cádmio podem sofrer ciclos profundos e ser deixadas descarregadas, sem causar qualquer prejuízo às placas.

Uma desvantagem das células níquel-cádmio quando comparadas com as chumbo-ácido é que os meios de medição do estado de carga não são simples. Isto se deve ao fato de existir muita pouca variação da tensão e do peso específico do eletrólito, durante a descarga. Desta forma, não há possibilidade de indicação do momento em que a bateria encontra-se completamente descarregada, o que é um inconveniente para os usuários. Uma solução é usar uma unidade de controle sofisticada que revela a carga em Ampères-hora, calculando-a automaticamente, através de medições contínuas do fluxo de corrente. Outra solução seria ainda, ter uma bateria reserva completamente carregada, mantida em *stand-by*.

Entre os modelos disponíveis no mercado, as baterias chumbo-ácidas são as mais utilizadas em Sistemas Fotovoltaicos, as de níquel-cádmio são as que apresentam características mais próximas das ideais. Entretanto, o elevado custo das baterias níquel-cádmio limita o seu uso, em sistemas de menor porte (CEPEL/CRESESB, 2004). Em razão do exposto, prevê-se a utilização de baterias estacionárias do tipo chumbo-ácido no estudo da implantação do sistema fotovoltaico da embarcação.

#### 2.3.4 Controladores de Carga

Conforme dados do IST (2004), a tensão nominal do módulo fotovoltaico deverá ser superior à tensão de carga das baterias, de tal forma que a tensão, para maiores temperaturas, seja suficientemente elevada para que possibilite a carga das baterias, visto que, ocorrem perdas de tensão no sistema, normalmente limitadas a cerca de 1 a 2 %. Para baixas temperaturas, a tensão dos módulos é mais elevada, o que pode levar a que o limite máximo da tensão de carga da bateria seja superado. Por este motivo, o controlador de carga mede a tensão da bateria e a

protege contra a possibilidade de sobrecargas. A Figura 15 abaixo apresenta um controlador de carga 12 V / 60 A, modelo C60, da fabricante Xantrex.



**Figura 15 – Controlador de carga, modelo C60, da fabricante Xantrex**  
**Fonte: XANTREX, 2012.**

As principais tarefas de um moderno controlador de carga, segundo o IST (2004), são as seguintes:

- Proteção contra sobrecargas;
- Prevenção de descargas indesejáveis;
- Informação do estado da carga.

De acordo com o IST (2004), estes controles podem ser obtidos através da desativação do módulo fotovoltaico quando é ultrapassada a tensão máxima de carga, conforme acontece nos controladores série, ou estabelecendo um curto-circuito no módulo fotovoltaico através de um controlador *shunt* ou ainda a partir do ajuste da tensão através de um controlador de carga, para tal, são definidos abaixo os:

i) Controladores série: quando se atinge a tensão máxima de carga, o controlador série interrompe a entrega de potência do módulo, através de um relé ou de um semicondutor, voltando a fechar o circuito após uma determinada redução da tensão. Estas constantes comutações “*on-off*” criam oscilações da tensão perto da tensão máxima de carga, bem como perdas permanentes de energia.

ii) Controladores *shunt*: o controlador *shunt* reduz continuamente a potência do módulo, a partir do momento em que é atingida a tensão máxima de carga da bateria. Neste caso, como o gerador continua a gerar energia, a corrente é regulada

e curto-circuitada através de um elemento *shunt*. A energia não aproveitada é dissipada sob a forma de calor. Os módulos podem tomar a corrente de curto-circuito sem qualquer problema, limitando-se a sofrer um ligeiro aquecimento adicional. Este método é ideal para a bateria, uma vez que a carga da bateria é feita de forma eficiente e em total segurança.

### 2.3.5 Outros Componentes

O “Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos”, publicado pelo CEPEL/CRESESB (2004), apresenta ainda dois dispositivos que eventualmente podem fazer parte de um sistema fotovoltaico, de acordo com a necessidade e especificação do projeto. A saber:

i) Conversores CC-CC: uma aplicação dos conversores CC-CC é como controlador de carga de baterias a partir da energia gerada por módulos fotovoltaicos. Isto porque com a utilização destes conversores é possível controlar de forma mais precisa a corrente e a tensão que são aplicadas às baterias, proporcionando assim um aumento da vida útil das mesmas e uma melhor eficiência do processo de transferência de energia do módulo para a bateria. Ou ainda, mais comumente, o conversor CC-CC pode ser utilizado quando a tensão de uma ou mais cargas a serem alimentadas em CC diferem da tensão do sistema, na qual é gerada a partir dos módulos fotovoltaicos.

A seguir, a Figura 16 apresenta um conversor CC-CC, modelo BTDC122410, da fabricante Batelco.



**Figura 16 – Conversor CC-CC, modelo BTDC2412-50AL, da fabricante Batelco**

**Fonte: MARINE SERVICE, 2012.**

Alguns conversores podem incorporar uma tecnologia de controle que permita extrair do módulo fotovoltaico a máxima potência que está sendo gerada e com isso obter um melhor rendimento do sistema. Este mecanismo de controle é conhecido por *Maximum Power Point Tracker, MPPT*, ou Seguidor do Ponto de Máxima Potência, segundo a publicação, seu uso pode resultar em um ganho substancial de energia (CEPEL/CRESESB, 2004). Entretanto, o custo deste tipo de equipamento ainda é muito elevado e sua aplicação não se justifica, em termos de custos de projeto, em sistemas de pequeno porte. Todavia, a seguir apresenta-se uma breve descrição deste equipamento.

ii) Seguidor do Ponto de Máxima Potência (MPPT): a potência de saída de um módulo pode ser estimada analisando-se uma família de curvas  $I \times V$ . Um dos pontos de maior interesse nesta curva é o ponto de máxima potência. Uma vez conhecida a curva  $I \times V$ , a potência fornecida pela célula fotovoltaica pode ser calculada pelo produto da corrente pela tensão. A máxima potência encontra-se na região do “joelho” da curva  $I \times V$ . Pode-se verificar que a corrente produzida pelas células solares é diretamente proporcional à radiação solar e é muito pouco afetada pela temperatura. Entretanto, a tensão e potência decrescem significativamente com o aumento da temperatura (CENTRO..., 2004).

Ao longo do dia, o módulo fotovoltaico está submetido a diferentes níveis de radiação. Algumas vezes, os projetos de sistemas fotovoltaicos, para otimização do ponto de operação, utilizam um controle eletrônico capaz de aumentar o rendimento de geração. Nestes casos, o controle do ponto de operação é realizado por dispositivos seguidores do ponto de máxima potência, que operam de modo a regular a tensão e corrente de operação do painel fotovoltaico, a fim de obter o máximo produto  $I \times V$  (Idem, 2004). A localização de um MPPT, quando incluído em um sistema fotovoltaico, dependerá se as cargas por ele alimentadas são CA ou CC. Desta forma, o controle MPPT poderá atuar tanto sobre um conversor CC, quanto sobre um inversor.

Cabe ressaltar que este estudo não considera o dimensionamento e especificação de dispositivos complementares e que, evidentemente, também compõem qualquer sistema fotovoltaico, tais como; conectores, fusíveis, chaves, fiação entre outros. Isto, devido aos objetivos traçados pelo estudo, com os quais se

pretende analisar a viabilidade de implantação de um sistema fotovoltaico, tomando como base o dimensionamento e a especificação de seus componentes básicos e que, efetivamente, causariam maior impacto no resultado final da análise, como neste caso, módulos fotovoltaicos, inversores CC-CC, baterias, controladores de carga e eventualmente, conversores CC-CC.

Contudo, uma vez apresentados os principais aspectos com relação à energia solar, geração de energia elétrica a partir de células fotovoltaicas, assim como as principais características dos sistemas fotovoltaicos e seus componentes, essenciais para o entendimento acerca do tema proposto, o Capítulo 3 segue com a apresentação do estudo de caso: a travessia do Rio Guaíba, e o objeto de estudo deste trabalho: a embarcação de transporte de passageiros, apresentados a seguir.

### **3 ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E DO LOCAL DE OPERAÇÃO DA EMBARCAÇÃO**

Este capítulo refere-se ao estudo de caso da travessia do Rio Guaíba entre os municípios de Porto Alegre e Guaíba, no estado do Rio Grande do Sul, com foco na embarcação de transporte de passageiros que realiza a travessia, cujo sistema elétrico é um dos objetos de estudo deste capítulo.

Ele apresenta um breve histórico acerca da travessia do Rio Guaíba; a apresentação da empresa CatSul, que operacionaliza a travessia; a apresentação dos dados técnicos relevantes das características da embarcação e da operação, ambos coletados durante duas visitas técnicas realizadas nos meses de Abril e Maio de 2012, ao terminal de embarque e centro de operações da empresa CatSul, na cidade de Porto Alegre.

Ao final deste capítulo serão expostos, resumidamente, os principais dados que servirão de base para a elaboração das análises a serem realizadas posteriormente, nos Capítulos 4 e 5, referentes às análises de dimensionamentos e especificação dos painéis dimensionados, às análises técnicas de implantação do pressuposto sistema fotovoltaico, bem como ao dimensionamento dos demais equipamentos, respectivamente.

#### **3.1 BREVE HISTÓRICO ACERCA DA TRAVESSIA DO RIO GUAÍBA**

Com o surgimento do povoado das Pedras Brancas, hoje o atual município de Guaíba, como ponto de parada dos tropeiros às margens do Rio Guaíba, na primeira metade do século XIX, o povoado logo se tornou passagem obrigatória para aqueles, vindos do sul e oeste do estado do Rio Grande do Sul, que desejassem chegar a Porto Alegre, na margem oposta do rio.

A travessia feita pelas águas do Rio Guaíba servia para o escoamento da produção e transporte de passageiros, onde foram utilizados, inicialmente, canoas e barcos a vela, e na segunda metade do século XIX, o barco a vapor (PREFEITURA DE GUAÍBA, 2012).



**Figura 17 – Desembarque de veículos na década de 1950**  
Fonte: CONCEPA, 2012.

A partir de 1941 a travessia por meio de barcas ficou sob a responsabilidade do Departamento Autônomo de Estradas e Rodagens (DAER), que partiam da Vila Assunção, zona sul da capital Porto Alegre, levando até a margem oposta, no município de Guaíba, cerca de 600 veículos e mais de mil pessoas por dia. A travessia demorava pelo menos vinte minutos e ainda outros quarenta minutos para as operações de embarque e desembarque, conforme ilustrado, anteriormente, pela Figura 17 (CONCEPA, 2012).

Em 1953, quando o sistema de barcas já dava sinais de saturação, começou a ser discutida uma nova proposta para a travessia do Rio Guaíba. Entre as possibilidades, estava uma ponte a partir da Vila Assunção, em Porto Alegre, que aproveitasse as ilhas no meio do rio e finalmente conectasse suas margens.

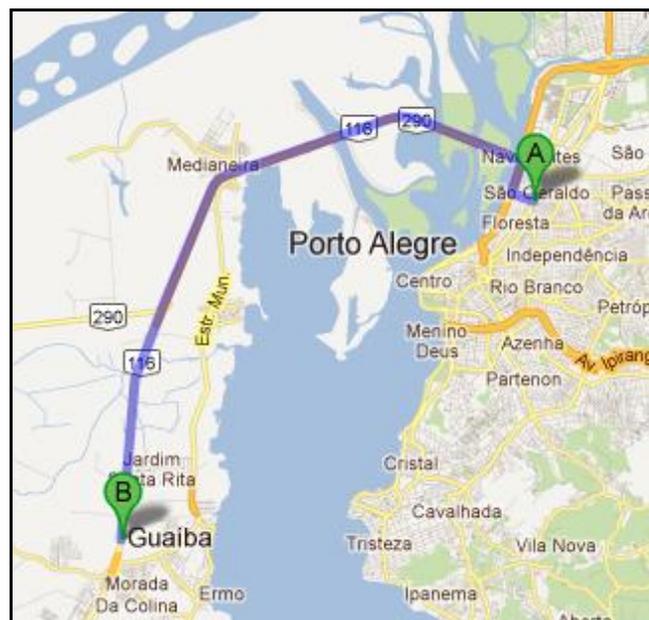
A proposta foi levada adiante e em Dezembro de 1958 foi inaugurada a Ponte Getúlio Vargas (Figura 18), a primeira ponte com vão móvel do Brasil e símbolo de Porto Alegre. Esta mesma data representou o fim do sistema de barcas para a travessia de veículos e passageiros no Rio Guaíba, que só seria, efetivamente, retomada após mais de cinquenta anos (CONCEPA, 2012).



**Figura 18 – Ponte rodoviária móvel Getúlio Vargas**  
Fonte: CONCEPA, 2012.

Com o crescimento industrial da região metropolitana de Porto Alegre e devido ao intenso volume de tráfego veicular entre Porto Alegre e Guaíba; para o município de Guaíba, que conta com parte considerável dos seus 95.000 habitantes (PREFEITURA DE GUAÍBA, 2012) trabalhando na capital do estado, tornou-se imprescindível uma alternativa para o transporte de trabalhadores entre os dois municípios.

A Figura 19 a seguir ilustra o percurso rodoviário entre os centros urbanos dos municípios de Porto Alegre e Guaíba. A distância entre os centros é de aproximadamente 32 km, passando pela Ponte Getúlio Vargas e entre a intersecção da rodovia BR-290 com a rodovia BR-116, que liga a capital gaúcha ao sul do estado (BNDES, 1999).



**Figura 19 – Percurso rodoviário entre Porto Alegre e Guaíba**

**Fonte: GOOGLE MAPS, 2012.**

Em 1980, por determinação da Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional (METROPLAN), o transporte hidroviário de passageiros foi reativado, ficando somente quatro meses em funcionamento. Em função da falta de segurança das embarcações, foi desativado, por determinação da Capitania dos Portos (METROPLAN, 2012).

Durante as duas décadas seguintes foram feitas algumas tentativas por parte da Secretaria Estadual de Transportes e outros órgãos estaduais de reativar a

travessia, porém por falta de verbas e/ou investidores interessados, as tentativas não foram adiante (Idem, 2012).

Somente em 2010, a Catsul, empresa do grupo Ouro e Prata, que atua no setor de transporte rodoviário e hidroviário, venceu a licitação promovida pelo Governo do Estado para realizar a travessia de passageiros pelo Rio Guaíba. Efetivamente, a empresa passou a prestar os serviços de transporte a partir de Outubro de 2011 (PORTAL CATSUL, 2012).

A CatSul, que segundo dados da empresa, recentemente atingiu a marca de 300.000 passageiros transportados, conta com áreas administrativas, de tráfego e de manutenção, além de dois terminais de embarque de passageiros, concedidos pela Superintendência dos Portos e Hidrovias (SPH) do Estado do Rio Grande do Sul, em Guaíba e Porto Alegre (METROPLAN, 2012). Os terminais de embarque (Figura 20) proporcionam aos usuários conforto e acesso para pessoas portadoras de deficiência física, obesos, gestantes e idosos, bem como, toda a estrutura para embarque e desembarque de passageiros, em período diurno e noturno (CATSUL, 2012).



**Figura 20 – Terminal de embarque da CatSul em Porto Alegre  
Fonte: CATSUL, 2012.**

Completando a estrutura física da empresa, a CatSul possui duas embarcações que realizam o transporte de passageiros, cujas principais características, relevantes para o desenvolvimento do estudo, serão apresentadas no tópico a seguir.

### 3.2 EMBARCAÇÃO DE TRANSPORTE DE PASSAGEIROS

A empresa CatSul é proprietária de duas embarcações que realizam a travessia de passageiros pelo Rio Guaíba: o catamarã *Carlos Nobre*, em homenagem ao regionalmente famoso jornalista e humorista gaúcho e o catamarã *Anita Garibaldi*, um dos personagens da Revolução Farroupilha, ocorrida no século XIX.

A razão pela qual a empresa optou pela operação dos modelos catamarã deve-se ao fato que estes, por possuírem um casco duplo, proporcionam maior estabilidade e segurança aos passageiros, inclusive quando operando em condições meteorológicas adversas, como em tempestades ou ventos fortes, como exemplos (CATSUL, 2012).



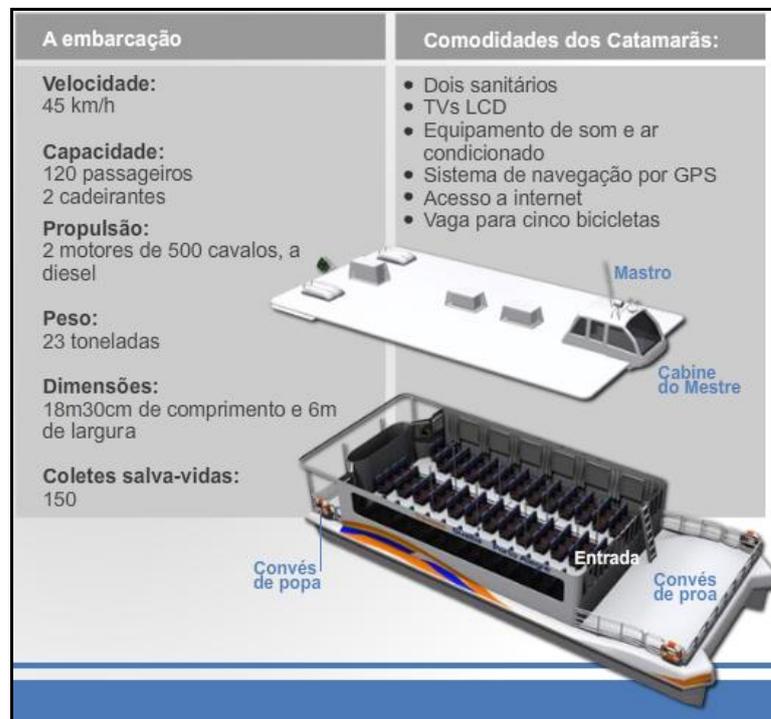
**Figura 21 – Embarcação do tipo catamarã, Carlos Nobre, no terminal de embarque de Porto Alegre**  
**Fonte: CATSUL, 2012.**

Nota-se, na Figura 21, os dois cascos do catamarã Carlos Nobre, atracado no terminal de embarque operado pela empresa CatSul, em Porto Alegre.

As duas embarcações foram construídas sob o mesmo projeto, portanto são idênticas, tanto no *design*, desempenho e nas demais características. Logo, a partir deste ponto, o texto fará referência a somente uma embarcação, no entanto, entende-se que as características, os apontamentos e demais definições apresentadas, estendem-se a ambas as embarcações; *Carlos Nobre* e *Anita Garibaldi*.

O catamarã tem capacidade de transporte de até 120 passageiros sentados, além de espaço reservados para dois cadeirantes. Também oferece algumas comodidades (Figura 22) tais como, espaço para bicicletas, sanitários, dois televisores de *Liquid Crystal Display (LCD)*, sistema de som e ar-condicionado, além do acesso a internet também estar disponível (CATSUL, 2012).

Confeccionada em alumínio e fibra de vidro, o peso total da embarcação é de 23 toneladas, com aproximadamente 18 metros de comprimento e 6 metros de largura (CATSUL, 2012). É propulsada por dois motores Scania de 500 cavalos de potência e desenvolve uma velocidade média de 45 km/h, próximo dos 24 nós (CATSUL, 2012).



**Figura 22 – Características da embarcação operada pela CatSul**  
Fonte: CATSUL, 2012.

O embarque e desembarque de passageiros é feito através do convés de proa, onde está localizado o acesso à cabine de passageiros (Figura 23). No *deck* superior fica a cabine do comandante, o mastro de sinalização, as antenas dos diversos equipamentos a bordo, além do corredor de passagem entre a proa e a popa, restrito à tripulação, de onde é possível ter acesso aos equipamentos de ar-condicionado e botes salva-vidas, conforme apresentado na Figura 24, em seguida (CATSUL, 2012).



**Figura 23 – Cabine de passageiros da embarcação Anita Garibaldi**

**Fonte: TRAVESSIA PORTO ALEGRE – GUAÍBA, 2012.**



**Figura 24 – Convés de proa da embarcação Carlos Nobre**  
**Fonte: Autoria própria.**

Nota-se na Figura 24, a entrada principal, no centro da figura, que dá acesso à cabine de passageiros, assim como, a escada, que dá acesso à cabine do mestre e ao teto da embarcação. Também é possível visualizar o mastro, as antenas de diversos equipamentos e os equipamentos de ar-condicionado. Ao fundo ainda é possível notar um dos botes salva-vidas no canto esquerdo do teto.

### 3.2.1 Áreas Úteis Disponíveis para a Instalação dos Módulos Fotovoltaicos

Segundo Vera (2009) existem três principais fatores que incidem sobre o correto funcionamento de um sistema fotovoltaico: a qualidade dos componentes, o correto dimensionamento e a correta manutenção do sistema. Assim, antes mesmo do dimensionamento de um sistema fotovoltaico para alimentar os circuitos elétricos da embarcação, é importante determinar os locais disponíveis para a eventual implantação do sistema, objeto de análise do estudo.

Desta forma, devem-se considerar as dimensões dos componentes básicos de um sistema fotovoltaico: módulos fotovoltaicos, baterias, inversores e controladores de cargas, conforme apresentados anteriormente. O local deve ser suficientemente amplo para a instalação destes componentes, assim como, de fácil acesso para a manutenção dos mesmos.

Segundo Marinoski, et al (2004), os módulos fotovoltaicos podem ser integrados a qualquer estrutura, sendo o único requisito, uma orientação solar favorável para permitir, uma maior captação da energia gerada pelo sol. Esta orientação será determinada no tópico 3.3.2, mais adiante.

Portanto, durante as visitas técnicas realizadas, foram levantadas as áreas da embarcação com possibilidade de aproveitamento para a instalação de módulos fotovoltaicos, levando-se em consideração a maior exposição ao sol. Desta forma, chegou-se a conclusão de que os locais com as melhores condições para a instalação dos módulos estariam no teto da embarcação, conforme apresentado nas Figura 25 e Figura 26 na sequência.

É possível notar nas figuras a presença de um corredor de passagem da tripulação que dá acesso desde o convés de proa até a popa através da área central do teto da embarcação. Nota-se que as áreas laterais a esta passagem encontram-se disponíveis para a instalação dos módulos fotovoltaicos. A presença deste corredor de passagem é um aspecto agregador para a instalação dos módulos no teto da embarcação, pois contribui de forma positiva para um dos fatores levantados por Vera (2009), acerca do correto funcionamento de um sistema fotovoltaico, ou seja, a facilidade de acesso à manutenção dos equipamentos.

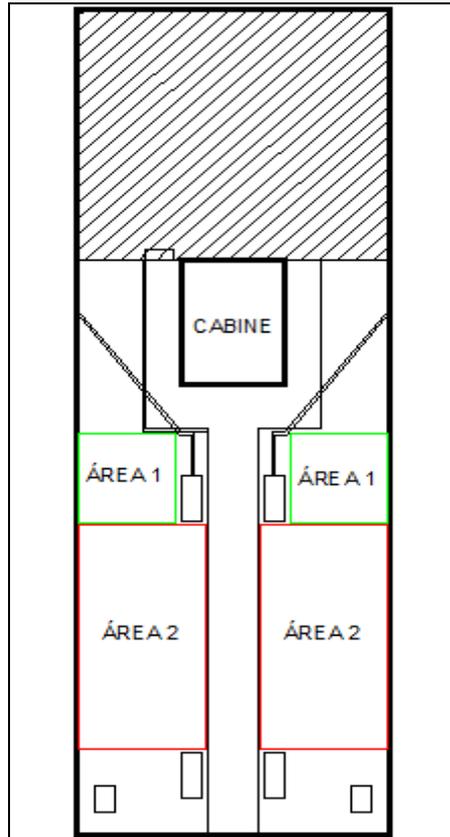


**Figura 25 – Teto da embarcação Carlos Nobre, com vista da proa para a popa**  
**Fonte: Aatoria própria.**



**Figura 26 – Teto da embarcação Carlos Nobre, com vista da popa para a proa**  
**Fonte: Aatoria própria.**

Portanto, a partir de ambas as figuras e das dimensões mensuradas, é possível estabelecer a área total disponível para a instalação dos módulos fotovoltaicos no teto da embarcação, de acordo com o croqui apresentado na Figura 27 a seguir.



**Figura 27 – Croqui das áreas disponíveis para a instalação dos módulos fotovoltaicos no teto da embarcação**

**Fonte: Autoria própria.**

A partir do croqui apresentado e dos dados coletados no local, determinou-se a disponibilidade de duas áreas distintas: “ÁREA 1” e “ÁREA 2”, sendo que estas mesmas áreas são reproduzidas tanto para a esquerda (bombordo) quanto para a direita (estibordo) da embarcação. Assim, considera-se a medida da ÁREA 1 (2,00 x 1,90 metros), uma área de 3,80 m<sup>2</sup> e a medida da ÁREA 2 (5,00 x 2,50 metros), equivalente a 12,50 m<sup>2</sup>. Totalizando uma área de 32,60 m<sup>2</sup>, disponível para a instalação de módulos fotovoltaicos.

### 3.2.2 Cargas Elétricas Embarcadas

De acordo com os dados coletadas durante as visitas técnicas e os dados disponibilizados pela própria empresa, constatou-se que as cargas elétricas da embarcação são supridas por dois sistemas de geração de energia elétrica distintos: gerador a diesel e baterias, para cargas atendidas em CA e CC, respectivamente.

A Figura 28 abaixo exibe dois televisores alimentados em 220 V<sub>CA</sub>, pelo gerador a diesel, assim como, algumas das lâmpadas *Light Emission Diode (LED)* alimentadas em 12 V<sub>CC</sub> pelas baterias, presentes na cabine de passageiros.



Figura 28 – Televisores LCD e lâmpadas LED da cabine de passageiros

Fonte: TRAVESSIA POA – GUAIBA, 2012.

Com relação ao sistema de geração a diesel, observou-se que a embarcação possui um gerador marítimo a diesel com potência de 20 kVA, 120/240 V, 83 A e com frequência de 60 Hz, da fabricante KOHLER, utilizado para suprir a demanda de energia elétrica dos equipamentos de ar-condicionado e das demais cargas em atendidas CA. A Tabela 1 a seguir, apresenta a relação de quantidade e potência elétrica destes equipamentos.

Tabela 1 – Tabela das cargas alimentadas em 220 V<sub>CA</sub> pelo gerador a diesel

Equipamentos em 220 Vca	Qtde (un.)	Potência (W)	Potência Total (W)
Ar-Condicionado Fujitsu 23000 BTU/h 60Hz	4	-	
Operação de Resfriamento do Ar-Condicionado	-	2.240	8.960
Operação de Calefação do Ar-Condicionado	-	2.260	9.040
Tomadas para Uso Geral 60Hz	5	Até 1.500	Até 7.500
Holofote Mastro c/ Lâmp. Halógena	1	600	600
Interfone da Tripulação 60Hz	1	7,5	7,5
Televisor LCD 42" Panasonic	2	180	360

Fonte: Aatoria própria.

Não obstante, o sistema de baterias é composto por oito (8) destes equipamentos, armazenados em *boxes* individuais de alumínio, localizados nas salas de máquinas (cascos de bombordo e estibordo) da embarcação. Sendo que quatro destes equipamentos são utilizados para a partida dos motores, um é utilizado para a partida do gerador a diesel e os três restantes são baterias de serviço, com tensão de saída de 12 Volts e capacidade de 150 Ah, utilizadas para

suprir a demanda das cargas elétricas em CC, compostas principalmente por lâmpadas de iluminação, lâmpadas de sinalização e outros instrumentos embarcados, conforme listados na Tabela 2 a seguir.

**Tabela 2 – Tabela das cargas elétricas alimentadas em 12 V<sub>CC</sub> pelas baterias**

Relação de Cargas Alimentadas em Corrente Contínua (CC)			
Equipamentos em 12 V <sub>CC</sub>	Qtde (un.)	Potência (W)	Potência Total (W)
Na Cabine de Comando			
Aparelho GPS/Radar de Navegação - Garmin 18HD	1	33,5	33,5
Aparelho de Rádio VHF	1	25	25
Aparelho de Rede <i>WI-FI</i>	1	10	10
Aparelho de Som e DVD (Microfone Integrado)	1	12	12
Câmeras de Vídeo	4	10	40
Painel de LED do Itinerário	1	7	7
No Convés e Porão			
Farolete de Navegação da Proa	1	50	50
Bombas d'Água do Porão 12A	8	49	392
Luzes de Sinalização	5	12	60
Lâmpadas LED 12W	24	12	288
Na Cabine de Passageiros, Convés de Popa e Sanitários			
Lâmpadas LED 12W	42	12	504

**Fonte: Autoria própria.**

Cabe ressaltar que o estudo proposto não prevê o uso do sistema fotovoltaico como fonte de energia elétrica para os equipamentos de ar-condicionado e para as tomadas de uso geral. Devido, principalmente, ao alto consumo energético dos mesmos, se comparados a outras cargas a bordo, conforme evidenciado pela Tabela 1 apresentada.

As Figura 29 e Figura 30 na sequência evidenciam alguns dos equipamentos presentes na embarcação. Como exemplos, na Figura 29, nota-se o farolete de navegação de proa na parte frontal do casco de bombordo, assim como o painel de itinerário ao centro da cabine de comando, e ainda, o holofote do mastro. Acima, a cabine e ao lado do holofote, estão localizadas as antenas dos diversos equipamentos embarcados, como o GPS/Radar, rádio VHF, televisores.



**Figura 29 – Vista frontal da embarcação Carlos Nobre**  
**Fonte: Autoria própria.**

A Figura 30 expõe o convés de popa da embarcação, que é acessível aos usuários pela cabine de passageiros, ainda é possível observar a entrada dos dois sanitários.



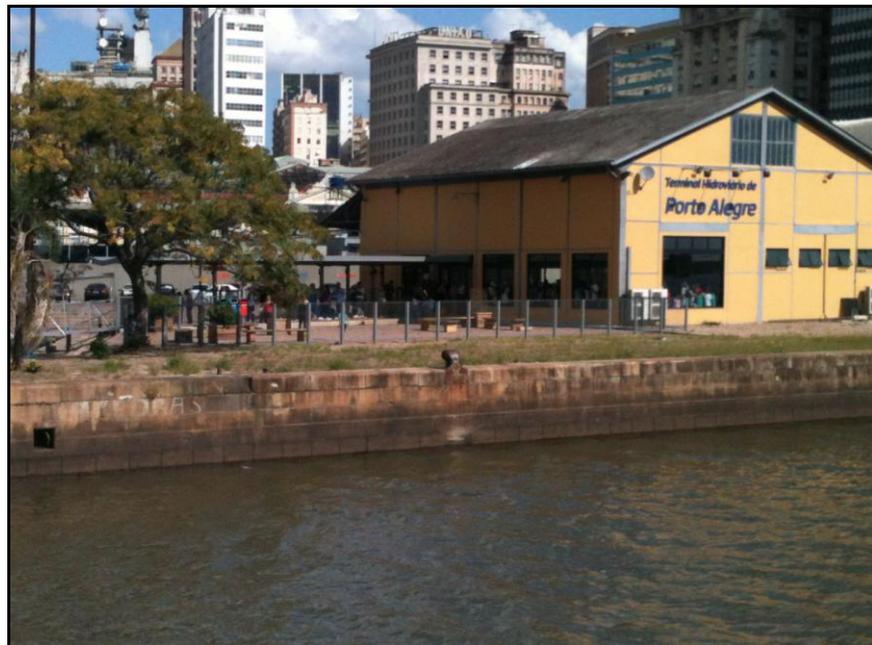
**Figura 30 – Convés de popa da embarcação Carlos Nobre**  
**Fonte: Autoria própria.**

Desta forma, a partir dos dados apresentados nas Tabela 1 e Tabela 2, é possível mensurar a demanda de potência elétrica, em *Watts*, requerida pela embarcação. Portanto, somadas as potências individuais de cada equipamento, tem-se: uma carga instalada de 1.421,50 *Watts* em CC e, excluídos os equipamentos de

ar-condicionado e tomadas de uso geral, uma carga instalada de 967,50 *Watts* em CA.

### 3.3 OPERAÇÕES DE TRAVESSIA

Este tópico refere-se às características de operação da embarcação, responsável pelo transporte de passageiros entre os terminais hidroviários de Porto Alegre (Figura 31) e Guaíba (Figura 32). O levantamento de dados referentes às características de operação da embarcação se faz necessário para o correto dimensionamento do sistema fotovoltaico, cuja implantação será analisada posteriormente nos Capítulos 4 e 5.



**Figura 31 – Terminal Hidroviário de Porto Alegre visto do Rio Guaíba**

**Fonte: Autoria própria.**

Em razão do exposto, apresenta-se a seguir os dados coletados referentes ao percurso realizado, às características da radiação solar incidente na região de operação e ao modo de operação do sistema elétrico da embarcação.

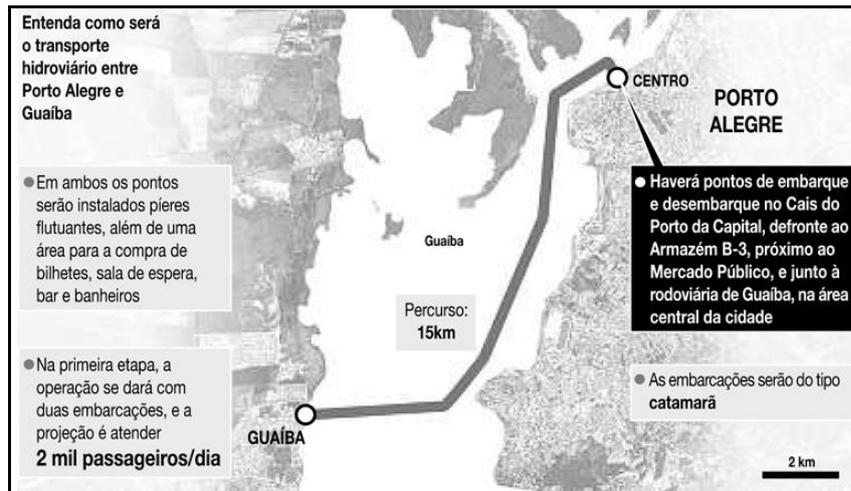
#### 3.3.1 Principais Características do Percurso

A travessia do Rio Guaíba, no sentido Porto Alegre – Guaíba, se inicia no Terminal Hidroviário da capital, localizado no Armazém B3, no Cais do Porto, zona central do município, com parada única e destino final no Terminal Hidroviário do município de Guaíba, conforme ilustrado na Figura 32 (TRAVESSIA POA – GUAÍBA, 2012).



**Figura 32 – Atracadouro do Terminal Hidroviário de Guaíba**  
Fonte: Autoria própria.

Segundo dados da empresa, o percurso coberto pelas embarcações na travessia tem aproximadamente 15 km. Um recorte de um folheto promocional divulgado pela CatSul, em meados do início das operações, em Outubro de 2011, apresenta alguns detalhes a respeito das operações. Com os dados apresentados pelo recorte, pode-se fazer uma comparação com o percurso hidrográfico (apresentado na Figura 33) e com o percurso rodoviário (ilustrado anteriormente na Figura 19). O primeiro, por meio hidrográfico, tem ao todo 15 km, enquanto o segundo, por meio rodoviário, 32 km (BNDES, 1999). Nota-se uma vantagem do transporte hidroviário em relação ao rodoviário, se comparadas às distâncias percorridas por ambos.



**Figura 33 – Folheto apresentando o percurso realizado pela embarcação**

Fonte: CATSUL, 2012.

Outro recorte, do mesmo folheto divulgado pela CatSul, compara os tempos gastos para os respectivos percursos nas duas modalidades de transporte, conforme apresentado pela Figura 34 a seguir.

Tipo de transporte	Percurso	Tempo	Tarifa
Catamarã	15 quilômetros	20 minutos	R\$ 7
Ônibus Direto	40 quilômetros	50 minutos	R\$ 6,50

**Figura 34 – Folheto comparando os transportes hidroviário e rodoviário**

Fonte: CATSUL, 2012.

Nota-se, segundo dados do BNDES (1999) que o percurso entre os dois municípios dista de 32 quilômetros, considerando-se a utilização de um automóvel particular; enquanto que dados da CatSul (2012) apontam para uma distância de 40 quilômetros, visto que é considerado o caminho percorrido pelo transporte público rodoviário, no caso o ônibus Direto. Todavia, a travessia por meio hidroviário apresenta vantagens em ambos os casos, tanto em relação à distância quanto no domínio do tempo.

De acordo com os dados apresentados e verificação feita no local, o tempo gasto para percorrer todo o percurso é de 20 minutos, sendo que, segundo dados coletados, estima-se ainda um tempo médio de 10 minutos gastos nas operações de embarque e desembarque de passageiros nos terminais hidroviários. Desta forma, chega-se a um tempo total médio de 30 minutos para cada travessia.

Ratificando o exposto, a empresa CatSul disponibiliza ao público os horários das travessias de segunda-feira à sexta-feira, sábados, e domingos e feriados, conforme apresentados na Tabela 3 a seguir.

**Tabela 3– Tabela dos horários das travessias entre Porto Alegre e Guaíba**

Segunda-feira à Sexta-feira		Sábados		Domingos e Feriados	
POA - GUAIBA	GUAIBA - POA	POA - GUAIBA	GUAIBA - POA	POA - GUAIBA	GUAIBA - POA
06:30	07:00	8:30	8:00	9:30	9:00
07:30	08:00	9:30	9:00	10:30	10:00
08:30	09:00	10:30	10:00	11:30	11:00
09:30	10:00	11:30	11:00	12:30	12:00
10:30	11:00	12:30	12:00	13:30	13:00
11:30	12:00	13:30	13:00	14:30	14:00
12:30	13:00	14:30	14:00	15:30	15:00
13:30	14:00	15:30	15:00	16:30	16:00
14:30	15:00	16:30	16:00	17:30	17:00
15:30	16:00	17:30	17:00	18:30	18:00
16:30	17:00	18:30	18:00	19:30	19:00
17:30	18:00	19:30	19:00		
18:30	19:00				
19:30	20:00				
20:30					

Fonte: CATSUL, 2012.

Esta tabela fornece alguns dados relevantes para o estudo. A princípio, é possível determinar os horários de operação diurna e noturna, durante uma semana normal, de segunda a domingo. Considerando, segundo informações coletadas, o horário noturno a partir das 18h 30min e anterior às 7h 30min, teremos: de segunda-feira à sexta-feira, 11 horas de operação diurna e 3,5 horas noturna; aos sábados, 10,5 horas de operação diurna e 1,5 horas noturna e; aos domingos e feriados, 9,5 horas de operação diurna e 1,5 horas noturna. Totalizando 29 travessias por dia, durante a semana; 24 travessias aos sábados e; 22 travessias aos domingos e feriados.

Estes dados serão importantes para a determinação do consumo diário de energia elétrica da embarcação durante a operação de travessia, e que serão mais bem avaliados posteriormente no tópico 3.3.3, onde será apresentada uma análise a respeito da operação do sistema elétrico da embarcação.

### 3.3.2 Consumo Médio Diário de Energia Elétrica

Conforme afirmado por Becker et al. (2009), o dimensionamento de um módulo fotovoltaico, e por consequência, o dimensionamento de outros

componentes do sistema fotovoltaico, é respaldado pelo cálculo da potência nominal gerada a partir da conversão da radiação solar; necessária para atender ao consumo médio diário da instalação a qual pretende-se instalar o módulo fotovoltaico.

Desta forma, anteriormente à análise de um sistema fotovoltaico, deve-se determinar o consumo diário médio da embarcação (BECKER et al., 2009). Para tal, é necessário o conhecimento de como as cargas elétricas apresentadas no tópico 3.2.2 são utilizadas durante as operações de travessia, embarque e desembarque, do Rio Guaíba.

No entanto, torna-se particularmente difícil avaliar o consumo médio diário da embarcação quando a mesma apresenta uma grande variação, em termos de periodicidade e frequência de operação, no decorrer de uma semana comum, de segunda-feira a domingo. Principalmente, considerando-se que alguns dos equipamentos embarcados têm uso esporádico, como exemplos: o aparelho de rádio VHF, o interfone da tripulação, a iluminação dos sanitários e o holofote do mastro, exigindo uma análise mais cuidadosa, onde o tempo de operação diário de cada equipamento é estimado de acordo com informações coletadas ou disponibilizadas pela empresa que opera a embarcação.

Não obstante, equipamentos como as lâmpadas de sinalização, aparelhos de som, televisores e outros, tem uso bem definido, de acordo com o período do dia ou operação da embarcação, sendo passíveis de serem quantificados com relação ao seu consumo diário.

Em vista da quantificação destes períodos, nos quais os equipamentos permanecem em operação, constatou-se, com base em dados fornecidos pela tripulação e ao observado in loco durante as operações, que os dois televisores, a rede de internet sem fio, o aparelho de som/DVD, o aparelho de GPS/Radar, o painel de itinerário e as quatro câmeras de vídeos, operam durante todas as horas de operação da embarcação, dia e noite. Assim como estes equipamentos, as lâmpadas da cabine de passageiros também permanecem ligadas durante todo o período de 14,5 horas de operação, ao passo que a iluminação do convés de popa, o farolete de navegação de proa e as luzes de sinalização são acionados somente no período noturno.

Para o caso das lâmpadas dos sanitários, lâmpadas das salas de máquinas, interfone, rádio VHF e o holofote do mastro, que é utilizado somente em noites muito

escuras ou chuvosas, o tempo de operação destes equipamentos foram quantificados de acordo com estimativas feitas pela tripulação, com base em sua experiência diária na condução das operações da embarcação. Neste mesmo contexto, constatou-se que as bombas d'água, situadas no porão da embarcação, com a finalidade de bombear a água que eventualmente possa infiltrar nos cascos da embarcação, não são efetivamente utilizadas no dia-a-dia das operações de travessia.

Com isto, considerando-se que a demanda por energia elétrica das cargas seja proporcional à intensidade da operação da embarcação e que o sistema fotovoltaico deve suprir esta demanda durante os períodos mais críticos; considerou-se, para efeito da quantificação do tempo de funcionamento de cada aparelho, o estudo do comportamento das cargas elétricas no período de segunda-feira à sexta-feira, onde a frequência de travessias é maior (Tabela 3) e, por consequência, a utilização das cargas elétricas.

Sabe-se, pelo exposto no tópico 3.2.2, que as operações de travessia de segunda-feira à sexta-feira, iniciam-se às 6h30min e terminam às 21h, com um total vinte e nove (29) operações, entre travessias, embarques e desembarques, distribuídos em 11 horas de operação diurna e 3,5 horas de operação noturna. Diante disso, e associado às informações a respeito do uso dos equipamentos elétricos, pôde-se determinar o consumo médio diário da embarcação, conforme apresentado na Tabela 4 a seguir.

**Tabela 4 – Tabela do consumo médio diário dos equipamentos embarcados**

Equipamentos	Qtde (un.)	Potência Individual (W)	Potência Total (W)	Tempo em Operação (h)	Consumo Diário (Wh)
<b>Equipamentos em CA</b>					
Holofote Mastro c/ Lâmp. Halógena	1	600	600	1,5	900
Interfone da Tripulação 60Hz	1	7,5	7,5	1	7,5
Televisor LCD 42" Panasonic	2	180	360	14,5	5.220
<b>Consumo Médio Diário Total (Wh/dia)</b>					<b>6.127,5</b>
<b>Equipamentos em CC</b>					
Aparelho GPS/Radar de Navegação Garmin 18HD	1	33,5	33,5	14,5	486
Aparelho de Rádio VHF	1	25	25	2	50
Aparelho de Rede <i>Wi-Fi</i>	1	10	10	14,5	145
Aparelho de Som/DVD (Microfone Integrado)	1	12	12	14,5	174
Câmeras de Vídeo	4	10	40	14,5	580
Painel de LED do Itinerário	1	7	7	14,5	102
Farolite de Navegação da Proa	1	50	50	3,5	175
Bombas d'Água do Porão 12A	8	49	392	0	0
Luzes de Sinalização	5	12	60	3,5	210
Lâmpadas LED 12W Sanitários	2	12	24	0,25	6
Lâmpadas LED 12W Cabine de Passageiros - Bombordo (BB)	10	12	120	14,5	1.740,0
Lâmpadas LED 12W Cabine de Passageiros - Estibordo (EB)	10	12	120	14,5	1.740,0
Lâmpadas LED 12W Cabine de Passageiros - Corredor	18	12	216	14,5	3.132,0
Lâmpadas LED 12W Convés de Popa	2	12	24	3,5	84,0
Lâmpadas LED 12W Sala de Máquinas Casco (BB/EB)	24	12	288	1	288,0
<b>Consumo Médio Diário Total (Wh/dia)</b>					<b>8.911,3</b>

Fonte: Autoria própria.

Considera-se que, com os dados obtidos a respeito da demanda de energia elétrica requerida pela embarcação e o respectivo consumo médio diário, associado aos dados relativos aos índices de radiação diária média na região de operação da travessia, seja possível dimensionar os componentes básicos que devem compor um sistema fotovoltaico que atenda a estes requisitos e que serão explorados com mais ênfase nos Capítulos 4 e 5, ainda a serem apresentados.

### 3.4 NÍVEIS DE RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTES DA REGIÃO

De forma análoga ao publicado por Seguel (2009), além das informações a respeito do consumo diário da embarcação e da potência instalada, é indispensável, para o correto dimensionamento de um sistema fotovoltaico, o conhecimento dos índices de incidência de radiação solar na localidade em que o sistema será implantado.

Não obstante, segundo CEPEL/CRESESB (2004), dependendo da localização onde se planeja a instalação de módulos fotovoltaicos, pode-se optar pela utilização de “*trackers*”, equipamentos que fazem com que os módulos fotovoltaicos, automaticamente, estejam sempre direcionados para o Sol, por módulos com inclinação fixa, que visam à otimização da absorção da radiação solar de acordo com a posição geográfica (latitude e longitude) em que estão localizados ou ainda, por módulos fotovoltaicos sem inclinação, onde são considerados níveis de radiação solar no plano horizontal.

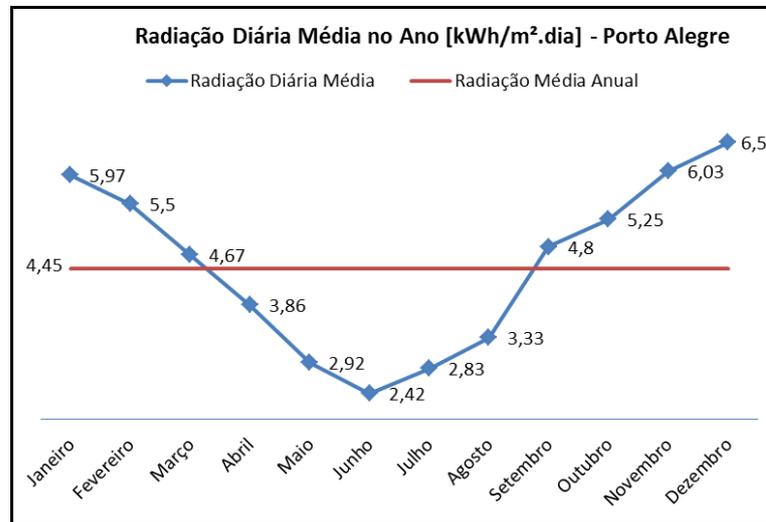
Para efeito deste estudo, considera-se a instalação de módulos fotovoltaicos sem inclinação, pois, devido à natureza de operação da embarcação, com mudanças constantes de posicionamento da mesma em relação ao sol, não se justifica o estudo do melhor ângulo fixo para a melhor absorção da radiação solar, assim como a utilização de *trackers*, que poderiam ocasionar perda de área útil disponível para a instalação dos módulos fotovoltaicos e por consequência, em potência elétrica gerada.

Contudo, o banco de dados solar *SunData*, disponibilizado pelo CRESESB, fornece os índices de radiação diária média nos meses do ano para o plano horizontal no município de Porto Alegre, conforme apresentado na Tabela 5.

**Tabela 5 – Tabela da radiação diária média para todos os meses do ano, em Porto Alegre**

Porto Alegre - RS		Radiação Diária Média nos Meses do Ano [kWh/m <sup>2</sup> .dia]												
Latitude	Longitude	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	<b>Média</b>
30,03° S	51,23° W	5,97	5,5	4,67	3,86	2,92	2,42	2,83	3,33	4,8	5,25	6,03	6,5	<b>4,45</b>

Fonte: SUNDATA, 2012.



**Gráfico 6 – Radiação diária média no ano no município de Porto Alegre**

Fonte: Autoria própria.

Já o Gráfico 6, apresenta a variação da incidência da Radiação Diária Média ao longo dos meses do ano em Porto Alegre. Observa-se que o menor índice registrado ocorre no mês de Junho, enquanto que o maior refere-se ao mês de Dezembro, inverno e verão, respectivamente, no Hemisfério Sul.

Contudo, cabe lembrar que o sistema fotovoltaico a ser dimensionado deve garantir o fornecimento de energia durante todo o ano, por este motivo, para efeito de cálculos de dimensionamento, considera-se a menor radiação diária média do ano, que neste caso, corresponde ao mês de Junho, registrando 2,42 kWh/m<sup>2</sup>.

### 3.5 RESUMO DOS DADOS TÉCNICOS OBTIDOS

Este tópico apresenta de forma objetiva os dados obtidos no Capítulo 3 e que servirão de base para o desenvolvimento dos Capítulos 4 e 5, referente ao dimensionamento de componentes e especificação de um sistema fotovoltaico, assim como, à análise técnica deste sistema, respectivamente, a saber:

- Carga CC embarcada: 1.421,50 W;
- Carga CA embarcada: 967,50 W;
- Carga total embarcada: 2.389 W;

- Consumo médio diário total em CC: 6.127,50 Wh/dia;
- Consumo médio diário total em CA: 8.911,30 Wh/dia;
- Tensão de operação do sistema CC: 12 V;
- Tensão de operação do sistema CA: 220 V;
- Menor radiação diária média mensal: 2,42 kWh/m<sup>2</sup>;
- Área disponível para a instalação de módulos fotovoltaicos: 32,60 m<sup>2</sup>.

Outros dados eventualmente necessários para o dimensionamento e especificação de cada componente do sistema fotovoltaico, nos Capítulos 4 e 5, serão apresentados ou definidos conforme o desenvolvimento do estudo.

## 4 ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

Freitas (2008) discorre que, para garantir a viabilidade de um sistema fotovoltaico, deve-se efetuar, previamente, uma análise criteriosa acerca da radiação solar incidente no local onde se pretende instalar o sistema, das necessidades energéticas e das características das cargas elétricas. Segundo o autor, a instalação, quando superdimensionada, pode levar a áreas dimensionadas e custos de equipamentos muito altos, muitas vezes inviabilizando a própria implantação do sistema. Analogamente, uma instalação subdimensionada pode levar ao descrédito da tecnologia fotovoltaica, trazendo desconforto e insatisfação aos usuários e, principalmente aos investidores.

Contudo, em vista à análise para o correto dimensionamento de um sistema fotovoltaico, Freitas (2008) propõe que esta deva ser desenvolvida considerando três principais aspectos, expostos abaixo.

i) A observação das características da radiação solar da região onde se pretende implantar o sistema e definição do mês de menor radiação solar, bem como a inclinação do painel em relação aos raios de incidência de luz solar. Estes já estudados no capítulo anterior, porém deverão ser abordados novamente havendo a necessidade de um estudo mais detalhado acerca do comportamento dos índices de radiação solar incidentes em Porto Alegre no decorrer de um ano;

ii) O desenvolvimento conceitual do sistema; neste ponto é definida a tensão a ser adotada pelo sistema. Segundo o autor, os sistemas fotovoltaicos geralmente operam em 12, 24 ou 48  $V_{CC}$ , sendo o último mais utilizado em sistemas de grande porte. Com base nos preceitos anteriormente analisados no Capítulo 3, pode-se definir a tensão do sistema a partir do nível de tensão CC utilizada nos equipamentos existentes atualmente na embarcação, ou seja, 12  $V_{CC}$ . Porém, uma tensão mais baixa implica em uma corrente mais elevada, sendo o contrário, também verdadeiro. Esta diferença causa influência direta nos cálculos de dimensionamento e especificação dos equipamentos, como a bitola dos cabos, a relação de transformação dos inversores e a quantidade de módulos fotovoltaicos, como exemplos (FREITAS, 2008). Por esses motivos, a definição da tensão nominal do sistema requer uma avaliação mais cautelosa.

Portanto, neste estudo pretendeu-se fazer o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos em dois cenários distintos; com a operação da tensão nominal do sistema em 12 e em 24  $V_{CC}$  como sendo um dos fatores pertinentes à análise técnica de implantação do sistema fotovoltaico. Posteriormente, será destacada a melhor opção dentre as duas, e por fim, dimensionados os demais equipamentos do sistema;

iii) A avaliação das necessidades energéticas do sistema; que relaciona as cargas utilizadas pela embarcação com uma correta análise da importância, necessidade e melhor utilização de cada equipamento, em vista de se melhor aproveitar o consumo da energia diária produzida.

Este ponto levantado por Freitas (2008) é particularmente importante para a análise do sistema fotovoltaico. Ao se avaliar a relação de cargas, pode-se obter conhecimento daquelas responsáveis pelos maiores consumos de energia do sistema. Seguindo neste mesmo pensamento, é possível revisar a forma com que equipamentos são utilizados ou, até mesmo, analisar a possibilidade de substituição destes, por outros que sejam mais eficientes, tendo em vista a melhoria do rendimento global do sistema.

Desta forma, neste capítulo, primeiramente, pretende-se verificar a viabilidade do sistema fotovoltaico a ser considerado diante dos dois cenários apresentados (12 ou 24  $V_{CC}$ ), a fim de suprir as necessidades energéticas das cargas embarcadas. Isto, por meio da verificação de que a área disponível para a instalação de módulos fotovoltaicos seja compatível com as necessidades energéticas dessas cargas, no modo em que são utilizadas atualmente. Em caso de inviabilidade da implantação dos mesmos, pretende-se analisar novas alternativas de uso destes equipamentos, visando à melhoria da eficiência e a viabilidade de implantação do sistema.

## 4.1 MÉTODO PARA O DIMENSIONAMENTO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

### 4.1.1 Cálculos Preliminares para o Dimensionamento do Painel Fotovoltaico

Em um sistema fotovoltaico, o painel fotovoltaico (FV) deve ser dimensionado considerando: as cargas instaladas, a disponibilidade de energia solar da região e também as características do modelo do equipamento escolhido para

formar o arranjo FV. Também devem ser levados em conta os níveis de tensão do sistema (12 ou 24 V<sub>CC</sub>) o qual o painel deva gerar, as perdas nos componentes do sistema, bem como, a área disponível para a instalação (SEGUEL, 2009).

Uma vez conhecidos os valores das potências das cargas requeridas pelo sistema e do ciclo de serviço diário das mesmas, determina-se o consumo médio diário em CC e CA, em Wh/dia.

Em seguida, compara-se a tensão do sistema escolhida com a tensão de operação das cargas (CC e CA), identificando então a necessidade ou não do uso de conversores de potência, para se atingir as tensões desejadas. Para o caso da utilização desses conversores, devem ser levados em conta os valores das eficiências dos mesmos.

Assim, primeiramente calcula-se o consumo das cargas, determinando-se, deste modo, tanto o consumo em corrente contínua,  $C_{diárioCC}$ , como em corrente alternada,  $C_{diárioCA}$ , considerando-se as perdas relativas às eficiências dos conversores de potência ( $\eta_{ConvPot}$ ), a partir das equações (1) e (2), respectivamente, a seguir:

$$C_{diárioCC} [Wh / dia] = \frac{C_{diárioCC} [Wh / dia]}{\eta_{ConvPot}} \quad (1)$$

$$C_{diárioCA} [Wh / dia] = \frac{C_{diárioCA} [Wh / dia]}{\eta_{ConvPot}} \quad (2)$$

Onde  $\eta_{ConvPot}$  é a eficiência para a conversão de potência; a qual está relacionada com a perda de energia decorrente da utilização de dispositivos conversores de potência (conversores CC-CC e inversores CC-CA). No entanto, quando não for necessária a utilização de um ou ambos os conversores, devem-se desconsiderar essas eficiências para a respectiva equação, de modo que não interfira nos cálculos.

Entretanto, os valores de eficiência de conversão devem ser obtidos nas especificações dos próprios equipamentos, ou então, podem ser utilizados valores padrões, como os sugeridos por CEPEL/CRESESB (2004) e apresentados na Tabela 6 a seguir.

**Tabela 6 – Tabela dos valores de eficiência padrão para dispositivos de conversão de potência**

Dispositivos de Conversão	Eficiência
Conversores (CC/CC)	0,85
Inversores (CC/CA)	0,80

Fonte: CENTRO..., 2004.

Partindo dos valores apresentados calcula-se o consumo médio diário total de energia do sistema, requerido por ambos os barramentos, CA e CC, a partir da equação (3) abaixo.

$$C_{\text{TotalCargas}} [Wh / dia] = C_{\text{diárioCC}} [Wh / dia] + C_{\text{diárioCA}} [Wh / dia] \quad (3)$$

Contudo, é importante lembrar que existem perdas que são relativas à fiação ( $\eta_f$ ) e à eficiência da bateria ( $\eta_b$ ). Nestes casos, também serão utilizados os valores padrões sugeridos por CEPEL/CRESESB (2004), os quais são apresentados na Tabela 7 a seguir.

**Tabela 7 - Tabela dos valores de eficiência relativos a perdas de energia através dos condutores (fiação) e de perdas internas das baterias**

Material ou Dispositivo	Eficiência
Fiação	0,98
Baterias	0,95

Fonte: CENTRO..., 2004.

Estima-se, portanto, o consumo de energia das cargas corrigido ( $C_{\text{TotCorr}}$ ) a partir da equação (4) na sequência.

$$C_{\text{TotCorr}} [Wh / dia] = \frac{C_{\text{TotalCargas}} [Wh / dia]}{\eta_f * \eta_b} \quad (4)$$

Com isso, para se calcular a corrente de projeto ( $I_{\text{Projeto}}$ ) do arranjo fotovoltaico, é necessário que seja calculado o consumo de corrente ( $C_{\text{TotCorr}}$  em Ampère-hora por dia), dividindo-se pela tensão nominal escolhida para o sistema, o qual é dado pela expressão (5) a seguir apresentada.

$$C_{\text{TotCorr}} [Ah / dia] = \frac{C_{\text{TotCorr}} [Wh / dia]}{V_{\text{nom}} [V]} \quad (5)$$

Ainda, é comum utilizar o valor acumulado de energia solar ao longo de um dia, o qual é expresso a partir do número de horas de Sol Pleno (CENTRO..., 2004, p. 102). Esta grandeza reflete o número de horas em que a radiação solar deve permanecer constante e igual a 1 kW/m<sup>2</sup>, de modo que a energia resultante seja equivalente à energia acumulada ao longo de um dia. Assim, em virtude dos valores de radiação solar apresentados no Capítulo 3, deve-se utilizar o valor de SP para o mês com menor irradiação solar média ( $H_{\min}$ ), como apresentado pela equação (6).

$$SP[\text{horas/dia}] = \frac{H_{\min}[\text{kWh}/\text{m}^2 * \text{dia}]}{1[\text{kW}/\text{m}^2]} \quad (6)$$

A partir disso, é possível calcular a corrente de projeto do painel fotovoltaico, utilizando-se a equação (7).

$$I_{\text{Projeto}}[\text{A}] = \frac{C_{\text{TotCorr}}[\text{Ah}/\text{dia}]}{SP[\text{h}/\text{dia}]} \quad (7)$$

Enfim, determinado a corrente de projeto, é dimensionado o painel fotovoltaico, cujo método de cálculo é apresentado no tópico seguinte.

#### 4.1.2 Método de Dimensionamento do Painel Fotovoltaico

Após o cálculo da corrente de projeto do sistema, é possível dimensionar o painel fotovoltaico. Em virtude disso, deve-se considerar o fator de correção do módulo fotovoltaico ( $\eta_{\text{Módulo}}$ ), o qual serve para o ajuste da corrente devido a perdas de campo no sistema, provenientes de acúmulos de poeira ou mesmo da degradação ao longo do tempo, entre outros, o qual, segundo o CEPEL/CRESESB (2004), estabelece valores padrões para o fator de ajuste de corrente para módulos do tipo cristalino e do tipo amorfo, os quais podem ser verificados na Tabela 8 a seguir:

**Tabela 8 – Tabela dos valores padrão para fatores de ajuste de corrente de módulos fotovoltaicos para condições de campo**

Tipos de Módulos	Eficiência
Cristalino	0,90
Amorfo	0,70

Fonte: CENTRO..., 2004.

Sendo assim, o cálculo da corrente de projeto corrigida ( $I_{ProjCorr}$ ) será expressa pela equação (8).

$$I_{ProjCorr}[A] = \frac{I_{Projeto}[A]}{\eta_{Módulo}} \quad (8)$$

Enfim, após o cálculo da potência mínima exigida pelo sistema, é possível determinar o número de módulos fotovoltaicos que serão utilizados no sistema e, conseqüentemente o tamanho do painel a ser adotado. Para isso, calcula-se o número de módulos a serem utilizados, em paralelo, no arranjo, conforme a equação (9).

$$N_{MP} = \frac{I_{ProjCorr}[A]}{I_{Módulo}[A]} \quad (9)$$

Onde,  $N_{MP}$  é o número de módulos instalados em paralelo; e  $I_{Módulo}$  a corrente nominal de cada módulo FV. E, em seguida, calcula-se o número de módulos instalados em série, para que se alcance a tensão nominal do sistema, conforme apresentado na equação (10).

$$N_{MS} = \frac{V_{CarregBat}[V]}{V_{painel}[V]} = \frac{V_{nom}[V] * (1 + 20\%)}{V_{painel}[V]} \quad (10)$$

Onde,  $N_{MS}$  é o número de fileiras de módulos instalados em série;  $V_{CarregBat}$  é a tensão necessária para carregar as baterias quando estiverem operando em temperaturas mais elevadas do que o esperado, o que significa 20% acima do valor da tensão do sistema;  $V_{Módulo}$  é a tensão de máxima potência do módulo fotovoltaico.

Portanto, o número total de módulos fotovoltaicos ( $N_{MFV}$ ) para o sistema é estabelecido pela equação (11) apresentada na sequência.

$$N_{MFV} = N_{MS} * N_{MP} \quad (11)$$

Não obstante, após ser definido o número total de módulos fotovoltaicos e escolhido o modelo a ser utilizado, é possível estimar a área útil a ser utilizada pelo arranjo fotovoltaico ( $A_{FVtotal}$ ), multiplicando-se as dimensões do módulo ( $A_{módulo}$ ), pelo número total de módulos ( $N_{MFV}$ ), assim definido pela equação (12).

$$A_{FVtotal}[m^2] = A_{módulo}[m^2] * N_{MFV} \quad (12)$$

Uma vez determinado a quantidade e o modelo do módulo fotovoltaico, podem-se dimensionar outros componentes do sistema fotovoltaico, como será posteriormente apresentado no Capítulo 5.

Desta forma, com os dados de consumo e operação das cargas, apresentados no tópico 3.4 do capítulo anterior, bem como com os valores de eficiências dos equipamentos que devem ser relevantes para o estudo e que serão necessários para o dimensionamento do sistema fotovoltaico, serão então agrupados na Tabela 9, a seguir.

**Tabela 9 – Tabela dos parâmetros para dimensionamento do sistema fotovoltaico**

Parâmetros	Valores
Carga Instalada - CA [W]	967,5
Carga Instalada - CC [W]	1421,5
Consumo Médio Diário Total - CA [Wh/dia]	6127,5
Consumo Médio Diário Total - CC [Wh/dia]	8911,3
Tensão de Operação das Cargas - CA [V]	220
Tensão de Operação das Cargas - CC [V]	12
Menor Radiação Diária Média Mensal [kWh/m <sup>2</sup> ]	2,42
Área Disponível no Teto da Embarcação [m <sup>2</sup> ]	32,60
Eficiência do Banco de Baterias [%]	95
Eficiência do Inversor [%]	80
Eficiência do Conversor CC [%]	85
Eficiência da Fiação [%]	98

Fonte: Autoria própria, com dados do CENTRO..., 2004.

#### 4.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO E ANÁLISE DA ÁREA REQUERIDA PELAS CARGAS EMBARCADAS PARA A INSTALAÇÃO DO PAINEL FOTOVOLTAICO

Inicialmente é verificada a área requerida para a instalação do painel no teto da embarcação, considerando-se tanto sistema com tensão nominal de geração em 12 como em 24 Volts.

Desta forma, primeiramente será determinada a área para o sistema em 12 Volts que, ao se aplicar a sequência dos métodos visto no tópico 4.1, calcula-se então, a partir das equações (1) e (2), o consumo das cargas em CC e CA, respectivamente.

Pode-se perceber que para o consumo em corrente contínua, não há a necessidade de utilização de conversor CC-CC, devido ao fato da tensão nominal do sistema (12 Volts) ser a mesma da tensão requerida pelos equipamentos em CC; por outro lado, para o cálculo do consumo em corrente alternada, considera-se a utilização do inversor CC-CA, aplicando-se então o valor de eficiência 0,8 para inversores, como visto na Tabela 6, portanto:

$$C_{\text{diárioCC}} [Wh / dia] = 8.911,3 [Wh / dia]$$

$$C'_{\text{diárioCA}} [Wh / dia] = \frac{6.127,5 [Wh / dia]}{0,8} = 7.659,4 [Wh / dia]$$

Logo, aplicando-se a equação (3), o valor da energia requerida para o consumo médio diário total do sistema será de:

$$C_{\text{TotalCargas}} [Wh / dia] = 8.911,3 [Wh / dia] + 7.659,4 [Wh / dia] = 16.570,7 [Wh / dia]$$

Em seguida, é determinado o consumo diário corrigido, levando-se em considerando as perdas de energia em detrimento da fiação e das baterias (Tabela 7), utilizando-se a equação (4).

$$C_{\text{TotCorr}} [Wh / dia] = \frac{16.570,7 [Wh / dia]}{0,98 * 0,95} = 17.798,8 [Wh / dia]$$

Considerando-se então, para este dimensionamento, a tensão nominal de geração do painel fotovoltaico sendo de 12 *Volts*, o consumo de corrente das cargas para este sistema será, deste modo, de:

$$C_{\text{TotCorr}}[Ah / dia] = \frac{17.798,8[Wh / dia]}{12[V]} = 1.483,2[Ah / dia]$$

Com isso, determina-se a partir da expressão (6) o número de horas de Sol Pleno (SP) da região de Porto Alegre. E, como apresentado no capítulo anterior, o número de SP para o mês com a menor média diária de radiação solar será de:

$$SP[\text{horas/dia}] = \frac{2,42[kWh / m^2 * dia]}{1[kW / m^2]} = 2,42[h / dia]$$

Desta forma, é possível perceber que o mês com a menor radiação solar diária média equivale a uma incidência constante de 1.000 W/m<sup>2</sup> durante 2,42 horas por dia. O número de horas de SP é estipulado para se determinar a corrente de projeto do painel, a qual é calculada através da equação (7), assim:

$$I_{\text{Projeto}}[A] = \frac{1.483,2[Ah / dia]}{2,42[h / dia]} = 612,9[A]$$

Por fim, a corrente de projeto calculada é a corrente que será requerida para que o painel fotovoltaico gere a energia para a alimentação de todas as cargas utilizadas na embarcação, sem que haja alteração no modo de operação atual das mesmas.

#### 4.2.1 Quantidade de Módulos Fotovoltaicos e Determinação da Área Requerida para o Sistema com Tensão Nominal em 12 Volts

Como será apresentado neste tópico, a princípio será dimensionado o painel fotovoltaico a partir da corrente de projeto calculada anteriormente, a qual é relativa

à utilização de todas as cargas da embarcação e ao modo como são operadas atualmente pelos comandantes da mesma.

Entretanto, considerando-se a área demasiadamente limitada da embarcação em questão, será novamente dimensionado o painel fotovoltaico no tópico 4.3. Porém desta vez, priorizando-se a máxima energia possível de ser gerada, tendo como parâmetro fundamental para o dimensionamento o tamanho total da área útil para a possível instalação dos painéis no topo da embarcação. Posteriormente, com o conhecimento da energia máxima disponível no período mais crítico do ano, serão sugeridas mudanças no consumo de carga diário para que o mesmo se adapte ao novo sistema dimensionado.

Existem atualmente no mercado diversos fabricantes de módulos com potências nominais distintas. A seguir são apresentados dois modelos de uma mesma fabricante, como mostra a Tabela 10.

**Tabela 10 – Tabela dos dados técnicos dos módulos fotovoltaicos**

<b>Dados Técnicos dos Módulos Fotovoltaicos</b>		
Características Elétricas		
Fabricante	Kyocera	Kyocera
Modelo	SM-48KSM	KD135SX-UPU
Máxima Potência [W]	48	135
Tensão de Máxima Potência [V]	18,6	17,7
Corrente de Máxima Potência [A]	2,59	7,63
Corrente de Curto-Circuito [A]	2,89	8,37
DIMENSÕES		
Largura [mm]	680	668
Altura [mm]	38	38
Profundidade [mm]	560	1500
Peso [kg]	4,5	12,5
Preço [R\$]	855,00	1149,00

**Fonte: Autoria própria, com dados da KYOCERA SOLAR DO BRASIL, 2008; BRASIL HOBBY, 2012; NEOSOLAR, 2012.**

Porém, para dar seguimento ao estudo, escolheu-se o módulo cujo valor de área em relação ao valor de máxima potência do mesmo (área/máxima potência) fosse o menor. Desta maneira foi dada a preferência pelo uso do módulo da Kyocera cujo modelo é o KD135SX-UPU.

A partir da corrente de projeto calculada anteriormente, é possível dimensionar o painel fotovoltaico. Para tanto, deve-se determinar o tipo de módulo a ser utilizado; se cristalino ou amorfo. Assim, de acordo com o módulo escolhido e anteriormente especificado, considera-se do tipo cristalino, o qual possui um fator de ajuste de corrente devido a intempéries de 0,9, como apresentado na Tabela 8.

Assim, calcula-se a corrente de projeto corrigida, obtendo:

$$I_{\text{ProjCorr}}[A] = \frac{612,9[A]}{0,9} = 681[A]$$

Desta forma, pode-se calcular o número de módulos a serem utilizados, em paralelo e em série, no arranjo a partir das equações (9) e (10), as quais serão utilizadas para o cálculo a seguir.

$$N_{\text{MP}} = \frac{681[A]}{7,63[A]} = 89,2 \approx 90 \quad \text{e} \quad N_{\text{MS}} = \frac{12[V] * (1 + 20\%)}{17,7[V]} = 0,81 \approx 1$$

Assim:

$$N_{\text{MFV}} = 1 * 90 = 90$$

Logo, o número total de módulos que compõem o painel fotovoltaico será de 90, sendo que todos os módulos devem estar ordenados em paralelo, em uma única fileira em série. Podendo-se em seguida, calcular a área útil que deve ser ocupada pelo painel fotovoltaico dimensionado, a partir da expressão (12), como se segue.

$$A_{\text{FVtotal}}[m^2] = (1,5 * 0,668)[m^2] * 90 = 90,12[m^2]$$

Desta forma, observou-se que a área disponível no teto da embarcação ( $\approx 32 \text{ m}^2$ ), é inferior à área requerida pelo sistema ( $90 \text{ m}^2$ ), considerada a atual carga utilizada na embarcação e a forma como ela é operada atualmente.

Enfim, para o estudo do painel fotovoltaico com tensão nominal em 12 *Volts*, dimensionado anteriormente, dado que é necessária uma área de aproximadamente três vezes maior à disponível, inviabilizaria, desta forma, a aplicação do sistema para esta embarcação.

#### 4.2.2 Quantidade de Módulos Fotovoltaicos e Determinação da Área Requerida para o Sistema com Tensão Nominal em 24 Volts

Assim, analisou-se também o dimensionamento do painel fotovoltaico e área requerida pelo mesmo, para uma tensão nominal de geração em 24 *Volts*.

Para tanto, neste caso é considerada, inclusive, a utilização de conversores CC-CC, de 24 para 12 *Volts*, devido à diferença de tensão em CC entre a geração fotovoltaica (24  $V_{CC}$ ) e as cargas (12  $V_{CC}$ ). Além, obviamente, a utilização de inversores para a conversão de 24  $V_{CC}$  para 220  $V_{CA}$ .

Com isso, para o cálculo de consumo das cargas, considerou-se a utilização do fator de eficiência para conversores e inversores, relativos à Tabela 6, portanto:

$$C_{CC}[Wh/dia] = \frac{8.911,3[Wh/dia]}{0,85} = 10.483,9[Wh/dia]$$

$$C_{CA}[Wh/dia] = \frac{6.127,5[Wh/dia]}{0,80} = 7.659,4[Wh/dia]$$

Assim,

$$C_{TotalCargas}[Wh/dia] = 10.483,9[Wh/dia] + 7.659,4[Wh/dia] = 18.143,3[Wh/dia]$$

Deste modo, desenvolvendo-se os cálculos, da mesma maneira feita para o sistema em 12 Volts anteriormente dimensionado, porém desta vez considerando a tensão nominal do sistema em 24 *Volts*, foi determinada então a corrente de projeto, resultando esta em:

$$I_{Projeto}[A] = 335,5[A]$$

No entanto, para este dimensionamento foi escolhido o módulo KD210GX-LP, da Kyocera, cujos dados técnicos seguem adiante (Tabela 11):

**Tabela 11– Dados técnicos do módulo fotovoltaico, modelo KD210GX-LP - Kyocera**

<b>Dados Técnicos do Módulo Fotovoltaico</b>	
Características Elétricas	
Fabricante	Kyocera
Modelo	KD210GX-LP
Máxima Potência [W]	210
Tensão de Máxima Potência [V]	26,6
Corrente de Máxima Potência [A]	7,90
Corrente de Curto-Circuito [A]	8,58
Dimensões	
Largura [mm]	990
Altura [mm]	36
Profundidade [mm]	1500
Peso [kg]	18,5
Preço [R\$]	2400,00

**Fonte: Aatoria própria, com dados da KYOCERA SOLAR BRASIL, 2008. NEOSOLAR, 2012.**

Desta forma, considerando-se o modelo de módulo fotovoltaico escolhido e dando seguimento aos cálculos do dimensionamento do painel, chega-se então a um número de módulos fotovoltaicos que deverão ser ligados em paralelo e em série, de:

$$N_{MP} = 47,2 \approx 48 \quad \text{e} \quad N_{MS} = 1.$$

Totalizando então quarenta e oito (48) módulos fotovoltaicos para o painel dimensionado, assim, verifica-se a área útil que deve ser ocupada por este painel. Deste modo, utilizando-se as dimensões do módulo especificado na Tabela 11 e o número total de módulos, chega-se a uma área de:

$$A_{FV_{\text{total}}} [m^2] = (1,5 * 0,99) [m^2] * 48 = 71,28 [m^2]$$

Com isso, observou-se que a área disponível no teto da embarcação também é inferior à área requerida pelo painel dimensionado, para uma tensão nominal de 24 Volts e levando em consideração as cargas utilizadas atualmente na embarcação.

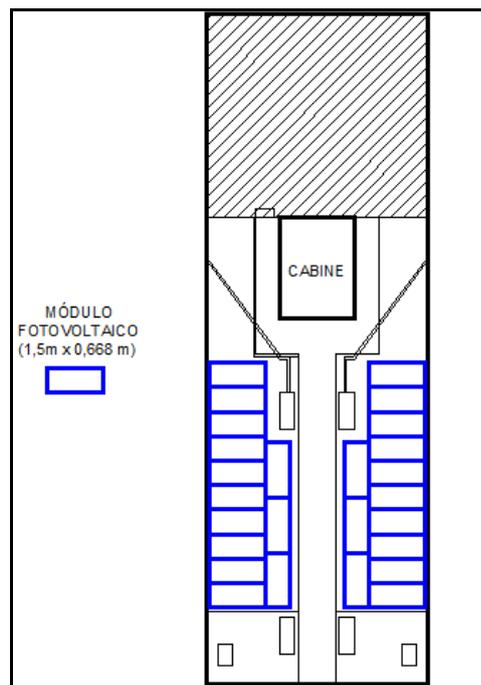
Visto isto, pode-se perceber que a área disponível para a implantação dos painéis fotovoltaicos é relativamente pequena, em relação à necessária para a alimentação de todas as cargas. Deste modo, como já mencionado, será redimensionado o painel para que este ocupe apenas o espaço livre no teto da embarcação, como será apresentado no tópico seguinte.

#### 4.3 DIMENSIONAMENTO DO PAINEL FOTOVOLTAICO A PARTIR DA ÁREA DISPONÍVEL

##### 4.3.1 Dimensionamento do Painel Fotovoltaico para o Sistema em 12 Volts

Para este novo dimensionamento, fez-se o inverso do procedimento anteriormente apresentado. Com isso, primeiramente é calculada a quantidade de módulos fotovoltaicos em 12 *Volts*, e posteriormente em 24 *Volts*, possível de serem instalados na área determinada de 32,60 m<sup>2</sup>.

Considerando a utilização do mesmo módulo apresentado na Tabela 10, o qual possui as dimensões de 1,50 metros de comprimento por 0,668 metros de largura, é possível fazer uma distribuição como a da Figura 35 a seguir.



**Figura 35 – Croqui dos módulos fotovoltaicos (KD135SX-UPU) distribuídos na área disponível do teto da embarcação**

**Fonte: Autoria própria.**

Pode-se perceber na figura anterior, que é possível locar ao todo 26 módulos fotovoltaicos (modelo KD135SX-UPU), distribuídos segundo o layout apresentado a partir das áreas delimitadas no tópico 3.2.1 e, desta forma, o painel ocupará um total de 26,05 m<sup>2</sup>, sendo este o maior valor de área possível que o

painel poderia ocupar utilizando o módulo especificado, na área delimitada para a instalação do mesmo.

Deste modo, determina-se para o sistema em questão, a partir das equações (9), (10) e (11) anteriormente apresentadas, a quantidade de módulos em série ( $N_{MS}$ ) e em paralelo ( $N_{MP}$ ), para o novo dimensionamento, que será calculado por:

$$N_{MFV} = N_{MS} * N_{MP}$$

Onde:  $N_{MFV}$  foi determinado em 26 módulos, e:

$$N_{MS} = \frac{12[V] * (1 + 20\%)}{17,7} = \frac{14,4[V]}{17,7} \approx 1$$

Então,

$$N_{MP} = \frac{26}{1} = 26$$

Desta forma, utiliza-se apenas um arranjo em série, com vinte e seis módulos fotovoltaicos em paralelo e, com isso, a corrente total corrigida das cargas passa a ser calculada por:

$$I_{ProjCorr}[A] = N_{MP} * I_{Módulo}[A]$$

Onde  $N_{MP}$  e  $I_{Módulo}$  são conhecidos, então:

$$I_{ProjCorr}[A] = 26 * 7,63[A] = 198,38[A]$$

Logo, a corrente de projeto sem o fator de correção do painel, é dada por:

$$I_{Projeto}[A] = I_{ProjCorr}[A] * 0,9$$

Assim:

$$\Gamma_{\text{Projeto}}[A] = 198,38[A] * 0,9 = 178,5[A]$$

E, ao se multiplicar esta corrente de projeto pelo número de horas de Sol Pleno, encontra-se o valor da energia que pode ser gerada para as cargas CC e CA, corrigido, o qual é dado pela expressão seguinte:

$$C_{\text{TotCorr}}[Ah / dia] = \Gamma_{\text{Projeto}}[A] * SP[h / dia]$$

Então:

$$C_{\text{TotCorr}}[Ah / dia] = 178,5[A] * 2,42[h / dia] = 432[Ah / dia]$$

Esta energia em Watt-hora por dia resulta em:

$$C_{\text{TotCorr}}[Wh / dia] = 432[Ah] * 12[V] = 5.184[Wh / dia]$$

Com isso, a energia média diária total do painel, será obtida por:

$$C_{\text{TotalCargas}}[Wh / dia] = C_{\text{TotCorr}}[Wh / dia] * \eta_f * \eta_b$$

Resultando em:

$$C_{\text{TotalCargas}}[Wh / dia] = 5.184[Wh / dia] * 0,98 * 0,95 = 4.826,4[Wh / dia]$$

Enfim, chega-se a energia máxima que poderá ser gerada pelo sistema fotovoltaico da embarcação, totalizando 4.826,4 Wh por dia, para o mês com maior consumo de carga e menor radiação solar diária média. Este valor se refere ao máximo de energia disponibilizado pelo painel em 12 Volts, para o consumo das cargas em CC e CA, acrescido das perdas no inversor.

Desta forma, para ser viável este painel, seriam necessárias alterações nas cargas de modo que a equação (13) fosse satisfeita:

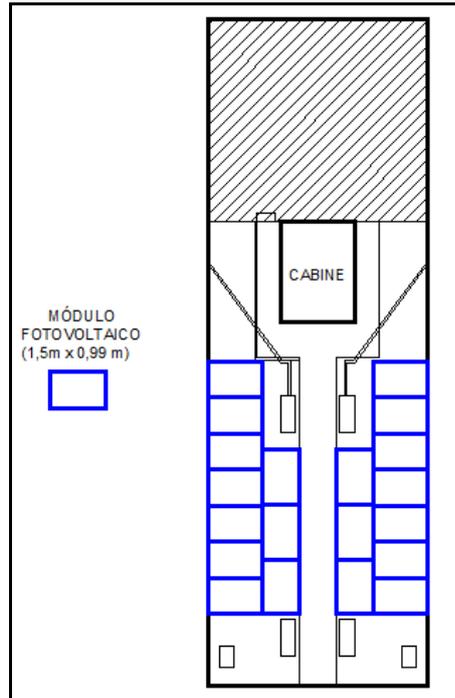
$$C_{\text{TotalCargas}} [Wh / dia] = C_{\text{diárioCC}} [Wh / dia] + \frac{C_{\text{diárioCA}} [Wh / dia]}{0,8} \leq 4.826,4 [Wh / dia] \quad (13)$$

A partir desta afirmação, pôde-se analisar a relação de cargas da embarcação e com isso verificar algumas possibilidades de mudanças no modo de operação das mesmas, ou mesmo da troca de equipamentos menos eficientes por outros de maior eficiência; pontos que serão mais bem analisados nos tópicos seguintes.

#### 4.3.2 Dimensionamento do Painel Fotovoltaico para o Sistema em 24 Volts

Do mesmo modo, como já mencionado, analisa-se então o número de módulos fotovoltaicos com tensão de geração em 24 *Volts*, possíveis de serem alocados no teto da embarcação.

Para isso, utilizou-se o módulo fotovoltaico especificado na Tabela 11, cujas dimensões são de 1,5 metros de comprimento e 0,99 metros de largura, podendo ser distribuído segundo a configuração da Figura 36, a seguir:



**Figura 36 – Croqui dos módulos fotovoltaicos (KD210GX-LP) distribuídos na área disponível do teto da embarcação**

**Fonte: Autoria própria.**

Assim, pode-se perceber que o número máximo de módulos, para geração em 24 *Volts*, possível de ser instalados na área disponível no teto da embarcação seria de 20 módulos, modelo KD210GX-LP.

Desta forma, desenvolvendo-se os cálculos, a partir das mesmas equações utilizadas para o painel em 12 *Volts*, pode-se obter o valor máximo de energia média diária que o painel poderia fornecer, considerando agora para o sistema em 24 *Volts*, dado por:

$$C_{\text{TotalCargas}}^{\wedge} [Wh / dia] = 7.689,6 [Wh / dia]$$

Com isso, este resultado mostra a necessidade de uma análise da utilização das cargas, bem como de melhorias em eficiência do sistema, de modo que a equação seguinte seja satisfeita:

$$C_{\text{TotalCargas}}^{\wedge} [Wh / dia] = \frac{C_{\text{diárioCC}}^{\wedge} [Wh / dia]}{0,85} + \frac{C_{\text{diárioCA}}^{\wedge} [Wh / dia]}{0,8} \leq 7.689,6 [Wh / dia] \quad (14)$$

Pode-se perceber, a partir das eficiências utilizadas que, desta vez foi considerada o uso tanto do conversor como do inversor para o sistema dimensionado.

Com isso, alcança-se uma energia, que poderá ser fornecida pelo painel em 24 *Volts*, de 7.689,6 Wh/dia para o mês com maior consumo de carga possível para o sistema e menor radiação solar diária média. Enfim, faz-se necessário um estudo mais detalhado a respeito da utilização das cargas embarcadas com o propósito de viabilizar a implantação do sistema fotovoltaico, com base na quantidade de módulos, tanto em 12 *Volts* quanto em 24 *Volts*, conforme apresentado no tópico seguinte.

#### 4.4 DIMENSIONAMENTO DO PAINEL A PARTIR DE ESTUDO DE MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SISTEMA

De acordo com os resultados obtidos nos tópicos anteriores, sabe-se que, mesmo aproveitando toda a área disponível para a instalação de módulos fotovoltaicos, no teto da embarcação, estes não conseguiriam suprir a demanda energética total requerida pelos aparelhos, o que, de fato inviabilizaria a instalação do sistema fotovoltaico como fonte auxiliar de energia elétrica na embarcação.

Em razão do exposto, e de encontro ao defendido por Freitas (2008), pretende-se uma reavaliação das cargas e dos padrões de utilização e do consequente consumo dos aparelhos presentes na embarcação. Pois, ao se avaliar a relação de cargas, pode-se obter conhecimento daquelas responsáveis pela maior demanda de energia no sistema, e assim, analisar qual a melhor forma de operá-las, propiciando a redução do consumo médio diário.

Outro aspecto apontado por Freitas (2008) e que poderia ser considerado no estudo, é a troca dos aparelhos atuais, por outros mais eficientes. Muito embora a troca dos aparelhos seja uma solução plausível, considera-se que esta solução poderia resultar em custos mais altos, se comparado a solução referente à mudança da forma com que são utilizados os aparelhos. Não obstante, percebe-se esta última, como uma oportunidade mais atraente de inovação e conscientização sócio-ambiental, principalmente, se levada em consideração todas as cargas embarcadas e o atual modo com que são utilizadas. Desta forma, primeiramente, pretende-se desenvolver um estudo com base na alteração da forma com que são utilizados os

equipamentos embarcados, muito embora, se o estudo demonstrar ser oportuno, poderá ser levado em consideração uma ou outra proposta para a troca de equipamentos mais eficientes.

No entanto, antes mesmo da proposta de alteração nos padrões de utilização das cargas e conseqüente redução do consumo, é necessário o conhecimento em quais cenários é possível aplicar tais alterações.

#### 4.4.1 Estudo da Variação da Energia Gerada ao Longo do Ano

Sabe-se, a partir do exposto no tópico anterior, que para se obter um sistema fotovoltaico cuja implantação seja tecnicamente viável, deve-se propor a alteração no modo ou tempo de operação dos equipamentos existentes a bordo. Porém, sabe-se também, pelo apresentado no Capítulo 3, que tal sistema foi dimensionado levando em conta o pior cenário possível, no que se refere ao menor índice de radiação solar média anual em Porto Alegre, que na ocasião, definiu-se como 2,42 kWh/m<sup>2</sup>.dia.

No entanto, previamente à alteração do modo com que são utilizados os equipamentos, deve-se conhecer quais são os cenários possíveis em que estes possam ser utilizados (FREITAS, 2008). Ou seja, pode-se propor baseado no estudo da variação do índice de radiação solar média anual e, conseqüentemente, na variação da geração de energia elétrica dos módulos fotovoltaicos, uma nova forma de utilizar os equipamentos, durante os períodos diurno e noturno, ou inverno e verão, como exemplos.

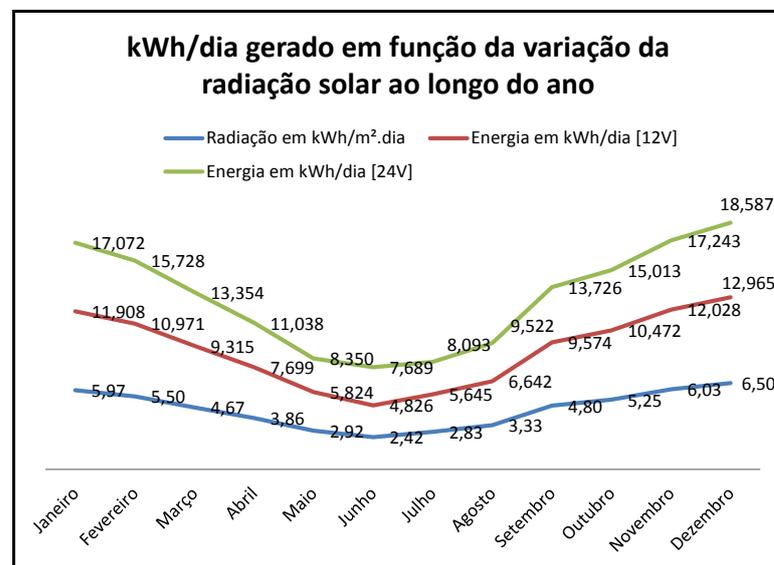
Por fim, com base nos dados apresentados pela Tabela 5; dos índices de radiação solar e com auxílio das equações referentes ao dimensionamento dos módulos fotovoltaicos, bem como, a quantidade de módulos fotovoltaicos, de 12 e 24  $V_{cc}$ , possível de alocar no teto da embarcação, chega-se na Tabela 12 apresentada a seguir.

**Tabela 12 – Tabela da energia gerada por dia, em função da radiação solar incidente ao longo de um ano**

Meses do Ano	Irradiação em kWh/m <sup>2</sup> .dia	Energia em Wh/dia [12V]	Energia em Wh/dia [24V]
Janeiro	5,97	11.907,6	17.071,7
Fevereiro	5,50	10.970,7	15.727,7
Março	4,67	9.315,1	13.354,3
Abril	3,86	7.699,4	11.038,0
Maio	2,92	5.824,4	8.350,0
Junho	2,42	4.826,4	7.689,6
Julho	2,83	5.644,9	8.092,6
Agosto	3,33	6.642,3	9.522,4
Setembro	4,80	9.574,4	13.726,0
Outubro	5,25	10.472,0	15.012,8
Novembro	6,03	12.027,9	17.243,3
Dezembro	6,50	12.965,4	18.587,3

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 12 relaciona a quantidade de energia diária disponibilizada pelos módulos fotovoltaicos, em função da variação dos índices de radiação solar ao longo do ano. Nota-se, para o sistema em 12 V<sub>cc</sub>, que a disponibilidade varia de um valor máximo (12.965,4 Wh/dia) no mês de Dezembro, a um valor mínimo correspondente ao mês de Junho (4.826,4 Wh/dia). Comparativamente, para o sistema em 24 V<sub>cc</sub>, este valor varia de 18.587,3 a 7.689,6 Wh/dia, para os mesmos meses, respectivamente. O Gráfico 7 a seguir melhor evidencia estas variações.



**Gráfico 7 – Variação da geração de energia em função da radiação solar incidente ao longo do ano**

Fonte: Autoria própria.

A percepção da variação da disponibilidade de energia ao longo do ano é de fundamental importância para a condução do estudo da melhoria da eficiência energética do sistema, em vista da redução do consumo médio diário dos

equipamentos embarcados, por meio da otimização da forma com que estes são utilizados, ou seja, a redução do tempo em que os aparelhos permanecem em operação (FREITAS, 2008).

Sabe-se que o sistema fotovoltaico deve ser dimensionado de forma que garanta o suprimento energético em seu período mais crítico, correspondente ao mês de Junho, como evidenciado pelo gráfico anterior. Por esta razão o estudo deve ser pautado dentro dos parâmetros de radiação e energia gerada deste mesmo mês. Contudo, independente da tensão nominal que se estabeleça para o sistema fotovoltaico, deve-se ter em mente que, ao longo do ano, conforme o aumento da disponibilidade de energia nos meses de maior incidência de radiação solar, tem-se uma margem excedente de energia que pode ser disponibilizada para um maior conforto aos passageiros com relação à utilização dos equipamentos alimentados pelo sistema fotovoltaico.

Cabe lembrar que as alterações devem ser propostas levando-se em consideração a rotina diária das operações de travessias, já estudadas no Capítulo 3, quando da apresentação da Tabela 4, referente ao consumo médio diário dos equipamentos a bordo, e que serão desenvolvidas no tópico seguinte.

#### 4.4.2 Estudo da Redução do Consumo Médio Diário dos Equipamentos Embarcados

Neste tópico conduz-se um estudo do atual modo de utilização das cargas elétricas embarcadas, bem como, a apresentação de uma proposta para uma readequação do modo de operação das cargas em questão. Isto visando à redução no valor do consumo médio diário, tanto em CC, como em CA.

Desta forma, espera-se que a implantação de um sistema fotovoltaico que supra as novas necessidades energéticas dos equipamentos seja tecnicamente viabilizada.

A fim de facilitar o entendimento do contexto acerca da análise das relações entre as cargas e os consumos neste tópico, segue a reapresentação da Tabela 4 referente ao consumo médio diário dos equipamentos embarcados exposto no Capítulo 3, por meio da Tabela 13 a seguir.

**Tabela 13 - Tabela do consumo médio diário dos equipamentos embarcados**

Equipamentos	Qtde (un.)	Potência Individual (W)	Potência Total (W)	Tempo em Operação (h)	Consumo Diário (Wh)
<b>Equipamentos em CA</b>					
Holofote Mastro c/ Lâmp. Halógena	1	600	600	1,5	900
Interfone da Tripulação 60Hz	1	7,5	7,5	1	7,5
Televisor LCD 42" Panasonic	2	180	360	14,5	5.220
<b>Consumo Médio Diário Total (Wh/dia)</b>					<b>6.127,5</b>
<b>Equipamentos em CC</b>					
Aparelho GPS/Radar de Navegação Garmin 18HD	1	33,5	33,5	14,5	486
Aparelho de Rádio VHF	1	25	25	2	50
Aparelho de Rede <i>W/FI</i>	1	10	10	14,5	145
Aparelho de Som/DVD (Microfone Integrado)	1	12	12	14,5	174
Câmeras de Vídeo	4	10	40	14,5	580
Painel de LED do Itinerário	1	7	7	14,5	102
Farolete de Navegação da Proa	1	50	50	3,5	175
Bombas d'Água do Porão 12A	8	49	392	0	0
Luzes de Sinalização	5	12	60	3,5	210
Lâmpadas LED 12W Sanitários	2	12	24	0,25	6
Lâmpadas LED 12W Cabine de Passageiros - Bombordo (BB)	10	12	120	14,5	1.740,0
Lâmpadas LED 12W Cabine de Passageiros - Estibordo (EB)	10	12	120	14,5	1.740,0
Lâmpadas LED 12W Cabine de Passageiros - Corredor	18	12	216	14,5	3.132,0
Lâmpadas LED 12W Convés de Popa	2	12	24	3,5	84,0
Lâmpadas LED 12W Sala de Máquinas Casco (BB/EB)	24	12	288	1	288,0
<b>Consumo Médio Diário Total (Wh/dia)</b>					<b>8.911,3</b>

**Fonte: Autoria própria.**

Percebe-se, nos dados apresentados na tabela, que o consumo médio diário em CC é de 8.911,3 Wh/dia enquanto que o consumo em CA é de 6.127,5 Wh/dia. Entretanto, antes de propor a redução destes valores é necessário estabelecer a quais novos níveis de consumo se pretendem chegar. Desta forma, com base nos dados apresentados pela Tabela 12, espera-se reduzir o consumo dos equipamentos para duas situações distintas de operação das cargas. Ou seja, primeiramente serão reduzidas as cargas ao nível do pior cenário para a geração de energia apresentada para o sistema em 12 Volts e, posteriormente, no pior cenário para o sistema em 24 Volts.

Portanto, inicia-se o primeiro estudo de forma que se consiga viabilizar a implantação do painel, utilizando-se os 26 módulos fotovoltaicos apresentados no tópico 4.3.1.

Este estudo será realizado de modo que o consumo requerido pelas cargas, considerando-se a eficiência do inversor, seja atendido pela expressão (13), rerepresentada a seguir.

$$C_{\text{TotalCargas}}^{\text{Wh/dia}} = C_{\text{diárioCC}}^{\text{Wh/dia}} + \frac{C_{\text{diárioCA}}^{\text{Wh/dia}}}{0,8} \leq 4.826,4[\text{Wh/dia}]$$

Desta forma, analisa-se então a Tabela 4, destacando-se algumas cargas as quais devido ao alto consumo energético, conseqüente da quantidade de horas em operação, pode-se dar enfoque ao estudo de redução do tempo de operação das mesmas.

Entre as cargas alimentadas em CA destacam-se os dois televisores de LCD. Embora o holofote do mastro tenha uma potência elevada, seu uso é descontinuo, assim como o interfone, portanto, não se justifica o estudo destes equipamentos.

No caso dos dois televisores, alimentados pelo gerador a diesel, observou-se durante a primeira visita técnica, realizada no início do mês de Abril, que os mesmos permanecem ligados durante todas as operações de travessia, inclusive durante o embarque e desembarque de passageiros, conforme ilustrado pela Figura 37 a seguir.



**Figura 37 – Televisores LCD na cabine de passageiros**  
**Fonte: TRAVESSIA POA – GUAIBA, 2012.**

Diante deste fato, têm-se dois cenários possíveis; desconsidera-se a alimentação dos dois televisores a partir do sistema fotovoltaico, deixando-os a cargo do gerador a diesel; ou reduz-se o tempo de operação do mesmo, preterindo a utilização desta mídia, nos meses de baixa radiação solar, em mérito da utilização do sistema de som e rádio, cujo consumo é demasiadamente menor.

Já, entre as cargas alimentadas em CC, destacam-se os equipamentos que são utilizados durante as 14,5 horas de operação da embarcação. Destes, se excluem as câmeras de vídeo, o aparelho *wi-fi*, o painel de itinerário, todos essenciais durante a operação da embarcação neste período.

Logo, cabe um estudo detalhado acerca da utilização das lâmpadas da cabine de passageiros, bem como, do aparelho de GPS/radar. No caso deste último, constatou-se, durante a visita técnica, que este permanece ligado mesmo quando a

embarcação está atracada nos terminais hidroviários realizando o embarque e desembarque de passageiros, conforme evidenciado pela Figura 38 a seguir.

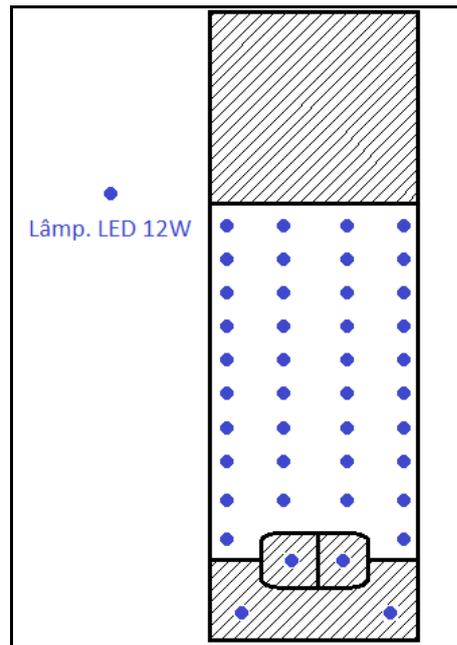


**Figura 38 – Imagem do GPS ligado durante o período de desembarque no Terminal Hidroviário de Guaíba**  
Fonte: Autoria própria.

Desta forma, poderia ser proposto o desligamento do aparelho GPS/radar a partir do momento em que a embarcação atracasse nos terminais hidroviários para o embarque e desembarque de passageiros, reduzindo desta maneira, em um terço o tempo de operação deste em cada travessia. Porém, segundo a tripulação, esta prática tornar-se-ia inconveniente, devido à necessidade de parametrização do equipamento a cada nova ligação, além do possível desgaste do mesmo, causado pela repetição desta ação ao longo do tempo.

Por fim, o modo de utilização das lâmpadas LED exigiu uma análise mais cautelosa. Pensou-se na melhor forma de utilização destes equipamentos, visando à redução do tempo de operação destas.

As lâmpadas da cabine de passageiros estão dispostas em quatro fileiras, sendo que a fileira de bombordo e a de estibordo do barco contém dez (10) lâmpadas cada, as duas fileiras do corredor, contém nove (9) lâmpadas cada, totalizando trinta e oito (38) lâmpadas na cabine, conforme ilustrado pela Figura 39 a seguir.



**Figura 39 – Croqui da disposição das lâmpadas LED no convés de popa, sanitários e cabine de passageiros**  
**Fonte: Aatoria própria.**

Durante a segunda visita técnica à embarcação, realizada em meados de Maio, pôde-se ensaiar, com o acompanhamento da tripulação, algumas formas de operação das lâmpadas da cabine de passageiros. Estes ensaios apontaram que, devido à grande quantidade de janelas na embarcação e a conseqüente claridade do ambiente, não existe a real necessidade das lâmpadas LED estarem acesas durante as operações diurnas.

Desta forma, propõe-se que as lâmpadas do corredor permaneçam acesas somente no período noturno, entre o período das 06h30min às 07h30min e das 18h30min às 21h, totalizando 3,5 horas de operação, ao passo que as lâmpadas das fileiras de estibordo e bombordo, sejam acesas somente durante os embarques e desembarques antes das 07h30min e após as 18h30min, como proposta de oferecer melhor comodidade e segurança entre o trânsito de passageiros.

Em razão do exposto, são apresentados os novos dados obtidos através das alterações propostas pelo texto acima, conforme a Tabela 14 a seguir.

**Tabela 14 – Tabela do consumo médio diário dos equipamentos, com os valores alterados para o sistema com tensão nominal em 12 V<sub>CC</sub>**

Equipamentos	Qtde (un.)	Potência Individual (W)	Potência Total (W)	Tempo em Operação (h)	Consumo Diário (Wh)
<b>Equipamentos em CA</b>					
Holofote Mastro c/ Lâmp. Halógena	1	600	600	1,5	900
Interfone da Tripulação 60Hz	1	7,5	7,5	1	7,5
Televisor LCD 42" Panasonic	2	180	360	0	0
<b>Consumo Médio Diário Total (Wh/dia)</b>					<b>907,5</b>
<b>Equipamentos em CC</b>					
Aparelho GPS/Radar de Navegação Garmin 18HD	1	33,5	33,5	14,5	486
Aparelho de Rádio VHF	1	25	25	2	50
Aparelho de Rede <i>WI-FI</i>	1	10	10	14,5	145
Aparelho de Som/DVD (Microfone Integrado)	1	12	12	14,5	174
Câmeras de Vídeo	4	10	40	14,5	580
Painel de LED do Itinerário	1	7	7	14,5	102
Farolete de Navegação da Proa	1	50	50	3,5	175
Bombas d'Água do Porão 12A	8	49	392	0	0
Luzes de Sinalização	5	12	60	3,5	210
Lâmpadas LED 12W Sanitários	2	12	24	0,25	6
Lâmpadas LED 12W Cabine de Passageiros - Bombordo (BB)	10	12	120	2	240,0
Lâmpadas LED 12W Cabine de Passageiros - Estibordo (EB)	10	12	120	2	240,0
Lâmpadas LED 12W Cabine de Passageiros - Corredor	18	12	216	3,5	756,0
Lâmpadas LED 12W Convés de Popa	2	12	24	3,5	84,0
Lâmpadas LED 12W Sala de Máquinas Casco (BB/EB)	24	12	288	1	288,0
<b>Consumo Médio Diário Total (Wh/dia)</b>					<b>3.535,3</b>

**Fonte: Autoria própria.**

Os dados obtidos na tabela anterior demonstram que é possível adotar novos padrões de consumo que vislumbrem a viabilidade de implantação de um sistema fotovoltaico na embarcação. Porém, como descrito anteriormente, estes dados foram obtidos considerando-se o pior dos cenários. Desta forma, sabe-se, pelo apresentado no Gráfico 7, da existência de uma melhor margem para a utilização dos aparelhos embarcados, em aproveitamento do excedente de energético presente em outros cenários, como é o caso, se considerada a adoção do sistema em 24 V<sub>CC</sub>.

Logo, analogamente, para o sistema em 24 V<sub>CC</sub>, obedecendo aos mesmos critérios da expressão (13), no entanto, considerando também as perdas devido à conversão CC-CC, equivalente ao índice de 0,85, tem-se um nível desejável de 7.689,6 Wh/dia ou menor, como demonstrado a seguir.

$$C_{\text{TotalCargas}}^{\text{diário}} [\text{Wh/dia}] = \frac{C_{\text{diárioCC}} [\text{Wh/dia}]}{0,85} + \frac{C_{\text{diárioCA}} [\text{Wh/dia}]}{0,8} \leq 7.689,6 [\text{Wh/dia}]$$

Em vista deste novo cenário, associado ao estudo das cargas CC e CA, conduzido acima no texto, considera-se para este caso, a manutenção das alterações nos padrões de consumo das lâmpadas LED estabelecido anteriormente e uma nova avaliação da utilização dos televisores.

Para tal, propõe-se a troca dos dois televisores de LCD, por um modelo de LED, de 84 *Watts*, mais eficiente e comumente disponível no mercado. Desta forma, seria possível a utilização deste aparelho durante as travessias, excluindo os embarques e desembarques, o que totalizaria 9,67 horas diárias, conforme apresentado na Tabela 15 a seguir.

**Tabela 15 – Tabela do consumo médio diário dos equipamentos, com os valores alterados para o sistema com tensão nominal em 24V<sub>CC</sub>**

Equipamentos	Qtde (un.)	Potência Individual (W)	Potência Total (W)	Tempo em Operação (h)	Consumo Diário (Wh)
<b>Equipamentos em CA</b>					
Holofote Mastro c/ Lâmp. Halógena	1	600	600	1,5	900
Interfone da Tripulação 60Hz	1	7,5	7,5	1	7,5
Televisor LED 42" Panasonic	2	84	168	9,67	1.625
<b>Consumo Médio Diário Total (Wh/dia):</b>					<b>2.532,1</b>
<b>Equipamentos em CC</b>					
Aparelho GPS/Radar de Navegação Garmin 18HD	1	33,5	33,5	14,5	486
Aparelho de Rádio VHF	1	25	25	2	50
Aparelho de Rede <i>WI-FI</i>	1	10	10	14,5	145
Aparelho de Som/DVD (Microfone Integrado)	1	12	12	14,5	174
Câmeras de Vídeo	4	10	40	14,5	580
Painel de LED do Itinerário	1	7	7	14,5	102
Farolete de Navegação da Proa	1	50	50	3,5	175
Bombas d'Água do Porão 12A	8	49	392	0	0
Luzes de Sinalização	5	12	60	3,5	210
Lâmpadas LED 12W Sanitários	2	12	24	0,25	6
Lâmpadas LED 12W Cabine de Passageiros - Bombordo (BB)	10	12	120	2	240,0
Lâmpadas LED 12W Cabine de Passageiros - Estibordo (EB)	10	12	120	2	240,0
Lâmpadas LED 12W Cabine de Passageiros - Corredor	18	12	216	3,5	756,0
Lâmpadas LED 12W Convês de Popa	2	12	24	3,5	84,0
Lâmpadas LED 12W Sala de Máquinas Casco (BB/EB)	24	12	288	1	288,0
<b>Consumo Médio Diário Total (Wh/dia):</b>					<b>3.535,3</b>

**Fonte: Autoria própria.**

Nota-se que em qualquer dos cenários citados, o modo de utilização dos televisores é afetado. No entanto, considera-se a possibilidade de utilizar estes equipamentos em outras épocas do ano, durante os meses em que a disponibilidade de energia é maior, em função da maior incidência de radiação solar na região de operação da embarcação.

Os dados apresentados pelas Tabela 14 e Tabela 15 servirão de base para a verificação da viabilidade dos painéis fotovoltaicos, tanto em 12 quanto em 24 V<sub>CC</sub>, os quais serão apresentados nos tópicos posteriores.

#### 4.4.3 Verificação da Eficácia da Redução de Consumo Proposta

Com as alterações propostas na Tabela 14 do tópico anterior, e com base na equação (13), anteriormente apresentada, obtém-se, para o sistema fotovoltaico operando em 12 V<sub>CC</sub>, a expressão abaixo.

$$C_{\text{TotalCargas}}^{\wedge} [Wh / dia] = 3.535,3[Wh / dia] + \frac{907,5[Wh / dia]}{0,8} \leq 4.826,4[Wh / dia]$$

Assim, tem-se que:

$$4.669,7[Wh / dia] \leq 4.826,4[Wh / dia]$$

Portanto, a partir do exposto acima, considera-se viável a implantação de um sistema fotovoltaico baseado nos módulos fotovoltaicos dimensionados em 12 V<sub>CC</sub> para a embarcação, considerando a área máxima disponível para a instalação e a quantidade máxima de 26 módulos fotovoltaicos. Porém é importante se atentar para a necessidade de conscientização, e adaptação por parte dos operadores da embarcação para esta nova realidade de operação das cargas elétricas embarcadas.

Analogamente ao obtido no sistema em 12 V<sub>CC</sub>, verifica-se a viabilidade de implantação de um sistema operando em 24 V<sub>CC</sub>, tanto para a primeira alteração de consumo das cargas (Tabela 14), quanto para a segunda alteração obtida a partir da Tabela 15, conforme exposto a seguir. Para o primeiro caso:

$$C_{\text{TotalCargas}}^{\wedge} [Wh / dia] = \frac{3.535,3[Wh / dia]}{0,85} + \frac{907,5[Wh / dia]}{0,8} \leq 7.689,6[Wh / dia]$$

assim,

$$5.293,6[Wh / dia] \leq 7.689,6[Wh / dia]$$

Bem como para o segundo caso, onde:

$$C_{\text{TotalCargas}}^{\wedge} [Wh / dia] = \frac{3.535,3[Wh / dia]}{0,85} + \frac{2.532,1[Wh / dia]}{0,8} \leq 7.689,6[Wh / dia]$$

Portanto, tem-se que:

$$7.324,3[Wh / dia] \leq 7.689,6[Wh / dia]$$

Assim, a partir do obtido pelas expressões anteriormente apresentadas, considera-se também viável a implantação de um sistema fotovoltaico baseado nos módulos fotovoltaicos dimensionados em 24 V<sub>CC</sub> para a embarcação, considerando a área disponível para a instalação e a quantidade máxima de 20 módulos fotovoltaicos.

Contudo, para o sistema em 24 V<sub>CC</sub>, em virtude da diferença entre os valores mínimos de energia gerada ao longo do ano, comparado ao sistema em 12 V<sub>CC</sub> (7.689,6 Wh/dia para o sistema em 24 V<sub>CC</sub> e 4.826,4 Wh/dia para o sistema em 12 V<sub>CC</sub>), bem como pela expressão obtida na verificação do sistema em 24 V<sub>CC</sub>, há a possibilidade de redução da quantidade de módulos fotovoltaicos nesse nível de tensão, considerando-se o primeiro caso, o qual se utilizou os valores de consumo de cargas da Tabela 14.

Desta forma, delinea-se um redimensionamento dos módulos fotovoltaicos em 24 V<sub>CC</sub> de modo que para esta primeira alteração de cargas, o tamanho do painel se enquadre melhor na necessidade de energia dessas cargas.

Com isso, levando-se em consideração os novos valores de consumo das cargas embarcadas, tem-se a perspectiva de que o redimensionamento dos módulos fotovoltaicos em 24 V<sub>CC</sub> reflita em uma redução da quantidade necessária deste componente e, conseqüentemente, resulte em um sistema fotovoltaico mais enxuto e com custos reduzidos, se adotadas as práticas de consumo anteriormente expostas.

#### 4.4.4 Dimensionamento do Painel Fotovoltaico para o Sistema em 24 Volts Considerando a Redução do Consumo Médio Diário das Cargas Embarcadas

Para o redimensionamento do painel fotovoltaico em 24 Volts e a verificação da nova quantidade de módulos para o mesmo, em função da redução do consumo médio diário, considera-se:

i) Os novos valores de consumo médio diário, estabelecidos a partir do estudo de melhoria da eficiência do sistema, conduzido anteriormente, no qual se obteve, de acordo com a Tabela 14, consumos de 907,5 Wh/dia em CA e 3.535,3 Wh/h em CC;

ii) O módulo fotovoltaico especificado anteriormente na Tabela 11, modelo KD210GX-LP da fabricante Kyocera;

iii) As perdas com a utilização de um inversor ( $24 V_{CC} / 220 V_{CA}$ ) e de um conversor CC-CC ( $24 V_{CC} / 12 V_{CC}$ ).

Com isto, aplicando-se o método do dimensionamento do módulo fotovoltaico, estabelecido anteriormente, tem-se:

$$C_{\text{TotalCargas}}[\text{Wh} / \text{dia}] = \frac{3.535,3[\text{Wh} / \text{dia}]}{0,85} + \frac{907,5[\text{Wh} / \text{dia}]}{0,80} = 5.293,6[\text{Wh} / \text{dia}]$$

Em seguida, é determinado o consumo diário corrigido, levando-se em conta perdas de energia em detrimento da fiação e das baterias (Tabela 7), utilizando-se a expressão (4):

$$C_{\text{TotCorr}}[\text{Wh} / \text{dia}] = \frac{5.293,6[\text{Wh} / \text{dia}]}{0,98 * 0,95} = 5.685,9[\text{Wh} / \text{dia}]$$

Ou em Ampère-hora por dia:

$$C_{\text{TotCorr}}[\text{Ah} / \text{dia}] = \frac{5.685,9[\text{Wh} / \text{dia}]}{24[\text{V}]} = 236,9[\text{Ah} / \text{dia}]$$

Desta forma, considerando-se o número de horas de Sol Pleno (2,42 h/dia), calcula-se a corrente de projeto do painel, a partir da equação (6).

$$I_{\text{Projeto}}[\text{A}] = \frac{236,9[\text{Ah} / \text{dia}]}{2,42[\text{h} / \text{dia}]} = 97,9[\text{A}]$$

Assim, determinada a corrente de projeto, e considerando-se o módulo do tipo policristalino, pode-se calcular a corrente de projeto corrigida por:

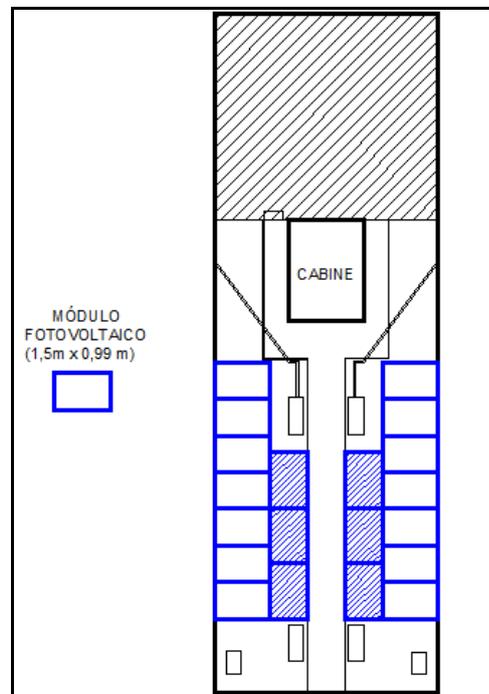
$$I_{\text{ProjCorr}}[\text{A}] = \frac{97,9[\text{A}]}{0,9} = 108,8[\text{A}]$$

Calcula-se então, o número de módulos em paralelo e em série. Logo:

$$N_{MP} = \frac{108,8[A]}{7,90[A]} \approx 14 \quad \text{e} \quad N_{MS} = \frac{24[V] * (1 + 20\%)}{26,6[V]} \approx 1, \text{ portanto:}$$

$$N_{MFV} = 1 * 14 = 14$$

Desta maneira, o número total de módulos que compõem o painel fotovoltaico é de catorze (14), sendo que todos devem estar ordenados em paralelo, em uma única fileira em série. Conforme ilustrado pela Figura 40 a seguir.



**Figura 40 – Croqui dos módulos fotovoltaicos (KD210GX-LP) distribuídos na área disponível do teto da embarcação, fazendo referência ao possível aumento de 14 para 20 módulos FV.  
Fonte: Autoria própria.**

Nesta figura, podem-se perceber os catorze módulos fotovoltaicos justapostos nas laterais, bem como, outros seis módulos posicionados ao centro do teto da embarcação, significando que, além dos catorze módulos necessários para suprir a nova demanda energética das cargas, há, no entanto, a possibilidade da instalação de mais outros seis módulos, caso haja um aumento de cargas em virtude

de uma, eventual, expansão do sistema elétrico, como por exemplo, as cargas apresentadas na Tabela 15.

Por fim, para se determinar a energia total para o arranjo fotovoltaico de 14 módulos, faz-se, analogamente, ao método de cálculo utilizado para o sistema de 12 Volts a 26 módulos e de 24 Volts a 20 módulos, obtendo-se enfim, o valor de energia disponível, expresso a seguir.

$$C_{\text{TotalCargas}} [\text{Wh} / \text{dia}] = 5.382,6 [\text{Wh} / \text{dia}]$$

Este resultado confirma o que se esperava da relação entre o consumo requerido a partir das cargas embarcadas apresentadas pela Tabela 14, para o sistema em 24 *Volts*, e a energia disponibilizada para as mesmas pelo painel com catorze módulos, pois como mostra a expressão a seguir, a energia disponibilizada supre a necessidade das cargas.

$$5.293,6 [\text{Wh} / \text{dia}] \leq 5.382,6 [\text{Wh} / \text{dia}]$$

Nota-se, a partir do obtido pelos cálculos, que esta é uma configuração tecnicamente viável de se implantar na embarcação.

#### 4.5 RESUMO DA ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA

Resumidamente, o Capítulo 4 apresenta três principais pontos, merecedores de destaque. O primeiro ponto a ser destacado é a constatação de que, se considerado o atual modo de operação dos equipamentos a bordo da embarcação, não seria tecnicamente viável a implantação do sistema fotovoltaico visando suprir as necessidades energéticas desses equipamentos, isto, em razão da limitação da área disponível no teto da embarcação mensurada a este propósito.

Desta forma, destaca-se o segundo ponto importante da análise conduzida; a necessidade da redução do consumo médio diário requerido pela embarcação.

Foi proposta, mediante um estudo para a melhoria da eficiência do sistema elétrico embarcado, conduzido neste capítulo, a redução do consumo energético da embarcação por meio da redução do tempo de utilização de alguns equipamentos a bordo, neste caso, os dois televisores de LCD e a iluminação da cabine de

passageiros. Em ambos os casos, vale ressaltar, de acordo com o apresentado pelo estudo, a importância da conscientização e adaptação da tripulação e passageiros, a respeito do novo padrão de consumo, proposto, de forma a garantir a viabilidade do sistema fotovoltaico em suprir a demanda energética requerida durante os períodos de baixa incidência solar e consequente baixa produção energética.

No entanto, cabe ressaltar que existem inúmeras possibilidades de obter a redução do consumo energético aos níveis necessários para garantir a viabilidade do sistema. Isto, devido a grande diversidade de equipamentos e modos de utilização destes atualmente vigentes na embarcação. Logo, o estudo conduzido, tratou-se de propor algumas dessas possibilidades.

Por fim, destacam-se as três configurações distintas de um sistema fotovoltaico, apontadas pelo estudo conduzido, como viáveis de se implantar na embarcação. A saber:

- i) Um sistema fotovoltaico com 26 módulos e tensão nominal de 12  $V_{CC}$ ;
- ii) Um sistema fotovoltaico com 20 módulos e tensão nominal de 24  $V_{CC}$ ;
- iii) Um sistema fotovoltaico com 14 módulos e tensão nominal de 24  $V_{CC}$ .

Contudo, as três opções apontadas acima, serão melhor analisadas, sob a perspectiva da definição de qual das três configurações apresentaria as melhores condições para a implantação de um sistema fotovoltaico na embarcação, conforme abordado no tópico a seguir.

## 5 ANÁLISE DA CONFIGURAÇÃO DO PAINEL FOTOVOLTAICO E DIMENSIONAMENTO DOS DEMAIS EQUIPAMENTOS DO SISTEMA

Em razão do exposto no Capítulo 4, o qual foi feita a análise em relação aos dimensionamentos das possíveis configurações dos painéis fotovoltaicos, também em relação à variação da radiação solar durante o período de doze meses e ao estudo relativo à maior eficiência das cargas; pode-se então fazer algumas observações objetivando avaliar qual seria o melhor sistema, de 12 ou 24 Volts, que poderia ser implantado na embarcação.

### 5.1 ANÁLISE DA CONFIGURAÇÃO DO PAINEL FOTOVOLTAICO

Assim, serão apresentados a seguir, os dados com relação aos painéis fotovoltaicos dimensionados para as três diferentes situações de operação das cargas utilizadas nos dimensionamentos, as quais foram nomeadas como, “situação de operação”: “A”, para a situação em que as cargas são operadas do mesmo modo como são utilizadas atualmente pelos funcionários da embarcação; “B”, para a situação cujas operações das cargas foram alteradas levando-se em conta a energia relativa ao número máximo de módulos do modelo KD135SX-UPU que poderiam ser instalados dentro da área delimitada no teto da embarcação, e; “C”, para a situação a qual as operações das cargas foram determinadas de acordo com a energia relativa ao número máximo de módulos do modelo KD210GX-LP que poderiam ser instalados na mesma área delimitada da embarcação.

Desta forma, os dados dos painéis calculados no capítulo anterior serão então expostos na Tabela 16 a seguir.

**Tabela 16 – Dados dos painéis fotovoltaicos dimensionados**

Dados Gerais dos Painéis Fotovoltaicos									
Situação de Operação das Cargas Embarcadas	Tensão Nominal do Sistema [V]	Fabricante do Módulo FV	Modelo de Módulo FV	Número de Módulos do Painel	Máxima Potência por Módulo [W]	Energia Disponibilizada pelo Painel para as cargas (CA e CC) + perdas devido aos conversores de potência [Wh/dia]	Energia Consumida pelas cargas (CA e CC) + perdas devido aos conversores de potência [Wh/dia]	Peso Total do Painel sobre o Teto da Embarcação [kg]	Custo Total do Painel [R\$]
A	12	Kyocera	KD135SX-UPU	90	135	INVIÁVEL	INVIÁVEL	INVIÁVEL	INVIÁVEL
A	24	Kyocera	KD210GX-LP	48	210	INVIÁVEL	INVIÁVEL	INVIÁVEL	INVIÁVEL
B	12	Kyocera	KD135SX-UPU	26	135	4.826,4	4.669,7	325	29.874,00
B	24	Kyocera	KD210GX-LP	14	210	5.382,6	5.293,6	259	33.600,00
C	24	Kyocera	KD210GX-LP	20	210	7.689,6	7.324,3	370	48.000,00

Fonte: Autoria própria.

Nesta tabela, é possível identificar que não será viável a implantação de painel fotovoltaico tanto para o sistema com tensão em 12 quanto em 24 *Volts* para a situação “A” de utilização das cargas.

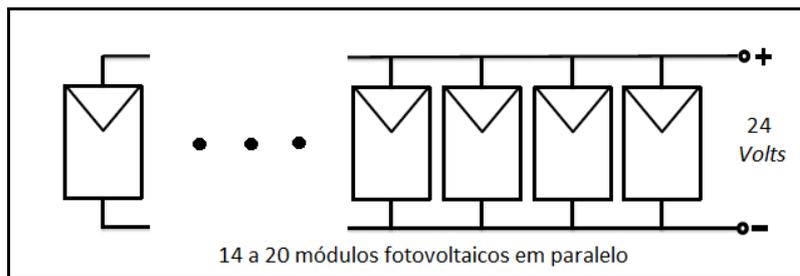
Por outro lado, para “B”, pode-se perceber que os sistemas com ambas as tensões de geração são possíveis. No entanto, esta situação forçaria a eliminação do uso dos televisores na embarcação, pelo menos para o mês de mais baixa radiação do ano.

Já para a situação “C”, a qual seria possível apenas para o sistema em 24 *Volts*. Havendo neste caso um acréscimo de outros seis módulos fotovoltaicos em relação ao modo de operação da situação anterior. E, com isso possibilitando um aumento de cargas caso seja desejado, como por exemplo, a utilização de televisores LED, mencionado no capítulo anterior, assim como da utilização de outras cargas que porventura possam ser acrescentadas ao sistema.

Outro fator observado é que não houve uma variação muito grande em relação ao peso dos painéis sobre o teto da embarcação (variação de 66 kg), para a situação “B”. Bem como um total de 370 quilogramas acrescentados a esse mesmo teto, para “C”. Assim, em relação ao aumento de peso no teto, visto que o mesmo é reforçado, sendo este composto por uma estrutura de alumínio revestido por fibra de vidro, o qual foi construído visando o acesso de pessoal responsável pela manutenção da embarcação, não se verifica um problema para a implantação dos painéis, dado que, estes serão colocados de forma distribuída ao longo da área delimitada para o mesmo.

Ainda, pode-se comparar o custo total do painel fotovoltaico, para a situação “B”, apenas levando-se em conta o preço do total de módulos fotovoltaicos no painel. Desta forma, foi previsto um aumento de apenas R\$3.726,00 para o sistema em 24 *Volts* em relação ao de 12 *Volts*.

Assim, observa-se que o sistema de geração fotovoltaica com tensão em 24 *Volts* é mais vantajoso em relação ao de 12 *Volts*, devido ao fato da possibilidade de se aumentar o número de 14 para 20 módulos fotovoltaicos, como mencionado anteriormente, possibilitando então trazer alguns benefícios aos passageiros.



**Figura 41 – Diagrama do arranjo do painel fotovoltaico em 24 Volts**  
**Fonte: Autoria própria.**

A **Figura 41** acima, ilustra a configuração do painel fotovoltaico de 24 Volts, onde se utiliza apenas um arranjo em série, com a possibilidade de se utilizar de catorze a vinte módulos fotovoltaicos em paralelo.

## 5.2 MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DOS DEMAIS COMPONENTES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Uma vez determinada a quantidade e o modelo dos módulos fotovoltaicos, a tensão cujo sistema é mais adequado e certo do atendimento destes às necessidades energéticas das cargas embarcadas, será apresentado primeiramente, os métodos de cálculo nos quais serão pautados os dimensionamentos dos equipamentos que, juntamente com o painel fotovoltaico associado, irão compor o sistema fotovoltaico.

Posteriormente, com base nas cargas do painel cujo sistema foi determinado como mais adequado, será enfim dimensionado os demais equipamentos componentes do sistema fotovoltaico; banco de baterias, inversores CC-CA, controladores de carga e conversores CC-CC.

### 5.2.1 Método para o Dimensionamento de Bancos de Baterias

Um dos equipamentos essenciais para o dimensionamento do sistema fotovoltaico é o banco de baterias. O correto cálculo deste determina o seu melhor funcionamento, e desta maneira torna possível o aumento da vida útil do mesmo. É fundamental que as cargas sejam bem especificadas, bem como a sua operação e a quantidade de horas que operam, pois estes dados serão demasiadamente importantes para calcular o tamanho adequado do banco.

Deste modo, define-se também a autonomia (A), em dias, do banco de baterias a ser utilizado no estudo, ou seja, a estimativa de uma sequência de dias em que a radiação solar deve ser escassa, como por exemplo, em dias nublados. Logo, utilizando-se do método apresentado pelo CEPEL/CRESESB (2004), é possível dimensionar o banco de baterias, a partir do consumo de cargas corrigido, apresentado anteriormente pela equação (4).

Para tanto, deve-se calcular a capacidade do banco ( $C_{TotalBB}$ ) em função da profundidade de descarga (PD) da bateria. A profundidade de descarga é utilizada para limitar a descarga da mesma de forma a prolongar a sua vida útil, conforme visto no Capítulo 2. E para este estudo, será utilizado o valor de PD para uma bateria do tipo chumbo-ácida, cujo valor (80%) é o padrão para baterias do tipo chumbo-antimônio, sugerido pelo CEPEL/CRESESB (2004), assim definido pela equação (13).

$$C_{TotalBB}[Ah] = \frac{C_{TotCorr}[Ah/dia] * A[dias]}{0,8} \quad (13)$$

Ainda, depois de calculada a capacidade total do banco, escolhe-se a bateria que será utilizada para o mesmo, a qual deverá ter um valor comercial ( $C_{nomBat}$ ) de capacidade de corrente, em Ampère-hora. Desta forma, para determinar o número de baterias em paralelo ( $N_{BP}$ ), deve-se fazer como mostra a equação (14) a seguir.

$$N_{BP} = \frac{C_{TotalBB}[Ah]}{C_{nomBat}[Ah]} \quad (14)$$

Já, o número de baterias em cada fileira em série,  $N_{BS}$ , é calculado utilizando-se a tensão do sistema dividido pela tensão nominal das baterias ( $V_{nomBat}$ ), conforme a equação (15).

$$N_{BS} = \frac{V_{nom}[V]}{V_{nomBat}[V]} \quad (15)$$

Enfim, define-se a quantidade total de baterias ( $N_{totalBat}$ ) que será dada por:

$$N_{\text{totalBat}} = N_{BP} * N_{BS} \quad (16)$$

### 5.2.2 Método para o Dimensionamento de Controladores de Carga

Seguindo com os procedimentos para o dimensionamento do sistema fotovoltaico, deve-se dimensionar o controlador de carga, o qual tem a função de proteger o banco de baterias de possíveis sobrecargas e também de descargas em excesso (FREITAS, 2008).

Não obstante, conforme CEPEL/CRESESB (2004), o aumento da radiação solar em determinado momento pode provocar um aumento excessivo da corrente gerada pelos módulos fotovoltaicos ( $I_{\text{ccmóduloFV}}$ ) e, para a proteção dos equipamentos deve-se sobredimensionar o controlador na ordem de 25% em relação à corrente de curto-circuito do painel fotovoltaico ( $I_{\text{ccpainel}}$ ). Desta forma, a corrente de curto-circuito do arranjo fotovoltaico é determinada pela equação (17).

$$I_{\text{ccpainel}}[A] = N_{MP} * I_{\text{ccmóduloFV}}[A] \quad (17)$$

Assim, a corrente mínima do controlador ( $I_{\text{mínCont}}$ ) é calculada pela equação (18) apresentada abaixo.

$$I_{\text{mínCont}}[A] = I_{\text{ccpainel}}[A] * (1 + 25\%) \quad (18)$$

Uma vez determinada a corrente do controlador, define-se então, o modelo de controlador a ser utilizado e, se não for possível que um único controlador possa operar com a corrente anteriormente determinada, então deve ser calculado o número de controladores em paralelo,  $N_{CP}$ , necessários para suportar a produção de corrente nas condições de radiação solar mais elevada, como apresentado pela expressão (19) a seguir.

$$N_{CP} = \frac{I_{\text{mínCont}}[A]}{I_{\text{Contr}}[A]} \quad (19)$$

Especificado o controlador de carga, podem-se dimensionar os conversores de potência que serão necessários no sistema. Na sequência será apresentado o método utilizado por Freitas (2008), para dimensionamento de inversores CC-CA e conversores CC-CC.

### 5.2.3 Método para o Dimensionamento de Inversores CC-CA

Segundo Freitas (2008), dimensiona-se o inversor de modo que este possa suprir as necessidades das cargas alimentadas em corrente alternada (CA), desta forma o número calculado de inversores pode ser até mesmo um pouco maior para o caso de haver qualquer aumento de cargas, para que com isso não seja necessário fazer a troca do inversor posteriormente.

O número de inversores ( $N_{\text{Inversores}}$ ) é calculado a partir da equação (20) apresentada a seguir.

$$N_{\text{Inversores}} = \frac{P_{CA}[W]}{P_{\text{Inv}}[W]} \quad (20)$$

Onde;  $P_{CA}$  é a soma das potências nominais das cargas em CA e  $P_{\text{Inv}}$  é a potência do inversor escolhido. Assim, deve-se considerar que a potência de saída do inversor deve ser dimensionada para a máxima carga em CA (FREITAS, 2008).

### 5.2.4 Método para o Dimensionamento de Conversores CC-CC

A especificação de um conversor CC-CC pode ser necessária, caso se deseje uma tensão de saída CC diferente da tensão fornecida pelo módulo fotovoltaico e baterias. Neste caso, serão utilizados conversores do tipo *buck* para abaixar a tensão, podendo-se também utilizar em outros casos, conversores do tipo *boost* para elevar a tensão.

Ainda, o cálculo do número de conversores ( $N_{\text{Conversores}}$ ) e sua especificação são similares a de um inversor, diferenciando neste caso, apenas pela característica de saída, a qual deverá ser em CC (CENTRO..., 2004).

Deste modo, especifica-se o conversor de modo que atenda as características básicas do mesmo, tais como:

- i) A tensão de entrada em CC deverá ser a tensão nominal do sistema ( $V_{nom}$ ) definido anteriormente;
- ii) A tensão de saída em CC do conversor, deve ser a requerida para a alimentação das cargas;
- iii) A potência de saída do conversor deve ser suficiente para alimentar as cargas, e;
- iv) A partir desses dados, deve-se pesquisar em catálogos de fabricantes um conversor que atenda as especificações.

Enfim, utilizando-se dos métodos de dimensionamento apresentados e dos dados das cargas referidas ao dimensionamento do painel, de tensão nominal em 24 *Volts*, relativo à situação de operação “B”, pode-se dimensionar os demais equipamentos do sistema fotovoltaico.

### 5.3 DIMENSIONAMENTO DOS DEMAIS EQUIPAMENTOS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Nos tópicos seguintes serão dimensionados, a partir dos métodos de dimensionamento apresentados, os componentes complementares ao painel fotovoltaico os quais deverão compor o sistema fotovoltaico com tensão nominal em 24 *Volts*.

#### 5.3.1 Dimensionamento do Banco de Baterias

Para o dimensionamento feito neste trabalho, fez-se a escolha por baterias chumbo-ácidas devido ao seu custo ser inferior a de níquel-cádmio e, para o cálculo, assim como para o dimensionamento do painel fotovoltaico, foi tomado como base o método utilizado por CEPEL/CRESESB, 2004, descrito anteriormente, que define as condições necessárias e expressões utilizadas no dimensionamento do banco de baterias. Desta forma, utilizou-se o valor de energia consumida de 5.293,6 [W.h/dia], assim, em [Ah/dia] este valor é de:

$$C_{\text{TotalCargas}}^{\wedge} [Ah / dia] = \frac{C_{\text{TotalCargas}}^{\wedge} [Wh / dia]}{V_{\text{nom}} [V]} = \frac{5.293,6 [Wh / dia]}{24 [V]} = 220,55 [Ah / dia]$$

Utilizando a expressão (4), para o consumo médio corrigido, tem-se que:

$$C_{\text{TotCorr}}^{\wedge} [Ah / dia] = \frac{220,55 [Ah / dia]}{0,98 * 0,95} = 236,9 [Ah / dia]$$

Assim, considerando a profundidade de descarga para baterias do tipo chumbo-ácida (80%), a autonomia de 2 dias e o consumo médio corrigido, a capacidade do banco de baterias se dará pela expressão (13), citada anteriormente, resultando em:

$$C_{\text{TotalBB}} [Ah] = \frac{236,9 [Ah / dia] * 2 [dias]}{0,8} = 592,25 [Ah]$$

Enfim, a capacidade total calculada será de 592,25 [Ah]. Sendo que, para os devidos fins, calcula-se um banco de baterias para uma capacidade com valor comercial ( $C_{BB}$ ) de 600 [Ah]. Assim, para a definição da quantidade de baterias, é necessário escolher primeiramente um tipo, dentre as existentes no mercado e, por esta razão, foi escolhido o modelo 12MB220, da fabricante Moura, cujos dados técnicos estão na Tabela 17 a seguir.

**Tabela 17 – Dados técnicos da bateria, modelo 12MB220 – Moura**

Dados Técnicos da Bateria	
Características Elétricas	
Fabricante	Moura
Modelo	12MB220
Tensão Nominal [V]	12
Capacidade Nominal (20 horas) [Ah]	220
Dimensões	
Largura [mm]	290
Altura [mm]	240
Profundidade [mm]	517
Peso [kg]	51
Preço [R\$]	1269,00

**Fonte: MOURA, 2011.**

Desta forma, para se obter o número de baterias em paralelo ( $N_{BP}$ ), deve-se fazer:

$$N_{BP} = \frac{600[Ah]}{220[Ah]} = 2,7 \approx 3$$

Assim, para o banco de baterias, serão utilizados três conjuntos de baterias em série, em paralelo. Já, o número de baterias em cada fileira em série,  $N_{BS}$ , é calculado utilizando-se a tensão do sistema e a tensão nominal das baterias ( $V_{nomBat}$ ) como anteriormente apresentado pela expressão (15):

$$N_{BS} = \frac{24[V]}{12[V]} = 2. \text{ Assim, } N_{totalBat} = 3 * 2 = 6$$

Enfim, o sistema possui um banco de baterias com um total de três baterias chumbo-ácidas em paralelo, em duas fileiras em série apenas, considerando ainda que cada bateria possua uma capacidade de 220 Ah e tensão nominal de 12 *Volts*.

### 5.3.2 Dimensionamento do Controlador de Cargas

Para o dimensionamento do controlador de cargas, será necessário calcular a corrente de curto-circuito do painel fotovoltaico, o qual é determinado pela expressão (17), assim:

$$I_{ccpainel}[A] = 14 * 8,58[A] = 120,12[A]$$

Logo, a corrente mínima do controlador ( $I_{minCont}$ ) é calculada por:

$$I_{minCont}[A] = 120,12[A] * 1,25 = 150,15[A]$$

Desta forma, escolheu-se o controlador de carga da fabricante Xantrex, modelo C60, cujos dados estão na Tabela 18 a seguir.

**Tabela 18 – Dados técnicos do controlador de carga, modelo C60 – Xantrex**

<b>Dados Técnicos do Controlador de Carga</b>	
Características Elétricas	
Fabricante	Xantrex
Modelo	C60
Tensão Nominal (CC) [V]	12 e 24
Corrente de Carga (CC) [A]	60
Dimensões	
Largura [mm]	178
Altura [mm]	315
Profundidade [mm]	64
Peso [kg]	1,4
Preço [R\$]	1350,00

**Fonte: XANTREX, 2008.**

Após a escolha do modelo de controlador a ser utilizado, calcula-se o número de controladores em paralelo, dado pela expressão (19):

$$N_{CP} = \frac{150,15[A]}{60[A]} = 2,50 \approx 3$$

Com isso, define-se que serão utilizados três controladores C60 do fabricante Xantrex, os quais devem ser instalados em paralelo.

### 5.3.3 Dimensionamento do Inversor CC-CA

Para este dimensionamento, deve-se considerar que a potência de saída do inversor deve ser calculada para a máxima carga em CA (Freitas, 2009). Deste modo, foi escolhido um inversor da fabricante Hayonik, modelo 34197, especificado na Tabela 19, a seguir.

**Tabela 19 – Dados técnicos do inversor, modelo 34197 - Hayonik**

<b>Dados Técnicos do Inversor</b>	
Características Elétricas	
Fabricante	Hayonik
Modelo	34197
Potência Nominal de Entrada (CC) [W]	1000
Tensão de Entrada (CC) [V]	24
Tensão de Saída (CA) [V]	220
Dimensões	
Largura [mm]	146
Altura [mm]	70
Profundidade [mm]	280
Peso [kg]	1,98
Preço [R\$]	379,00

Fonte: HAYONIK, 2012.

Não obstante, utilizando-se a equação (19), define-se o número de inversores a ser utilizado no sistema:

$$N_{\text{Inversores}} = \frac{967,5[W]}{1.000[W]} = 0,97 \approx 1$$

O que significa que é necessário apenas um inversor Hayonik, modelo 34197, com potência nominal de entrada em CC de 1 kW.

#### 5.3.4 Dimensionamento do Conversor CC-CC

Para o dimensionamento e especificação do conversor a ser adotado neste sistema, foi escolhido o conversor da fabricante Batelco, modelo BTDC122410, como apresentado na Tabela 20 a seguir.

**Tabela 20 – Dados técnicos do conversor, modelo BTDC122410 - Batelco**

<b>Dados Técnicos do Conversor</b>	
Características Elétricas	
Fabricante	Batelco
Modelo	BTDC2412-50AL
Potência Nominal de Entrada (CC) [W]	640
Tensão de Entrada (CC) [V]	24
Tensão de Saída (CC) [V]	12
Dimensões	
Largura [mm]	225
Altura [mm]	70
Profundidade [mm]	170
Peso [kg]	1,98
Preço [R\$]	379,00

Fonte: MARINE SERVICE, 2012.

Logo, o número de conversores necessários para o sistema será de:

$$N_{\text{Conversors}} = \frac{1.421,5[W]}{640[W]} = 2,22 \approx 3$$

Ou seja, serão necessários três conversores Batelco, modelo BTDC2412-50AL, com potência nominal de entrada em CC de 640 *Watts*.

#### 5.4 CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTACO

Uma vez especificados os principais componentes do sistema fotovoltaico e certo da capacidade do mesmo para o suprimento das necessidades energéticas das cargas embarcadas, serão então apresentados na Tabela 21, em resumo, os equipamentos dimensionados.

**Tabela 21 – Dados gerais dos principais equipamentos que constituem o sistema fotovoltaico**

Dados Gerais dos Equipamentos do Sistema Fotovoltaico						
Equipamento	Fabricante	Modelo do Equipamento	Quantidade Total do Equipamento Utilizado	Peso Total do Equipamento [kg]	Custo Total do Equipamento [R\$]	Local de Instalação
Painel Fotovoltaico	Kyocera	KD210GX-LP	14	259	33.600,00	Teto
Banco de Baterias	Moura	12MB220	6	306	7.614,00	Sala de Máquinas
Controlador de Carga	Xantrex	C60	3	4,2	4.050,00	
Inversor (CC-CA)	Hayonik	34197	1	1,98	379,00	
Conversor (CC-CC)	Batelco	BTDC2412-50AL	3	5,94	1.137,00	

**Fonte: Autoria própria.**

Nota-se que nesta tabela são apresentados todos os equipamentos dimensionados para o sistema em 24 *Volts*, de modo que se possa verificar seus respectivos pesos e custos individuais. O peso total destes equipamentos aproxima-se dos 577 kg, a um custo total de aquisição de cerca de 46.780,00 reais.

Contudo, com relação à distribuição física do sistema fotovoltaico, prevê-se para a instalação das baterias, dos inversores CC-CA, dos controladores de carga e dos conversores CC-CC, a utilização dos espaços atualmente disponíveis nas salas de máquinas (cascos de bombordo e estibordo) da embarcação.



**Figura 42 – Foto da popa do catamarã mostrando os cascos que também servem como sala de máquinas**

**Fonte: B&B BARCOS.**

A Figura 42 mostra de forma mais evidente, ambos os cascos (de bombordo e de estibordo) onde, atualmente estão localizados os motores, o gerador a diesel, e as baterias de partida e de serviço da embarcação.

Ainda para estas últimas, prevê-se a substituição destas pelas baterias especificadas para o sistema fotovoltaico, enquanto que o gerador a diesel continue operando, isolado do circuito fotovoltaico, como fonte de energia elétrica para os quatro equipamentos de ar-condicionado, assim como, para as tomadas de uso geral. Diz-se, desta forma, isolado, pois o estudo desenvolvido, não prevê o uso do gerador a diesel como uma fonte alimentadora do banco de baterias do sistema fotovoltaico. Enfim, analogamente, classifica-se o sistema fotovoltaico como autônomo e isolado.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho de conclusão de curso abordou o estudo de caso da análise da viabilidade técnica de implantação de um sistema fotovoltaico como fonte de energia elétrica auxiliar em uma embarcação de transporte de passageiros que realiza a travessia do Rio Guaíba, entre os municípios de Porto Alegre e Guaíba, no Estado do Rio Grande do Sul.

Tendo em vista a composição do sistema elétrico embarcado e as características de operação da travessia, tais como, o tempo para percorrer o percurso, a frequência e a alternância entre as operações diurnas e noturnas, pôde-se determinar o consumo médio diário da embarcação. Assim, tomando como base estes valores e associando-os aos índices de radiação solar incidentes na região, assim como à área disponível para a instalação dos módulos fotovoltaicos, foi possível dimensionar e especificar os equipamentos que poderiam compor o sistema fotovoltaico a ser implantado na embarcação.

Com relação ao potencial de geração de energia elétrica deste sistema, constatou-se que o mesmo, limitado pela área disponível para a instalação do conjunto de módulos fotovoltaicos, no teto da embarcação, não seria capaz de suprir toda a demanda de energia requerida pelos equipamentos elétricos embarcados, da forma com que são operados atualmente. Desta forma, fez-se uma análise de quais equipamentos ou circuitos da embarcação poderiam ser alimentados por esta fonte de energia, e, em paralelo, desenvolveu-se um breve estudo de otimização dos equipamentos elétricos da embarcação, ponderando algumas alterações, tanto na forma como os equipamentos são operados quanto na troca por similares, mais eficientes, que tornariam a utilização do sistema fotovoltaico mais eficiente.

Outro aspecto relevante que o estudo conduzido evidenciou foi que, muito embora a tecnologia de geração de energia fotovoltaica apresente custos de investimento elevados, com a desvantagem de proporcionar baixa produtividade de energia em dias nublados ou durante estações do ano com baixos índices de radiação solar, como no outono e inverno, sua aplicação reflete-se em muitos benefícios sócio-ambientais que, além de representarem um incentivo à inovação, pode ser explorada comercialmente por meio do marketing ambiental e da melhoria da imagem da empresa perante os passageiros, investidores e sociedade em geral, visto que a empresa que operacionaliza a travessia presta um serviço público.

Cabe ressaltar que o estudo apresentado não considerou o dimensionamento e especificação de dispositivos complementares e que, evidentemente, também compõem qualquer sistema fotovoltaico, tais como; conectores, fusíveis, chaves, fiação e outros. Isto, devido aos objetivos traçados pelo estudo, com os quais se pretendeu analisar a viabilidade de implantação de um sistema fotovoltaico, tomando como base o dimensionamento e a especificação de seus componentes básicos e que, efetivamente, causariam maior impacto no resultado final da análise, como neste caso, os módulos fotovoltaicos, inversores CC-CA, banco de baterias, controladores de carga e conversores CC-CC.

Contudo, os resultados obtidos apontaram que a implantação de um sistema fotovoltaico é viável tecnicamente, porém com a ressalva de que é necessária a adaptação, tanto da tripulação como dos passageiros a uma nova cultura de utilização dos equipamentos a bordo, em vista à limitada produção energética constatada nos meses de baixa incidência da radiação solar. Não obstante, sabe-se, pelo observado durante a realização da travessia, bem como, durante as visitas técnicas realizadas ao terminal de embarque de Porto Alegre, que atualmente não existe a preocupação com o consumo de energia elétrica, por parte da tripulação e usuários. Isto, constatado, principalmente, pelo uso da iluminação da cabine de passageiros durante o dia. Uso este, desnecessário, conforme apontado pelo estudo da melhoria da eficiência energética realizado, devido à claridade proporcionada pela grande quantidade de janelas presentes na cabine.

Por fim, estudos mais aprofundados acerca do tema são necessários para a eventual implantação de tal sistema.

A seguir são apresentadas algumas recomendações para estudos posteriores que podem ser desenvolvidos a partir deste trabalho. São elas:

- i) Estudos de eficiência energética do sistema elétrico da embarcação;
- ii) Estudos para a geração de energia elétrica no ponto de máxima potência dos módulos fotovoltaicos especificados;
- iii) Análise da viabilidade econômica da implantação de um sistema fotovoltaico com base nos equipamentos especificados e abordando os principais aspectos referentes aos custos do investimento, o tempo de retorno, possíveis linhas de créditos de carbono e incentivos fiscais disponíveis;
- iv) Projeto elétrico de um sistema fotovoltaico para a embarcação.

Diante disso, considera-se que este trabalho tem muito a contribuir, fomentando a aplicação da tecnologia de geração de energia elétrica a partir de módulos fotovoltaicos em embarcações de pequeno e médio porte voltadas para o transporte hidroviário de passageiros. Não obstante, do ponto de vista acadêmico, este estudo traz contribuições relevantes para a disseminação deste conhecimento. E que, por sua vez, agrega ainda mais valor a esta instituição, bem como, à comunidade acadêmica.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14298**: Sistemas fotovoltaicos – banco de baterias – dimensionamento. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO (ABRAVA) – **Manual de capacitação em projetos de sistemas de aquecimento solar**. – Edição Abril de 2008.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES) **Cadernos de Infra-Estrutura**: Transporte Hidroviário Urbano de Passageiros, Rio de Janeiro: set. 1999.

B&B BARCOS. **Portal da empresa B&B BARCOS de projetos náuticos**. Disponível em: <<http://www.bbbarcos.com/>>. Acessado em: 20 mai. 2012.

BECKER, Otávio M.; et. al. Pré-dimensionamento de sistema solar fotovoltaico: estudo sobre implementação residencial autônoma. **Revista Ciências do Ambiente On-Line**, Campinas, v. 5, n. 2, dez. 2009.

BRASIL HOBBY. **Portal de compras BRASIL HOBBY**. Disponível em: <<http://www.brasilhobby.com.br/descricao.asp?CodProd=SM-48KSM>>. Acessado em: 13 mai 2012.

CÂMARA, Carlos F. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. 2011. 68 f. Dissertação (Especialização em Formas Alternativas de Energia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

CATSUL. **Portal da empresa de travessias hidroviárias CatSul**. Disponível em: <<http://www.catsul.com.br>>. Acessado em: 01 abr. 2012.

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CEPEL/CRESESB). Grupo de Trabalho de Energia Solar. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Editora, 2004. 207p.

CONCEPA. **Portal da empresa e concessionária Concepa**. Disponível em: <<http://www.concepa.com.br/pontedoguaiba/>>. Acessado em: 01 abr. 2012.

EPELBAUM, Michel. **A influência da gestão ambiental na competitividade empresaria: fatos, rumos e tendências**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

FALCÃO, Vivienne. D. **Fabricação de células solares de CdS/CdTe**. 2005. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) – Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2005.

FRAGA, José R. C. P. **Análise do comportamento de baterias utilizadas em sistemas fotovoltaicos de pequeno porte**. 2009. 137 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2009.

FREITAS, Susana S. A. **Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos**. 2008. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial ramo Engenharia Eletrotécnica) – Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Bragança, Portugal, 2008.

GOOGLE MAPS. **Portal de buscas e entretenimento Google Maps**. Disponível em: <<http://maps.google.com.br/>> Acessado em 01 abr. 2012.

GRIMM, Alice M. **METEOROLOGIA BÁSICA**. Disponível em: <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/>>. Acessado em: 05 nov. 2011.

HAYONIK. **Portal da empresa HAYONIK**. Disponível em: <<http://www.hayonik.com.br/0300050-importados/inversor-24-220v-1000w-onda-modificada-hayonik>>. Acessado em: 16 mai 2012.

IST. Instituto Superior Técnico. Departamento de Engenharia Mecânica. **Energia Fotovoltaica: manual sobre tecnologias, projeto e instalação**. Lisboa – Portugal, 2004.

KYOCERA SOLAR DO BRASIL. **Módulo Policristalino de Alta Eficiência**. The New Value Frontier. Rio de Janeiro, 2008.

MARCONI, Marina de A.; LAKATOS, Eva M. Metodologia científica. **Revista e Ampliada**, São Paulo: Atlas, 2001.

MARINE SERVICE. Disponível em: <<http://www.marine.com.br/tem/Batelco/conversores/Batelco-24-12-50AL.htm>>. Acessado em: 16 mai 2012.

MARINOSKI, Deivis L.; SALAMONI, Isabel T; RÜTHER, Ricardo. Pré-dimensionamento de sistema solar fotovoltaico: estudo de caso do edifício sede do CREA-SC. X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2004. São Paulo. **Anais...** São Paulo: ENTAC, 2004. V.1, p. 678-691. METROPLAN. **Portal da Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional**. Disponível em: <[www.metroplan.rs.gov.br/transportes/](http://www.metroplan.rs.gov.br/transportes/)>. Acessado em: 01 abr. 2012.

MOURA. **Catálogo de Baterias**. Aplicações 2011. Moura. 2011.

NASCIMENTO, Cássio A. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**. 2004. 21 f. Monografia (Especialização em Fontes Alternativas de Energia) – Departamento de Engenharia, Universidade de Lavras, Lavras, 2004.

NEOSOLAR ENERGIA. **Portal da empresa NEOSOLAR ENERGIA**. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/painel-solar-fotovoltaico-kyocera-kd135sx-upu.html>>. Acessado em: 13 mai 2012.

**OBSERVATÓRIO DO CLIMA**. Disponível em: <<http://www.oc.org.br/index.php?page=Conteudo&id=5>>. Acesso em: 19 jun. 2011.

Os Transportes e a Emissão de CO<sub>2</sub> – o efeito estufa. **ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários**. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/Portal/Pdf/MeioAmbiente/EmissaoCo2EfeitoEstufa.pdf>>. Acessado em: 12 abr. 2011.

PINTO, Fátima C. V.; SANTOS, Robson N. dos. Potenciais de redução de emissões de dióxido de carbono no setor de transportes: um estudo de caso da ligação hidroviária Rio-Niterói. **ENGEVISTA**, v. 6, n. 3, p. 64-74, dez. 2004.

PREFEITURA DE GUAÍBA. **Portal da Prefeitura do Município de Guaíba - RS**. Disponível em: <<http://www.guaiba.rs.gov.br/>>. Acessado em 01 abr. 2012.

RÜTHER, Ricardo. Panorama atual da utilização da energia solar fotovoltaica. **E o trabalho do Labsolar nesta área**, Laboratório de Energia Solar. Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999, p. 3-9.

SEGUEL, Julio I. L. **Projeto de um sistema fotovoltaico autônomo de suprimento de energia usando técnica MPPT e controle digital**. 2009. 206 f. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

SHOP ANTENAS. **Portal de compras SHOP ANTENAS**. Disponível em: <<http://www.shopantenas.com.br/acessorios/inversores/inversor-12e220v-1000w-onda-modificada-hayonik.html>>. Acessado em: 16 mai 2012.

SOLARTERRA. **Portal da empresa SOLARTERRA**. Disponível em: <<http://www.solarterra.com.br/>>. Acessado em Mai/2012.

SUNDATA. **Base de dados de radiação solar do CRESESB**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/sundata/index.php>>. Acessado em: 17 abr. 2012.

SYNDARMA – Sindicato Nacional das Empresas de Navegação Marítima. **O Transporte Marítimo, a Poluição do Ar e o Efeito Estufa**. Disponível em: <[http://www.syndarma.com.br/upload/Polui\\_o%20navios\\_original\(2\).pdf](http://www.syndarma.com.br/upload/Polui_o%20navios_original(2).pdf)>. Acesso em: 12 abr. 2011.

TRAVESSIA POA – GUAÍBA. **Portal travessias Porto Alegre – Guaíba**. Disponível em: <<http://www.travessiapoaguaiba.com.br/>>. Acessado em: 01 abri. 2012.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. **Normas para elaboração de trabalhos acadêmicos**. Curitiba: Editora Reitoria, 2008.

VERA, Horacio L. **Análise do comportamento de baterias em sistemas fotovoltaicos autônomos**. 2009. 269 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

XANTREX. **C Series Controllers**. Charge, Diversion, or Load Controllers. British Columbia, Canadá, 2008.

