

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA ELÉTRICA**

**Análise de viabilidade econômica e ambiental da utilização de energia elétrica com sistema *Shore Power* em um contexto para instalações portuárias Brasileiras**

**Leonardo de Carvalho Vidal**

**Itajubá, Julho de 2022**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA ELÉTRICA**

**Leonardo de Carvalho Vidal**

**Análise de viabilidade econômica e ambiental da utilização de energia elétrica com sistema *Shore Power* em um contexto para instalações portuárias Brasileiras**

**Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Ciências em Engenharia Elétrica.**

**Área de Concentração:** Sistemas Elétricos de Potência

Prof. Dr. Tales Cleber Pimenta (Orientador)

Prof. Dr. Newton Narciso Pereira (Coorientador)

**julho de 2021  
Itajubá – MG**

VIDAL, Leonardo Vidal

Análise de viabilidade econômica e ambiental da utilização de energia elétrica com sistema Shore Power em um contexto para instalações portuárias Brasileiras / Leonardo de Carvalho Vidal.

Itajubá: UNIFEI, 2022.

115p.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Itajubá, 2022.

Orientador: Prof. Dr. Tales Cleber Pimenta

Coorientador: Prof. Dr. Newton Narciso Pereira

1. Sistemas Elétricos de Potência. 2. Abastecimento de Energia. 3. programado.

I. Tales Cleber Pimenta. II. Universidade Federal de Itajubá. III. Título. (Vidal, 2022)

As informações são fornecidas pela Biblioteca Mauá - BIM

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**ENGENHARIA ELÉTRICA**

**Leonardo de Carvalho Vidal**

**Análise de viabilidade econômica e ambiental da utilização de energia elétrica com sistema *Shore Power* em um contexto para instalações portuárias Brasileiras**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica como parte dos requisitos para obtenção do Título de *Doutor em Ciências em Engenharia Elétrica*.

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Tales Cleber Pimenta (Orientador)

Prof. Dr. Newton Narciso Pereira (Coorientador)

Prof. Dr. Gabriel Antonio Fanelli De Souza

Prof. Dr. Geraldo Lucio Tiago Filho

Prof. Dr. Osvaldo Agripino de Castro Junior

Prof. Dr. Paulo André Dias Jacome

**Itajubá**  
**2022**

Dedico à minha família como um todo, em especial aos meus filhos Luiza e Leonardo, e minha esposa Alba.

# **Agradecimentos**

Agradecimento especial aos professores do programa de pós-graduação em engenharia elétrica da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), em especial ao professor Dr. Tales Cleber Pimenta pela orientação e pela dedicação em cobrar, ensinar e ajudar nos momentos mais complicados. Agradecimento ao Professor Dr. Newton Narciso Pereira pela parceria, orientação e infindável aprendizagem proporcionada. Agradecer também a tantos outros professores, que sempre se colocaram à disposição em ajudar com os grandes desafios enfrentados neste percurso.

Aos colegas e a todos do IFRJ – Instituto Federal do Rio de Janeiro pelo apoio em todos os momentos.

Aos meus orientados e amigos Lucas Azevedo e Leonardo Coutinho pela parceria nos trabalhos desenvolvidos.

Por fim e não menos importante à Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, que proporcionou os ambientes, estruturas e as condições necessárias para o avanço e conclusão deste trabalho.

## Resumo

*Shore Power* é um dos nomes dados ao processo de utilizar a energia elétrica disponível nas instalações marítimas para suprir a demanda de energia elétrica necessária de uma embarcação durante o período em que ela se encontra atracada, que pode durar desde algumas horas até vários dias, substituindo o uso do gerador (principal ou auxiliar) da embarcação pela energia elétrica fornecida pela instalação portuária. Dessa forma, ao deixar de utilizar o combustível marítimo nesse processo, evita-se a queima de toneladas desse combustível fóssil, rico em concentrações de enxofre, diminuindo a emissão de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> e outras partículas poluentes na atmosfera. Além das emissões, a substituição do gerador a bordo, ainda traz consigo a vantagem da redução de vibração e ruídos na região portuária. Esse trabalho faz uma abordagem de baixo pra cima (*bottom-up approach*) utilizando os dados históricos dos últimos onze anos de movimentação portuária no Brasil para verificar qual teria sido o impacto caso o uso da tecnologia *Shore Power* tivesse sido aplicado naquele período além de indicar o potencial de ganho financeiro com seu uso no futuro nas principais instalações portuárias do país. As questões ambientais, regulatórias e a disponibilidade de recursos também são abordadas nesse contexto. Além disso, foi desenvolvido, através de ferramenta computacional, intitulada “Calculadora de Viabilidade de Instalação do sistema *Shore Power* usando simulação de Monte Carlo”, com registro no Instituto Nacional de Propriedade Industrial – INPI (Diretoria de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados), visando reduzir, ou ao menos perceber antecipadamente, o impacto da instabilidade dos mercados financeiros, possibilitando o planejamento do negócio ou projeto utilizando o conceito do *Shore Power*. A expectativa com esse trabalho é fomentar o uso da tecnologia *Shore Power*, buscando indicar potenciais ganhos com seu uso, mesmo que sua utilização não seja mandatória no país, mas que se mostra como uma alternativa verde na busca das melhores e mais conscientes práticas ambientais, além da criação de investimento e tecnologia no país, tanto para o setor elétrico quanto para o portuário.

**Palavras chave:** Fonte de alimentação em terra, energia marítima alternativa, emissões do navio, porto verde

## Abstract

Shore Power is one of the names given to the process of using the electrical energy available in maritime installations to supply the demand for electrical energy needed by a vessel during the period in which it is berthed, which can last from a few hours to several days, replacing the use of the vessel's generator (main or auxiliary) for the electrical energy supplied by the port facility. In this way, by not using marine fuel in this process, tons of this fossil fuel, which is rich in sulfur concentrations, is avoided, reducing the emission of CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> and other polluting particles into the atmosphere. In addition to emissions, replacing the onboard generator also brings with it the advantage of reducing vibration and noise in the port region. This work takes a bottom-up approach using historical data from the last eleven years of port movement in Brazil to verify what the impact would have been if the use of Shore Power technology had been applied in that period, in addition to indicating the potential for financial gain with its use in the future in the main port facilities in the country. Environmental, regulatory and resource availability issues are also addressed in this context. In addition, it was developed, through a computer tool, entitled "Shore Power System Installation Feasibility Calculator through Monte Carlo Simulation", registered with the National Institute of Industrial Property - INPI (Patents, Computer Programs and Topographies Directorate). of Integrated Circuits), with the aim of reducing, or at least realizing in advance, the impact of the instability of the financial markets, making it possible to plan the business or project using the Shore Power concept. seeking to indicate potential gains from its use, even if its use is not mandatory in the country, but which is shown as a green alternative in the search for the best and most conscious environmental practices, in addition to the creation of investment and technology in the country, both for the sector electricity and for the port.

**Keywords:** Shore Power Supply, Alternative Maritime Power, Ship's emissions, Green Port

## Lista de Abreviaturas e Siglas

ACL	<i>Ambiente de Contratação Livre</i>
ACR	<i>Ambiente de Contratação Regulado</i>
AIS	<i>Automatic Identification Systems</i>
AMP	<i>Alternative Maritime Power</i>
ANEEL	<i>Agência Nacional de Energia Elétrica</i>
ANTAQ	<i>Agência Nacional de Transportes Aquaviários</i>
BCB	<i>Banco Central do Brasil</i>
BFO	<i>Bunker Fuel Oil</i>
CARB	<i>California Air Resources Board</i>
CPLC	<i>Carbon Pricing Leadership Coalition</i>
CO2	<i>Dióxido de carbono</i>
EPA	<i>Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos</i>
EPE	<i>Empresa de Pesquisa Energética</i>
ESPO	<i>European Sea Ports Organisation</i>
ETS	<i>Emission Trading System</i>
GEE	<i>Gases de Efeito Estufa</i>
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
IDA	<i>Índice de Desempenho Ambiental</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IMO	<i>International Maritime Organization</i>
HSP	<i>Hora de Sol Pleno</i>
HV	<i>High-voltage</i>
HVSC	<i>High-voltage shore connection</i>
kV	<i>Kilovolts</i>
kW	<i>Kilowatts</i>
MCA	<i>Máquina de combustão auxiliar</i>
MCP	<i>Máquina de combustão principal</i>
MDO	<i>Marine Diesel Oil</i>
MGs	<i>Microgrids</i>

MSC	<i>Comitê de Segurança Marítima</i>
MW	<i>Megawatts</i>
MWh	<i>Megawatt-hora</i>
NOx	<i>Óxidos de nitrogênio</i>
OTEC	<i>Ocean Thermal Energy Conversion</i>
OPS	<i>Onshore Power Supply</i>
PMR	<i>Partnership for Market Readiness</i>
ROI	<i>Retorno do Investimento</i>
SIGA	<i>Sistema Integrado de Gestão Ambiental</i>
SSE	<i>Subcomitê de Sistemas e Equipamentos de Navios</i>
SOx	<i>Óxidos de enxofre</i>
tCO <sub>2</sub> e	<i>Tonelada Equivalente de Carbono</i>
TA	<i>Tempo de atracação</i>
TEU	<i>Twenty foot Equivalent Unit</i>
TFC	<i>Consumo típico de combustível</i>
TIG	<i>Terminal da Ilha Guaíba</i>
TIR	<i>Taxa Interna de Retorno</i>
TMA	<i>Taxa Mínima de Atratividade</i>
TUP	<i>Terminais de uso privado</i>
UE	<i>União Europeia</i>
UNCTAD	<i>United Nations Conference on Trade and Development</i>
VPL	<i>Valor Presente Líquido</i>

## Lista de Símbolos

### *Variáveis*

$T_{EI}$	Diferença entre a data/hora de início de operação do navio e a data/hora de atracação
$T_{Op}$	Diferença entre a data/hora de término da operação do navio e a data/hora de início dessa operação
$T_{ED}$	Diferença entre a data/hora de desatracação do navio e a data/hora de término da operação
$TTA$	Tempo Total de Atracado
$MP$	Número de Atracações
$a$	Ano inicial do intervalo de observação
$b$	Ano final do intervalo de observação
$TTA_{anual}$	Tempo Total de Atracação por ano por instalação portuária
$s$	Tipo de navio (perfil de carga)
$Pd_{port}$	Demanda de Potência por instalação portuária
$Pc$	Potência consumida (por tipo de navio)
$FC$	Fuel Consumption
$AP$	Auxiliary Power
$HLF$	Hotelling Load Factor
$TFC$	Auxiliary Power Typical Fuel Consumption
$E_{ship}$	Ship Emission
$Em_i$	Nível de emissão do poluente $i$
$E$	Conjunto de poluentes $i$
$C.M.M$	Consumo médio mensal
N.I.S.T.M	Nível de irradiação solar de todos os meses
N.I.S.R.M	Nível de irradiação solar do mês de referência
$E.C.M$	Energia de Compensação Mensal
$E.C.D$	Energia de Compensação Diária
$K$	Fator de correção K para inclinação
$HSPk$	Produto de HSP pelo fator de correção K
$P.T$	Poder teórico

<i>P.S.D</i>	Energia solar - dia
<i>Pcc</i>	Potência do sistema
<i>Pca</i>	Potência nominal do Inversor CA
<i>ROI</i>	Retorno do Investimento

# Índice de Figuras

Figura 1 - Representação em diagrama do sistema híbrido de fornecimento de energia em terra para embarcações atracadas em terminais portuários marítimos e fluviais. ....	13
Figura 2 - OPS nas instalações portuárias da Europa.....	25
Figura 3 - Diagrama genérico do método de Monte Carlo .....	32
Figura 4 – Esquema da metodologia .....	35
Figura 5 – Portos x Carga Bruta transportada (2010 a 2020).....	39
Figura 6 – Concentração regional por volume de carga transportado .....	43
Figura 7 – Percentual de atracções entre 2010 e 2020 por tipo de navio/carga (Top 12 instalações portuárias).....	47
Figura 8 – Número de atracções x tempo (horas) por perfil de carga para as instalações portuárias do estudo .....	47
Figura 9 - Demanda de energia (kWh) por porto/ano .....	48
Figura 10 - Acumulado de Emissões em tCO <sub>2</sub> e (2010 - 2020).....	51
Figura 11 - Consumo médio estimado – 2020 .....	57
Figura 12 - Consumo médio estimado – 2010 a 2020 .....	58
Figura 13 - Consumo médio estimado – 2010 a 2020 .....	59
Figura 14 - Tabela de projeções macroeconômicas do banco Bradesco .....	61
Figura 15 - Esquemático da sistema desenvolvido para a simulação .....	63
Figura 16 - Aba <i>Design View</i> do App Designer.....	68
Figura 17 - Aba <i>Code View</i> do App Designer .....	68
Figura 18 - Tela do <i>Application Compiler</i> do MATLAB .....	69
Figura 19 – Energia elétrica x Preços do óleo combustível.....	72
Figura 20 – Comparação de custos com <i>Shore Power</i> x com combustíveis (anos 2010 até 2020) .....	73
Figura 21 – Resultado financeiro considerando a compensação de CO <sub>2</sub> .....	75
Figura 22 - Ganho acumulado em BRL de emissão por porto para o intervalo 2010 – 2020 (USD 50/tCO <sub>2</sub> e) .....	76
Figura 23 - Tela "Entradas" do aplicativo .....	94
Figura 24 - Tela "Config. Simulação" do aplicativo .....	95
Figura 25 - Tela "Custos Operacionais" do aplicativo .....	96
Figura 26 - Tela "Saídas" do aplicativo .....	96
Figura 27 - Tela "Histograma" do aplicativo .....	97
Figura 28 - Tela "Gráfico - Dispersão" do aplicativo .....	98
Figura 29 - Tela "Entradas" para a comparação dos resultados do Porto de Santos .....	99
Figura 30 - Valores utilizados para a análise de viabilidade econômica no Porto de Santos .....	100
Figura 31 - Histograma resultante da análise do aplicativo para o Porto de Santos .....	101
Figura 32 - Gráfico de dispersão resultante da análise do aplicativo para o Porto de Santos .....	102

# Índice de Tabelas

Tabela 1- Dados de Instalações de <i>Shore Power</i> pelo mundo. ....	23
Tabela 2 - Parâmetros utilizados .....	37
Tabela 3 – Acumulado de Carga Bruta transportada entre os anos 2010 e 2020 pelas 14 instalações portuárias brasileiras em estudo e comparação com o volume total transportado no Brasil .....	40
Tabela 4 – Ranking das instalações marítimas considerando o Tempo Total Atracado entre 2016 e 2020 .....	42
Tabela 5 – Potência do motor auxiliar, relação entre a potência do motor auxiliar e principal e Fator de Carga Atracada.....	45
Tabela 6 – Número de atracações entre 2010 e 2020 por tipo de carga/navio (portuárias).....	46
Tabela 7 – Consumo típico de combustível.....	49
Tabela 8 – Fator de emissão do motor auxiliar (g/kWh) .....	50
Tabela 9 - Tabela Tarifária .....	52
Tabela 10 - Consumo de energia.....	52
Tabela 11 - Dados referentes a latitude e longitude de cada porto brasileiro .....	53
Tabela 12 - Dados referentes ao nível de irradiação solar mensal em cada instalação portuária brasileiro (kWh / m <sup>2</sup> ).....	54
Tabela 13 - Dados da média dos dados referentes aos 12 meses de irradiação solar e a variação do nível de radiação solar em cada porto brasileiro.....	55
Tabela 14 - Correção Fator K.....	56
Tabela 15 - Consumo mensal para o ano de 2020 - MWh.....	57
Tabela 16 - Consumo mensal de 2010 a 2020 .....	58
Tabela 17 - Classificação das variáveis envolvidas no sistema .....	62
Tabela 18 - Grupo de tensão de alimentação por porto .....	71
Tabela 19 - TIR e VPL por instalação <i>Shore Power</i> (parte 1) .....	78
Tabela 20 - Comparação TIR e VPL com e sem a parcela de compensação de carbono (Parte 1) .....	80
Tabela 21 - Perdas presentes .....	83
Tabela 22 - Características técnicas dos portos referentes ao ano de 2020.....	84
Tabela 23 - Comparação dos resultados dos terminais .....	87
Tabela 24 - Tabela comparativa de estudo de viabilidade nas tarifas atuais .....	89
Tabela 25 - Tabela comparativa de estudo de viabilidade nas tarifas hipotéticas .....	89
Tabela 26 - Balanço energético e financeiro dos 25 anos de projeto em 2020.....	91
Tabela 27 – Balanço energético e financeiro dos 25 anos de projeto – média entre 2010 a 2020.....	92
Tabela 28 - Tabela comparativa de dimensionamento.....	93
Tabela 29 - Comparativo análise técnica.....	93
Tabela 30 - Comparação dos resultados da análise manual x aplicativo.....	99
Tabela 31 - Alterações necessárias para a aplicação do Método de Monte Carlo no aplicativo .....	100
Tabela 32 - Resultados da análise do aplicativo para o Porto de Santos .....	101
Tabela 33 - Valores de TIR Média resultantes das simulações.....	103

# Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS DO TRABALHO .....	13
1.2. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA .....	14
1.3. MOTIVAÇÃO .....	15
1.4. HIPÓTESES.....	16
1.5. OBJETIVOS.....	17
1.5.1. <i>Objetivos Gerais</i> .....	17
1.5.1. <i>Objetivos Específicos</i> .....	17
1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO .....	18
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>19</b>
2.1. UTILIZAÇÃO DO <i>SHORE POWER</i> EM INSTALAÇÕES PORTUÁRIAS AO REDOR DO MUNDO .....	19
2.2. <i>SHORE POWER</i> NO CENÁRIO BRASILEIRO .....	26
2.3. DESAFIOS E VANTAGENS PARA O BRASIL NO USO DO <i>SHORE POWER</i> .....	27
2.4. O FATOR CAMBIAL .....	29
2.5. PRECIFICAÇÃO DO CARBONO .....	29
2.6. NORMALIZAÇÃO DA SOLUÇÃO <i>SHORE POWER</i> .....	30
2.7. SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO.....	31
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>35</b>
3.1. BASE DE DADOS PORTUÁRIOS .....	36
3.2. ESCOLHA DAS INSTALAÇÕES PORTUÁRIAS DE INTERESSE.....	38
3.3. TIPOS DE NAVIO E CONSUMO TÍPICO DURANTE O PERÍODO ATRACADO ( <i>HOTELLING HOURS</i> ).....	43
3.4. NÚMERO DE ATRACAÇÕES X TEMPO ATRACADO POR TIPO DE NAVIO .....	45
3.5. DEMANDA DE ENERGIA E CONSUMO DE COMBUSTÍVEL .....	48
3.6. NÍVEIS DE EMISSÃO DE POLUENTES .....	49
3.7. LEVANTAMENTO DE DADOS PARA USO ALTERNATIVO DE ENERGIA SOLAR .....	51
3.7.1 <i>Estimativa do custo de energia elétrica</i> .....	51
3.7.2 <i>Parâmetros de sistemas de energia solar</i> .....	53
3.8. SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO PARA AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA <i>SHORE POWER</i> ....	59
3.8.1 <i>Definição e classificação das variáveis do sistema</i> .....	60
3.8.2 <i>Definição das variáveis necessárias para a análise de viabilidade</i> .....	61
3.8.3 <i>Desenvolvimento do algoritmo</i> .....	64
3.8.4 <i>Desenvolvimento do aplicativo</i> .....	67
<b>4. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS .....</b>	<b>70</b>
4.1 CUSTO DA ENERGIA X CUSTO DO COMBUSTÍVEL: RESULTADOS A PARTIR DA UTILIZAÇÃO .....	70
4.1.1 <i>Compensação de Carbono</i> .....	74
4.1.2 <i>Estudo de viabilidade econômica</i> .....	76
4.2 ESTUDO DE VIABILIDADE NO DIMENSIONAMENTO DE USINAS SOLARES NOS PRINCIPAIS INSTALAÇÕES PORTUÁRIAS BRASILEIROS .....	81
4.2.1 <i>Dimensionamento</i> .....	81
4.2.2 <i>Caracterização de Perdas</i> .....	82
4.2.3 <i>Caraterísticas técnicas</i> .....	83
4.2.4 <i>Análise Financeira</i> .....	85

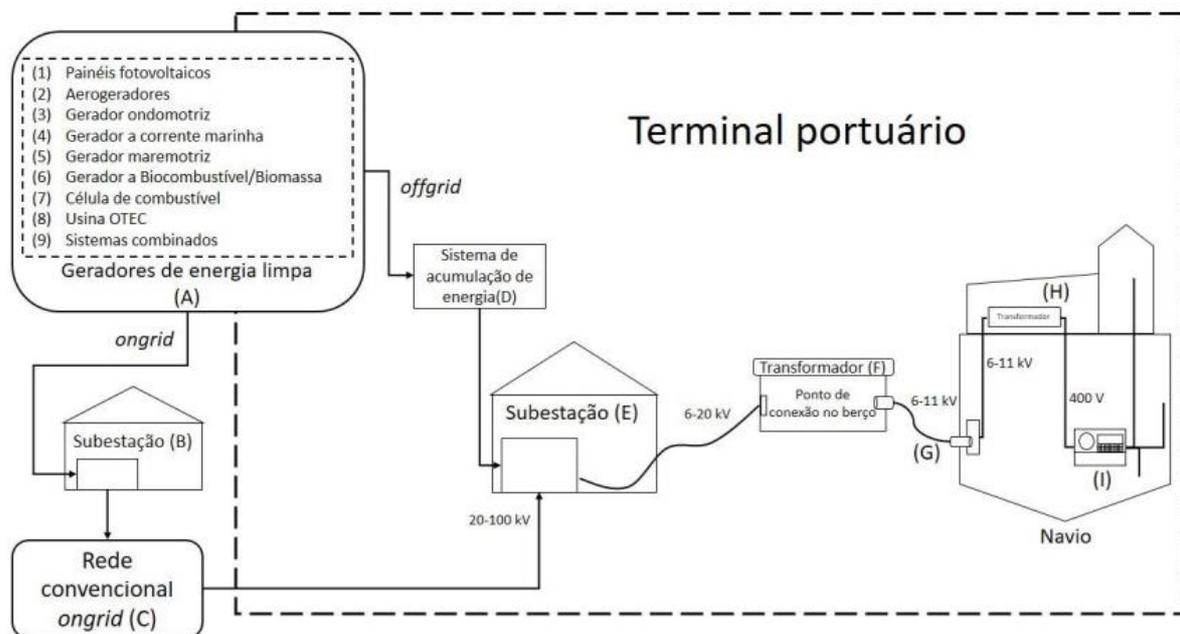
4.2.5	<i>Exemplo de caso-Porto de Santos</i> .....	90
4.3	APLICATIVO DE SIMULAÇÃO DESENVOLVIDO .....	93
4.3.1	<i>Principais telas do aplicativo</i> .....	94
4.3.2	<i>Comparação dos resultados do aplicativo</i> .....	98
4.3.3	<i>Utilização da simulação de Monte Carlo para análise de viabilidade econômica no Porto de Santos</i> 99	
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>104</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>107</b>
	<b>ANEXO A – CERTIFICADO INPI - “CALCULADORA DE VIABILIDADE DE INSTALAÇÃO DO SISTEMA SHORE POWER ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO”</b> .....	<b>115</b>

# 1. Introdução

## 1.1. Considerações Iniciais do Trabalho

Na movimentação de cargas pelas instalações portuárias do mundo, quando os navios estão atracados, existe um grande consumo de combustíveis fósseis quando da carga e descarga dos produtos transportados por esses navios. Apesar da maioria das máquinas estarem desligadas, as embarcações ainda precisam de energia para atendimento de serviços de aquecimento, iluminação, fonte de alimentação geral, auxiliares, dentre outros. Essa energia é normalmente fornecida pela queima de combustíveis fósseis, tal como o diesel marítimo, em equipamentos auxiliares (MCA - máquinas de combustão auxiliar) e nos geradores das embarcações, com potência instalada que pode variar entre 500 kW e 10 MW. Nesse processo, são produzidos emissões e ruídos, ocasionando danos ambientais na comunidade do entorno.

Um sistema híbrido de coleta e suprimento de energia em terra para navios atracados em terminais portuários pode ser utilizado em substituição momentânea conforme o exemplificado na Figura 1. [1]



**Figura 1 - Representação em diagrama do sistema híbrido de fornecimento de energia em terra para embarcações atracadas em terminais portuários marítimos e fluviais.**

Fonte: L. C. Vidal et al. [1]

Sobre a ótica inovação tecnológica de equipamentos, já existe um grande número de equipamentos comercializados por grandes *players* do mercado de equipamentos e sistemas elétricos. A inovação desta solução consiste, primeiramente, no modelo de uso de energia híbrida, ou seja, não utiliza somente energia de rede (*ongrid*), mas com a associação de energia alternativa, que poderá servir de abatimento dos custos de consumo com sua reinjeção na rede e redução de CO<sub>2</sub> na cogeração ocorrendo com a integração de estruturas ou regiões chamadas microrredes ou do inglês *microgrids* (MGs).

## 1.2. Contextualização do Problema

Conforme já comentado, a operação de navios atracados gera problemas de poluição e ruídos nas instalações portuárias. Alguns países, como Bélgica, Suécia, Finlândia, Alemanha, EUA, Canadá, Noruega e Países Baixos,[2] já conseguiram encontrar bons modelos de operação, diferentemente do caso brasileiro. Além disso, a solução tende ser inovadora do ponto de vista do uso de crédito de carbono no setor portuário, tanto na redução de CO<sub>2</sub> dos navios quanto da cogeração de energia limpa, inclusive com a possibilidade de geração adicional de energia de fontes alternativas. Em específico há grande potencial do estudo no setor de mineração, uma vez que as emissões de gases de efeito estufa gerados pela queima de combustível nos navios na área portuária, somam elevados quantitativos em toneladas anualmente. Esta solução também poderá ser aplicada em outros terminais portuários brasileiros de diferentes tipos de carga e movimentação de coisas e pessoas, como contêineres, granéis líquidos e de passageiros (turismo).

A solução *Shore Power* [3] é encontrada na literatura por diversos nomes como *Alternative Maritime Power* (AMP)[4], *Cold Ironing*[5], *Onshore Power Supply* (OPS) [6] entre outros e vem sendo estudada há alguns anos. Basicamente estes sistemas consistem da instalação de: subestação modular no terminal portuário, transformador de energia para navios para realizar o ajuste da frequência e voltagem da rede com os requisitos dos navios. A princípio, somente os navios previamente adaptados para recebimento de energia em terra poderão ser utilitários do serviço. Para a conexão entre o suprimento de energia em terra e o navio adaptado (no momento do desligamento dos MCAs) são necessários cabeamento no padrão *International Electrotechnical Commission* (IEC) com soquetes, plugues e conectores adequados para conexão com o conexão de energia do navio.

A implementação do sistema *Shore Power* é inovadora em âmbito de Brasil, uma vez

que busca trazer um novo patamar em termos de sustentabilidade para as instalações portuárias e terminais brasileiros, bem como, com seu potencial de geração de receitas pela comercialização de energia para os navios e eventuais créditos de carbono. Em termos de tecnologia utilizada, os equipamentos de *Shore Power* que estão sendo empregados em inúmeras instalações portuárias na Europa e Estados Unidos conseguiram redução das emissões na ordem de mais de 30% de CO<sub>2</sub> e 95% de NO<sub>x</sub> e material particulado.[7]

### 1.3. **Motivação**

Em abril de 2018 Organização Marítima Internacional (IMO) adotou a estratégia inicial (*Initial IMO Strategy*) de reduzir a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) de navios[8][9]. Ela tem a ambição de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> por *transport work* em, pelo menos, 40% até 2030 e reduzir o total anual de emissões de GEE em, pelo menos, 50% até 2050[10]. O transporte marítimo é a principal via do comércio mundial, sendo responsável por 80% do transporte de carga no mundo. Para o alcance da meta tornou-se mandatório o uso de combustíveis com menor quantidade de enxofre desde o ano 2020. Apesar da menor utilização dos motores durante o período de atracagem (*hotelling time*) a contribuição na redução de poluentes com a utilização do *Shore Power* é significativa, pois permite que o gerador seja desligado por completo, praticamente zerando as emissões durante esse período (em embarcações que não necessitam de caldeira para manter o combustível aquecido a emissão pode chegar a zero durante o período na instalação portuária).

A questão ambiental tem sido o grande impulsionador dessa discussão. Nas instalações portuárias da Califórnia-EUA, por exemplo, desde 1º de janeiro de 2020 [11] é obrigatório que 80% da frota visitando a instalação faça uso do *Shore Power* durante essa estadia e que a potência gerada pelos geradores auxiliares da frota deve ser reduzida em 80%, como forma de diminuir o impacto ambiental causado pela operação portuária na cidade. Várias outras instalações portuárias na Europa caminham no mesmo sentido fazendo com que o uso da tecnologia *Shore Power* torne cada vez mais comum. Segundo Zis et. al (2019), até o final 2025 todos as instalações portuárias europeias serão obrigados a prover essa opção de alimentação para os navios.[5]

Ainda não há no Brasil nenhuma instalação ou terminal portuário, portos públicos, privados ou sob concessão, utilizando este procedimento e a compensação pelo uso ainda é tímida. No mundo, observa-se que a implementação de sistemas *Shore Power* acaba sendo

uma a obrigação legal pela redução nas emissões.

O ano de 2020 trouxe um desafio adicional ao setor marítimo devido a pandemia de COVID-19 e que ainda influencia o mercado em 2021. Ainda assim, o cenário marítimo brasileiro experimentou dados expressivos de movimentação [12].

Além disso, este trabalho pode incentivar o uso da tecnologia *Shore Power*, buscando indicar potenciais ganhos com seu uso, mesmo que não obrigatório no país, mas se mostra como uma alternativa na busca das melhores e mais conscientes práticas ambientais, além da criação de investimento e tecnologia no país, tanto para o setor elétrico quanto para o setor portuário.

Alguns meios de geração de eletricidade podem ser obtidos de fontes naturais praticamente inesgotáveis e com menor interação negativa com o meio ambiente [13], são as chamadas fontes renováveis de energia, ou energia limpa, como fotovoltaica, eólica, maremotriz e geotérmica, entre outras.[14]

As energias renováveis têm se tornado o principal foco de investimento em fontes de conversão de energia elétrica, chegando, em 2018, a representar mais de 26% das principais fontes de energia elétrica.[13]. De 2015 a 2018 ocorreram consecutivos incrementos de capacidade de geração de fontes renováveis excedem os incrementos de fontes não-renováveis de energia. Com os crescentes incentivos dos governos de quase todos os países, juntamente com os avanços dos processos de fabricação e desenvolvimento das tecnologias, os custos associados a implantação de usinas renováveis em relação às fontes não renováveis têm se tornado mais competitivos, se tornando mais econômico implantar usinas eólicas ou solares do que implantar usinas baseadas em combustíveis fósseis. Tal fato, tem impulsionado investimentos governamentais, mas principalmente privados [15].

A energia solar que chega à superfície terrestre pode ser aproveitada usando diferentes tecnologias, como por exemplo através dos dispositivos fotovoltaicos [16]. Os módulos fotovoltaicos são utilizados para converter a radiação solar diretamente em eletricidade, através de efeitos fotovoltaicos, sem a necessidade do uso de turbinas ou qualquer outro tipo de motor, o que diminui a necessidade de manutenções [16].

#### 1.4. Hipóteses

O trabalho visa verificar a viabilidade financeira da implementação da tecnologia *Shore*

*Power*, apontando também os ganhos ambientais. Além disso, a implementação de ferramentas computacionais são usadas para tais comprovações, sendo testadas e validadas através dos cálculos analíticos efetuados. As variáveis e métricas são apresentadas dentro do desenvolvimento e metodologia deste trabalho.

## 1.5. Objetivos

### 1.5.1. Objetivos Gerais

O objetivo geral deste trabalho consiste no desenvolvimento de um estudo para implementação de um sistema híbrido de fornecimento de energia elétrica em terra para embarcações atracadas nas instalações portuárias definidos em substituição ao óleo Diesel marítimo consumido por essas embarcações nesse estágio de operação, fazendo ainda um levantamento do potencial ganho em grandes instalações portuárias brasileiras, analisando os ganhos potenciais e suas nuances, criando assim uma referência para implementação do modelo proposto. Desta forma, se espera a apresentação de uma visão para os interessados na implementação do sistema *Shore Power*, para que possam constatar os benefícios econômicos e ambientais decorrentes de seu uso.

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho é coletar e utilizar dados históricos da movimentação portuária nos últimos 11 anos, pois era a base disponível na ANTAQ [17], das principais instalações portuárias brasileiras, e demonstrar o resultado que seria obtido com o uso da energia elétrica fornecida pelas instalações e terminais com as premissas de tarifa de energia, custo de combustível e taxa cambial adotadas. Propõe-se ainda a elaboração de um modelo para utilização de outras instalações, sendo as variáveis abastecidas pelos usuários interessados.

### 1.5.1. Objetivos Específicos

São objetivos específicos deste trabalho:

- 1) Identificação das instalações portuárias e berços candidatos a instalação do sistema *shore power* e caracterização operacional do berço candidato.
- 2) Caracterização do navio tipo e tempo de atracado nos berços, escolhidos para o estudo, para consumo de combustível, estimativa de consumo de óleo Diesel Marítimo dos navios no berço/ano, e a definição do range de potência a ser instalada no berço em função do

navio tipo.

- 3) Estimativa de demanda de energia elétrica e emissões nos berços candidatos.
- 4) Consolidação da análise de recursos necessários para idealização de um sistema *shore power* no berço candidato e estimativa de custos iniciais considerando o arranjo proposto para o sistema idealizado.
- 5) Avaliação econômica da operação de fornecimento de energia elétrica para os navios .
- 6) Estimativa de crédito de carbono gerado no berço candidato.
- 7) Consolidação do plano de negócios para redução das emissões de CO<sub>2</sub> a partir do fornecimento de energia elétrica para navios atracados para um modelo a ser desenvolvido.
- 8) Modelo para utilização de outras instalações portuárias, sendo as variáveis parametrizáveis pelo usuário interessado.

## 1.6. Estrutura do Trabalho

No capítulo 1 é feita uma introdução e contextualização do sistema *Shore Power* a ser estudado, e também apresentados a motivação e objetivos do estudo.

No segundo capítulo é feito o levantamento bibliográfico com as aplicações ao redor do mundo e com o estado-da-arte levantado, discute-se os aspectos econômicos, técnicos e ambientais, bem como os desafios e oportunidades, incluindo o cenário brasileiro.

O capítulo 3 mostra a metrologia apresentada, com o levantamento de dados das embarcações e instalações portuárias e a escolha e delimitação de interesse.

O capítulo 4 apresenta os resultados e sua discussão, de forma a fazer uma avaliação abrangente da viabilidade econômica, sob a ótica financeira, pela adoção da solução *Shore Power* nos principais portos brasileiros. Para a sociedade, a contribuição do resultado será a apresentação de eventuais ganhos ambientais que a solução poderia gerar.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões preliminares, versando sobre os estudos até agora efetuados bem como as propostas para continuação do estudo.

## 2. Revisão da Literatura

A base de referências e pesquisa para este trabalho tem como principal fonte para levantamento dos dados de números de cargas e consequentemente o número de navios, o site da ANTAQ - Agência Nacional de Transportes Aquaviários, que é entidade que integra a Administração Federal indireta, de regime autárquico especial, com personalidade jurídica de direito público, independência administrativa, autonomia financeira e funcional, vinculada ao Ministério da Infraestrutura e competente para regular o setor portuário e transporte marítimo e incentivar a sustentabilidade do mesmo.

Existem vários estudos internacionais que serão considerados para este trabalho, dos quais destacam-se: Tichavska and Tovar [18]; Zis and Psaraftis [19] e CARB [20]. Na pesquisa não foram encontrados artigos e/ou publicações de origem nacional.

### 2.1. Utilização do *Shore Power* em instalações portuárias ao redor do mundo

Em 2017 a utilização da tecnologia Shore Power estava presente em aproximadamente 40 instalações portuárias ao redor do mundo [19]. O destaque fica por conta do continente europeu (45%), acompanhado por América do Norte (29%) e Ásia (24%). Nenhuma referência é feita sobre o uso na América Latina. Na China, subsídios têm sido aplicados [3] para garantir a penetração da tecnologia e fomentar o uso pelos armadores [21], além de permitir ao país atingir menores níveis de emissão, antes mesmo das datas praticadas pela IMO [8]. Mesmo em países com uma matriz energética baseada na queima de combustíveis fósseis o uso do *Shore Power* traz reduções nos níveis de emissão, além de minimizar níveis de ruído e vibração nas proximidades das regiões portuárias [3] [22].

No lado ocidental, o estado da Califórnia tem sido referência na utilização de sistemas *Onshore Power Supply* – OPS, devido, principalmente, a forte política ambiental exigindo obrigatoriamente o uso da tecnologia em grande parte da frota que opera nos terminais do estado [11].

Os desafios para uso da tecnologia não são poucos. Entre os principais pode-se citar o custo da implantação, tanto nas instalações portuárias quanto nos navios, o preço do combustível vs. o preço da energia elétrica *ongrid* [6]. Além disso, os padrões de conexões aos navios como níveis de tensão e frequência [23]. Porém para todos esses desafios têm sido

visto uma mobilização mundial para contornar essas dificuldades e permitir o uso cada vez maior dessa tecnologia.

Um termômetro para essa percepção é dado pelo considerável número de grandes fabricantes mundiais [24][25][26] investindo em soluções portuárias que incluem a tecnologia. A tendência mundial de “portos verdes”[27] e o uso cada vez maior de tecnologia para permitir melhores índices operacionais num mundo cada vez mais globalizado (UNCTAD, 2020)[28] cooperam nesse sentido.

Esse sistema, além de contribuir para a redução das emissões de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> e de material particulado na área dos portos e terminais portuários. Nesse processo, são produzidos emissões e ruídos, ocasionando danos ambientais na comunidade do entorno. No caso dos portos e terminais, os desafios relacionados a esses tipos de poluição são também uma realidade, uma vez que estão localizados em cidades e áreas densamente povoadas.[27]

Desse modo, o fornecimento de energia em terra para as embarcações atracadas é uma alternativa possível para minimizar a poluição do ar e a geração de ruídos de navios operando nos referidos arrendamentos de portos públicos e nas instalações portuárias, fora do porto organizado, especialmente terminais de uso privado (TUP), cujos usuários, embarcadores e navios, possuem direito à eficiência e ao respeito ao meio ambiente por parte dos terminais, pois são requisitos do serviço adequado no setor portuário (art. 2º, inciso I, alínea a, da Resolução n. 3274/2014, da Agência Nacional de Transporte Aquaviário-ANTAQ)[29].

De acordo com Hoffman ( *United Nations Conference on Trade and Development – UNCTAD*)[30], os esforços internacionais para abordar emissões de gases de efeito estufa, que incluem o Acordo de Paris apresentado na Convenção sobre Mudança do Clima e Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas, em particular o “Objetivo Sustentável de Desenvolvimento 13” para tomar medidas urgentes para combater as mudanças climáticas e seus impactos, uma importante conquista foi feita na Organização Marítima Internacional (*International Maritime Organization-IMO*) relacionada à determinação da parcela justa do transporte marítimo internacional de gases de efeito estufa e redução de emissões. Uma estratégia inicial na redução de tais emissões de navios foi adotada em abril de 2018, segundo o qual o total anual de gases de efeito estufa e as emissões seriam reduzidos em pelo menos 50 por cento em 2050, em comparação com 2008. A estratégia identifica medidas adicionais de curto, médio e longo prazo com possíveis cronogramas, e seus impactos sobre os Estados, com atenção especial às necessidades dos países em

desenvolvimento, especialmente os pequenos estados insulares em desenvolvimento e os países menos desenvolvidos. Ele também identifica medidas, incluindo capacitação, técnicas de cooperação e pesquisa e desenvolvimento, inovação de mecanismos de redução de emissões, possivelmente incluindo medidas baseadas no mercado, são propostas como soluções de médio prazo a serem decididas entre 2023 e 2030, junto com possíveis medidas de longo prazo a serem realizadas após 2030.

As mudanças que a Organização Marítima Internacional (IMO) estabeleceu para 2020, e que passaram a valer a partir do dia 1º de janeiro de 2021, promoveram variações nos valores dos fretes internacionais e mudanças nas frotas de navios associadas as já conhecidas oscilações deste mercado. O ponto de maior destaque foi a determinação de um novo limite para as emissões de enxofre das embarcações, que agora é de apenas 0,5%. Antes, o limiar era de 3,5%, o que demonstra que a adequação pode ser um verdadeiro desafio a muitos armadores.[31]

Em um navio, a energia elétrica é utilizada em praticamente todas as operações a bordo, e feita através de geradores elétricos movidos a diesel. Basicamente, todos os sistemas modernos de um navio dependem da eletricidade.

Podem ser citados, mas não se limitando a, os sistemas eletrônicos, atuadores hidráulicos controlados eletronicamente, computadores, motores elétricos, bombas, iluminação, sistemas de navegação entre outros.[32]

Sob as circunstâncias certas, quando uma embarcação está conectada à energia de terra, as emissões gerais de poluentes podem ser reduzidas em até 98% ao utilizar energia da rede elétrica regional (dependendo da combinação de fontes de energia).[7]

Em 2019 foi aprimorado o padrão internacional - IEC / IEEE 80005, que descreve os sistemas de conexão de costa de alta tensão (*high-voltage shore connection* - HVSC), a bordo do navio e na costa, para fornecer energia elétrica da costa ao navio. Este documento é aplicável ao projeto, instalação e teste de sistemas HVSC e endereços: sistemas de distribuição HV de costa, conexão de costa a navio e equipamentos de interface, transformadores / reatores, semicondutores / conversores de frequência rotativos, sistemas de distribuição de navios e controle, monitoramento, sistemas de Intertravamento e gerenciamento de energia.[23]

Os benefícios potenciais da redução de emissões podem ser estimados para uma embarcação em particular, no píer quando conectado à energia de terra. Fatores como a taxa

de consumo de energia, custos de energia e tempo total no cais, associados a preços do diesel, taxa cambial entre outros, se relacionam com a eficácia geral da energia em terra. Como esses fatores devem ser avaliados para cada situação, as reduções de emissões totais podem variar. A avaliação sugere que a energia em terra pode ser mais eficaz quando aplicada em terminais e instalações portuárias com uma alta porcentagem de navios que retornam frequentemente, normalmente navios de cruzeiro e navios porta-contêineres, e no cenário brasileiro os graneleiros sólidos e líquidos. Até o momento dessa pesquisa (outubro de 2021), conforme já comentado, não foram encontrados no cenário nacional a aplicação de energia em terra para embarcações marítimas comerciais.

Nos Estados Unidos o uso do procedimento Shore Power ainda é relativamente novo. Até 2017, existiam dez instalações portuárias em sistemas de alta tensão, atendendo navios de cruzeiro, contêineres e frigoríficos (“reefer”) e seis instalações em sistemas de baixa tensão atendendo a rebocadores e navios pesqueiros. Embora a tecnologia seja relativamente nova no setor comercial, a energia em terra tem sido usada com sucesso pela Marinha dos Estados Unidos há décadas e está incluída no programa de Conservação de Energia a Bordo de Navio Incentivado da Marinha.[7]

Rotterdam é a segunda maior e mais importante cidade dos países baixos e possui o porto mais importante da Europa, operando desde 1328.[33] O município e a autoridade do porto estão trabalhando juntos na implantação de energia baseada em terra para navios. Em 2030, eles querem que uma parte significativa dos navios "se conecte" depois de atracar no cais do porto. Isso permitirá que desliguem seus geradores a diesel enquanto estão atracados. Uma série de projetos com o objetivo de acelerar e ampliar a adoção de energia baseada em terra está em fase inicial.[34]

Segundo o relatório da *Research And Markets* [35], o tamanho do mercado de energia em terra para navios atracados está projetado para atingir US\$ 1,4 bilhão em 2025, de US \$ 1,1 bilhão em 2020, a uma taxa de crescimento anual de 6,7%.

A energia de terra tem sido usada extensivamente por muitos anos para embarcações com requisitos moderados de energia; normalmente menos de 50 a 100 KW. Essas embarcações são capazes de fazer uso da tensão e frequência normais da rede e substituir a energia dos geradores pela energia de terra apenas com investimentos marginais.[36]

Para embarcações maiores com requisitos de energia mais elevados (100 kW até 10 a 15 MW), os requisitos são mais complexos e custosos. Isso pode incluir a atualização da

capacidade da rede, conversores de frequência e complexos conectores de alta potência. Conseqüentemente, relativamente, poucos navios e instalações portuárias são capazes de fazer uso da energia da costa, embora as vantagens ambientais sejam consideráveis.[36]

A energia em terra pode potencialmente eliminar o ruído local e a poluição do ar relacionada à atividade do navio em uma instalação portuária. Dependendo da fonte de energia, ela também pode contribuir positivamente para os efeitos climáticos da operação de navios, mas como uma iniciativa isolada, geralmente não é considerada uma das iniciativas climáticas mais econômicas.

No lado terrestre, basicamente se faz necessário uma rede de alta tensão e, alternativamente, conversores / transformadores de frequência, visto que os navios podem ter sistemas que operam em 50Hz, diferente dos padrões brasileiros de com 60Hz, além de painéis de controle e caixas de conexão e um enrolador de cabos com conectores. Esses equipamentos já são amplamente consagrados e não fazem parte deste estudo. Como fornecedores se soluções podem ser citados Siemens, Schneider Electric, Cavotec, Wartsila, Vinci Energie, Danfoss, Abb (Hitachi), Esl Power Systems, Igus, Tecnologia Blueday, Cochran Marine, Preen, Smartplug, Piller Power Systems, Power Systems International, Sydney Marine Electrical , Ocean Electrics, Soluções Integradas Conntek, Patton e Cooke, [35] com soluções em diversas instalações portuárias no mundo como por exemplo Antuérpia, Gotemburgo , Long Beach e Los Angeles , além de estudos e implementações em Le Havre e Marselha (França) e o porto de Civitavecchia (Itália). Na Tabela 1 são apresentadas as iniciativas até 2011.

**Tabela 1- Dados de Instalações de Shore Power pelo mundo.**

<b>Instalação portuária</b>	<b>País</b>	<b>Alta voltagem</b>	<b>Baixa voltagem</b>	<b>Frequência</b>
Antuérpia	Bélgica	6,6 kV		50 Hz / 60 Hz
Goteborg	Suécia	6,6 kV / 10 kV	400 V	50 Hz
Helsingborg	Suécia		400 V / 440 V	50 Hz
Estocolmo	Suécia		400 V / 690 V	50 HzV
Piteå	Suécia	6 kV		50 HzV
Kemi	Finlândia	6,6 kV		50 HzV
Oulu	Finlândia	6,6 kV		50 HzV
Kotka	Finlândia	6,6 kV		50 HzV
Lübeck	Alemanha	6,6 kV		50 HzV
Zeebrugge	Bélgica	6,6 kV		50 HzV
Los Angeles	EUA	6,6 kV / 11 kV		60 Hz
Long Beach	EUA	6,6 kV	480 V	
São Francisco	EUA	6,6 kV / 11 kV		60 Hz
San Diego	EUA	6,6 kV / 11 kV		60 Hz
Seattle	EUA	6,6 kV / 11 kV		60 Hz

Juneau	EUA	6,6 kV / 11 kV		60 Hz
Pittsburg	EUA		440 V	
Vancouver	Canadá			
Oslo	Noruega	6,6 kv		50Hz
Rotterdam	Países Baixos	6,6 kv		50Hz

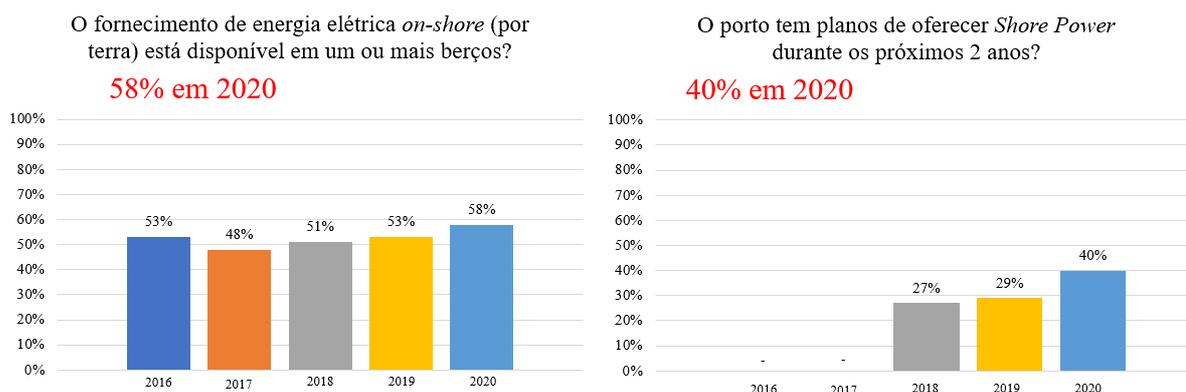
Fonte : *World Ports Sustainability Program* [2]

A *European Sea Ports Organisation* (ESPO) é a principal interface entre as instalações portuárias marítimas europeias e as instituições europeias e os suas decisões políticas. Fundado em 1993, a ESPO representa as autoridades portuárias, associações portuárias e administrações portuárias dos portos marítimos dos 22 Estados-Membros da União Europeia e da Noruega a nível político da UE. ESPO também tem membros observadores na Islândia, Israel, Ucrânia e Reino Unido.

Servindo como o primeiro porto de escala para os formuladores de políticas de transporte europeus em Bruxelas, o ESPO é uma rede de conhecimento que leva as instalações portuárias a um melhor desempenho.

Em seu Relatório Ambiental Anual - *EcoPorts in Sights* 2020 [37], a ESPO se baseou em dados fornecidos por cerca de uma centena de instalações portuárias ativas na Rede *EcoPorts*, sendo este movimento iniciado em 1997, por uma série de instalações portuárias proativas, para aumentar a conscientização sobre a proteção ambiental por meio da cooperação e compartilhamento de conhecimento entre as instalações portuárias e melhorar a gestão ambiental. Desde 2011, *EcoPorts* tem sido uma parte integrante do trabalho diário da ESPO e se tornou a principal iniciativa ambiental do setor portuário europeu.

Neste relatório a porcentagem de instalações portuárias que planejavam oferecer OPS (*Onshore Power Supply*) nos últimos dois anos aumentou significativamente, de 27% em 2018 para 40% em 2020 conforme a Figura 2, que também demonstra que mais da metade dos entrevistados oferecem o fornecimento de energia por terra em alguns de seus berços.[37]



**Figura 2 - OPS nas instalações portuárias da Europa**

Fonte : Adaptado de ESPO Environmental Report 2020 EcoPortsInSights 2020

Em números absolutos, as instalações portuárias que oferecem OPS aumentaram de 32 (2016) para 56 instalações portuárias (2020). Sendo que 88% dessas instalações estão oferecendo OPS de baixa tensão, que se refere principalmente a embarcações internas e domésticas, e embarcações auxiliares (por exemplo, rebocadores e / ou outras embarcações da autoridade portuária). O valor do OPS de alta tensão é mais relevante para os navios comerciais de alto mar, onde cerca de metade das instalações portuárias oferecem OPS de alta tensão. Esse valor tem se mantido relativamente estável desde 2018. A razão disso pode estar relacionada aos custos mais elevados de uso da eletricidade em comparação com os combustíveis fósseis isentos de impostos.

Quando os navios atracados se conectam ao sistema de eletricidade de terra, eles têm que pagar o imposto sobre a energia aplicado à eletricidade. Um número limitado de Estados-Membros da UE, como Suécia, Alemanha, Dinamarca, França e Espanha solicitaram e obtiveram uma autorização temporária da UE para aplicar uma taxa reduzida de tributação à eletricidade da rede terrestre para navios. No entanto, esta isenção fiscal é limitada no tempo e os Estados-Membros têm primeiro de passar por um longo processo administrativo a nível da UE para se valer desse benefício.

A oferta de OPS também tem outras barreiras, como o aumento dos custos de investimento para conexão com a rede e desafios técnicos. Em princípio, os navios oceânicos são equipados com 60 Hz e as instalações portuárias precisam investir em conversores de frequência e alta tensão para lidar com a diferença de frequência entre a eletricidade da rede (50 Hz) e o equipamento do navio (60 Hz). Os aspectos energéticos locais também podem ter

grande influência na opção pelo uso do sistema de abastecimento por terra.

De acordo com J. Qi et al.[21], para reduzir barreiras e promover a implementação do Shore Power, os governos nacionais e regionais têm subsidiado as partes interessadas, incluindo portos e armadores de navios. Diversas iniciativas nesse sentido têm sido praticadas para fomentar o uso do Shore Power. Além do incentivo do governo, segundo Hossain et al. (2018) [38], programas como o *EcoAction* do Porto de Vancouver (Canadá), *Green Award Program* do Porto de Roterdan (Holanda) ou o *Green Ship Incentive Program* do Porto de Long Beach (EUA) encorajam os navios a utilizarem *Shore Power* fornecendo incentivos, como, por exemplo, desconto em tarifas portuárias.

## 2.2. Shore Power no cenário brasileiro

A Lei brasileira nº 10.233/2001[39] dispõe sobre a reestruturação do transporte aquaviário e terrestre além de, entre outros, criar a Agência Nacional de Transporte Aquaviário – ANTAQ[40]. Em seu Artigo 11 – V estabelece que o gerenciamento da infraestrutura e a operação do transporte aquaviário também devem ser regidos com vias à preservação do meio ambiente. Nesse sentido, a ANTAQ desenvolveu um sistema denominado Sistema Integrado de Gestão Ambiental – SIGA para avaliar o atendimento à legislação e a adoção de boas práticas ambientais por parte das instalações portuárias. Ao perceber que esse sistema era insuficiente para conseguir medir a evolução da gestão ambiental resolveu instituir, por meio da Resolução nº 2.650/2012, o Índice de Desempenho Ambiental – IDA, índice que avalia a gestão ambiental segundo parâmetros (conformidades) pré-estabelecidos por meio de metodologia de análise multicritério, considerada a mais adequada para avaliação do desempenho ambiental [40]. Dentre os 38 indicadores consta, entre os Indicadores Globais, o indicador específico “Fornecimento de energia para navios”. Atualmente, esse é o único incentivo oficial que busca recompensar aquelas instalações portuárias no país que queiram adotar a solução *Shore Power*.

Praticamente não existem iniciativas neste sentido no Brasil e poucos trabalhos abordam o assunto [16][41]. Até o primeiro semestre de 2021 nenhuma instalação portuária brasileira ainda disponibilizava a solução Shore Power para suprir a demanda de energia elétrica dos navios atracados. Em 2018 foi veiculada a notícia [42] de que o Porto de Santos estudava ampliar a capacidade da usina de Itatinga, que fornecia à época 75% da energia

utilizada pelo porto, com a instalação de um parque eólico, para garantir energia elétrica às embarcações atracadas.

Pelo ponto de vista legal, um outro aspecto no cenário brasileiro está relacionado ao entendimento da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.

Em resposta ao ofício nº 0049/2021 – SRD/ANEEL de 12/02/2021, a Agência esclarece que, as embarcações se caracterizam como cargas móveis e não como unidades consumidoras. As questões regulatórias envolvendo o fornecimento direto de energia das empresas portuárias às embarcações se assemelham bastante com um caso já avaliado pela ANEEL, cujos entendimentos foram apresentados no Ofício nº 0308/2018-SRD/ANEEL, onde são feitas analogias com a recarga de veículos elétricos, regulamentada pela ANEEL por meio da Resolução Normativa-REN nº 819/2018 [43]. Na prática pode-se considerar que, em caso de aplicação da tecnologia *Shore Power* em instalações portuárias brasileiras, essa relação não precisaria ser regulamentada pela ANEEL, uma vez que esse serviço não se equipara à distribuição ou à comercialização de energia elétrica, que são objeto de outorga específica e regulamentação da ANEEL.

### **2.3. Desafios e vantagens para o Brasil no uso do *Shore Power***

Segundo Stolz et al.[44] o uso do *Shore Power* é considerado efetivo quando a matriz energética utilizada tiver níveis de emissão suficientemente baixos, ou seja, menor que aquele produzido pelo Gerador Auxiliar da embarcação. De qualquer forma, utilizando-se a energia *ongrid* já é possível descentralizar a emissão concentradas nas regiões portuárias.

Na comparação com China, Estados Unidos e União Europeia a intensidade de carbono na geração elétrica pelo Brasil é, no pior caso, 56% menor (relação Brasil x EU em 2014 e 2015). Dados compilados pelo portal EducaClima [45] ligado ao Ministério de Meio Ambiente brasileiro mostram que em 2018, a emissão de CO<sub>2</sub> por MWh gerado foi aproximadamente 5,8 vezes menor se comparado com a China, 3,7 vezes menor que os EUA e 2,9 vezes que a União Europeia, ou seja, todos países que já utilizam a solução e algumas de suas instalações portuárias.

Esses níveis de emissões podem ser alcançados devido a composição da matriz energética brasileira. Segundo o relatório do Balanço Energético Nacional 2020 “*o Brasil*

*dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a fonte hídrica que responde por 64,9% da oferta interna. As fontes renováveis representam 83,0% da oferta interna de eletricidade no Brasil, que é a resultante da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações, que são essencialmente de origem renovável” [46].*

Se por um lado o país apresenta uma vantagem em relação aos níveis de emissão de carbono na geração de energia elétrica, por outro ele leva desvantagem em relação às tarifas de energia quando comparado a outros países emergentes como, por exemplo, Rússia, Índia, China e África do Sul [47]. Além do forte controle do Estado no setor elétrico daqueles países em contraste com uma indústria de energia liberalizada no Brasil, os encargos incidentes sobre a tarifa brasileira diminuem sua competitividade. Outro ponto que prejudica a competitividade tarifária está no fato da segmentação das atividades de geração, transmissão, distribuição e comercialização [48].

A abertura do setor elétrico brasileiro, no entanto, pode trazer aos grandes consumidores a possibilidade de melhores tarifas [49]. O consumidor livre tem a possibilidade de escolha entre o Ambiente de Contratação Regulado (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL). O primeiro traz a segurança em se pagar pela energia total consumida e de valor previamente conhecido em detrimento de uma tarifa mais elevada enquanto o segundo traz consigo o risco de comprar uma energia mais barata porém além ou aquém da demanda necessária, alterando assim o valor planejado para a tarifa tornando-a inclusive mais cara [50].

Outro ponto a se destacar no cenário brasileiro é o potencial de uso de energias renováveis como a eólica e a solar. Restrições quanto a variabilidade dessas fontes de energia ao longo do dia tem sido compensadas com o uso de tecnologias de armazenamento [51]. A diminuição dos custos e tamanho das placas solares e turbinas eólicas é outro fator motivador ao uso da tecnologia e pode ser facilmente aplicado às instalações portuárias devido a área útil das instalações e incidência de vento devido à proximidade com o mar [27].

A possibilidade de tarifas mais atrativas aos consumidores portuários através do livre mercado e o uso de fontes de energia renováveis pode fazer com que a utilização do *Shore Power* possa se tornar ainda mais atrativo, tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico.

## 2.4. O fator cambial

O combustível marítimo é considerado uma *commodity* e, sendo assim, seu preço acompanha o mercado internacional, cotado em dólar. Como o preço do combustível é uma variável utilizada na análise financeira desse estudo a variação cambial tem impacto direto no resultado. Desde 2010 o Real vem se desvalorizando frente ao dólar [34]. Num primeiro momento essa desvalorização pode favorecer o uso do *Shore Power* uma vez que a tarifa de energia *ongrid* é cotada e comercializada em Reais (BRL) enquanto o preço do *bunker* combustível acompanha a variação internacional.

Porém, como poderá ser verificado no item 4.1, uma queda no preço do barril do petróleo associado à uma valorização do Real (BRL) em comparação ao dólar (USD) pode inverter a relação, favorecendo economicamente o uso do bunker combustível na geração de energia elétrica pelas embarcações.

## 2.5. Precificação do carbono

O relatório da organização *Carbon Pricing Leadership Coalition (CPLC)*[52] enumera que a precificação do carbono traz como benefícios: incentivo a mudança nos padrões de investimento, produção e consumo estimulando inovações tecnológicas para redução das emissões, fornece uma ferramenta para melhor avaliação de riscos e oportunidades no processo de decisão, e gera receita que podem ser aplicadas de diversas maneiras.

Em termos financeiros, o mercado precifica o nível de emissão em tonelada equivalente de carbono (tCO<sub>2e</sub>). De acordo com o estudo realizado pela *Brazilian Business Council for Sustainable Development (CEBDS, 2018)*[53] cinquenta e uma nações já precificaram o carbono. Parceiros comerciais importantes do Brasil, como China, Canadá e países da comunidade europeia, além de países vizinhos na América Latina como Colômbia e Chile fazem parte da lista. Esse mesmo estudo (CEBDS, 2018) apresenta uma proposta para a criação do mercado de carbono no setor industrial brasileiro. Além desse estudo, o projeto PMR Brasil (*Partnership for Market Readiness*)[54] tem por objetivo discutir a inclusão da precificação de emissões de gases de efeito estufa. O programa PMR faz parte das iniciativas do Banco Mundial para suportar políticas de mitigação das mudanças climáticas, dentre elas a precificação do carbono [55].

Segundo a CEBDS, vinte e três companhias brasileiras de diversos setores participam

desde 2014 de uma iniciativa que simula o ETS (*Emission Trading System*) com o objetivo de aprender e comparar como funciona esse mercado. A empresa mineradora VALE, que possui e opera os terminais de Tubarão e Ponta da Madeira, ambos presentes na lista de instalações portuárias desse estudo, já trabalha com uma estimativa de valor de USD 50/tCO<sub>2</sub>e para compensação de carbono em seus projetos [56].

Ainda hoje há uma grande discussão a respeito do preço a ser definido para o carbono. O relatório de Stern-Stiglitz [57] recomenda um preço único para o carbono para todos os tipos de uso em qualquer tempo. O preço global em torno de USD 75 por tonelada em 2030 seria o necessário para alcançar a meta do acordo de Paris de redução da temperatura mundial em 2°C. De acordo com a CPLC (2020), o range (diferença entre o mínimo e o máximo valor) de preço ideal para alcançar a meta estabelecida pelo acordo de Paris deve estar situado entre USD 40 e USD 80[58], em linha com o valor praticado internamente pela companhia brasileira Vale.

Semelhante ao diesel marítimo, outra variável que acompanha o dólar é o preço do carbono, usualmente cotado em dólar, ficando então suscetível à variação cambial.

## 2.6. Normalização da solução Shore Power

Um dos desafios para implantação da solução são os diferentes tipos de alimentação elétrica presente nos navios, com variação na tensão e frequência utilizada pelos equipamentos dessas embarcações. Por se tratar de um projeto de âmbito elétrico, e de abrangência global, o órgão internacional responsável pela maioria das normas acerca do mesmo é o IEC – Comissão Eletrotécnica Internacional.

Com objetivo de normalizar e facilitar, principalmente os futuros projetos, a norma IEC/IEEE 80005 [23] trata dos sistemas de facilidade para conexão para navios em alta e baixa tensão. A última revisão ocorreu em 2019 demonstrando sua atualidade e importância. Estima-se que pelo menos 30% dos novos projetos de navios já venham preparados para se conectar a energia disponível nas instalações portuárias. Dentre as principais modificações estão, a retirada da obrigatoriedade de existência de um transformador de potência no navio, tornando-se opcional; e a de que o ponto de abastecimento em terra pode ser fixo ou móvel.

Para atender as necessidades da IEC-80005-1 em termos de plugues, tomadas, conectores de navio e entradas de navios (acessórios) foi desenvolvida a IEC- 62613-2 que, em resumo, normatiza a utilização dos componentes citados acima em sistemas de conexão de

costa de alta tensão. Para sistemas de baixa tensão, esses dados podem ser encontrados na IEC-60309.

Baseada nas normas internacionais, alguns países definem suas próprias diretrizes, como por exemplo a China, que, baseada nas normas da IEC, mantém suas próprias normas, listadas pelo órgão nacional Chinês, o GB. A GB 25316-2010, trata da especificação, instalação e teste do fornecimento de energia elétrica da costa para o navio e é baseada na IEC 80005. Já a GB 30845.1-2014 e a 30845.2-2014 que tratam da normatização de plugues, tomadas, conectores de navios e entradas de navios, em alta voltagem e baixa voltagem, respectivamente, se baseiam na IEC 62613-1 e 62613-2.

Em 16 de março de 2018, o Subcomitê de Sistemas e Equipamentos de Navios (SSE) da Organização Marítima Internacional (IMO) concluiu sua 5ª sessão, discutindo sobre os aspectos de segurança do *Cold Ironing*, entre outros tópicos [59]. Eles reconheceram que ligar um navio à energia da costa e desligar os geradores a bordo (motores auxiliares) é uma solução para reduzir a poluição do ar e a emissão dos navios, além de limitar o ruído local. Essa afirmação foi ratificada em sua 7ª sessão, realizada em março de 2020. Ainda durante essa sessão o comitê finalizou o documento “*Interim Guidelines on safe operation of on-shore power supply (OPS) service in port for ships engaged on international voyages*” submetido para aprovação do Comitê de Segurança Marítima (MSC). A aprovação desse documento demonstra o nível de maturidade com que a tecnologia vem sendo tratada pela Organização, indicando sua importância no cenário marítimo e como uma ferramenta para alcançar menores níveis de emissão durante as operações portuárias de navios em todo o globo.

## 2.7. Simulação de Monte Carlo

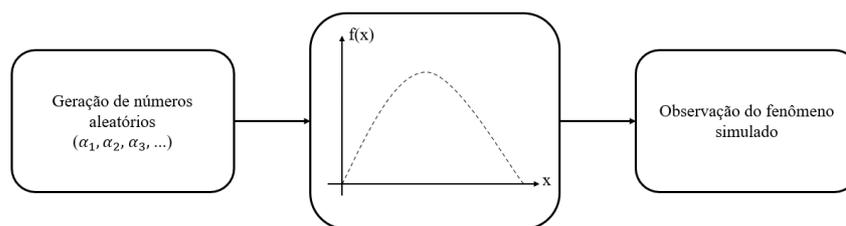
Segundo Pereira [60] risco é o grau de incerteza a respeito de um evento cuja probabilidade de ocorrência pode ser atribuída. Além disso, a obtenção de uma distribuição de probabilidades, sua média e desvio é a forma mais comum do tratamento do risco. [60]

Em geral, as simulações são utilizadas para analisar uma decisão de risco, ou seja, em situações em que um ou mais fatores não são conhecidos ou não são certos. Estes fatores podem ser conhecidos, então, como variáveis aleatórias, ou estocásticas segundo alguns autores ([61], [62] e [63], por exemplo), e seus comportamentos são ditados por funções de distribuição de probabilidade. [64]

O termo simulação designa qualquer método analítico que visa replicar um sistema

real, especialmente quando outros tipos de análise são mais complexos matematicamente ou mais difíceis de se reproduzir [65]. Além disso, simulações são consideradas metodologias valiosas para tomada de decisão, uma vez que possibilita obter resultados a partir de situações prováveis. [64]

No caso da simulação de Monte Carlo, seu princípio baseia-se em experimentos aleatórios, repetidos incessantemente, e os resultados individuais são analisados estatisticamente de forma a fornecer um resultado global. A Figura 3, a seguir, demonstra um esquemático do funcionamento deste método.



**Figura 3 - Diagrama genérico do método de Monte Carlo**

*Fonte : Adaptado de Becchi [66]*

Assim sendo, este tipo de simulação pode ser considerado uma análise “e se” de um sistema [67]. Atualmente, suas aplicações estão concentradas nas áreas de matemática, física, química, biologia e finanças. [68]

A Simulação de Monte Carlo foi desenvolvida durante a Segunda Guerra Mundial por Von Neumann e Ulman, e foi utilizada primeiramente para analisar o comportamento da difusão de nêutrons no projeto da primeira bomba nuclear [69]. Entretanto, como na década de 40 a repetição manual de operações utilizando valores aleatórios era trabalhosa, o método de Monte Carlo foi pouco explorado. Somente após o desenvolvimento dos processadores e algoritmos computacionais que este começou a ser mais utilizado. [66]

Uma das primeiras referências ao método de Monte Carlo foi um artigo publicado por Metropolis et al., em 1953 [70]. Foi Metropolis que nomeou o método, devido às referências aos jogos de azar dos cassinos da capital de Mônaco, Monte Carlo. [71]

Em comparação com outros tipos de simulação e métodos numéricos, o Monte Carlo tem diversas vantagens. A mais importante, é que é fácil utilizá-lo, uma vez que, normalmente, quando as distribuições de probabilidade das variáveis estocásticas podem ser simuladas, este método pode ser aplicado para estimá-las. Além disso, sua taxa de

convergência geralmente não depende da dimensão do problema. Atualmente, o método de Monte Carlo é utilizado principalmente para inferir valores esperados. [72]

Em contrapartida, o método de Monte Carlo, segundo Raychaudhuri [67], também possui algumas desvantagens, como a dificuldade de avaliar os melhores e piores cenários para cada variável da entrada. Além disso, nem sempre o pior e melhor casos da simulação são de fato os reais, uma vez que utilizam amostragens aleatórias. Outro grande problema é o custo computacional necessário para se realizar a simulação quando se utiliza um número elevado de iterações. [67]

O método de Monte Carlo é composto por dois elementos principais: as funções de densidade de probabilidade (PDF) e o gerador de números aleatórios. O primeiro pode ser escrito conforme a Equação [2.1], a seguir. [68]

$$\int_{x_1}^{x_2} p(x) dx = 1 \quad [2.1]$$

Onde  $x_1$  e  $x_2$  representam o intervalo de probabilidade da ocorrência da variável  $x$ . As PDF podem ser relacionadas com números aleatórios, permitindo uma amostragem dessas funções. Se a variável aleatória  $\alpha$  variar dentro do intervalo entre  $x_1$  e  $x_2$ , a probabilidade desta ocorrência é regida pela Equação [2.2]. [68]

$$\int_{x_1}^{x_2} p(x) dx = p(x_1 < \alpha < x_2) \quad [2.2]$$

O gerador de números aleatórios, que se baseiam em algoritmos matemáticos que simulam valores aleatórios que poderiam ser encontrados na natureza [68]. Vale destacar, no entanto, que a maioria dos computadores atuais não geram números aleatórios, mas sim utilizam algoritmos que simulam o comportamento destes, gerando os conhecidos números pseudoaleatórios. [73]

Desta forma, ao aplicar a simulação de Monte Carlo deve-se, primeiramente, escolher quais serão as variáveis que serão geradas aleatoriamente. Posteriormente, inicia-se o processo de simulação, onde cada variável possui uma faixa de valores que pode assumir, que significa um cenário possível de se ocorrer. Este processo faz com que estas variáveis aleatórias gere uma distribuição de probabilidade do sistema final. [68]

Rogers [62] ainda destaca que quanto maior o número de interações na simulação, mais a distribuição de valores de saída deve se aproximar de uma distribuição probabilidade normal.

Sendo assim, a simulação de Monte Carlo é um método estocástico, pois utiliza variáveis aleatórias na simulação, cujos resultados não serão os mesmos, apesar de aproximados, no caso de recálculo. [74]

Portanto, este método de simulação visa reduzir, ou ao menos perceber antecipadamente, o impacto da instabilidade dos mercados financeiros, possibilitando o planejamento do negócio ou projeto. [68]

### 3. Metodologia

Este estudo faz uma abordagem de baixo para cima (*bottom-up*) para estimar a viabilidade econômica de implantação e uso do *Shore Power* nas instalações portuárias brasileiras selecionados. Para isso, os seguintes passos foram considerados nessa estimativa:

- escolha das bases de dados das características dos navios e instalações portuárias a serem instalados,
- escolha das instalações portuárias brasileiras de interesse,
- agrupamento das embarcações por tipo/característica,
- número de atracações e tempo de permanência das embarcações no berço,
- demanda de energia elétrica a ser fornecida aos navios quando atracados,
- estimativa do consumo de combustível para geração da energia elétrica pelo navio durante o período atracado,
- estimativas da emissão de CO<sub>2</sub> equivalente,
- preço da energia elétrica *ongrid*,
- preço do combustível marítimo,
- estudo de viabilidade econômica (estudo de caso para obtenção da TIR e VPL)

A Figura 4 apresenta as etapas envolvidas na metodologia.

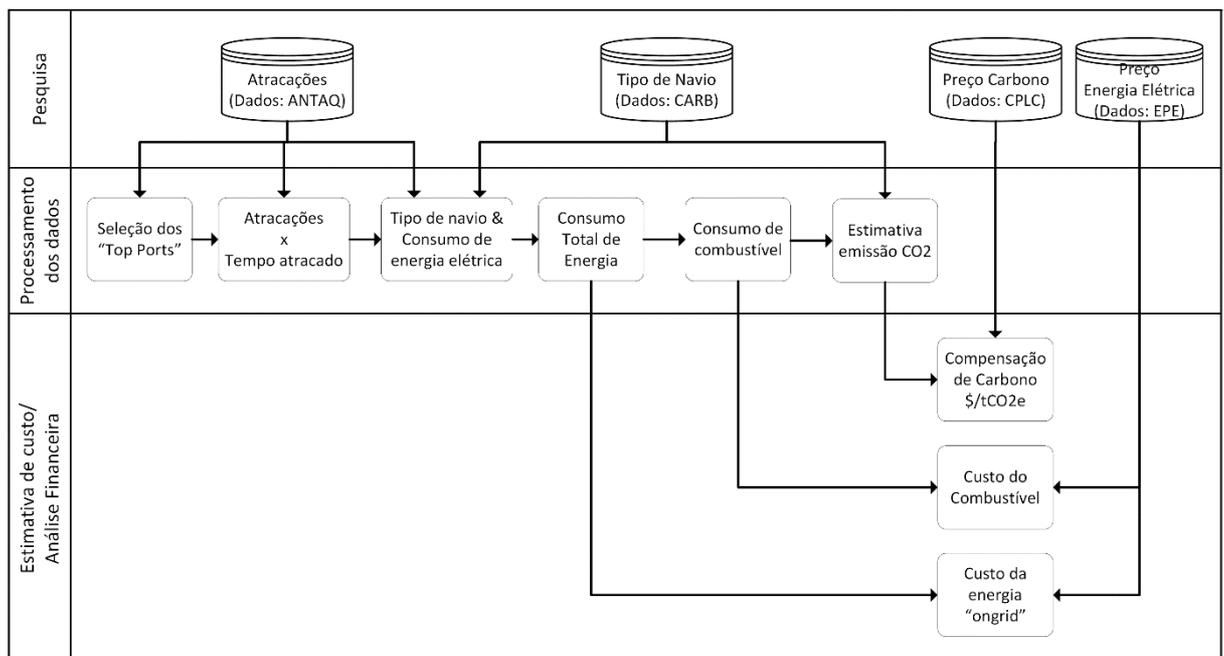


Figura 4 – Esquema da metodologia

Fonte: Autor

Para os dados de atracação foram coletados dados históricos entre 2010 e 2020 disponibilizados pela ANTAQ[75]. Apenas os anos completos foram utilizados na análise. Ao observar a série histórica foi possível verificar as características de movimentação portuária ao longo desses anos, sazonalidades ou manutenção do volume transportado bem como estimar o potencial futuro. Essas informações são importantes pois servem como balizador para uso futuro, uma vez que foi possível estimar o comportamento deste ponto em diante.

Para os dados econômicos o estudo utilizou a série histórica de tarifas fornecida pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE[46], empresa vinculada ao Ministério de Minas e Energia brasileiro. Os dados de consumo de navios e estimativas de emissão foram baseados nos estudos do *California Air Resources Board – CARB*[11]. Para o preço do carbono foi usado como referência o meio da faixa sugerido como ideal pela *Carbon Pricing Leadership Coalition – CPLC*[52].

Uma vez conhecido o consumo de combustível e de energia foi possível comparar o preço de cada um ao longo do período estudado e avaliar a viabilidade do uso da tecnologia. Além disso, com a estimativa da quantidade de emissões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente que seriam evitadas também foi possível estimar o retorno financeiro em compensação de carbono que poderia ser gerado com o uso da alimentação *ongrid*.

A combinação desses resultados permitiu a realização de uma última análise financeira. Estimando o custo de implantação da solução *Shore Power* em cada instalação portuária e o resultado financeiro que poderia ser obtido com o uso dessa tecnologia foi possível projetar o retorno sobre o investimento. Esses resultados serão discutidos adiante.

### 3.1. Base de dados portuários

Dentre as três bases que o estudo utilizou a principal delas diz respeito aos dados portuários. Usualmente os dados de atracação são obtidos de duas formas:

- a) a partir das informações do sistema AIS (*Automatic Identification Systems*), requisito obrigatório para navios de carga desde 2004, fornecendo dados de posição, identificação além de outras informações sobre os navios [76];
- b) através do registro e controle individual da instalação portuária [17].

O primeiro método permite uma grande precisão no número de amostras, porém requer um grande tratamento dos dados, combinando os registros às posições geográficas de interesse. Além disso não é incomum registros incompletos a partir do AIS fazendo com que

alguns dados tenham que ser descartados.

O segundo traz um registro mais efetivo, porém geralmente não é um dado compartilhado abertamente, ficando restrito à própria instalação ou às autoridades portuárias.

No Brasil, a ANTAQ disponibiliza de forma pública o Estatístico Aquaviário através de um portal web com uma base de dados bastante completa, permitindo o levantamento e cruzamento de dados para diversas análises sobre a movimentação de cargas nos portos organizados e instalações portuária privadas. Adicionalmente, permite coletar dados de frota, afretamentos e volumes movimentados segundo acordos bilaterais[77]. O uso dos dados fornecidos pela ANTAQ combina os dois métodos citados acima e traz uma confiabilidade nos dados de atracação e por isso foram utilizados nesse estudo.

Para esse estudo foram filtrados os dados de interesse, como apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2 - Parâmetros utilizados**

<b>Dimensão: Período</b>	<b>Dimensão: Instalação</b>	<b>Dimensão: Mercadoria</b>	<b>Métrica: Indicadores</b>
Ano	UF da instalação	Perfil da carga	Total de atracções
	Tipo de instalação		Tempo médio atracado
	Nome da instalação		
	Terminal		
	Berço		

*Fonte: Elaboração própria*

A base de dados completa traz para cada atracação um identificador único que permite a rastreabilidade da operação. Em cada um desses registro são disponibilizadas informações temporais como data e hora de chegada da embarcação, data e hora da atracação e desatracação e data e hora de operação. Dentre esses tempos, o tempo de atracação (TA) representa o período em que a embarcação já está posicionada no cais/berço e já pode ser conectada a uma fonte de energia elétrica suprida pelo lado *onshore*. O TA é representado em horas e definido pela Equação [3.1] que compreende a soma dos tempos descritos a seguir:

$$TA = T_{EI} + T_{Op} + T_{ED} \quad [3.1]$$

$T_{EI}$ : É definido como sendo a diferença entre a data/hora de início de operação do navio e a data/hora de atracação. Trata-se do tempo em que o navio, já atracado, espera para que se inicie a operação de carga/descarga.

$T_{Op}$ : É definido como sendo a diferença entre a data/hora de término da operação do

navio e a data/hora de início dessa operação.

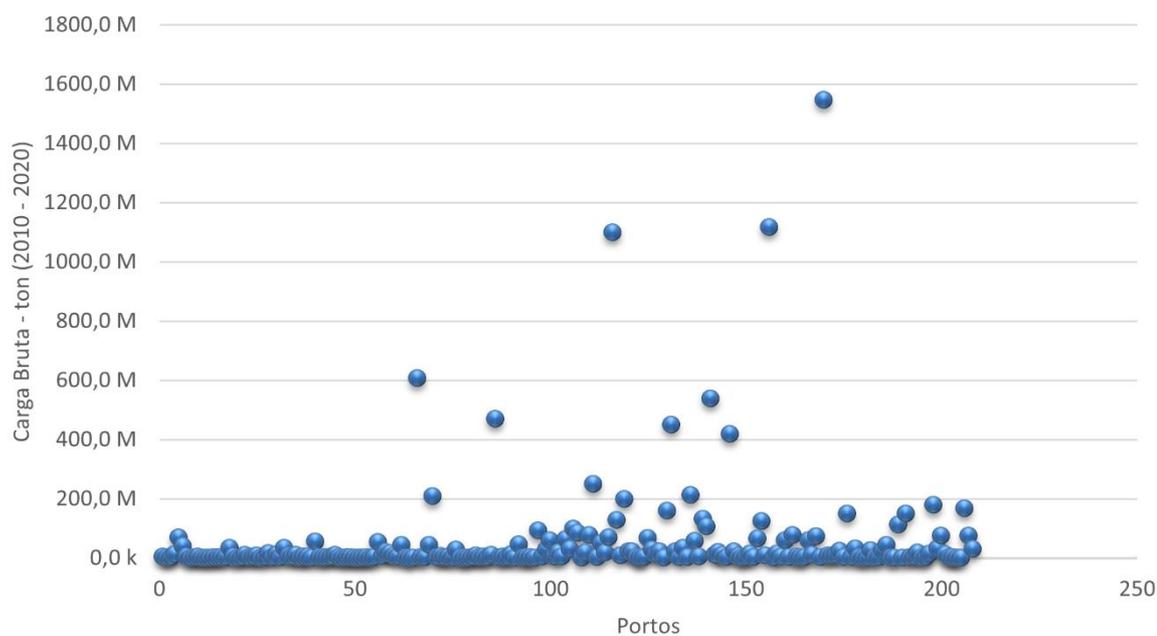
$T_{ED}$ : É definido como sendo a diferença entre a data/hora de desatracação do navio e a data/hora de término da operação.

O tempo efetivo de conexão entre o navio e o sistema *Shore Power* varia de acordo com o tipo de solução adotada pela instalação portuária bem como da performance dos profissionais envolvidos na tarefa de conexão, tanto da equipe de solo quanto daquela a bordo. De acordo com Zis [5], o operador do porto de Gothenburg consegue realizar o processo de conexão e desconexão em menos de 10 minutos em uma condição ótima porém nos portos da Califórnia os dados indicam um tempo mais realista entre 1h e 1,5h. Novas tecnologias de ancoragem têm permitido, inclusive, que essas conexões ocorram de forma cada vez mais rápida e até mesmo autônoma[78].

Nesse estudo não foi considerado o tempo de conexão ao sistema *Shore Power*, uma vez que uma base histórica será construída futuramente com o uso real dessa solução. Foi utilizado como premissa o tempo médio atracado, que representa a soma de todos os tempos de atracação TA (Equação [3.1]) pelo número total de navios que foram atracados em cada berço do estudo, indicando todo potencial que o uso da tecnologia poderia proporcionar.

### 3.2. Escolha das Instalações Portuárias de Interesse

Conforme dados da ANTAQ, em 2020 o Brasil possuía 231 instalações portuárias, sendo 36 portos e 195 terminais de uso privado (TUP) [75], apesar de apenas 208 estarem listados nas estatísticas da agência[77]. Desse total, pouco mais de 10 portos movimentam mais de 50% de todo volume transportado no país (Figura 5). Se comparados individualmente, os demais portos são pouco representativos em relação à quantidade de volume transportado.



**Figura 5 – Portos x Carga Bruta transportada (2010 a 2020)**

*Fonte: Elaboração própria com dados do estatístico aquaviário da ANTAQ[77]*

O ranking das instalações portuárias utilizado pela ANTAQ considera o volume de carga transportado, seja em toneladas ou TEU (*Twenty foot Equivalent Unit*) para contêineres. Como ponto de partida esse estudo adotou o mesmo critério para a escolha das instalações portuárias. Porém adotar apenas a soma do volume total transportado por todas as instalações portuárias brasileiras e classificá-los a partir daí poderia induzir à escolha de instalações que não figuram atualmente entre as instalações portuárias com os maiores volumes transportados. Para mitigar essa situação e buscar o melhor retrato das instalações portuárias relevantes no cenário nacional foi realizado, com base no estatístico aquaviário da ANTAQ, o levantamento das 12 instalações portuárias mais relevantes (chamaremos de “top 12”) anualmente ao longo dos últimos 11 anos, entre 2010 e 2020. Associando o resultado dessa pesquisa com a soma da carga transportada pelas diversas instalações no mesmo período foram possível excluir casos de instalações portuárias que historicamente figuraram entre os top 12 no ranking em algum momento desse intervalo, mas não se repetiram ao longo dos anos. Dessa forma foi possível excluir o Terminal Marítimo de Ponta do Ubu, que movimentou volumes significativos de carga até 2015, mas a partir desse ano foi colocado em hibernação pelo seu controlador. O Terminal Aquaviário de Madre de Deus foi excluído, pois esteve entre os Top

10 apenas entre os anos 2011 e 2013.

Dentro da métrica utilizado vale destacar o Terminal de Petróleo do Açú, composto pelo Terminal de Petróleo e pelo Terminal de Combustíveis do Porto do Açú, com operação iniciada em 2016. Em 2020, no ranking de cargas transportadas pela ANTAQ, o terminal ficou em 8º lugar com quase 30 milhões de toneladas transportada. Porém dois fatores fizeram com o que ele ficasse de fora da lista de instalações portuárias estudadas: a falta de dados históricos para uma melhor comparação e a falta de informação do tempo médio que as embarcações ficam atracadas naquele terminal. A falta dessa última informação já inviabilizaria a análise.

A movimentação de carga nas instalações portuárias selecionadas é mostrada na Tabela 3.

Tabela 3 – Acumulado de Carga Bruta transportada entre os anos 2010 e 2020 pelas 14 instalações portuárias brasileiras em estudo e comparação com o volume total transportado no Brasil

<b>Ranking</b>	<b>Instalações Portuárias</b>	<b>Carga Bruta movimentada (ton)</b>
1	Terminal Marítimo de Ponta da Madeira	1.545.647.528
2	Terminal De Tubarão	1.115.744.772
3	Santos	1.097.828.306
4	Itaguaí	605.004.782
5	Terminal Aquaviário De São Sebastião (Almirante Barroso)	536.939.280
6	Paranaguá	468.106.453
7	Terminal Aquaviário De Angra Dos Reis	449.083.416
8	Terminal Da Ilha Guaíba - Tig	372.489.157
9	Rio Grande	168.801.353
10	Terminal Marítimo Ponta Ubu	145.274.998
11	Suape	119.405.456
12	Terminal Aquaviário De Madre De Deus	65.057.480
13	Itaqui	50.475.169
14	Terminal De Petróleo Tpet/Toil - Açú	29.611.392
Carga Total Movimentada (14 instalações portuárias)		6.769.469.544
Carga Brasileira Total Movimentada (208 instalações portuárias)		11.008.118.764
Instalações Portuárias no Ranking/Total (%)		61%

Fonte: Elaboração própria com dados do estatístico aquaviário da ANTAQ [77]

Porém é importante ressaltar que o objetivo principal do levantamento realizado foi, além de limitar as instalações portuárias com maior representatividade no Brasil, indicar aqueles que poderiam apresentar um melhor resultado com a utilização do *Shore Power*, tanto no sentido de retorno econômico quanto na redução da emissão de gases do efeito estufa (GEE).

Uma terceira análise foi realizada para determinar uma classificação em função do tempo médio por atracação pela quantidade de movimentações de navios nas instalações portuárias (*port calls*), utilizando a Equação [3.2].

$$TA = \sum_a^b MP \times \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n TMA \quad | \quad n = b - a \quad [3.2]$$

Onde,

*TTA* = Tempo Total de Atracado

*MP* = Número de Atracções (*port calls*)

*TMA* = Tempo Médio Atracado

*a* = ano inicial do intervalo de observação

*b* = ano final do intervalo de observação

Nessa última análise, para efeito de comparação, o intervalo de observação foi reduzido de onze para cinco anos, ou seja, foram analisadas as movimentações portuárias entre 2016 e 2020. Foi concluído que independente da janela observada a lista de instalações portuárias permanece inalterada, ocorrendo variações somente na ordem de classificação. O resultado está descrito na Tabela 4.

Tabela 4 – Ranking das instalações marítimas considerando o Tempo Total Atracado entre 2016 e 2020

Ranking	Instalação Portuária	Carga Bruta movimentada (ton)	% da Carga Total	Tempo Médio Atracado - TMA (h)	Σ Número de Atracações Anuais	Tempo de Atracado - TTA (h)
1	Santos	531.113.869	10%	42,06	22.446	942.992,9
2	Paranaguá	234.683.143	4%	44,62	10.086	449.974,7
3	Rio Grande	127.914.879	2%	30,00	11.811	354.485,3
4	Suape	119.405.456	2%	32,00	7.588	242.848,6
5	Itaqui	109.073.966	2%	57,58	3.852	222.259,4
6	Terminal Portuário Do Pecém	78.263.263	1%	56,52	2.912	162.220,6
7	Terminal Marítimo De Ponta Da Madeira	898.001.104	16%	35,42	3.886	137.585,8
8	Itaguaí	257.545.896	5%	39,84	3.457	137.130,8
9	Terminal De Tubarão	453.723.014	8%	39,02	3.501	134.348,4
10	Terminal Aquaviário De São Sebastião (Almirante Barroso)	235.251.178	4%	44,58	2.930	130.390,9
11	Terminal Aquaviário De Angra Dos Reis	235.653.713	4%	50,32	1.666	83.672,5
12	Terminal Da Ilha Guafba - Tig	175.622.762	3%	63,24	848	53.697,0
TOTAL		3.456.252.245	63%			

Fonte: Elaboração própria com dados do estatístico aquaviário da ANTAQ [77]

Utilizando esse último método de análise, o porto de Santos passa a ser o primeiro da lista enquanto o Terminal Marítimo de Ponta da Madeira vai para o sétimo lugar. Isso indica que uma determinada instalação portuária pode movimentar um volume menor de carga comparativamente, mas apresentar maior tempo de uso dos seus berços.

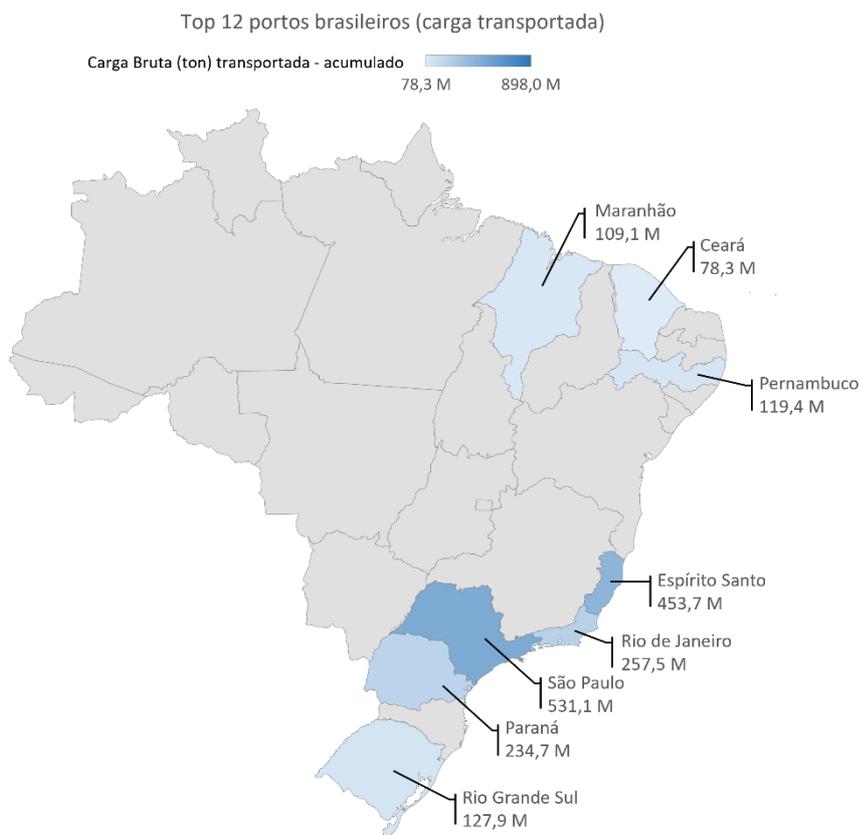
Quanto mais navios atracados no berço, com maiores tempos de estadia, maior é a utilização do sistema *Shore Power*.

Outra ocorrência ao considerar o tempo total atracado é a do Terminal Portuário do Pecém. Com um maior número de atracações aparece em sexto lugar ao consolidar a lista com as instalações com maior tempo de navio atracado, indicando o potencial de utilização da solução *Shore Power*.

Ao final, após aplicar todas as considerações expostas acima, chegou-se ao número de doze instalações marítimas entre Portos e Terminais de Uso Privado (TUP), conforme Tabela 4. Estas doze instalações portuárias movimentaram juntos mais de 60% de toda carga bruta transportada no país na última década.

Observando a Figura 6 é possível verificar que geograficamente essas doze instalações portuárias se distribuem em oito estados, com maior concentração nas regiões Sudeste/Sul

que são as regiões economicamente mais desenvolvidas no país. Para essas instalações, a vantagem geográfica pode facilitar adequações de infraestrutura, e, além disso, certamente irá contribuir na redução da emissão de poluentes em áreas com alta densidade populacional. Nesse contexto, o porto de Santos é o melhor exemplo. Além do expressivo volume de movimentações ele está localizado a menos de 60km da cidade de São Paulo, capital do estado e cidade mais economicamente desenvolvida no Brasil [79].



**Figura 6 – Concentração regional por volume de carga transportado**

*Fonte: Elaboração própria com dados do estatístico aquaviário da ANTAQ [77]*

### 3.3. Tipos de navio e consumo típico durante o período atracado (hotelling hours)

Durante uma viagem, os navios combinam parte da potência dos motores principais com geradores auxiliares para gerar a energia elétrica necessária à manutenção das mais variadas operações a bordo. Quando atracado, o motor principal dá lugar à máquina de combustão auxiliar (MCA) para prover energia elétrica a cargas de uso geral como iluminação, refrigeração, aquecimento, equipamentos de emergência etc. e outras cargas de

uso específico como bombas de lastro ou tomadas para contêineres refrigerado, por exemplo [5]. Além da máquina de combustão auxiliar (MCA), em alguns navios, um boiler é utilizado para prover calor, principalmente para manter o óleo combustível e o motor de propulsão aquecidos[80].

Apesar do vasto registro disponível sobre as embarcações em banco de dados como o *Lloyd's PC Register of Ships*[81], *DNV Vessel Register*[82] ou ainda outros[83][84] especializados em prover informações sobre a frota marítima, muitos desses registros não trazem publicamente a informação dos geradores. Em alguns casos, nem mesmo a informação do motor utilizado na propulsão está disponível. Nesse sentido, a informação do gerador auxiliar é comumente considerada como uma porção da potência do motor principal que geralmente está disponível[85]. Essa estimativa depende diretamente do tipo de navio considerado e de seu tamanho relacionado seu peso bruto[86].

Para exemplificar, um navio graneleiro pode ter um considerado consumo de energia elétrica quando atracado, para alimentar suas bombas de lastro, responsável por manter a estabilidade ideal daquela embarcação.

A base de dados utilizada [77] subdivide os tipos de navios em quatro classes por similaridade com o tipo de carga transportada (perfil de carga) e, por consequência, com o tipo de navio[87]. Essas quatro classes, definidas como granel sólido, granel líquido, carga geral e contêiner, permitem a ANTAQ “melhor conhecer as características que tipificam as especialidades das instalações portuárias”[88]. Em termos de consumo de combustível essa divisão está em linha com dados levantados pela IMO em 2014 [89]. O relatório indica que o consumo total de navios é dominado por três tipos: *oil tankers*, *container ships* e *bulk carriers*. Embora o consumidor dominante de combustível seja o motor de propulsão, que usualmente não é utilizado durante o período atracado, a divisão de classes feita pela ANTAQ está coerente com os maiores consumidores da frota mundial. Gutierrez-Romero et al. (2019) [6] observou a mesma ocorrência dos tipos de navios para o porto de Cartagena entre os anos 2010 a 2016. Durante o período, para uma base de dados de mais de 4000 navios os tipos *bulk-carrier*, *Chemical tanker*, *container ship* e *general cargo* foram os que tiveram o maior número de atracações.

Definida as classes e os tipos de navios associado a cada uma delas foi possível relacionar o consumo elétrico típico. Como as especificações da máquina de combustão principal e máquina de combustão auxiliar (ou sua relação com a máquina principal) são

dadas pela capacidade de potência máxima fornecida, foi preciso estimar de fato qual o consumo de cada embarcação quando atracada. Da mesma forma em que há uma falta de informação quanto a capacidade de potência da máquina auxiliar para grande parte da frota, definir o consumo quando atracado sempre exigiu certa aproximação devido à falta de dados concretos sobre o assunto. Para isso, optou-se por utilizar os dados disponibilizados no relatório da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – EPA (2017)[85] e que utilizam os dados consolidados do relatório do CARB (2005)[90], indicados na Tabela 5.

**Tabela 5 – Potência do motor auxiliar, relação entre a potência do motor auxiliar e principal e Fator de Carga Atracada**

<b>Tipo de embarcação</b>	<b>Potência média do motor principal (kW)</b>	<b>Potência auxiliar média (kW)</b>	<b>Relação entre Auxiliar e Principal</b>	<b>Fator de Carga Atracada</b>
Graneleiros	8.000	1776	0,222	22%
Navio porta-containers	30.900	6800	0,220	17%
Carga Geral	9.300	1776	0,191	22%
Petroleiro	9.400	1985	0,211	67%

*Fonte: CARB's 2005 Ocean Going Vessel Survey*

### **3.4. Número de atracações x tempo atracado por tipo de navio**

Para escolha das instalações portuárias foi utilizada a informação do tempo total de atracação nas instalações brasileiras (ver item 3.1), porém sem entrar em detalhe para o tipo de navio naquele momento. A partir das associações por classe-tipo de navio (item 3.3) foi possível voltar a base de dados e avaliar em detalhe a quantidade de atracações e o tempo de permanência para cada classe. Essa associação foi essencial para determinar o consumo de energia elétrica, ao passo que o consumo está diretamente ligado ao tipo de navio, devido as suas características.

Os dados de atracação foram distribuídos anualmente por instalação e berço. Para cada berço foi informado o perfil da carga, a quantidade de atracações e o tempo médio. Logo, para determinação do tempo total atracado (Equação [3.2]) por instalação foi necessário somar as contribuições relativas a cada berço por perfil de carga obtendo-se a Equação [3.3]. Logo:

$$TTA_{anual} = \sum_{b,s} TTA \quad [3.3]$$

Onde:

$TTA_{anual}$  = Tempo Total de Atracação por ano por instalação

$TTA$  = Tempo Total Atracado, definido pela Equação [3.2]

$b$  = Berço

$s$  = Tipo de navio (perfil de carga)

A Tabela 6 apresenta a quantidade de atracções entre 2010 e 2020 por tipo de embarcação (perfil de carga). Já a

Figura 7 representa a participação percentual de cada um desses tipos. Esses números demonstram o comportamento do cenário de transporte marítimo de cargas no país e ainda fornecem dados que permitem projetar a demanda futura.

**Tabela 6 – Número de atracções entre 2010 e 2020 por tipo de carga/navio (portuárias)**

Ano	Containers	Carga Geral	Petroleiros	Graneleiros
2010	6.007	2.052	3.670	5.424
2011	6.292	1.937	3.789	5.055
2012	5.668	2.259	3.569	4.997
2013	5.108	2.231	3.756	5.108
2014	5.040	1.922	3.800	5.098
2015	4.855	1.628	3.717	4.895
2016	4.527	1.796	3.892	4.961
2017	4.760	1.695	3.952	5.303
2018	4.585	1.903	3.867	5.344
2019	4.554	1.802	3.943	4.750
2020	4.291	1.753	3.974	4.876
<b>TOTAL</b>	<b>55.687</b>	<b>20.978</b>	<b>41.929</b>	<b>55.811</b>

Fonte: Elaboração própria com dados do estatístico aquaviário da ANTAQ [77]

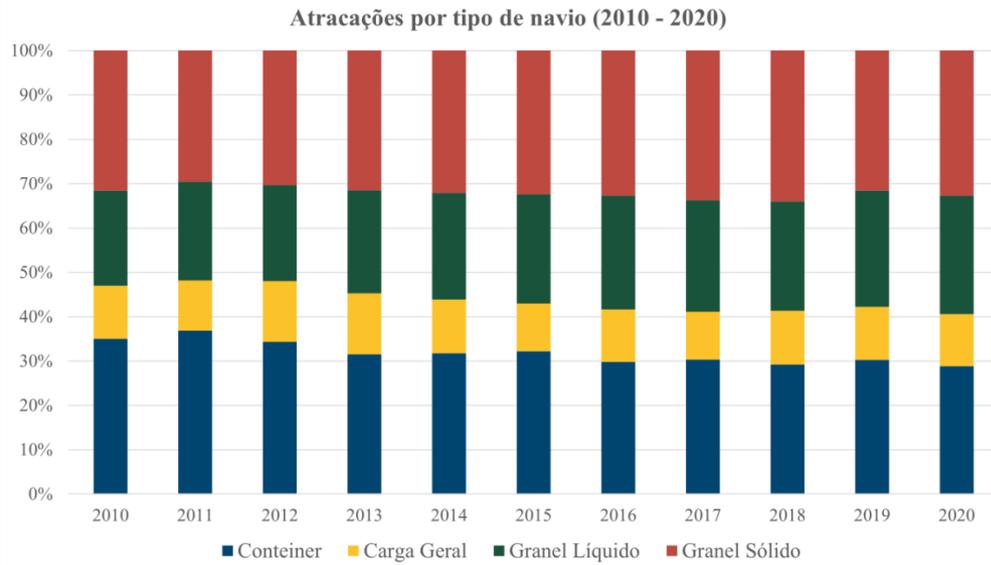


Figura 7 – Percentual de atracções entre 2010 e 2020 por tipo de navio/carga (Top 12 instalações portuárias)

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do estatístico aquaviário da ANTAQ [77]

Aplicando-se a Equação [3.3] para as doze instalações portuárias desse estudo tem-se a representação indicada no gráfico da Figura 8 que apresenta o tempo total de atracções pelo tempo total médio em horas, ao longo dos 10 anos.

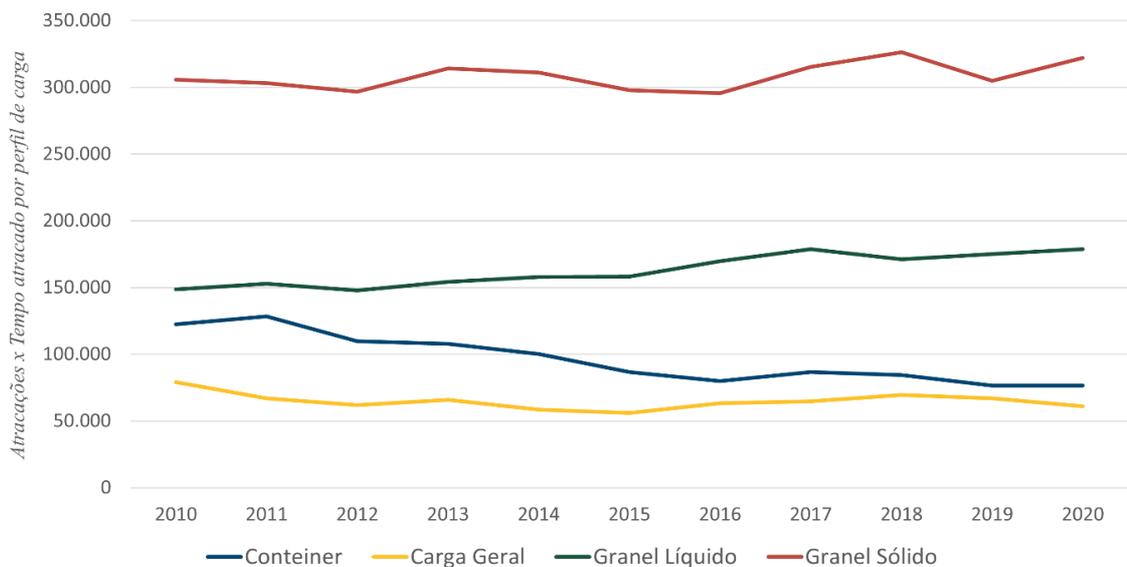


Figura 8 – Número de atracções x tempo (horas) por perfil de carga para as instalações portuárias do estudo

Fonte: Elaboração própria com dados do estatístico aquaviário da ANTAQ [77]

### 3.5. Demanda de energia e consumo de combustível

A demanda de energia de cada instalação pode ser definida como o produto do consumo de energia elétrica por tipo de navio pelo tempo em que ele fica atracado no berço. A Equação [3.4] pode ser aplicada para o consumo anual.

$$Pd_{port} = \sum_s Pc \times TTA_{anual} \quad [3.4]$$

$Pd_{port}$  = Demanda de Potência por instalação portuária (kWh)

$Pc$  = Potência consumida (por tipo de navio) (kW)

$TTA_{anual}$  = Tempo Total de Atracação por ano por instalação portuária (h)

$s$  = Tipo de navio (perfil de carga)

Aplicando a Equação [3.4] aos dados do estudo é obtido acumulado anual por porto representado no gráfico da Figura 9.

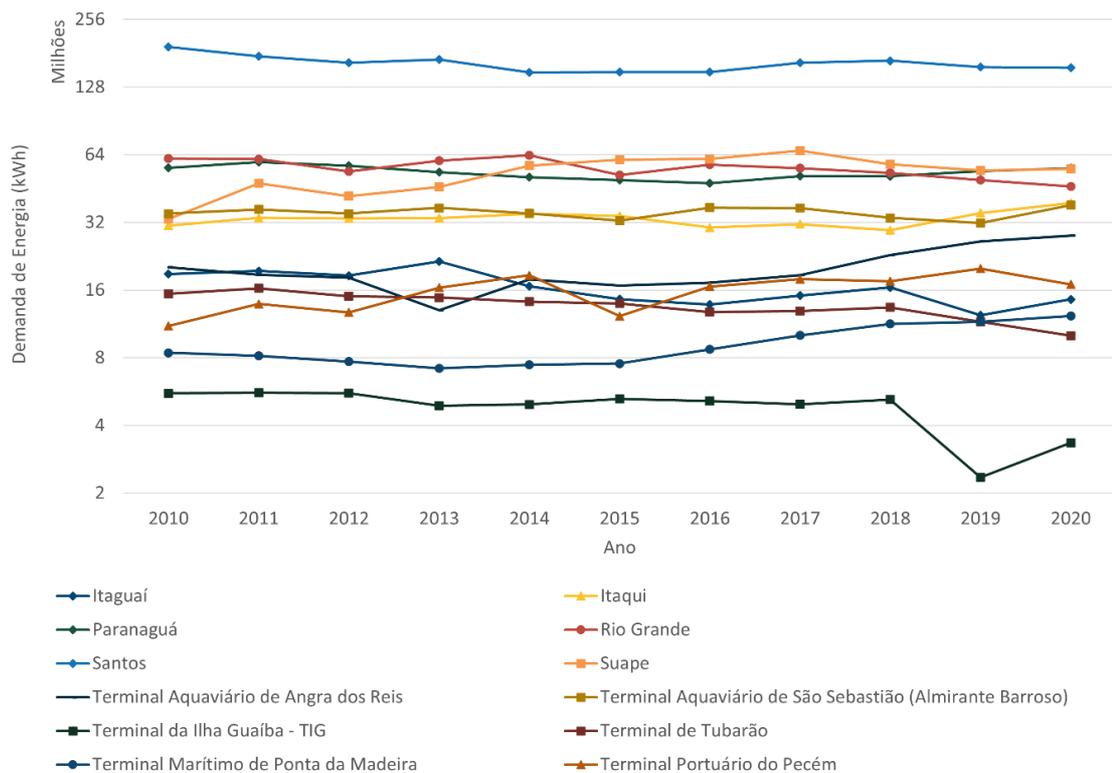


Figura 9 - Demanda de energia (kWh) por porto/ano

Fonte: elaboração própria

Ao multiplicar esse total pelo consumo típico de combustível do Gerador Auxiliar obtém-se o consumo de combustível total nessa atracação. A Equação [3.5] foi utilizada para obtenção do valor de consumo de combustível. Para todos os navios foi considerado apenas um gerador.

$$FC = (AP \times HLF \times TTA \times TFC) \cdot 10^{-6} \quad [3.5]$$

Onde:

$FC = Fuel Consumption (tonne)$

$AP = Auxiliary Power (kW)$

$HLF = Hotelling Load Factor$

$TTA = Total Time at Berth (hours)$

$TFC = Auxiliary Power Typical Fuel Consumption (g/kWh)$

A partir dos dados de Trozzi [91] e CARB [92] para o consumo típico de combustível (TFC) foi considerado o valor de 217g/kWh para um motor do tipo *Medium-speed*. Como visualizado na Tabela 7 esse valor é referente ao *Marine Diesel Oil* (MDO). Apesar de a maior parte da frota mundial utilizar combustíveis do tipo *Bunker Fuel Oil* (BFO) optou-se pelo valor de referência do MDO para, além de apontar para o requisito da IMO na utilização de combustíveis com reduzido teor de enxofre, equaliza o consumo, já que este varia por tipo de motor e tecnologia utilizada no projeto de Motores mais novos como do navio Sea Beijing[93]. Por exemplo, apresentando um consumo típico de 189g/kWh, segundo dados do fabricante[94].

**Tabela 7 – Consumo típico de combustível**

Motor	Fase	Tipo de Motor	Tipo de Combustível	Consumo específico de combustível (g combustível/kWh)
Auxiliar	Navegação	Alta velocidade diesel	BFO	227.0
			MDO/MGO	217.0
	Atracado	Velocidade média diesel	BFO	227.0
			MDO/MGO	217.0

Fonte: Adaptado Trozzi, 2006

### 3.6. Níveis de emissão de poluentes

Segundo McArthur [86], a poluição gerada pela queima do combustível fóssil vai

dependem de uma série de fatores. Entre eles estão o consumo e o tipo de combustível para que seja possível determinar o nível de enxofre em sua composição. Sendo assim, a partir dos dados coletados até aqui, já é possível determinar os níveis de emissão de poluentes. Essa é uma das aproximações *top-down* utilizada para criar inventários de emissão para navios [95]. O resultado por navio é o somatório do produto entre o consumo de energia elétrica pelo nível de concentração de cada poluente presente no diesel marítimo, demonstrado pela Equação [3.6]. A Tabela 8 apresenta os valores de concentração desses poluentes para ser utilizado com esta equação.

$$E_{ship} = \sum_{i=1}^n 10^{-6} \cdot (Em_i \times AP \times HLF \times TTA) ; \forall i \in \{E\} \quad [3.6]$$

Onde:

$E_{ship}$  = Ship Emission (tonne)

$Em_i$  = Nível de emissão do poluente  $i$  (g/kWh)

$AP$  = Auxiliary Power (kW)

$HLF$  = Hotelling Load Factor

$TTA$  = Total Time at Berth (hours)

$E$  = conjunto de poluentes  $i$

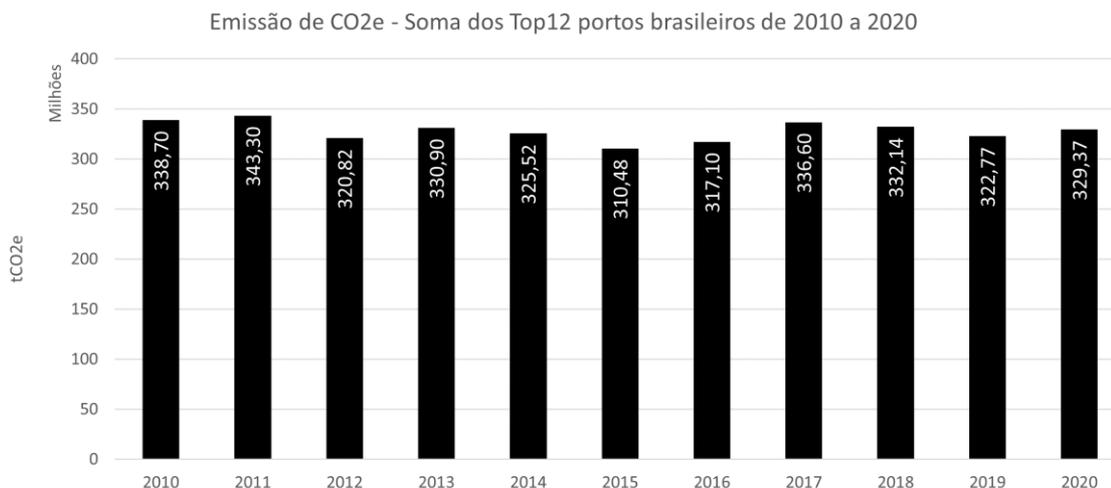
**Tabela 8 – Fator de emissão do motor auxiliar (g/kWh)**

Velocidade do motor	Combustível	CH <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>25</sub>	ROG	SO <sub>x</sub>
Média	Marine Distillate (0.1% S)	0.09	1.10	690	13.9	0.25	0.23	0.52	0.40
Média	Marine Distillate (0.5% S)	0.09	1.10	690	13.9	0.38	0.35	0.52	2.10
Média	Heavy Fuel Oil	0.09	1.10	722	14.7	1.50	1.46	0.46	11.10

Fonte: CARB, 2011 [92]

A Tabela 8 mostra que entre os poluentes, o CO<sub>2</sub> é aquele que representa a maior contribuição. Ainda segundo Peng [3], o terceiro estudo da IMO sobre GEE (IMO, 2014)[89] indica que as emissões por navios internacionais em 2012 era responsável por 2,2% da emissão antropogênica de CO<sub>2</sub> e que esse número poderia crescer de 50 a 250% até 2050 devido à expectativa de crescimento da frota mundial. Embora os níveis de SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub> possam parecer pequenos se comparado aos níveis de CO<sub>2</sub> eles representam em torno de 13% e 15%, respectivamente, da emissão global daqueles poluentes.

A partir da Equação [3.6] os valores de emissão acumulados em toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (tCO<sub>2</sub>e) foram calculados para as doze instalações portuárias desse estudo e representados na Figura 10.



**Figura 10 - Acumulado de Emissões em tCO<sub>2</sub>e (2010 - 2020)**

*Fonte: Elaboração própria*

Os níveis de emissão apresentados na Figura 10 acompanham os números de movimentação portuária no mesmo período e mostram pouca variação ao longo do período no acumulado para as doze instalações.

## 3.7. Levantamento de dados para uso alternativo de Energia Solar

### 3.7.1 Estimativa do custo de energia elétrica

Os dados de entrada são compostos por estimativas de consumo de energia por navios atracados, extrapolando para o que seria a fatura anual, ou seja, o consumo específico do Sistema *Shore Power* de uma seleção de 12 instalações portuárias brasileiras de 2010 a 2020.

Os dados referentes à definição dessa demanda de energia para cada instalação foram obtidos por meio da consolidação dos dados no banco de dados da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) [75]. Para a tarifa, foram realizados levantamentos, contendo informações sobre a tarifa padrão e o tipo de conexão de cada porto ou terminal portuário.

A Tabela 9 apresenta as informações relativas à tarifa padrão de cada instalação

portuária com seu respectivo tipo de conexão.

**Tabela 9 - Tabela Tarifária**

<b>Porto ou Terminal Brasileiro</b>	<b>Tarifa Padrão de Preço R\$/MWh</b>
Itaguaí	420,00
Itaqui	340,00
Paranaguá	520,00
Rio Grande	380,00
Santos	440,00
Suape	370,00
Terminal Aquaviário de Angra dos Reis	380,00
Terminal Aquaviário de São Sebastião	420,00
Terminal de Ilha Guaíba	380,00
Terminal de Tubarão	440,00
Terminal Marítimo de Ponta da Madeira	340,00
Terminal Portuário do Pecém	340,00

*Fonte: Elaboração própria*

Para a obtenção do faturamento médio dos anos de 2010 a 2020 para cada instalação, foi considerado a Equação [3.7].

$$\text{Média da fatura} = \text{Tarifa} \times \text{Consumo médio} \quad (7) \quad [3.7]$$

A análise do consumo estimado com a implantação do *Shore Power* em cada instalação portuária brasileira em estudo é apresentada na Tabela 10.

**Tabela 10 - Consumo de energia**

<b>Consumo de ENERGIA</b>		
<b>Porto ou Terminal Brasileiro</b>	<b>Consumo médio dos últimos 10 anos, entre 2010 e 2020, em WMh</b>	<b>Média dos últimos 10 anos, entre 2010 e 2020, em milhões de reais</b>
Itaguaí	16.531,7	R\$ 6.943,31
Itaqui	33.293,79	R\$ 11.319,89
Paranaguá	53.374,56	R\$ 27.754,77
Rio Grande	55.918,71	R\$ 21.249,11
Santos	163.282,56	R\$ 71.844,33
Suape	53.000,28	R\$ 19.610,10
Terminal Aquaviário de Angra dos Reis	19.817,21	R\$ 7.530,54
Terminal Aquaviário de São Sebastião	35.399,51	R\$ 14.867,79
Terminal da Ilha Guaíba	4.802,73	R\$ 1.825,04
Terminal de Tubarão	13.672,46	R\$ 6.015,88
Terminal Marítimo de Ponta da Madeira	9.129,18	R\$ 3.103,92
Terminal Portuário do Pecém	15.801,86	R\$ 5.372,63

*Fonte: Elaboração própria*

### 3.7.2 Parâmetros de sistemas de energia solar

Na sequência, foram levantados os parâmetros necessários para a estimativa de uma eventual instalação de energia renovável, no caso solar, para as instalações portuárias neste estudo.

#### 3.7.2.1. Irradiação Solar

Praticamente todas as formas de energia na Terra, renováveis e não renováveis, vêm do sol em diferentes escalas de tempo. A energia solar possibilita a evaporação, dando origem ao ciclo das águas, e possibilitando o represamento e geração de hidroeletricidade [96].

O termo radiação solar é usado para se referir ao fluxo de energia por unidade de área, a irradiância solar. Como nem toda superfície do planeta é perpendicular aos raios do sol, a insolação do plano horizontal é reduzida. A irradiância solar varia, portanto, com a posição terrestre e o ângulo de incidência dos raios solares. Regiões próximas ao equador apresentam menor mudança na irradiância ao longo do ano quando comparadas a regiões em latitudes elevadas, onde a energia total anual é menor [96].

Na análise técnica de uma instalação de painéis fotovoltaicos, para obter dados sobre a irradiação do local pretendido, é necessário utilizar um software ou website responsável por fornecer informações sobre a latitude, longitude e uma irradiação solar para cada mês. Para o projeto, o site da CRESESB [97] foi responsável por coletar dados de irradiação das localidades de cada instalação portuária brasileiro em estudo.

A Tabela 11 apresenta os dados referentes à latitude e longitude de cada instalação portuária brasileiro nos 12 meses do ano.

**Tabela 11 - Dados referentes a latitude e longitude de cada porto brasileiro**

Porto ou terminal	Latitude [°] S	Longitude [°] O
Santos	23,901	46,349
Paranaguá	25,5	48,449
Rio Grande	32,1	52,149
Suape	8,4	35,049
Itaqui	2,501	44,349
Terminal Portuário Do Pecém	3,601	38,849
Terminal Marítimo De Ponta Da Madeira	2,501	44,349
Itaguaí	22,901	43,749
Terminal De Tubarão	20,301	40,349
Terminal Aquaviário De São Sebastião (Almirante Barroso)	23,801	45,449
Terminal Aquaviário De Angra Dos Reis	23,101	44,249
Terminal Da Ilha Guafba - Tig	23	43,949

*Fonte: Elaboração própria*

De acordo com os dados de localização de cada instalação portuária brasileira, é possível analisar o nível de radiação solar que incide naquele local. A Tabela 12 mostra o nível de irradiação solar mensal em cada instalação portuária brasileiro.

**Tabela 12 - Dados referentes ao nível de irradiação solar mensal em cada instalação portuária brasileiro (kWh / m<sup>2</sup>)**

Porto ou Terminal	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Santos	4,91	5,12	4,26	3,82	3,16	2,81	2,86	3,49	3,40	3,74	4,35	4,95
Paranaguá	5,43	5,33	4,45	3,69	3,00	2,54	2,56	3,29	3,33	3,84	4,89	5,42
Rio Grande	6,41	5,74	4,86	3,63	2,66	2,21	2,36	2,98	3,63	4,94	6,24	6,79
Suape	5,72	5,84	5,9	5,14	4,4	4,11	4,20	4,87	5,40	5,73	5,97	6,01
Itaqui	5,16	5,12	4,9	4,77	4,76	4,91	5,15	5,73	6,16	5,99	5,90	5,72
Terminal Portuário Do Pecém	5,80	5,83	5,52	4,77	5,24	5,24	5,44	6,00	6,14	6,24	6,50	5,96
Terminal Marítimo De Ponta Da Madeira	5,16	5,12	4,90	4,77	4,76	4,91	5,15	5,73	6,16	5,99	5,90	5,72
Itaguaí	5,63	6,02	4,77	4,25	3,48	3,19	3,25	4,09	4,18	4,67	4,71	5,47
Terminal De Tubarão	6,20	6,54	5,40	4,61	3,93	3,63	3,72	4,45	4,9	5,03	5,12	5,96
Terminal Aquaviário De São Sebastião (Almirante Barroso)	5,50	5,63	4,56	4,10	3,31	2,95	3,05	3,76	3,63	4,13	4,64	5,31
Terminal Aquaviário De Angra Dos Reis	5,67	5,95	4,81	4,35	3,55	3,23	3,24	4,08	4,15	4,66	4,87	5,47
Terminal Da Ilha Guaíba - Tig	5,71	6,00	4,83	4,37	3,53	3,25	3,27	4,12	4,19	4,70	4,79	5,52

Fonte: Elaboração própria

A partir dos dados do nível de irradiação solar mensal de cada instalação portuária brasileiro, foi analisada em cada instalação brasileiro e a variação de irradiação solar de cada instalação, ou seja, foi verificado o maior ponto de irradiação e o menor ponto de irradiação.

A Equação [3.8] mostra a obtenção da média do nível de irradiação de cada instalação portuária brasileiro.

$$\text{média do nível de irradiação} = \frac{\text{nível de irradiação mensal de cada porto}}{12} \quad [3.8]$$

A Tabela 13 apresenta os dados referentes à média dos 12 meses de irradiação solar e a variação do nível de radiação solar de cada instalação portuária brasileiro.

**Tabela 13 - Dados da média dos dados referentes aos 12 meses de irradiação solar e a variação do nível de radiação solar em cada porto brasileiro**

Porto ou Terminal	Média	Delta	Menor valor	Maior Valor
Santos	3,91	2,32	2,81	5,12
Paranaguá	3,98	2,89	2,54	5,43
Rio Grande	4,37	4,58	2,21	6,79
Suape	5,27	1,9	4,11	6,01
Itaqui	5,36	1,39	4,76	6,16
Terminal Portuário Do Pecém	5,72	1,72	4,77	6,5
Terminal Marítimo De Ponta Da Madeira	5,36	1,39	4,76	6,16
Itaguaí	4,48	2,84	3,19	6,02
Terminal De Tubarão	4,96	2,92	3,63	6,54
Terminal Aquaviário De São Sebastião (Almirante Barroso)	4,21	2,68	2,95	5,63
Terminal Aquaviário De Angra Dos Reis	4,5	2,72	3,23	5,95
Terminal Da Ilha Guaíba - Tig	4,52	2,75	3,25	6

*Fonte: Elaboração própria*

### 3.7.2.2. Fator de Correção K

O Fator de correção K para superfícies inclinadas mostra a diferença entre a energia captada por uma superfície orientada para o equador inclinada em determinado ângulo e a energia captada por uma superfície semelhante sem inclinação em relação ao plano horizontal.[98]

Como explicado, o nível de irradiação solar dependerá da localização geográfica de cada instalação portuária brasileira e com isso verifica-se a Latitude do Projeto e a Inclinação Real para instalação dos módulos.

A Tabela 14 mostra, como exemplo, o fator de correção de inclinação K referente a todas as instalações brasileiras em estudo.

Tabela 14 - Correção Fator K

Porto De Santos															
Latitude do projeto	Declive real	Lat x código do declive	Fator de correção de inclinação (K)												
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
24	15	24,15	0,97	1,01	1,06	1,11	1,15	1,15	1,12	1,09	1,05	1,01	0,97	0,96	1,05417

Fonte: Elaboração própria

### 3.7.2.3. Consumo Médio

A energia fotovoltaica provém das irradiações solares, e como foi mencionado anteriormente, a irradiação solar varia com a posição da Terra e o ângulo de incidência dos raios solares. Os dados resgatados na plataforma da ANTAQ possibilitam informações do consumo total de energia da instalação portuária brasileira nos últimos 10 anos, e no site da CRESESB é possível obter dados sobre o nível de irradiação para cada mês do local pesquisado, inserindo os dados de latitude e longitude.

Como a energia fotovoltaica está relacionada com o nível de irradiação solar que afeta cada local, e com base nas informações coletadas, é conveniente realizar uma média ponderada para obter uma estimativa do consumo mensal de cada instalação portuária brasileiro.

A Equação [3.9] representa o consumo mensal de cada instalação portuária brasileiro.

$$C.M.M = \frac{\text{Consumo}}{\sum_{n..} N.I.S.T.M} \times N.I.S.R.M \quad [3.9]$$

Sendo,

C.M.M = Consumo médio mensal.

N.I.S.T.M = Nível de irradiação solar de todos os meses.

N.I.S.R.M = Nível de irradiação solar do mês de referência.

A Tabela 15 apresenta o consumo mensal do ano de 2020 de cada instalação portuária brasileira em estudo, dados em MWh.

Tabela 15 - Consumo mensal para o ano de 2020 - MWh

Porto ou Terminal	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Santos	16,3 k	17,0 k	14,2 k	12,7 k	10,5 k	9,3 k	9,5 k	11,6 k	11,3 k	12,4 k	14,5 k	16,5 k
Paranaguá	6,3 k	6,2 k	5,2 k	4,3 k	3,5 k	3,0 k	3,0 k	3,8 k	3,9 k	4,5 k	5,7 k	6,3 k
Rio Grande	5,7 k	5,1 k	4,3 k	3,2 k	2,3 k	2,0 k	2,1 k	2,6 k	3,2 k	4,4 k	5,5 k	6,0 k
Suape	5,0 k	5,1 k	5,2 k	4,5 k	3,9 k	3,6 k	3,7 k	4,3 k	4,7 k	5,0 k	5,2 k	5,3 k
Itaquí	3,1 k	3,1 k	3,0 k	2,9 k	2,9 k	3,0 k	3,1 k	3,5 k	3,8 k	3,6 k	3,6 k	3,5 k
Terminal Portuário Do Pecém	1,4 k	1,4 k	1,4 k	1,2 k	1,3 k	1,3 k	1,3 k	1,5 k	1,5 k	1,5 k	1,6 k	1,5 k
Terminal Marítimo De Ponta Da Madeira	1,0 k	1,0 k	0,9 k	0,9 k	0,9 k	0,9 k	1,0 k	1,1 k	1,2 k	1,1 k	1,1 k	1,1 k
Itaguaí	1,5 k	1,6 k	1,3 k	1,2 k	0,9 k	0,9 k	0,9 k	1,1 k	1,1 k	1,3 k	1,3 k	1,5 k
Terminal De Tubarão	1,0 k	1,1 k	0,9 k	0,8 k	0,7 k	0,6 k	0,6 k	0,7 k	0,8 k	0,8 k	0,9 k	1,0 k
Terminal Aquaviário De São Sebastião (Almirante Barroso)	4,2 k	4,3 k	3,5 k	3,1 k	2,5 k	2,2 k	2,3 k	2,8 k	2,7 k	3,1 k	3,5 k	4,0 k
Terminal Aquaviário De Angra Dos Reis	2,9 k	3,1 k	2,5 k	2,3 k	1,8 k	1,7 k	1,7 k	2,1 k	2,2 k	2,4 k	2,5 k	2,8 k
Terminal Da Ilha Guaíba - Tig	0,4 k	0,4 k	0,3 k	0,3 k	0,2 k	0,2 k	0,2 k	0,3 k	0,3 k	0,3 k	0,3 k	0,3 k

Fonte: Elaboração própria

A Figura 11 mostra o gráfico com o consumo estimado das instalações portuárias em estudo, considerando o ano de 2020.

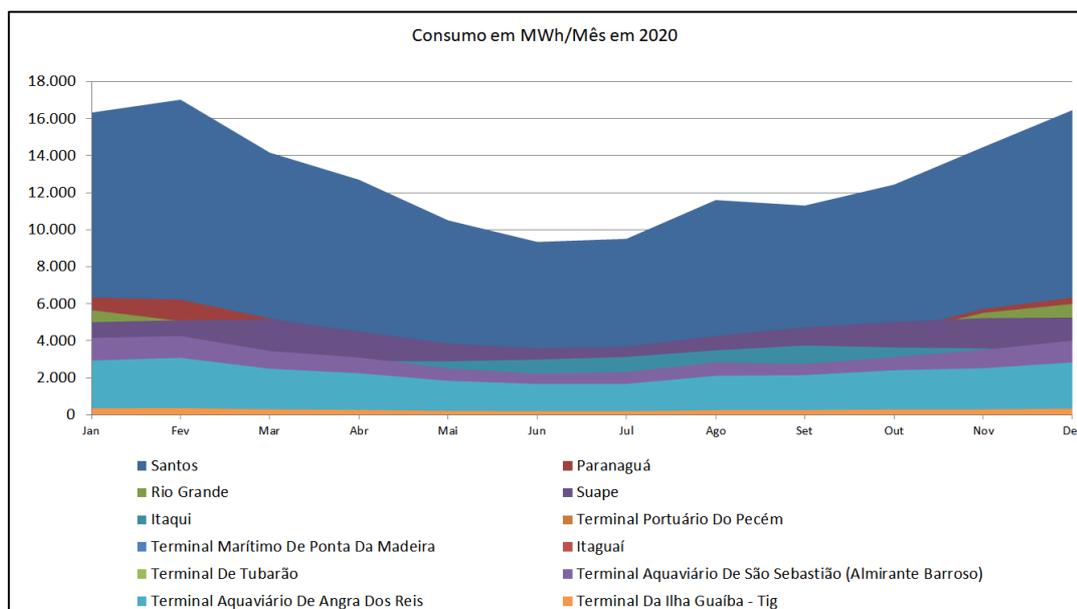


Figura 11 - Consumo médio estimado – 2020

Fonte: Elaboração própria

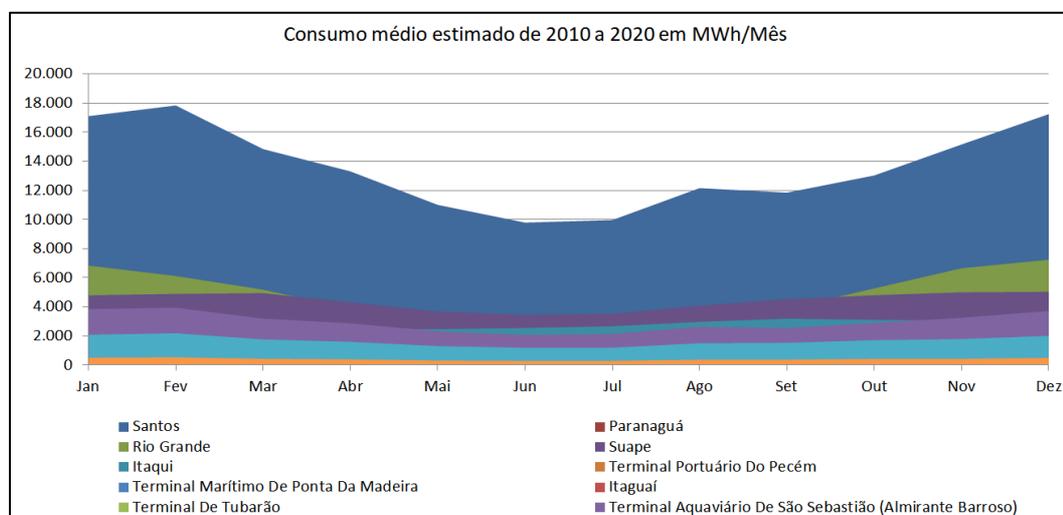
A Tabela 16 mostra o consumo médio da média entre os anos 2010 a 2020 referente a cada instalação portuária brasileira, dados em MWh.

**Tabela 16 - Consumo mensal de 2010 a 2020**

Porto	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Set	Oct	Nov	Dec
Santos	17,1 k	17,8 k	14,8 k	13,3 k	11,0 k	9,8 k	10,0 k	12,2 k	11,8 k	13,0 k	15,2 k	17,2 k
Paranaguá	6,1 k	6,0 k	5,0 k	4,1 k	3,4 k	2,8 k	2,9 k	3,7 k	3,7 k	4,3 k	5,5 k	6,1 k
Rio Grande	6,8 k	6,1 k	5,2 k	3,9 k	2,8 k	2,4 k	2,5 k	3,2 k	3,9 k	5,3 k	6,7 k	7,2 k
Suape	4,8 k	4,9 k	4,9 k	4,3 k	3,7 k	3,4 k	3,5 k	4,1 k	4,5 k	4,8 k	5,0 k	5,0 k
Itaquí	2,7 k	2,7 k	2,5 k	2,5 k	2,5 k	2,5 k	2,7 k	3,0 k	3,2 k	3,1 k	3,1 k	3,0 k
Terminal Portuário Do Pecém	1,3 k	1,3 k	1,3 k	1,1 k	1,2 k	1,2 k	1,3 k	1,4 k	1,4 k	1,4 k	1,5 k	1,4 k
Terminal Marítimo De Ponta Da Madeira	0,7 k	0,7 k	0,7 k	0,8 k	0,9 k	0,9 k	0,8 k	0,8 k				
Itaguaí	1,7 k	1,9 k	1,5 k	1,3 k	1,1 k	1,0 k	1,0 k	1,3 k	1,3 k	1,4 k	1,4 k	1,7 k
Terminal De Tubarão	1,4 k	1,5 k	1,2 k	1,1 k	0,9 k	0,8 k	0,9 k	1,0 k	1,1 k	1,2 k	1,2 k	1,4 k
Terminal Aquaviário De São Sebastião (Almirante Barroso)	3,9 k	3,9 k	3,2 k	2,9 k	2,3 k	2,1 k	2,1 k	2,6 k	2,5 k	2,9 k	3,2 k	3,7 k
Terminal Aquaviário De Angra Dos Reis	2,1 k	2,2 k	1,8 k	1,6 k	1,3 k	1,2 k	1,2 k	1,5 k	1,5 k	1,7 k	1,8 k	2,0 k
Terminal Da Ilha Guafba - Tig	0,5 k	0,5 k	0,4 k	0,4 k	0,3 k	0,3 k	0,3 k	0,4 k	0,4 k	0,4 k	0,4 k	0,5 k

Fonte: Elaboração própria

A Figura 12 mostra o consumo estimado das instalações portuárias em estudo, considerando a média entre os anos 2010 a 2020.



**Figura 12 - Consumo médio estimado – 2010 a 2020**

Fonte: Elaboração própria

Através da Tabela 15 e da Tabela 16, pode-se verificar que algumas instalações portuárias brasileiras têm em 2020 uma movimentação de navios atracados, o que representaria um menor consumo mensal em relação à média geral dos últimos 10 anos. Essas instalações portuárias são Santos, Rio Grande, Itaguaí, Terminal de Tubarão, Terminal da Ilha de Guaíba, conforme mostrado na Figura 13.

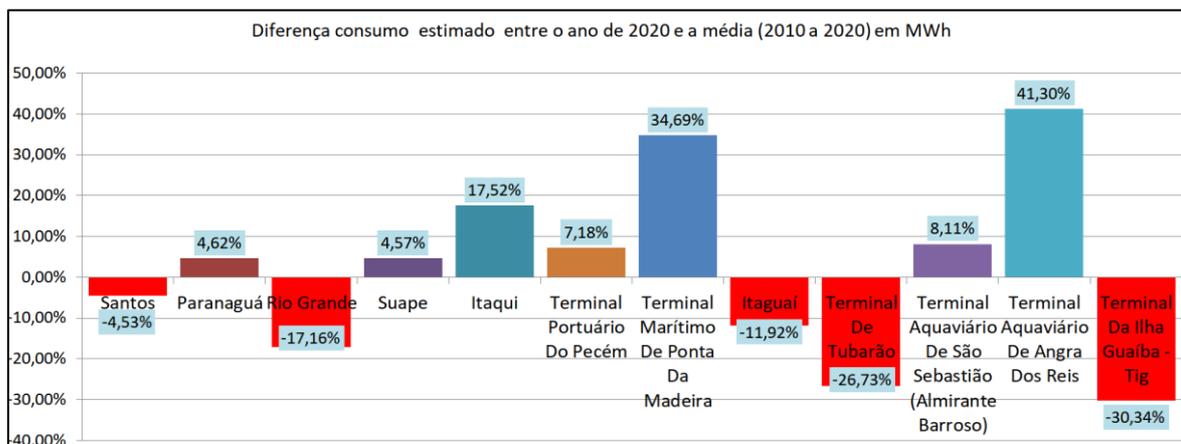


Figura 13 - Consumo médio estimado – 2010 a 2020

Fonte: Elaboração própria

### 3.8. Simulação De Monte Carlo Para Avaliação De Viabilidade De Implantação Do Sistema Shore Power

Com o objetivo de criar uma ferramenta que auxilie na tomada de decisão, desenvolveu-se um aplicativo que permite que o usuário insira os dados referentes a sua instalação portuária e as situações econômicas atuais, além de parametrizações relacionadas aos critérios de análise de um investimento, e tenha disponibilizado os valores referentes à viabilidade da implementação do sistema Shore Power.

De forma complementar, foi desenvolvido a ferramenta intitulada “Calculadora de Viabilidade de Instalação do sistema Shore Power através da simulação de Monte Carlo”, com registro no Instituto Nacional Da Propriedade Industrial – INPI (Diretoria de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados) sob o numero BR512022001029-1, com data de expedição em 17/05/2022, já fruto do desenvolvimento desse trabalho. O certificado é apresentado como Anexo A.

Além disso, de forma a trazer mais certeza ao usuário quanto ao investimento da

implementação do sistema, utilizou-se a simulação de Monte Carlo, de forma que os resultados fornecidos considerassem possíveis oscilações nos valores das variáveis estocásticas.

Desta forma, utilizou-se os seguintes passos para o desenvolvimento do aplicativo:

1. Definir e classificar as variáveis envolvidas na simulação;
2. Determinar quais variáveis são necessárias para a análise de viabilidade da instalação;
3. Desenvolver o algoritmo da simulação;
4. Desenvolver a interface gráfica do usuário (GUI) do aplicativo.

A metodologia utilizada em cada um destes passos será descrita a seguir.

### **3.8.1 Definição e classificação das variáveis do sistema**

O processo de se formular uma estratégia competitiva, inicia-se na identificação das incertezas, cujos elementos devem ser divididos em constates (que não sofrem mudanças), predeterminados (que sofrem mudanças previsíveis) e incertos (que são imprevisíveis). [99]

Desta forma, o primeiro passo dado para o desenvolvimento do sistema foi a definição de quais variáveis do sistema eram incertas, e seriam consideradas na simulação como variáveis estocásticas. Neste caso, foram determinadas três variáveis cujos valores são incertos, e estão sujeitas oscilações devido ao mercado externo. São elas: o câmbio (Reais x Dólar), a tarifa energética local e o preço do combustível marítimo.

Vale destacar que foi considerado que estas variáveis não são correlatas, uma vez que Cruse [100] julga ser muito difícil gerar variáveis aleatórias não-normais correlatas.

Para a definição dos valores relacionados ao câmbio do Dólar, foi utilizado como base a pesquisa de Almeida [68], que considerou os valores médios por ano das projeções da planilha de estimativa de indicadores econômicos do Banco Bradesco [101], demonstrado a seguir, na Figura 14:

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022*	2023*	2024*	2025*	2026*
<b>EXTERNO E CÂMBIO</b>												
Câmbio (R\$/US\$) - (Média Ano)	3,33	3,49	3,19	3,65	3,94	5,15	5,39	5,50	5,58	5,65	5,70	5,76
Câmbio (R\$/US\$) - (Final de período)	3,90	3,26	3,31	3,87	4,03	5,20	5,65	5,50	5,50	5,55	5,61	5,66
Exportações (em US\$ Bilhões)	190,09	184,31	218,00	239,52	225,80	210,71	283,83	285,79	250,94	263,48	276,66	290,49
Importações (em US\$ Bilhões)	172,42	139,68	160,68	196,15	199,25	178,34	247,65	224,79	226,16	237,47	249,34	261,81
Balança Comercial (em US\$ Bilhões)	17,67	44,63	57,33	43,37	26,55	32,37	36,18	61,00	24,78	26,02	27,32	28,68
Saldo em Trans. Correntes (% do PIB)	-3,0	-1,4	-1,1	-2,7	-3,5	-1,7	-1,7	-0,9	-4,2	-4,2	-4,2	-4,2
Saldo em Trans. Correntes (US\$ bilhões)	-54,79	-24,48	-22,03	-51,46	-65,03	-24,49	-28,11	-15,56	-71,49	-75,07	-78,82	-82,76
Reservas Internacionais (em US\$ bilhões)	368,74	372,22	381,97	386,96	356,88	355,62	362,02	368,54	375,17	381,92	388,80	392,63
Investimento Direto no País (em US\$ bilhões)	64,74	74,29	68,89	78,16	69,17	37,79	53,30	59,63	65,32	67,28	69,30	71,38
Resultado Primário (% do PIB) - Fim do período	-1,86	-2,48	-1,68	-1,55	-0,84	-9,41	0,74	-1,01	-1,24	-0,75	-0,27	0,20
Déficit nominal sem câmbio (% PIB)	10,22	8,98	7,77	6,96	5,81	13,60	4,41	8,01	7,65	6,48	5,93	5,42
Dívida bruta (% PIB)	65,50	69,84	73,72	75,27	74,44	88,59	80,07	85,35	91,77	93,94	95,57	96,65
Taxa de Câmbio - US\$/Euro - Fim do Período	1,09	1,05	1,20	1,15	1,12	1,22	1,14	1,17	1,18	1,20	1,25	1,27
Taxa de Câmbio - US\$/Euro - Média ano	1,11	1,11	1,14	1,18	1,12	1,14	1,18	1,16	1,18	1,19	1,23	1,26
Taxa de Câmbio - R\$/Euro - Fim do Período	4,24	3,43	3,97	4,44	4,52	6,35	6,42	6,44	6,49	6,67	7,01	7,19
Taxa de Câmbio - R\$/Euro - Média ano	3,68	3,87	3,63	4,30	4,41	5,90	6,36	6,36	6,57	6,73	7,01	7,26
<b>CRÉDITO</b>												
Crédito Geral (Cresc. em % aa.)	7,03	-3,46	-0,40	5,14	6,50	15,64	16,50	7,51	6,46	10,02	9,57	9,87
Índice de Inadimplência Pessoa Física (em %)	6,18	6,05	5,23	4,80	5,01	4,16	4,30	4,80	4,50	4,50	4,50	4,50
Índice de Inadimplência Pessoa Jurídica (em %)	4,42	5,17	4,52	2,73	2,12	1,45	1,80	2,30	2,00	2,00	2,00	2,00
Crédito Livres total (Cresc. em % aa.)	4,19	-4,86	1,92	10,90	14,02	15,43	20,67	8,96	8,00	13,37	9,99	10,24

As projeções econômicas do Depec são reavaliadas mensalmente.

Em momentos de maior volatilidade, o grau de incerteza e a margem de erro se elevam, especialmente entre períodos de revisão. As projeções refletem a premissa de que os ajustes necessários para a economia serão feitos nos próximos anos. Caso os ajustes não se confirmem, ou sejam ainda melhores do que o esperado, pode haver grande alteração nas projeções do cenário.

Última revisão: 01/02/2022

**Figura 14 - Tabela de projeções macroeconômicas do banco Bradesco**

*Fonte: Bradesco [101]*

Vale destacar que a Figura 14 exibe os valores médios para o câmbio do Dólar para cada ano (Média Ano), e retrata a revisão de fevereiro de 2022. Futuras revisões podem alterar estes valores.

Já para o custo do combustível marítimo, não foi encontrado nenhuma projeção dos custos futuros. Desta forma, utilizou-se como base os valores históricos disponibilizados no Balanço Energético Nacional de 2020 [46], pela Empresa de Pesquisa Energética .

A mesma metodologia foi aplicada também na tarifa energética local das instalações, onde foi utilizado como base os dados também fornecidos pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE [46].

Estes valores serão usados na simulação de forma a criar as funções de distribuição de probabilidade para cada uma das variáveis estocásticas, a partir de seus valores médios, máximos, mínimos e desvios padrão.

### 3.8.2 Definição das variáveis necessárias para a análise de viabilidade

O próximo passo foi a definição das variáveis que seriam utilizadas para analisar se a instalação do sistema Shore Power era realmente viável, ou seja, quais seriam as informações de entrada e saída da simulação. Desta forma, as variáveis foram classificadas conforme mostra a Tabela 17, a seguir:

Tabela 17 - Classificação das variáveis envolvidas no sistema

Índice	Variável	Classificação
1	Número de Berços da Instalação	Entrada
2	Taxa de Inflação Anual	Entrada
3	Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	Entrada
4	Período para análise (anos)	Entrada
5	Custo de Instalação por Berço	Entrada
6	Valor da Compensação de Carbono	Entrada
7	Taxa de Conversão de kWh para ton	Entrada
8	Emissão de CO <sub>2</sub>	Entrada
9	Emissão de CH <sub>4</sub>	Entrada
10	Dados Históricos – Total de Atracções	Entrada
11	Dados Históricos – Tempo Médio Atracado	Entrada
12	Dados Históricos – Consumo Energético das Embarcações	Entrada
13	Dados Históricos – Fator de Demanda das Embarcações	Entrada
14	Iterações de Monte Carlo	Entrada
15	Valores Atuais de cada variável estocástica	Entrada
16	Limite inferior e superior de variação de cada variável estocástica	Entrada
17	Valor Médio e Desvio Padrão de cada variável estocástica	Entrada
18	Tipo de distribuição de probabilidade de cada variável estocástica	Entrada
19	Custos operacionais em geral da instalação	Entrada
20	Investimento total	Saída
21	Valores das variáveis estocásticas para o melhor e pior caso da simulação	Saída
22	Custos da utilização de combustível marítimo	Saída
23	Custos da utilização da energia eléctrica <i>ongrid</i>	Saída
24	Emissão de gases evitados	Saída
25	Retorno financeiro pela compensação de carbono	Saída
26	Valor Presente Líquido (VPL) do investimento	Saída
27	Taxa Interna de Retorno (TIR) do investimento	Saída

Vale destacar que as variáveis 5, 6, 7, 8, 9 e 14, da Tabela 17, são pré-definidas de acordo com dados da literatura. Porém, caso seja do desejo do usuário, estes valores podem ser alterados manualmente.

Já as variáveis marcadas como “Dados Históricos” (índices 10 a 13) referem-se ao banco de dados do usuário, que deve ser utilizado na simulação para uma análise mais precisa. Caso este esteja indisponível, ou não exista, deve-se fazer a inserção manual dos dados na tabela fornecida no aplicativo.

Além disso, a Taxa Interna de Retorno (TIR) é entregue ao usuário de três formas: a primeira, onde é mostrado os resultados da TIR para diferentes valores das variáveis estocásticas (valores atuais, pior caso e melhor caso); através de um histograma, que demonstra a frequência em que cada valor da TIR foi alcançado no final da simulação de Monte Carlo; e, por fim, através de um gráfico de dispersão, que mostra os valores da TIR para cada uma das iterações de Monte Carlo, separando, de forma gráfica, quantas foram maiores ou menores do que a TMA.

Assim, a Figura 15, demonstra o modelo proposto:



**Figura 15 - Esquemático da sistema desenvolvido para a simulação**

*Fonte: Elaboração própria*

### 3.8.3 Desenvolvimento do algoritmo

O desenvolvimento dos algoritmos do sistema baseou-se nos algoritmos de Bastos [102] e Rubinstein & Kroese [103], e foi dividido, basicamente, em duas partes.

O Algoritmo 1 refere-se ao cálculo das saídas para os valores atuais ou fixos das entradas e é mostrado a seguir:

**Algoritmo 1** - Cálculo das saídas para as entradas fixas e variáveis estocásticas com valores atuais

1	<i>Leitura dos das entradas fixas e das variáveis estocásticas com os valores atuais fixos;</i>	
2	<i>Leitura do banco de dados;</i>	
3	investimento = numero_bercos * custo_instalacao;	\\ Calculando o Investimento da Instalação
4	consumo_eletrico = total_atracacoes * tempo_medio * consumo_medio * fator_demanda;	\\ Calculando o Consumo Elétrico Total, utilizando o banco de dados
5	consumo_combustivel = consumo_eletrico * taxa_conversao;	\\ Conversão do consumo de kW para ton
6	custo_elet_atual = consumo_eletrico * preco_energia_atual / 1000;	\\ Calculando o custo relacionado ao uso de energia elétrica
7	custo_comb_atual = consumo_combustivel * preco_combustivel_atual;	\\ Calculando o custo relacionado ao uso de combustível marítimo
8	emissao_co2 = 0.00069 * consumo_eletrico;	\\ Calculando o equivalente de emissão de CO2 a partir do consumo calculado
9	emissao_ch4 = 0.09 * consumo_eletrico / 1000000;	\\ Calculando o equivalente de emissão de CH4 a partir do consumo calculado
10	tco2eq = emissao_co2 + (21 * emissao_ch4);	\\ Calculando as toneladas equivalentes de carbono emitidos no caso do uso de combustível marítimo
11	comp_carb_atual = preco_comp_carb *	\\ Calculando o ganho em

```

tco2eq * cambio_dolar_atual;           compensação de carbono
                                         caso o sistema SP fosse
                                         implementado
12  Soma dos custos de conservação definidos pelo usuário;
resultado_operacional_atual =
13  custo_comb_atual - custo_elet_atual   \\ Calculando o
+ comp_carb_atual -                    resultado operacional do
custo_conservacao;                     sistema Shore Power
                                         \\ Determinando que o
14  resultado_anual_atual (x,1) =       primeiro resultado anual
-investimento;                          é o investimento
15  for x = 1:qtd_anos
    resultado_anual_atual (x+1,1) =    \\ Aplicando a inflação
16  (resultado_anual_atual (x,1) *     para determinar os
    (1 + inflação));                   valores dos resultados
                                         anuais futuros
17  end
18  for x = 1:qtd_anos+1
    vpl_atual = vpl_atual +            \\ Calculando o valor do
19  resultado_anual_atual(x,1)/((1 +   VPL para os valores
    tma)^x);                           atuais
20  end
21  tir_atual =                          \\ Calculando a TIR para
irr(resultado_anual_atual);             os valores atuais

```

Fonte: Elaboração própria

Já o Algoritmo 2, a seguir, refere-se à simulação de Monte Carlo.

---

#### Algoritmo 2 - Simulação de Monte Carlo

---

```

1  for i = 1:num_iteracoes              \\ Início do loop para a
                                         simulação de Monte Carlo
    Geração dos valores aleatórios para as variáveis
    estocásticas, conforme a distribuição de probabilidade
    escolhida pelo usuário
2
    custo_elet_sim = consumo_eletrico    \\ Calculando o custo
    * preco_energia_sim / 1000;         relacionado ao uso de
                                         energia elétrica com o
3                                         preço aleatório
    custo_comb_sim =                    \\ Calculando o custo
4

```

```

consumo_combustivel *
preco_combustivel_sim;

5 comp_carb_sim = preco_comp_carb *
  tco2eq * cambio_dolar_sim;

6 resultado_operacional_sim =
  custo_comb_sim - custo_elet_sim +
  comp_carb_sim - custo_conservacao;

7 resultado_anual_sim (x,1) =
  -investimento;

8 for x = 1:qtd_anos
  |
  | resultado_anual_sim (x+1,1) =
  | (resultado_anual_sim (x,1) *
  | (1 + inflação));
  |
9
10 end
11 for x = 1:qtd_anos+1
  |
  | vpl_sim = vpl_sim +
  | resultado_anual_sim(x,1)/((1 +
  | tma)^x));
  |
12
13 end
14 tir_sim =
  irr(resultado_anual_sim);

15 if tir_sim > tir_melhor
  |
  | tir_melhor = tir_sim
  |
  | preco_comb_melhor =
  | preco_combustivel_sim;
  |
  | preco_elet_melhor =
  | preco_energia_sim;
  |
16
17
18

```

relacionado ao uso de combustível marítimo com preço aleatório

\\ Calculando o ganho em compensação de carbono caso o sistema SP fosse implementado com o valor de câmbio aleatório

\\ Calculando o resultado operacional do sistema Shore Power para esta iteração

\\ Determinando que o primeiro resultado anual da iteração é o investimento

\\ Aplicando a inflação para determinar os valores dos resultados anuais futuros da iteração

\\ Calculando o valor do VPL para os valores da iteração

\\ Calculando a TIR para os valores da iteração

\\ Comparando o valor da TIR da iteração atual com a do melhor caso

\\ Salvando o valor da TIR da iteração atual como o melhor

\\ Salvando o preço do combustível da iteração atual como o melhor

\\ Salvando a tarifa energética da iteração

```

    cambio_dolar_melhor =
    cambio_dolar_sim;
19  end
20  if tir_sim < tir_pior
    tir_pior = tir_sim;
21
    preco_comb_pior =
    preco_combustivel_sim;
22
    preco_elet_pior =
    preco_energia_sim;
23
    cambio_dolar_pior =
    cambio_dolar_sim;
24
25  end
26  end

```

atual como a melhor  
 \\ Salvando o câmbio do  
 dólar da iteração atual  
 como o melhor  
 \\ Comparando o valor da  
 TIR da iteração atual  
 com a do pior caso  
 \\ Salvando o valor da  
 TIR da iteração atual  
 como o pior  
 \\ Salvando o preço do  
 combustível da iteração  
 atual como o pior  
 \\ Salvando a tarifa  
 energética da iteração  
 atual como a pior  
 \\ Salvando o câmbio do  
 dólar da iteração atual  
 como o pior

Fonte: Elaboração própria

### 3.8.4 Desenvolvimento do aplicativo

Para o desenvolvimento do aplicativo, optou-se pela utilização do *software* MATLAB da desenvolvedora MathWorks Inc., e seu desenvolvimento foi dividido em duas etapas principais, que serão aprofundadas mais à frente.

1. Criação da interface gráfica do usuário (GUI) e do código, no *App Designer* do MATLAB;
2. Criação do aplicativo executável, através do *Application Compiler*, também do MATLAB.

#### 3.8.4.1. Desenvolvimento da interface gráfica e do código

Para a criação do aplicativo, optou-se pela utilização do App Designer do MATLAB,

onde o desenvolvimento é dividido em duas partes: a interface gráfica e o código. Neste primeiro, é configurados os detalhes visuais além de inserir os botões, textos e outros elementos gráficos à tela do aplicativo. Na Figura 16, a seguir, é demonstrado a aba “Design View” do App Designer, onde é feito tal configuração.

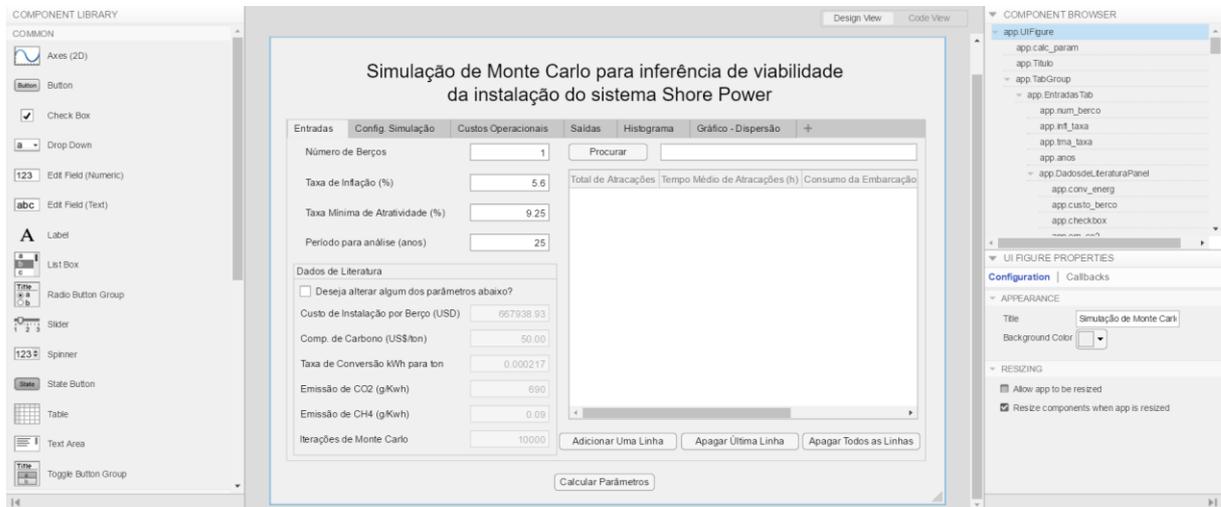


Figura 16 - Aba *Design View* do App Designer

Já o código, que foi baseado nos algoritmos mostrados no tópico 3.8.3, foi inserido na aba “Code View” do App Designer, mostrado na Figura 17. Vale destacar que no *App Designer*, além de desenvolver o código comum, deve-se configurar os elementos visuais adicionados no *Design View*.

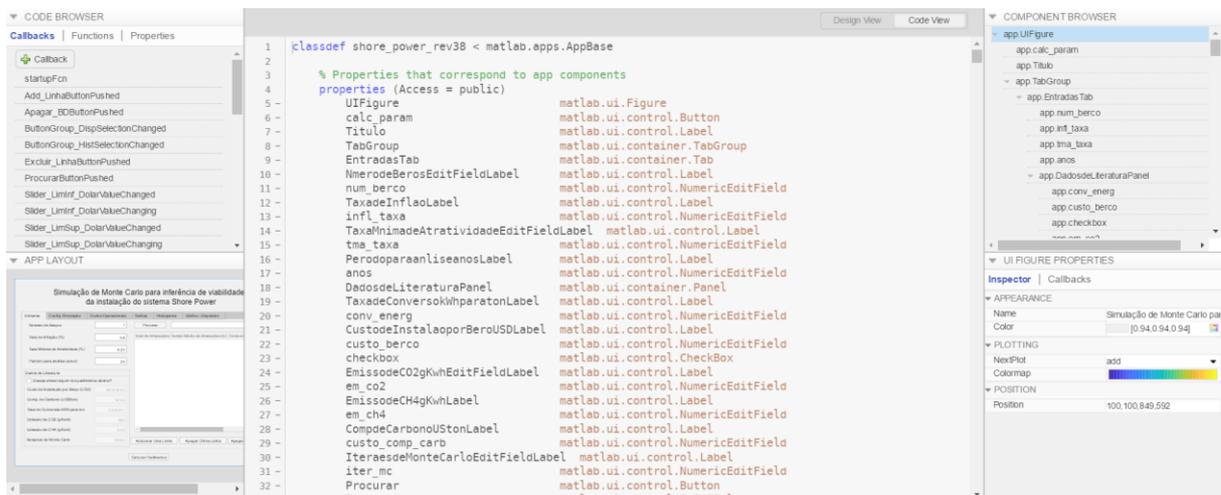
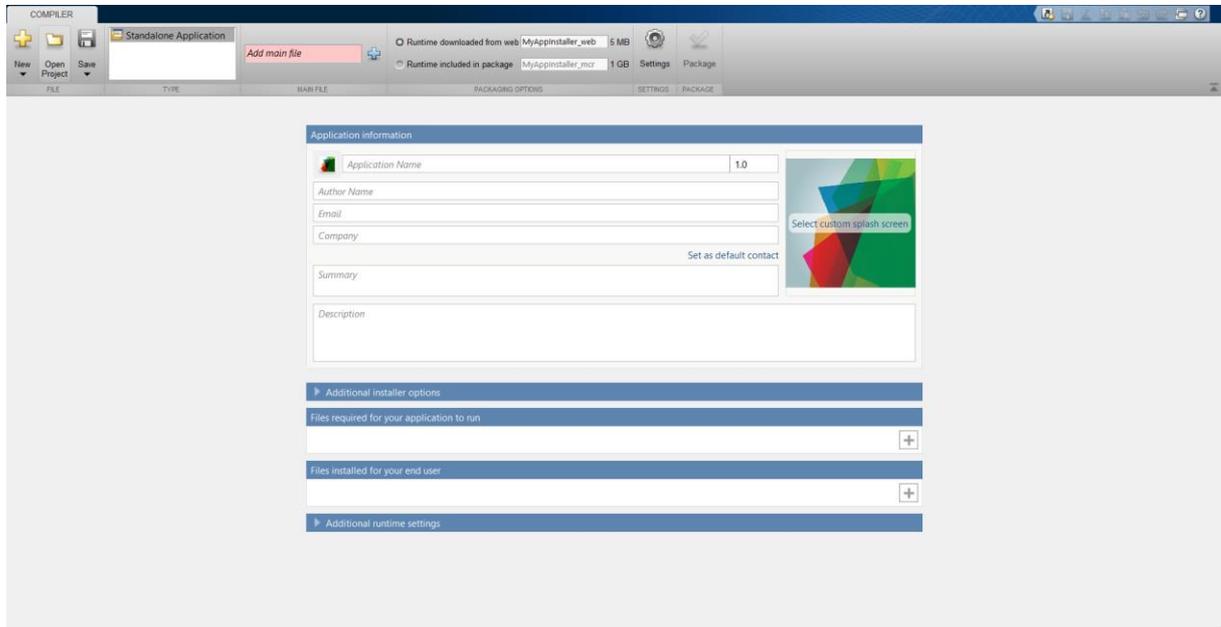


Figura 17 - Aba *Code View* do App Designer

### 3.8.4.2. Criação do aplicativo executável

Após o processo descrito no item 3.8.4.1, o aplicativo já é funcional. Entretanto, é

necessário que o usuário tenha o software MATLAB para que o programa seja executável. Desta forma, buscando que o aplicativo tenha o mínimo de limitações possível, utilizou-se o Application Compiler, que cria um aplicativo executável. Nele é possível definir o nome do aplicativo, nome do autor, e-mail para contato, entre outros, como pode ser visto na Figura 18, a seguir.



**Figura 18 - Tela do *Application Compiler* do MATLAB**

Outra parte extremamente importante nesta etapa do desenvolvimento do aplicativo é adicionar o código gerado no App Designer no campo marcado como “*Add main file*”, mostrado na Figura 18. Desta forma, o aplicativo pode ser instalado no computador do usuário. Além disso, é possível adicionar o Runtime ao pacote de instalação. Este é uma versão gratuita do MATLAB, responsável por executar aplicações sem que o MATLAB esteja instalado.

## 4. Desenvolvimento e Resultados

Neste capítulo serão abordadas as características das instalações portuárias em estudo, os valores de óleo combustível e energia elétrica, bem como as premissas de compensação de carbono para o estudo de viabilidade econômica.

De posse dos dados de atracação e consumo, trabalhados nos itens da seção 3, o estudo focou na análise de retorno pela ótica financeira quanto a viabilidade do uso do fornecimento de energia às embarcações em instalações portuárias brasileiras. Além da questão energética foi trabalhada a questão econômica-ambiental sob a ótica dos níveis de emissão e compensação de carbono.

De forma complementar, foi desenvolvido a ferramenta intitulada “Calculadora de Viabilidade de Instalação do sistema Shore Power através da simulação de Monte Carlo”, com registro no Instituto Nacional Da Propriedade Industrial – INPI (Diretoria de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados) sob o numero BR512022001029-1, com data de criação em 30/03/2022 e expedição em 17/05/2022, já fruto do desenvolvimento desse trabalho. O certificado é apresentado como Anexo A.

### 4.1 Custo da energia x Custo do combustível: resultados a partir da utilização

A parte final da abordagem se concentra na comparação financeira para indicar a viabilidade do uso do *Shore Power*. Nesse momento não é considerado o custo de implantação nem nas instalações portuárias nem nos navios.

O preço da energia elétrica brasileira foi extraído a partir dos dados disponibilizados pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE na publicação do Balanço Energético Nacional 2020 [46] no intervalo entre 2010 e 2020, que considera os dados da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL [104] e concessionárias de energia no país. Além do grupo consumidor, a tarifa considera a classe de tensão fornecida dividindo-a em cinco grupos, desde 2,3kV até 230kV ou mais. Variações regionais também podem ocorrer em virtude da diferença tarifária entre as concessionárias de energia e tributos regionais, porém como há uma concentração geográfica dessas instalações portuárias entre sudeste e nordeste essa diferença foi desconsiderada. Foi feito o levantamento dos níveis de tensão recebido na entrada das subestações das doze instalações portuárias e feita a associação a partir daí. Para

os portos de Rio Grande, Terminal Aquaviário de Angra dos Reis e Terminal da Ilha Guaíba (TIG) foram utilizados a média da tarifa por não haver a informação da classe de tensão. Os dados históricos não continham os valores de energia para os anos 2010, 2011 e 2020. Para esses anos foram utilizados valores aproximados, levando em consideração o valor da tarifa média em dólar americano multiplicado pelo câmbio do respectivo ano. O enquadramento de cada instalação portuária por classe de tensão está consolidado na Tabela 18.

**Tabela 18 - Grupo de tensão de alimentação por porto**

<b>Porto</b>	<b>Tensão de entrada da subestação (kV)</b>	<b>Grupo de tensão de alimentação (ANEEL)</b>
Santos	44	A3a
Paranaguá	13,2	A4
Rio Grande	-	-
Suape	69	A3
Itaqui	230	A1
Terminal Portuário Do Pecém	230	A1
Terminal Marítimo De Ponta Da Madeira	230	A1
Itaguaí	138	A2
Terminal De Tubarão	34,5	A3a
Terminal Aquaviário De São Sebastião (Almirante Barroso)	138	A2
Terminal Aquaviário De Angra Dos Reis	-	-
Terminal Da Ilha Guaíba - Tig	-	-

*Fonte: Elaboração própria com dados da ANEEL/EPE*

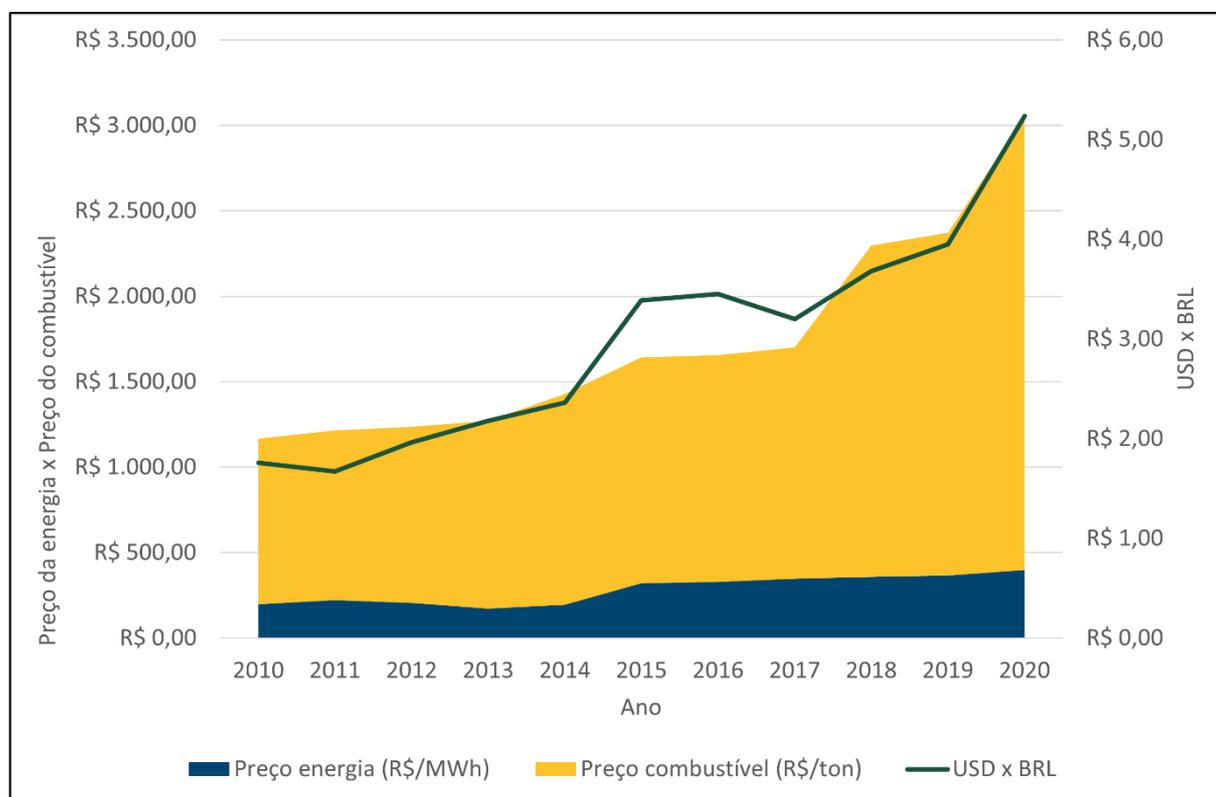
Devido a política de preços da energia no Brasil, os consumidores livres podem adquirir a energia no mercado livre conseguindo melhores tarifas (ver item 2.3). Logo, o preço da energia efetivamente pago pelas instalações portuárias desse estudo provavelmente foram inferiores àqueles considerados, porém essa informação não estava disponível. Um exemplo é o valor da energia praticado pela empresa brasileira Vale[105], proprietária dos terminais Ponta da Madeira, Tubarão e Ilha Guaíba. Entre 2015 e 2018 a Vale informa que o custo médio da sua energia Global ficou em torno de US\$ 43 (aproximadamente R\$ 150,00[106] ao câmbio da época). Nesse mesmo período o estudo considera um valor médio de R\$ 325,00, ou seja, mais que o dobro da tarifa indicada na base de dados utilizada. Porém não havia dados para reproduzir essa mesma consideração para as demais instalações portuárias. Sendo assim, o valor de referência da tarifa fornecido pela EPE é suficiente para o

estudo, pois equaliza todas as instalações em uma mesma base de dados.

Para o bunker combustível também foram utilizados os dados históricos, desde 2010. O valor em Reais brasileiros (BRL) para cada ano foi obtido pela multiplicação do valor originalmente publicado em dólar americano (USD) pela média da cotação anual do dólar em relação ao Real. O mesmo preço anual foi considerado para todas as instalações portuárias como premissa.

Por acompanhar a cotação internacional, o preço do bunker marítimo está diretamente associado a variação cambial, conforme abordagem feita no item 2.4. Como exemplo, o preço em dólar do óleo combustível em 2010 (US\$ 550) era superior ao seu valor em 2019 (US\$ 508), porém o efeito cambial fez o preço disparar quando se analisa esta cotação na moeda brasileira, levando o mesmo de R\$ 967,00 para R\$ 2006,00 nesses dois anos, ou seja, um aumento em Real de mais de 100%.

A Figura 19 mostra a comparação em Reais brasileiros (BRL) entre o preço médio do bunker marítimo e da energia elétrica industrial, além da variação cambial no período.

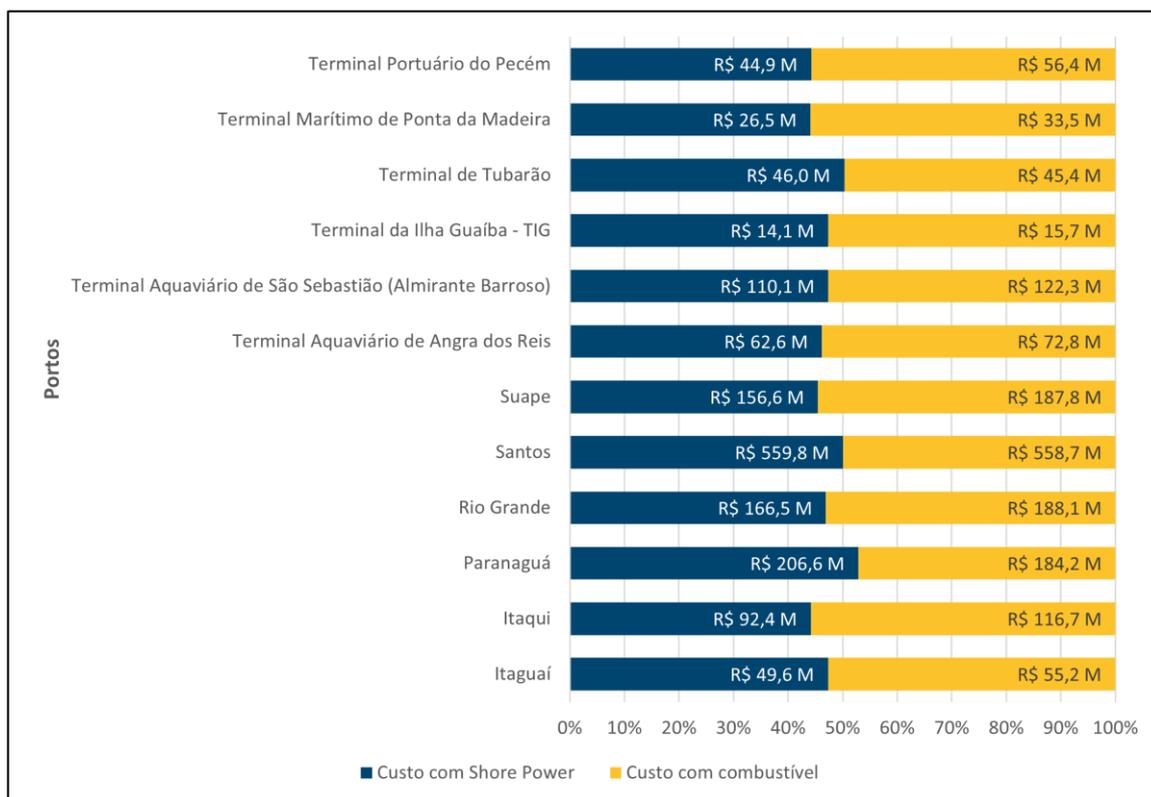


**Figura 19 – Energia elétrica x Preços do óleo combustível**

*Fonte: Autor, com base nos dados do Balanço Energético Nacional*

Sem considerar a questão ambiental, que será discutida a seguir, é justamente a relação entre preço da energia elétrica x óleo combustível que vai determinar a viabilidade do uso da solução *Shore Power*.

A Figura 20 traz uma estimativa comparando o custo com a utilização da energia elétrica *ongrid*, pelo custo com o uso do óleo combustível, apresentado nos itens 3.4 e 3.5. Foi considerado o intervalo entre os anos 2010 e 2020 e todo o tempo de atracação no período.



**Figura 20 – Comparação de custos com *Shore Power* x com combustíveis (anos 2010 até 2020)**

Fonte: Autor

Para o intervalo considerado, é possível observar na Figura 20 que praticamente apenas o porto de Paranaguá ofereceria um custo maior caso a energia *ongrid* fosse utilizada para alimentar os navios atracados naquele porto. Para o porto de Santos e o Terminal de Tubarão o custo na utilização do *Shore Power* teria sido muito parecido com o uso do óleo combustível. Para os demais portos o uso do *Shore Power* traria vantagem financeira, considerando que a energia elétrica se mostra mais econômica do que o óleo combustível.

É importante destacar que o resultado apresentado é o acumulado ao longo dos anos. Em virtude do preço da energia *ongrid*, preço do óleo combustível e a própria utilização do porto em um ano específico pode ter tornado o uso do *Shore Power* mais custoso que o uso do

combustível fóssil para geração de energia nos navios. Pegando o porto de Paranaguá como exemplo, considerando apenas o ano de 2020, a utilização do *Shore Power* teria custado aproximadamente R\$ 29 milhões contra R\$ 32 milhões utilizando o óleo combustível. Assim, em 2020 teria sido mais vantajoso o uso do *Shore Power* apesar do resultado acumulado demonstrar que o uso do óleo combustível na geração teria sido mais econômico para as embarcações.

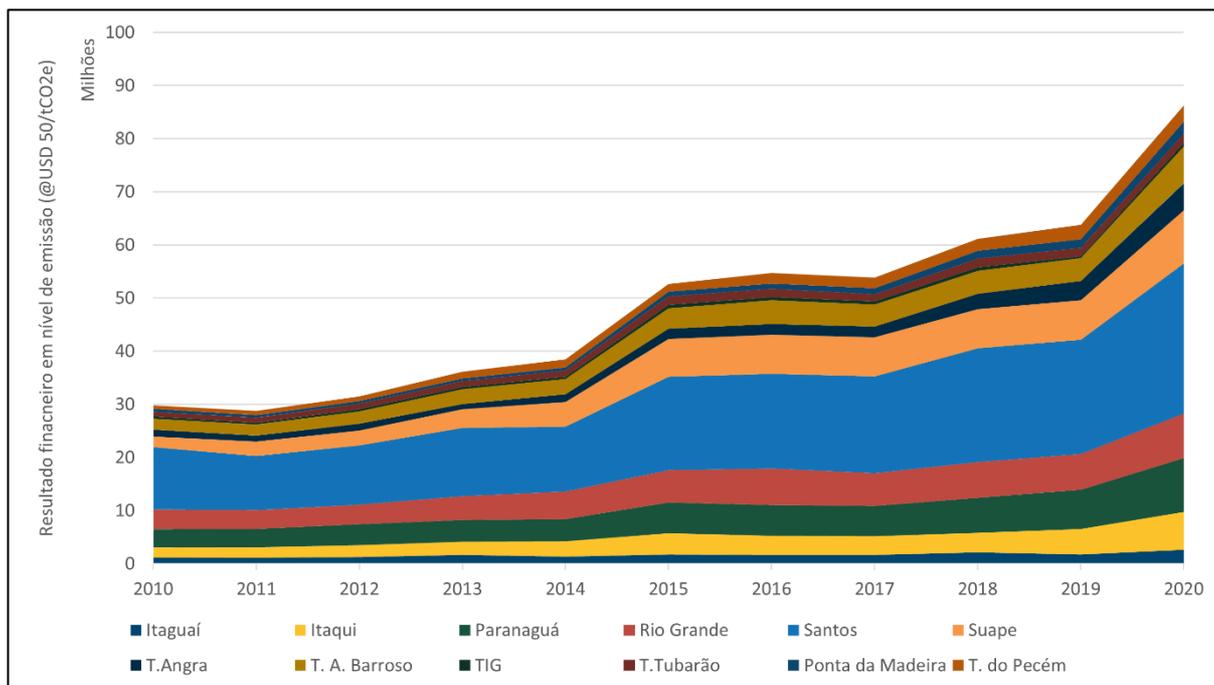
#### 4.1.1 Compensação de Carbono

Efetivamente, o retorno financeiro com a compensação de carbono somente seria obtido a partir de um mercado de carbono oficialmente constituído no país. Uma precificação adequada permite ao país alcançar os compromissos ambientais assumidos e direcionar investimentos em tecnologias de baixa emissão [58].

Conforme descrito no item 2.5, apesar do Brasil ainda não possuir um mercado formal de carbono (ETS), algumas empresas do país já utilizam valores internos na precificação e utilizam como direcionadores para projetos [53][56].

Para estimar o ganho que o uso do *Shore Power* poderia gerar apenas em compensação de carbono o estudo utilizou os níveis de emissão apresentado na Figura 10 multiplicado pelo valor de USD 50/tCO<sub>2</sub>e. Para toda série histórica foi utilizada a cotação média anual do dólar para converter o valor em BRL (Real Brasileiro). O valor de cinquenta dólares por tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente (USD/tCO<sub>2</sub>e) foi escolhido por situar-se dentro da faixa de preço sugerido pela CPLC [58].

A Figura 21 mostra o valor em BRL (moeda brasileira - Real) acumulado anualmente considerando as doze instalações portuárias. Esse cenário considerou a substituição integral do uso das máquinas de combustão auxiliares (MCA) pela energia elétrica *onshore* em todo o tempo do navio atracado.



**Figura 21 – Resultado financeiro considerando a compensação de CO<sub>2</sub>**

*Fonte: Autor*

Ao observar os valores financeiros apresentados na Figura 21 acima é possível concluir que o aumento do resultado financeiro está diretamente relacionado a variação cambial, uma vez que os níveis de emissão acumulado no período sofreram pouca variação (ver Figura 10).

A Figura 22 apresenta o valor financeiro acumulado por instalações portuárias para o intervalo entre 2010 e 2020, apenas em ganhos gerados com a redução das emissões durante o período atracado. Os valores foram aqueles calculados a partir da Equação [3.6], para todos os berços da respectiva instalação, e multiplicado pelo valor de USD 50/tCO<sub>2</sub>e.

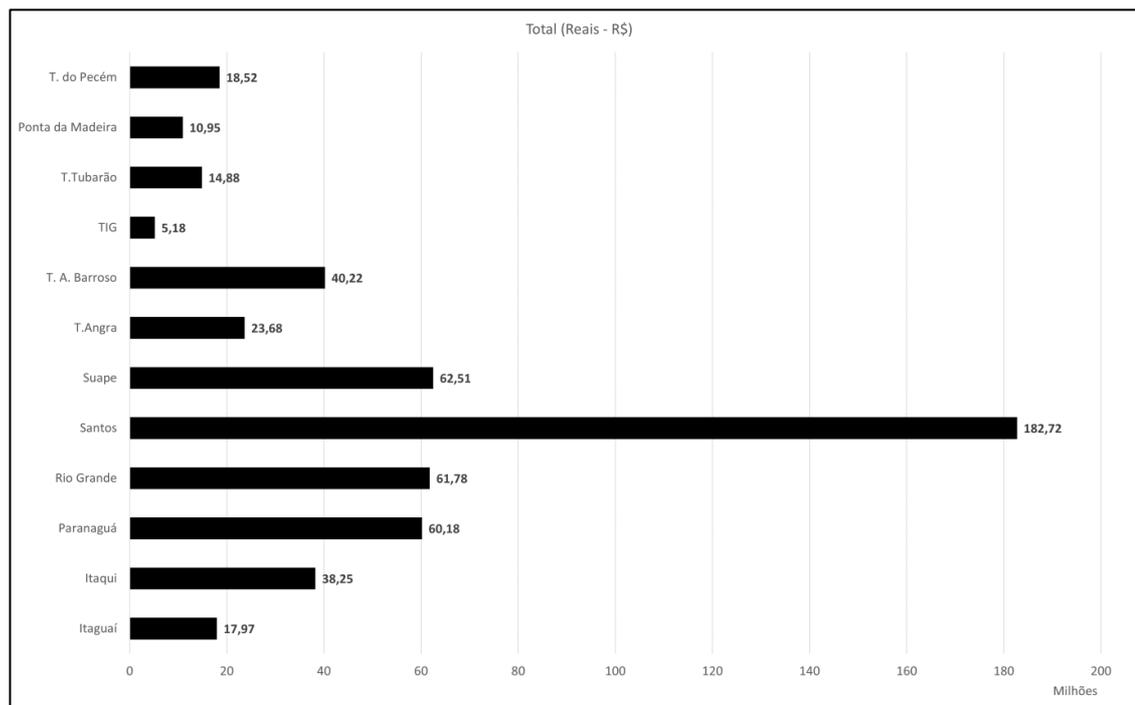


Figura 22 - Ganho acumulado em BRL de emissão por porto para o intervalo 2010 – 2020 (USD 50/tCO<sub>2</sub>e)

Fonte: Autor

Observando esses valores percebe-se o retorno financeiro que o uso do *Shore Power* pode gerar e a importância da precificação do carbono, que pode se caracterizar como um fator decisivo na escolha de um projeto relacionado a emissão de poluentes.

#### 4.1.2 Estudo de viabilidade econômica

A implantação da tecnologia *Shore Power* demanda um significativo aporte de capital, tanto para as instalações portuárias quanto para as embarcações [5]. Segundo Qi [21], estatísticas do governo canadense indicam que o custo de implantação de *Shore Power* varia entre USD 347,477 e USD 5,000,000. O investimento para a instalação de um *Shore Power* no terminal de cruzeiros em Kai Tak em Hong Kong, por exemplo, foi de aproximadamente USD 40.5 milhões [107]. Fatores como demanda de potência e número de conexões são parâmetros que influenciam no valor do investimento, além de adequações na infraestrutura do terminal portuário. O governo alemão, através do seu plano de desenvolvimento de *Onshore Power Supply*, disponibilizou gratuitamente uma ferramenta para auxiliar nesse cálculo, levando em consideração, além de outros fatores, aqueles já listados anteriormente [108].

Esse estudo considerou um custo aproximado de R\$ 3,5 milhões por berço/cais (valor proporcional ao dólar, apresentado no estudo referência [108]). O custo total do investimento está diretamente ligado ao número de berços que a instalação possui.

$$Total\ Port\ Investment\ (R\$)\ =\ Number\ of\ berths\ \times\ 3,5 \cdot 10^6 \quad [4.1]$$

Essa análise preliminar considera que todos os berços da instalação portuária estudada, a princípio, podem ser adaptados para o uso do *Shore Power*.

Para determinar a viabilidade o estudo utilizou os indicadores financeiros de Taxa Interna de Retorno (TIR) e Valor Presente Líquido (VPL). A taxa utilizada para correção anual de ganhos foi a média da inflação (IPCA) apurada no período de 2010 a 2020, que ficou em 5,59%, conforme dados do Banco Central do Brasil – BCB [109].

A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) é o parâmetro utilizado como limiar para definir se um negócio é rentável ou não para uma empresa. Considera-se um negócio ou projeto viável quando  $TIR > TMA$ . Geralmente a TMA está associada a investimentos de baixo risco como aplicações em títulos públicos ou numa taxa praticada internamente pela empresa [110]. De modo a abranger as doze instalações portuárias foi definido como TMA a média da taxa Selic também no período de 2010 a 2020. A taxa Selic é o principal instrumento utilizado pelo BCB para controlar a inflação e é utilizada como referência para títulos públicos do governo [111]. A média da taxa Selic para o período ficou em 9,25%.

O tempo para retorno do investimento foi considerado em vinte e cinco anos. Conforme artigo 19, inciso I, do Decreto nº 8.033, de 27 de junho de 2013, alterado pelo Decreto nº 10.672, de 12 de abril de 2021 os contratos de concessão de portos organizados poderão ter vigência de até setenta anos, incluídos o prazo de vigência original e todas as prorrogações [112].

O ano de 2020 foi utilizado como referência (*Year 1*) para obtenção do resultado operacional. Esse resultado é a diferença entre o custo com combustível marítimo pelo custo com a energia elétrica *ongrid*. Ao resultado dessa operação foi somado o valor financeiro que poderia ser obtido com a compensação de carbono, ou seja, o valor da emissão de poluentes foi monetizado. Para os próximos anos foi aplicado a taxa de inflação considerada para correção.

$$Resultado\ Operacional_{Year\ 1}\ =\ Custo_{bunker}\ -\ Custo_{ongrid}\ +\ Compensação\ CO_2 \quad [4.2]$$

A Tabela 19 apresenta o resultado para todos as doze instalações portuárias do estudo.

**Tabela 19 - TIR e VPL por instalação Shore Power (parte 1)**

<b>Porto</b>	<b>Santos</b>	<b>Paranaguá</b>	<b>Rio Grande</b>	<b>Suape</b>	<b>Itaqui</b>	<b>T. Pecém</b>
Investimento/berço	R\$ 3.5 M	R\$ 3.5 M	R\$ 3.5 M	R\$ 3.5 M	R\$ 3.5 M	R\$ 3.5 M
Número de berços	73	18	19	12	8	9
Ano de referência	2020	2020	2020	2020	2020	2020
Preço da energia <i>ongrid</i>	438,9	519,78	375	369,78	345,4	345,4
Taxa de inflação	5,59%	5,59%	5,59%	5,59%	5,59%	5,59%
Investimento total do porto	R\$ 255.500 M	R\$ 63.000 M	R\$ 66.500 M	R\$ 42.000 M	R\$ 28.000 M	R\$ 31.500 M
Ano 1	R\$ 49.821 M	R\$ 13.330 M	R\$ 17.765 M	R\$ 21.542 M	R\$ 16.163 M	R\$ 6.996 M
Ano 2	R\$ 52.606 M	R\$ 14.075 M	R\$ 18.758 M	R\$ 22.746 M	R\$ 17.066 M	R\$ 7.388 M
Ano 3	R\$ 55.546 M	R\$ 14.862 M	R\$ 19.807 M	R\$ 24.018 M	R\$ 18.020 M	R\$ 7.801 M
Ano 4	R\$ 58.651 M	R\$ 15.692 M	R\$ 20.914 M	R\$ 25.361 M	R\$ 19.028 M	R\$ 8.237 M
Ano 5	R\$ 61.930 M	R\$ 16.570 M	R\$ 22.083 M	R\$ 26.778 M	R\$ 20.091 M	R\$ 8.697 M
Ano 6	R\$ 65.392 M	R\$ 17.496 M	R\$ 23.318 M	R\$ 28.275 M	R\$ 21.214 M	R\$ 9.183 M
Ano 7	R\$ 69.047 M	R\$ 18.474 M	R\$ 24.621 M	R\$ 29.856 M	R\$ 22.400 M	R\$ 9.696 M
Ano 8	R\$ 72.907 M	R\$ 19.507 M	R\$ 25.998 M	R\$ 31.525 M	R\$ 23.652 M	R\$ 10.239 M
Ano 9	R\$ 76.983 M	R\$ 20.597 M	R\$ 27.451 M	R\$ 33.287 M	R\$ 24.975 M	R\$ 10.811 M
Ano 10	R\$ 81.286 M	R\$ 21.748 M	R\$ 28.985 M	R\$ 35.148 M	R\$ 26.371 M	R\$ 11.415 M
Ano 11	R\$ 85.830 M	R\$ 22.964 M	R\$ 30.606 M	R\$ 37.112 M	R\$ 27.845 M	R\$ 12.053 M
Ano 12	R\$ 90.628 M	R\$ 24.248 M	R\$ 32.316 M	R\$ 39.187 M	R\$ 29.401 M	R\$ 12.727 M
Ano 13	R\$ 95.694 M	R\$ 25.603 M	R\$ 34.123 M	R\$ 41.378 M	R\$ 31.045 M	R\$ 13.439 M
Ano 14	R\$ 101.043 M	R\$ 27.034 M	R\$ 36.030 M	R\$ 43.691 M	R\$ 32.780 M	R\$ 14.190 M
Ano 15	R\$ 106.691 M	R\$ 28.546 M	R\$ 38.044 M	R\$ 46.133 M	R\$ 34.613 M	R\$ 14.983 M
Ano 16	R\$ 112.656 M	R\$ 30.141 M	R\$ 40.171 M	R\$ 48.712 M	R\$ 36.547 M	R\$ 15.820 M
Ano 17	R\$ 118.953 M	R\$ 31.826 M	R\$ 42.417 M	R\$ 51.435 M	R\$ 38.590 M	R\$ 16.705 M
Ano 18	R\$ 125.602 M	R\$ 33.605 M	R\$ 44.788 M	R\$ 54.310 M	R\$ 40.748 M	R\$ 17.639 M
Ano 19	R\$ 132.624 M	R\$ 35.484 M	R\$ 47.291 M	R\$ 57.346 M	R\$ 43.025 M	R\$ 18.625 M
Ano 20	R\$ 140.037 M	R\$ 37.467 M	R\$ 49.935 M	R\$ 60.551 M	R\$ 45.431 M	R\$ 19.666 M
Ano 21	R\$ 147.865 M	R\$ 39.562 M	R\$ 52.726 M	R\$ 63.936 M	R\$ 47.970 M	R\$ 20.765 M
Ano 22	R\$ 156.131 M	R\$ 41.773 M	R\$ 55.674 M	R\$ 67.510 M	R\$ 50.652 M	R\$ 21.926 M
Ano 23	R\$ 164.859 M	R\$ 44.108 M	R\$ 58.786 M	R\$ 71.284 M	R\$ 53.483 M	R\$ 23.151 M
Ano 24	R\$ 174.074 M	R\$ 46.574 M	R\$ 62.072 M	R\$ 75.269 M	R\$ 56.473 M	R\$ 24.446 M
Ano 25	R\$ 183.805 M	R\$ 49.178 M	R\$ 65.542 M	R\$ 79.476 M	R\$ 59.630 M	R\$ 25.812 M
TMA	9,25%	9,25%	9,25%	9,25%	9,25%	9,25%
TIR (25 anos)	25%	27%	32%	57%	63%	28%
VPL (25 anos)	R\$ 480,6 M	R\$ 133,5 M	R\$ 193,9 M	R\$ 270,5 M	R\$ 206,1 M	R\$ 71,5 M

Fonte: Autor

Tabela 19 - TIR e VPL por instalação *Shore Power* (parte 2)

Porto	Ponta da Madeira	Itaguaí	T. Tubarão	Almirante Barroso	T. Angra	Ilha Guaíba - Tig
Investimento/berço	R\$ 3,5 M	R\$ 3,5 M	R\$ 3,5 M	R\$ 3,5 M	R\$ 3,5 M	R\$ 3,5 M
Número de berços	5	6	6	4	2	2
Ano de referência	2020	2020	2020	2020	2020	2020
Preço da energia ongrid	345,4	421,67	438,9	421,67	375	375
Taxa de inflação	5,59%	5,59%	5,59%	5,59%	5,59%	5,59%
Investimento total do porto	R\$ 17.500 M	R\$ 21.000 M	R\$ 21.000 M	R\$ 14.000 M	R\$ 7.000 M	R\$ 7.000 M
Ano 1	R\$ 5.080 M	R\$ 4.904 M	R\$ 3.201 M	R\$ 12.890 M	R\$ 10.738 M	R\$ 1.283 M
Ano 2	R\$ 5.363 M	R\$ 5.179 M	R\$ 3.380 M	R\$ 13.611 M	R\$ 11.338 M	R\$ 1.355 M
Ano 3	R\$ 5.663 M	R\$ 5.468 M	R\$ 3.569 M	R\$ 14.372 M	R\$ 11.972 M	R\$ 1.430 M
Ano 4	R\$ 5.980 M	R\$ 5.774 M	R\$ 3.769 M	R\$ 15.175 M	R\$ 12.641 M	R\$ 1.510 M
Ano 5	R\$ 6.314 M	R\$ 6.097 M	R\$ 3.979 M	R\$ 16.023 M	R\$ 13.348 M	R\$ 1.595 M
Ano 6	R\$ 6.667 M	R\$ 6.437 M	R\$ 4.202 M	R\$ 16.919 M	R\$ 14.094 M	R\$ 1.684 M
Ano 7	R\$ 7.040 M	R\$ 6.797 M	R\$ 4.437 M	R\$ 17.865 M	R\$ 14.882 M	R\$ 1.778 M
Ano 8	R\$ 7.433 M	R\$ 7.177 M	R\$ 4.685 M	R\$ 18.864 M	R\$ 15.714 M	R\$ 1.878 M
Ano 9	R\$ 7.849 M	R\$ 7.578 M	R\$ 4.947 M	R\$ 19.918 M	R\$ 16.592 M	R\$ 1.983 M
Ano 10	R\$ 8.288 M	R\$ 8.002 M	R\$ 5.223 M	R\$ 21.031 M	R\$ 17.520 M	R\$ 2.093 M
Ano 11	R\$ 8.751 M	R\$ 8.449 M	R\$ 5.515 M	R\$ 22.207 M	R\$ 18.499 M	R\$ 2.210 M
Ano 12	R\$ 9.240 M	R\$ 8.922 M	R\$ 5.824 M	R\$ 23.448 M	R\$ 19.534 M	R\$ 2.334 M
Ano 13	R\$ 9.757 M	R\$ 9.420 M	R\$ 6.149 M	R\$ 24.759 M	R\$ 20.625 M	R\$ 2.464 M
Ano 14	R\$ 10.302 M	R\$ 9.947 M	R\$ 6.493 M	R\$ 26.143 M	R\$ 21.778 M	R\$ 2.602 M
Ano 15	R\$ 10.878 M	R\$ 10.503 M	R\$ 6.856 M	R\$ 27.605 M	R\$ 22.996 M	R\$ 2.748 M
Ano 16	R\$ 11.486 M	R\$ 11.090 M	R\$ 7.239 M	R\$ 29.148 M	R\$ 24.281 M	R\$ 2.901 M
Ano 17	R\$ 12.128 M	R\$ 11.710 M	R\$ 7.644 M	R\$ 30.777 M	R\$ 25.639 M	R\$ 3.063 M
Ano 18	R\$ 12.806 M	R\$ 12.365 M	R\$ 8.071 M	R\$ 32.498 M	R\$ 27.072 M	R\$ 3.235 M
Ano 19	R\$ 13.522 M	R\$ 13.056 M	R\$ 8.522 M	R\$ 34.314 M	R\$ 28.585 M	R\$ 3.415 M
Ano 20	R\$ 14.278 M	R\$ 13.786 M	R\$ 8.998 M	R\$ 36.232 M	R\$ 30.183 M	R\$ 3.606 M
Ano 21	R\$ 15.076 M	R\$ 14.556 M	R\$ 9.501 M	R\$ 38.258 M	R\$ 31.870 M	R\$ 3.808 M
Ano 22	R\$ 15.918 M	R\$ 15.370 M	R\$ 10.033 M	R\$ 40.396 M	R\$ 33.652 M	R\$ 4.021 M
Ano 23	R\$ 16.808 M	R\$ 16.229 M	R\$ 10.593 M	R\$ 42.654 M	R\$ 35.533 M	R\$ 4.246 M
Ano 24	R\$ 17.748 M	R\$ 17.136 M	R\$ 11.186 M	R\$ 45.039 M	R\$ 37.519 M	R\$ 4.483 M
Ano 25	R\$ 18.740 M	R\$ 18.094 M	R\$ 11.811 M	R\$ 47.557 M	R\$ 39.617 M	R\$ 4.734 M
TMA	9,25%	9,25%	9,25%	9,25%	9,25%	9,25%
TIR (25 anos)	35%	29%	20%	98%	159%	24%
VPL (25 anos)	R\$ 56,8 M	R\$ 51,1 M	R\$ 26,7 M	R\$ 172,0 M	R\$ 147,6 M	R\$ 12,0 M

Fonte: Autor

Para o cenário considerado, todas as instalações portuárias apresentaram o valor de TIR superior ao TMA, indicando a viabilidade da solução.

A Tabela 20 traz um comparativo sem a parcela do valor financeiro da compensação de carbono.

**Tabela 20 - Comparação TIR e VPL com e sem a parcela de compensação de carbono (Parte 1)**

	<b>Porto</b>	<b>Santos</b>	<b>Paranaguá</b>	<b>Rio Grande</b>	<b>Suape</b>	<b>Itaqui</b>	<b>T. Pecém</b>
Com Emissão	TMA	9,25%	9,25%	9,25%	9,25%	9,25%	9,25%
	TIR (25 anos)	25%	27%	32%	57%	63%	28%
	VPL (25 anos)	R\$ 480,6 M	R\$ 133,5 M	R\$ 193,9 M	R\$ 270,5 M	R\$ 206,1 M	R\$ 71,5 M
Sem Emissão	TMA	9,25%	9,25%	9,25%	9,25%	9,25%	9,25%
	TIR (25 anos)	12%	7%	19%	33%	38%	17%
	VPL (25 anos)	R\$ 75,5 M	- R\$ 11,5M	R\$ 73,5 M	R\$ 126,5 M	R\$ 104,5 M	R\$ 27,5 M

Fonte: Elaboração própria

**Tabela 20 - Comparação TIR e VPL com e sem a parcela de compensação de carbono (Parte 2)**

	<b>Porto</b>	<b>Ponta da Madeira</b>	<b>Itaguaí</b>	<b>T. Tubarão</b>	<b>Almirante Barroso</b>	<b>T. Angra</b>	<b>Ilha Guaíba - Tig</b>
Com Emissão	TMA	9,25%	9,25%	9,25%	9,25%	9,25%	9,25%
	TIR (25 anos)	35%	29%	20%	98%	159%	24%
	VPL (25 anos)	R\$ 56,8 M	R\$ 51,1 M	R\$ 26,7 M	R\$ 172,0 M	R\$ 147,6 M	R\$ 12,0 M
Sem Emissão	TMA	9,25%	9,25%	9,25%	9,25%	9,25%	9,25%
	TIR (25 anos)	21%	15%	10%	48%	87%	14%
	VPL (25 anos)	R\$ 24,9 M	R\$ 13,3 M	R\$ 660,4 k	R\$ 72,6 M	R\$ 74,8 M	R\$ 3,3 M

Fonte: Elaboração própria

Sem considerar a compensação de carbono o porto de Paranaguá apresenta TIR e VPL positivos, porém abaixo do TMA. O porto de Paranaguá é o que apresenta a tarifa elétrica mais alta entre todas as instalações portuárias consideradas devido classe de tensão de entrada da subestação principal (ver Tabela 18). Porém, se considerada a necessidade de aumento da potência elétrica instalada para atendimento a demanda de alimentação dos navios é provável que haja alteração na alimentação fornecida pela concessionária e com isso a diminuição na tarifa de energia, favorecendo economicamente o uso do Shore Power.

O resultado obtido para o porto de Paranaguá é um ótimo exemplo pois representa muito bem um ponto chave para utilização da solução *Shore Power*: a relação entre o preço da energia elétrica *onshore* pelo preço do bunker combustível. Até aqui o estudo considerou a utilização da energia disponível *ongrid* com as tarifas de energia praticadas pela concessionária. Isso nos mostra que quanto menor o preço pago pelo kWh melhor a relação para uso do *Shore Power*. Dessa forma, projetos para geração de energia a partir de fontes renováveis [6] como a solar ou eólica, por exemplo, tendem a baratear o custo da energia tornando o uso do *Shore Power* ainda mais atrativo e robusto frente às variações no preço do

bunker combustível e da variação cambial.

## **4.2 Estudo de Viabilidade no Dimensionamento de Usinas Solares nos Principais Instalações Portuárias Brasileiros**

A partir dos dados de consumo médio mensal estimado para cada instalação portuária, reportados na Tabela 14 e na Tabela 15, é feita uma análise técnica em relação ao dimensionamento de cada instalação, verificando as características técnicas e as perdas elétricas estimadas.

### **4.2.1 Dimensionamento**

A energia de compensação diária (E.C.D) está representada na Equação [4.3] cuja unidade é dada por kWh / m<sup>2</sup> / dia.

$$E.C.D = \frac{E.C.M}{30} \quad [4.3]$$

A Tabela 11 apresenta os dados referentes a uma latitude das localidades que identificam cada instalação portuária. A partir dos dados referentes à localização geográfica de cada instalação brasileiro, obtêm-se os dados referentes à Hora de Sol Pleno (HSP), que consiste em uma quantidade que representa o número de horas em que a irradiância solar seria constante em 1000 W / m<sup>2</sup>.

O HSP é calculado dividindo-se a radiação solar do local (kWh / m<sup>2</sup>) por 1000 W / m<sup>2</sup>, que é um valor padrão [113].

No item 3.7.2.2, foi apresentada uma definição do fator de correção K, que está diretamente relacionado à latitude do local, ou seja, sua posição geográfica e o ângulo de inclinação do módulo.

Da Equação [4.4], obtém-se o HSPk, cujos dados são referenciados em cada mês.

$$HSPk = HSP \times K \quad [4.4]$$

Sendo:

HSP = Hora de Sol Pleno.

K = fator de correção K para inclinação.

A média dos valores de HSPk para todos os meses consiste no valor referente ao Potencial Solar - Dia; e multiplicando este valor encontrado por 365, obtemos o valor referente ao Potencial Solar - Ano.

A razão da potência teórica entre a Energia de Compensação Diária (E.C.D) e o Potencial Solar - Dia, resulta na Potência Teórica, que é apresentada na Equação [4.5].

$$P.T = \frac{E.C.D}{P.S.D} \quad [4.5]$$

Sendo:

P.T = Poder teórico.

P.S.D = Energia solar - dia.

Como premissa, será considerada a necessidade de geração de energia solar necessária para atender 100% das cargas (navios atracados) nas instalações portuárias brasileiros estudados neste trabalho. A Equação [4.6] representa o cálculo real do sistema para geração máxima, dado em kWp.

$$\text{Sistema de geração máxima} = (1 + \text{Fator de Perdas}) * P.T * \text{geração desejada} \quad [4.6]$$

## 4.2.2 Caracterização de Perdas

As perdas são fatores relevantes que afetam direta e indiretamente a eficiência do sistema. As premissas aceitas para perdas elétricas são identificadas neste projeto e serão utilizadas para equações.

A Tabela 21 apresenta as perdas padrão consideradas comuns [113][114][115] para todas as instalações portuárias brasileiras neste estudo. As perdas de temperatura são mostradas posteriormente.

**Tabela 21 - Perdas presentes**

Perdas presentes	
K somb	2%
K suj	3%
K tol	0%
K mis	0%
K temp	-
K cc	1%
K spmp	1%
K inv	1%
K ca	1%
Total	9%

*Fonte: Elaboração própria*

As perdas médias de temperatura ocorrem a partir da localização de cada instalação portuária, onde os dados foram extraídos das Normas Climatológicas do Brasil.

A Equação [4.7] mostra o Fator de Perda [114].

$$\text{Fatorperdas} = \text{Perdatransformador} + \text{Perdatemperatura} + \text{Outrasperdas} \quad [4.7]$$

### 4.2.3 Caraterísticas técnicas

Para este estudo foram considerados módulos fotovoltaicos com potência nominal de 450 W (valores médios para o estado da arte atual) e ajuste manual do número de módulos de 1 unidade.

A Equação [4.8] mostra o número de módulos necessários para instalar um sistema solar em cada instalação portuária brasileira neste estudo.

$$\text{Número de módulos} = \text{geração desejada} \times \frac{\text{Sistema de geração máxima} \times 1000}{\text{Potência nominal do módulo}} + \text{ajuste manual} \quad [4.8]$$

A Equação [4.9] mostra o cálculo da potência do sistema de cada instalação portuária, que consiste na potência instalada, dada em kWp.

$$Potência\ do\ sistema = \frac{número\ de\ módulos \times potência\ nominal\ do\ módulo}{1000} \quad [4.9]$$

No que diz respeito aos dados referentes ao inversor de frequência, para cada instalação portuária brasileira em estudo é considerado um valor referente à potência total necessária, totalizando assim o número de inversores de frequência necessários.

O fator de dimensionamento global ( $P_{cc} / P_{ca}$ ) é a relação entre a potência do sistema e a potência nominal do Inversor CA a ser utilizado e o número de Inversores CA, e é apresentado na Equação [4.10][116].

$$\frac{P_{cc}}{P_{ca}} = \frac{Potência\ do\ sistema}{Potência\ nominal\ do\ inversor\ CA * número\ de\ inversor\ CA} \quad [4.10]$$

#### 4.2.3.1 Tabela representando as análises das características técnicas

De acordo com os fatores considerados no item 4.2.3, a Tabela 22 e a Tabela 22.a apresentam todas as informações presentes nas características técnicas de todas as instalações portuárias estudadas em relação ao ano de 2020.

**Tabela 22 - Características técnicas dos portos referentes ao ano de 2020**

Portos ou Terminais	Itaguaí	Itaqui	Paranaguá	Rio Grande	Santos	Suape
Potência nominal dos módulos (W)	450	450	450	450	450	450
Número necessário de módulos	23.486	55.853	99.668	73.001	286.112	80.081
Ajuste manual do número de módulos	1	1	1	1	1	1
Potência do Sistema (kWp)	10.569	25.134	44.851	32.850	128.750	36.036
Potência nominal do inversor a ser usado (kW)	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Número de inversores	4	8	12	10	40	10
Fator de escala global ( $P_{cc}/P_{ca}$ )	0,88	1,05	1,25	1,1	1,07	1,2

Fonte: Elaboração própria

**Tabela 22.a – Características técnicas dos portos referentes ao ano de 2020**

Portos ou Terminais	T. de Angra dos Reis	T. de São Sebastião	T. da Ilha Guaíba	T. de Tubarão	T. de Ponta da Madeira	T. P. do Pecém
Potência nominal dos módulos (W)	450	450	450	450	450	450
Número necessário de módulos	44.707	64.493	5332	14.724	17.553	23.018
Ajuste manual do número de módulos	1	1	1	1	1	1
Potência do Sistema (kWp)	20.118	29.021	2399	6625	7898	10.358
Potência nominal do inversor a ser usado (kW)	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Número de inversores	8	8	1	2	3	4
Fator de escala global ( $P_{cc}/P_{ca}$ )	0,84	1,21	0,8	1,1	0,88	0,86

Fonte: Elaboração própria

#### 4.2.4 Análise Financeira

A fase de análise financeira consiste na utilização de técnicas normalmente mais recorrentes na literatura para análise de investimentos, o VPL (Valor Presente Líquido) e a TIR (Taxa Interna de Retorno).[115]

O valor presente líquido do fluxo de caixa é obtido pela subtração dos investimentos iniciais de um projeto do valor presente das entradas de caixa, descontadas a uma taxa igual ao custo de oportunidade da empresa. O projeto deve ser aceito quando seu VPL for positivo, o que significa que proporcionará um retorno para a empresa superior ao seu custo de capital [117].

Ao usar um TIR para tomar decisões de aceitação / rejeição, o critério “... garante que a empresa receba pelo menos o retorno exigido. Tal resultado deve aumentar seu valor de mercado e, portanto, a riqueza de seus proprietários” [118].

Será considerado um fator de extrema importância, que é o REEMBOLSO, que é uma técnica utilizada em empresas que analisa o período de retorno do investimento de um projeto.

A avaliação será feita em um balanço financeiro e de energia de 25 anos do projeto. A partir da análise de cada ano, você saberá em que ano ocorreu o REEMBOLSO, ou seja, quanto tempo após a implantação dos módulos fotovoltaicos o número acumulado de anos para igualar o investimento inicial.

O cálculo do percentual médio de geração em 25 anos segue a Equação [4.11].

$$\text{Media percentual de geração em 25 anos} = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{consumo} \times \text{ano})}{\sum_{i=1}^n \text{ano}}}{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{geração} \times \text{ano})}{\sum_{i=1}^n \text{ano}}} \quad [4.11]$$

O Retorno do Primeiro Ano é obtido pela razão entre a receita total e a economia obtida no primeiro ano. A Equação [4.12] apresenta este parâmetro, que é dado em R\$.

$$\text{Retorno financeiro do primeiro ano} = \frac{\text{Receita financeira total}}{\text{Economia do primeiro ano}} \quad [4.12]$$

ROI significa Retorno do Investimento. É uma métrica usada para saber quanto a

empresa ganhou com os investimentos. Para calcular o ROI, você precisa pegar a receita total, subtrair seus custos e dividir esse resultado pelos custos também. A Equação [4.13] representa o cálculo do ROI, que é dado em % [119].

$$ROI = \frac{\text{Rendimento total} - \text{Custos}}{\text{Custos}} \quad [4.13]$$

Para obter a geração média diária de energia, em kWh / dia, divida a geração média de energia ao longo dos 25 anos do projeto por 365, para um ajuste por ano. A Equação [4.14] representa este parâmetro.

$$\text{Geração de energia diária} = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Geração} \times \text{ano})}{\sum_{i=1}^n \text{ano}}}{365} \quad [4.14]$$

Para obter a geração média mensal de energia, em kWh / mês, foi utilizada a Equação [4.15].

$$\text{Geração de energia mensal} = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Geração} \times \text{ano})}{\sum_{i=1}^n \text{ano}}}{12} \quad [4.15]$$

#### 4.2.4.1 Mercado Brasileiro de Energia Cativa e Mercado Livre

O atual modelo de comercialização de energia elétrica é dividido em dois tipos de ambientes de contratação de energia, que são o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL) [120], que é uma forma de compra e venda de energia elétrica entre geradoras, comercializadoras, distribuidoras e os consumidores livres passaram a ser comercializados, liberando gradativamente a energia elétrica ainda contratada de forma regulada.[121]

#### 4.2.4.2 Comparação de Parâmetros Estimados para as Instalações Portuárias Brasileiros Estudados

Para estimar o preço total de instalação de painéis fotovoltaicos em cada porto estudado, será considerada a Equação [4.16]:

$$\text{Preço total} = \text{Potência do sistema} \times 3900 \quad [4.16]$$

Onde:

R\$ 3.900,00 é um fator de referência por kW instalado.[122]

A Tabela 23 e a Tabela 23.a apresentam um quadro comparativo do retorno financeiro da instalação dos painéis fotovoltaicos nos Terminais Portuários estudados, analisando a viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica como redutor de custos.

**Tabela 23 - Comparação dos resultados dos terminais**

<b>Portos brasileiros</b>	<b>Itaguaí</b>	<b>Itaqui</b>	<b>Paranaguá</b>	<b>Rio Grande</b>	<b>Santos</b>	<b>Suape</b>
Preço total (R\$)	41,2 M	98,0 M	174,9 M	128,1 M	500,2 M	140,5 M
Payback Ano/mês	6/4	6/10	5/9	6/10	6/5	6/6
Retorno primeiro ano	14,05%	12,89%	15,47%	12,36%	13,71%	13,86%
Retorno primeiro ano (R\$)	5,8 M	12,6 M	27,1 M	15,8 M	68,6 M	19,5 M
Watt instalado / reais	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
VPL (R\$)	40,2 M	80,2 M	213,1 M	108,1 M	539,4 M	131,8 M
TIR	21,18%	19,45%	23,85%	19,65%	21,59%	20,77%
Lucro final do projeto após 25 anos (R\$)	229,2 M	491,2 M	1.122,4 M	655,6 M	3.104,3 M	762,8 M
ROI	456,09%	401,15%	541,70%	411,76%	520,65%	442,77%

Fonte: Elaboração própria

Tabela 23.a – Comparação dos resultados dos terminais

Portos Brasileiros	Terminal Aquaviário de Angra dos Reis	Terminal Aquaviário de São Sebastião	Terminal da Ilha Guaíba	Terminal de Tubarão	Terminal Marítimo de Ponta da Madeira	Terminal Portuário do Pecém
Preço total (R\$)	78,5 M	113,2 M	9,4 M	25,8 M	30,8 M	40,4 M
Payback Ano/mês	6/11	6/7	6/11	5/8	5/8	5/8
Retorno primeiro ano	12,86%	13,50%	12,87%	16,16%	16,08%	16,87%
Retorno primeiro ano (R\$)	10,1 M	15,3 M	1,2 M	4,2 M	5,0 M	6,8 M
Watt instalado / reais	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
VPL (R\$)	63,4 M	102,6 M	7,6 M	32,8 M	40,1 M	56,4 M
TIR	19,33%	20,41%	19,36%	24,46%	24,62%	25,68%
Lucro final do projeto após 25 anos (R\$)	390,5 M	602,0 M	46,6 M	170,1 M	208,4 M	286,7 M
ROI	397,69%	431,90%	398,51%	558,36%	576,35%	609,76%

Fonte: Elaboração própria

Observa-se o valor do investimento inicial, o retorno em anos e meses, bem como os resultados obtidos para os parâmetros econômicos, VPL, TIR e ROI.

#### 4.2.4.3 Análise com uso de Energia Solar

O projeto teve como objetivo estudar uma estimativa da viabilidade econômico-financeira da instalação de painéis fotovoltaicos para aproveitamento de energia solar nas instalações portuárias brasileiros estudados, como alternativa de aproveitamento energético mais rentável, promovendo redução de custos aliada à viabilidade de implantação, sem tomar em conta os ganhos ambientais inerentes.

Portanto, a localização de cada instalação portuária brasileiro foi analisada para estimar o nível de irradiação solar, para ter uma base de consumo de energia, e assim colocar nos parâmetros de implementação necessários.

A Tabela 24 mostra, considerando os dados desenvolvidos neste estudo, que a implantação de energia solar nos terminais estudados, com base no histórico de movimentação de cargas dos navios na última década, seria viável como alternativa de redução de custos e como opção para usar o poder.

Observa-se, neste caso, que a TIR (Taxa de Retorno do Investimento) seria superior ao

valor do Custo de Capital desejado (estimado para este estudo). Nesse caso, observa-se que a TIR (Taxa de Retorno do Investimento) seria superior ao valor do Custo de Capital desejado (estimado para este estudo), levando os resultados dos Valores Presentes todos a valores positivos.

**Tabela 24 - Tabela comparativa de estudo de viabilidade nas tarifas atuais**

Porto Brasileiro	Valor kW (R\$)	Custo de capital Wacc (%)	TIR (%)	VPL (R\$)
Itaguaí	420,00	10,00	21,18	40.211.247,47
Itaqui	340,00	10,00	19,45	80.233.325,22
Paranaguá	520,00	10,00	23,85	213.144.212,24
Rio Grande	380,00	10,00	19,65	108.105.036,42
Santos	440,00	10,00	19,50	413.918.528,28
Suape	370,00	10,00	20,77	131.786.054,74
Terminal Aquaviário de Angra dos Reis	380,00	10,00	19,33	63.440.133,32
Terminal Aquaviário de São Sebastião	420,00	10,00	20,41	102.558.523,80
Terminal da Ilha Guaíba	380,00	10,00	19,36	7.587.515,65
Terminal de Tubarão	440,00	10,00	24,46	32.772.167,29
Terminal Marítimo de Ponta da Madeira	340,00	10,00	24,62	40.065.751,81
Terminal Portuário do Pecém	340,00	10,00	25,68	56.366.420,92

Fonte: Elaboração própria

Com base nessa mesma premissa, a Tabela 25 apresenta uma hipótese de projeto, no qual o valor da tarifa do MWh seria de R\$ 220,00, possivelmente comercializado no mercado livre de energia, por exemplo. Nesse caso, o custo de energia seria menor do que os parâmetros inicialmente utilizados.

**Tabela 25 - Tabela comparativa de estudo de viabilidade nas tarifas hipotéticas**

Porto Brasileiro	Valor kW (R\$)	Custo de capital Wacc (%)	TIR (%)	VPL (R\$)
Itaguaí	220,00	10,00	8,76	-3.754.770,05
Itaqui	220,00	10,00	11,23	9.349.851,90
Paranaguá	220,00	10,00	6,69	-39.766.752,45
Rio Grande	220,00	10,00	9,61	-3.795.524,38
Santos	220,00	10,00	7,08	-103.848.912,72
Suape	220,00	10,00	10,59	6.284.187,64
Terminal Aquaviário de Angra dos Reis	220,00	10,00	9,28	-4.197.607,24
Terminal Aquaviário de São Sebastião	220,00	10,00	8,43	-12.996.713,86
Terminal da Ilha Guaíba	220,00	10,00	9,29	-494.110,21
Terminal de Tubarão	220,00	10,00	9,74	-498.301,26
Terminal Marítimo de Ponta da Madeira	220,00	10,00	11,23	2.937.836,60
Terminal Portuário do Pecém	220,00	10,00	11,65	5.226.955,31

Fonte: Elaboração própria

Como pode ser visto na Tabela 25, apenas os portos de Itaquí, Suape, Terminal Marítimo de Ponta da Madeira e Terminal Portuário do Pecém teriam um TIR acima do Custo de Capital, tendo, conseqüentemente, um VPL positivo. As demais instalações portuárias teriam uma TIR abaixo do Custo de Capital, tornando o projeto menos atraente.

Por ser um país emergente, é de suma importância que o Brasil se espelhe em outros países no que se refere à gestão das emissões de gases e, embora seja referência na movimentação de cargas via transporte marítimo, o Brasil ainda está atrasado em relação às tecnologias que visam para minimizar esta dimensão. *Shore Power* seria uma proposta inovadora a nível nacional e poderia trazer ganhos tanto em termos de eletricidade como de meio ambiente.

O estudo mostra que para os valores de eletricidade praticados atualmente, a implementação do sistema *Shore Power* mostra-se viável. Existem também questões de compensação de carbono que não foram abordadas neste estudo, pois haveria uma substituição do uso de Diesel Marítimo por eletricidade de fonte renovável.

#### **4.2.5 Exemplo de caso-Porto de Santos**

Este estudo abrange as 12 instalações portuárias mais movimentadas do Brasil, incluindo o Porto de Santos, que é considerado o maior complexo portuário da América Latina e responsável por quase um terço do comércio brasileiro.

Conforme já mencionado, o Porto de Santos será destaque para informações sobre todos os dados sobre tópicos de análises técnicas. Com isso, será feito um panorama completo com todas as informações contidas neste porto em relação ao ano de 2020 e em relação à média entre os anos de 2010 a 2020.

##### **4.2.5.1 Análise Financeira do Porto de Santos**

A Tabela 26 apresenta uma estimativa do fluxo de caixa ao longo do período de 25 anos a partir do momento da instalação dos painéis fotovoltaicos no ano estudado, com referência a 2020. Através dos dados fornecidos, é possível observar uma previsão de retorno financeiro.

Com base no sistema proposto, o Porto de Santos em 2020 teria uma instalação estimada de 286.112 módulos de painéis fotovoltaicos, sendo cada módulo 450W. O custo total do projeto é de R\$ 503.967.690,72, conforme demonstrado na Tabela 26.

Tabela 26 - Balanço energético e financeiro dos 25 anos de projeto em 2020

Ano	Sem energia solar (R\$)	Com energia solar (R\$)	Economia (R\$)	Eco. %	Custo (R\$)	Fluxo final (R\$)	Return Invest.
0	68.592.379,65	3.712.984,75	64.879.394,90	95%	503.967.690,72	-439.088.295,82	12,90%
1	72.707.922,42	3.868.709,41	68.839.213,02	95%	2.088.846,49	-372.337.929,30	13,70%
2	77.070.397,77	4.698.906,82	72.371.490,95	94%	2.172.400,35	-302.138.838,70	14,40%
3	81.694.621,64	5.594.553,15	76.100.068,48	93%	2.259.296,36	-228.298.066,58	15,20%
4	86.596.298,93	6.575.556,70	80.020.742,23	92%	2.349.668,22	-150.626.992,56	15,90%
5	91.792.076,87	7.648.667,88	84.143.408,99	92%	2.443.654,95	-68.927.238,52	16,80%
6	97.299.601,48	8.821.126,06	88.478.475,42	91%	2.541.401,14	17.009.835,76	17,60%
7	103.137.577,57	10.100.627,05	93.036.950,52	90%	2.643.057,19	107.403.729,09	18,50%
8	109.325.832,23	11.495.619,70	97.830.212,53	89%	2.748.779,48	202.485.162,14	19,50%
9	115.885.382,16	13.014.958,87	102.870.423,29	89%	2.858.730,66	302.496.854,78	20,50%
10	122.838.505,09	14.668.199,48	108.170.305,61	88%	2.973.079,88	407.694.080,51	21,50%
11	130.208.815,40	16.465.577,64	113.743.237,75	87%	3.092.003,08	518.345.315,18	22,70%
12	138.021.344,32	18.418.057,08	119.603.287,23	87%	3.215.683,20	634.732.919,21	23,80%
13	146.302.624,98	20.537.378,64	125.765.246,34	86%	3.344.310,53	757.153.855,02	25,00%
14	155.080.782,48	22.913.203,64	132.167.578,84	85%	3.478.082,95	885.843.350,91	26,30%
15	164.385.629,43	25.436.441,25	138.949.188,18	85%	78.936.190,27	945.856.348,82	27,70%
16	174.248.767,19	28.140.917,73	146.107.849,46	84%	3.761.894,52	1.088.202.303,76	29,10%
17	184.703.693,22	31.068.368,31	153.635.324,91	83%	3.912.370,30	1.237.925.258,37	30,60%
18	195.785.914,82	34.235.298,97	161.550.615,85	83%	4.068.865,11	1.395.407.009,11	32,20%
19	207.533.069,70	37.659.367,19	169.873.702,51	82%	4.231.619,72	1.561.049.091,91	33,80%
20	219.985.053,89	41.359.459,35	178.625.594,54	81%	4.400.884,51	1.735.273.801,94	35,60%
21	233.184.157,12	45.355.773,15	187.828.383,97	81%	4.576.919,89	1.918.525.266,02	37,40%
22	247.175.206,55	49.669.905,50	197.505.301,04	80%	4.759.996,68	2.111.270.570,38	39,30%
23	262.005.718,94	54.324.946,13	207.680.772,81	79%	4.950.396,55	2.314.000.946,64	41,40%
24	277.726.062,08	59.345.399,12	218.380.662,95	79%	5.148.412,41	2.527.233.197,19	43,50%
Média (R\$)	150.531.497,44	23.005.200,14	127.526.297,29	87%	26.436.969,41	-	-
Total (R\$)	3.763.287.435,91	575.130.003,58	3.188.157.432,33	85%	660.924.235,15	-	-

Fonte: Elaboração própria

A Tabela 27 apresenta uma estimativa do fluxo de caixa no período de 25 anos a partir do momento da instalação dos painéis fotovoltaicos em relação à média entre os anos de 2010 e 2020. Por meio dos dados fonte, é possível observar uma previsão financeira.

**Tabela 27 – Balanço energético e financeiro dos 25 anos de projeto – média entre 2010 a 2020**

Ano	Sem energia solar (R\$)	Com energia solar (R\$)	Economia (R\$)	Eco. %	Custo (R\$)	Fluxo final (R\$)	Return Invest.
0	71.844.326,66	3.888.903,85	67.955.422,81	95%	527.861.556,50	-459.906.133,68	12,9%
1	76.154.986,26	4.051.993,83	72.102.992,43	95%	2.187.881,84	-389.991.023,09	13,7%
2	80.724.285,44	4.921.543,94	75.802.741,50	94%	2.275.397,12	-316.463.678,71	14,4%
3	85.567.742,57	5.859.645,50	79.708.097,06	93%	2.366.413,00	-239.121.994,65	15,2%
4	90.701.807,12	6.887.150,67	83.814.656,44	92%	2.461.069,52	-157.768.407,73	15,9%
5	96.143.915,55	8.011.129,89	88.132.785,66	92%	2.559.512,30	-72.195.134,37	16,8%
6	101.912.550,48	9.239.165,70	92.673.384,78	91%	2.661.892,79	17.816.357,62	17,6%
7	108.027.303,51	10.579.321,90	97.447.981,61	90%	2.768.368,50	112.495.970,72	18,5%
8	114.508.941,72	12.040.441,78	102.468.499,94	89%	2.879.103,24	212.085.367,41	19,5%
9	121.379.478,22	13.631.802,95	107.747.675,27	89%	2.994.267,37	316.838.775,31	20,5%
10	128.662.246,91	15.363.413,31	113.298.833,61	88%	3.114.038,07	427.023.570,85	21,5%
11	136.381.981,73	17.245.994,22	119.135.987,51	87%	3.238.599,59	542.920.958,76	22,7%
12	144.564.900,63	19.291.029,17	125.273.871,46	87%	3.368.143,58	664.826.686,65	23,8%
13	153.238.794,67	21.510.815,60	131.727.979,07	86%	3.502.869,32	793.051.796,40	25,0%
14	162.433.122,35	23.999.252,45	138.433.869,90	85%	3.642.984,09	927.842.682,21	26,3%
15	172.179.109,69	26.642.126,64	145.536.983,05	85%	82.678.673,71	990.700.991,56	27,7%
16	182.509.856,27	29.474.808,75	153.035.047,53	84%	3.940.251,59	1.139.795.787,49	29,1%
17	193.460.447,65	32.541.035,42	160.919.412,23	83%	4.097.861,66	1.296.617.338,06	30,6%
18	205.068.074,51	35.858.095,17	169.209.979,34	83%	4.261.776,12	1.461.565.541,28	32,2%
19	217.372.158,98	39.444.482,57	177.927.676,41	82%	4.432.247,17	1.635.060.970,52	33,8%
20	230.414.488,52	43.319.979,35	187.094.509,17	81%	4.609.537,06	1.817.545.942,64	35,6%
21	244.239.357,83	47.505.740,74	196.733.617,09	81%	4.793.918,54	2.009.485.641,19	37,4%
22	258.893.719,30	52.024.387,53	206.869.331,77	80%	4.985.675,28	2.211.369.297,68	39,3%
23	274.427.342,46	56.900.104,06	217.527.238,40	79%	5.185.102,29	2.423.711.433,79	41,4%
24	290.892.983,01	62.158.564,56	228.734.418,45	79%	5.392.506,38	2.647.053.345,86	43,5%
Média (R\$)	157.668.156,88	24.095.637,18	133.572.519,70	85%	27.690.385,87	-	-
Total (R\$)	3.941.703.922,04	602.390.929,55	3.339.312.992,49	85%	692.259.646,63	-	-

Fonte: Elaboração própria

#### 4.2.5.2 Dimensionamento comparativo

A Tabela 28 apresenta os dados referentes ao dimensionamento do Porto de Santos, considerando a metodologia apresentada no item 4.2, fazendo uma comparação entre os anos de 2020 e a média entre os anos de 2010 e 2020.

**Tabela 28 - Tabela comparativa de dimensionamento**

<b>Medida</b>	<b>Ano de 2020</b>	<b>Média entre os anos de 2010 e 2020</b>	<b>Unidade</b>
Consumo médio mensal	12.990.981	13.606.880	kWh/mês
Tipo de conexão	Trifásica	Trifásica	
Custo de disponibilidade	100	100	kWh
Energia de compensação mensal	12.990.881,0	13.606.780,0	kWh/mês
Energia de compensação diária	433.029,37	453.559,33	kWh/m <sup>2</sup> /dia
Latitude (interno)	24	24	°
Potencial solar – dia	4,07	4,07	kWh/m <sup>2</sup> /dia
Potencial solar – ano	1.486,81	1.486,8	°
Inclinação ideal	20	20	°
Inclinação real	15	15	°
Poder teórico	106.305,31	111.345,26	Kwp teórico
Perdas totais	21,1%	21,1%	%
Geração desejada	100%	100%	%
Sistema real para geração máxima	128.749,90	134.853,95	Kwp

*Fonte: Elaboração própria*

### 4.2.5.3 Comparação da Análise Técnica

A Tabela 29 mostra os dados referentes a uma análise técnica do Porto de Santos, fazendo uma comparação entre os anos de 2020 e a média dos anos 2010 a 2020.

**Tabela 29 - Comparativo análise técnica**

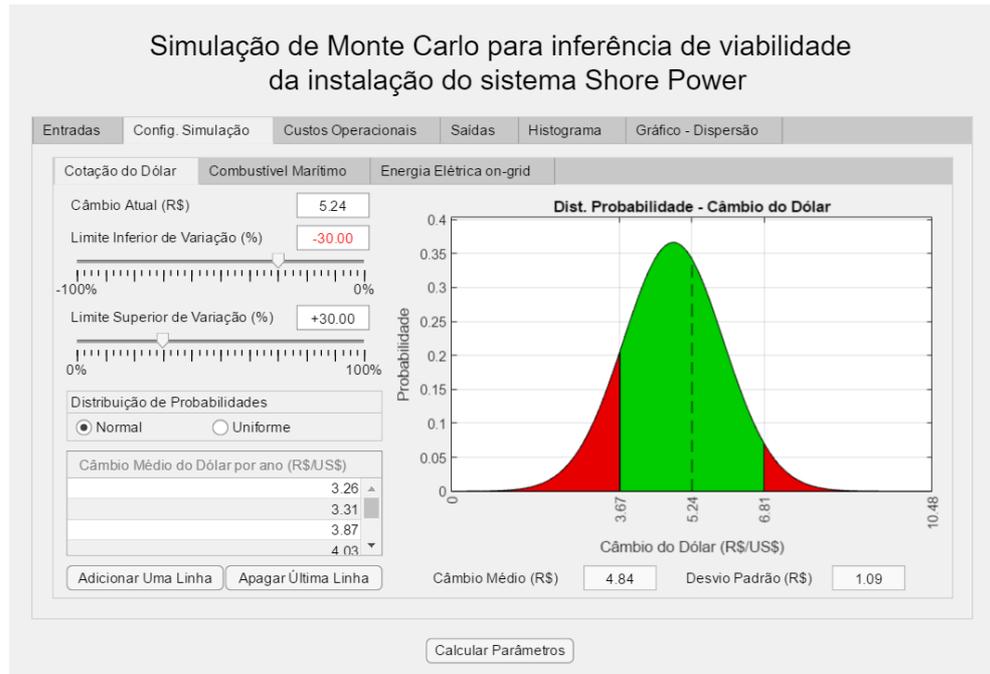
<b>Análise</b>	<b>Ano de 2020</b>	<b>Média dos anos 2010 a 2020</b>	<b>Unit</b>
Potência nominal dos módulos	450	450	W
Número requerido dos módulos	286.112	299.677	un.
Ajuste manual dos módulos	1	1	un.
Potência do sistema	128.750,40	134.854,65	kWp
Potência nominal do inversor a ser usado	3.000	3.000	kW
Número de inversores	40	40	un.
Fator de dimensionamento global (Pcc/Pca)	1,07	1,12	ok

*Fonte: Elaboração própria*

## 4.3 Aplicativo de simulação desenvolvido

Como já descrito no item 3.8, o principal objetivo da criação do aplicativo utilizando o método de Monte Carlo, era alcançar os resultados da simulação do item 4.1 através de uma interface mais acessível ao usuário final, além de demonstrar os diferentes cenários possíveis devido a volubilidade do mercado, e este objetivo foi alcançado ao final do desenvolvimento do sistema. Diante disso, a seguir serão mostradas as telas do aplicativo, um exemplo de sua aplicação e a comparação entre os resultados encontrados pelo aplicativo e os valores obtidos no item 4.1.





**Figura 24 - Tela "Config. Simulação" do aplicativo**

Na tela da Figura 24, além de inserir os valores históricos destas variáveis, o usuário pode definir se a distribuição de probabilidade seguirá uma curva normal ou uniforme na simulação. Além disso, também é possível alterar os limites inferior e superior para variação que será considerado.

A terceira tela, mostrada na Figura 25, por sua vez é utilizada para definir os custos relacionados a operação do sistema Shore Power a ser instalado.

**Simulação de Monte Carlo para inferência de viabilidade da instalação do sistema Shore Power**

Entradas	Config. Simulação	Custos Operacionais	Saídas	Histograma	Gráfico - Dispersão
Referência de Custo Operacional (R\$)		2520000.00			
Custo Anual Operacional (R\$)		201600.00			
Percentual sobre Referência (%)		8			
<b>Custos Anuais de Operação</b>			<b>Custos Anuais de Administração</b>		
Custo (R\$)		25200.00	Custo (R\$)		25200.00
Percentual sobre Referência (%)		1	Percentual sobre Referência (%)		1
<b>Custos Anuais de Manutenção</b>			<b>Custos Anuais de Amortização</b>		
Custo (R\$)		37800.00	Custo (R\$)		25200.00
Percentual sobre Referência (%)		1.5	Percentual sobre Referência (%)		1
<b>Custos Anuais de Seguro</b>			<b>Custos Anuais de Depreciação</b>		
Custo (R\$)		50400.00	Custo (R\$)		25200.00
Percentual sobre Referência (%)		2	Percentual sobre Referência (%)		1
			<b>Custos Anuais - Outros</b>		
			Custo (R\$)		12600.00
			Percentual sobre Referência (%)		0.5
<input type="button" value="Calcular Parâmetros"/>					

**Figura 25 - Tela "Custos Operacionais" do aplicativo**

Estes custos referem-se as despesas destinadas a manter o sistema após sua instalação.

A quarta tela do aplicativo é destinada as saídas da simulação, como demonstrado na Figura 26.

**Simulação de Monte Carlo para inferência de viabilidade da instalação do sistema Shore Power**

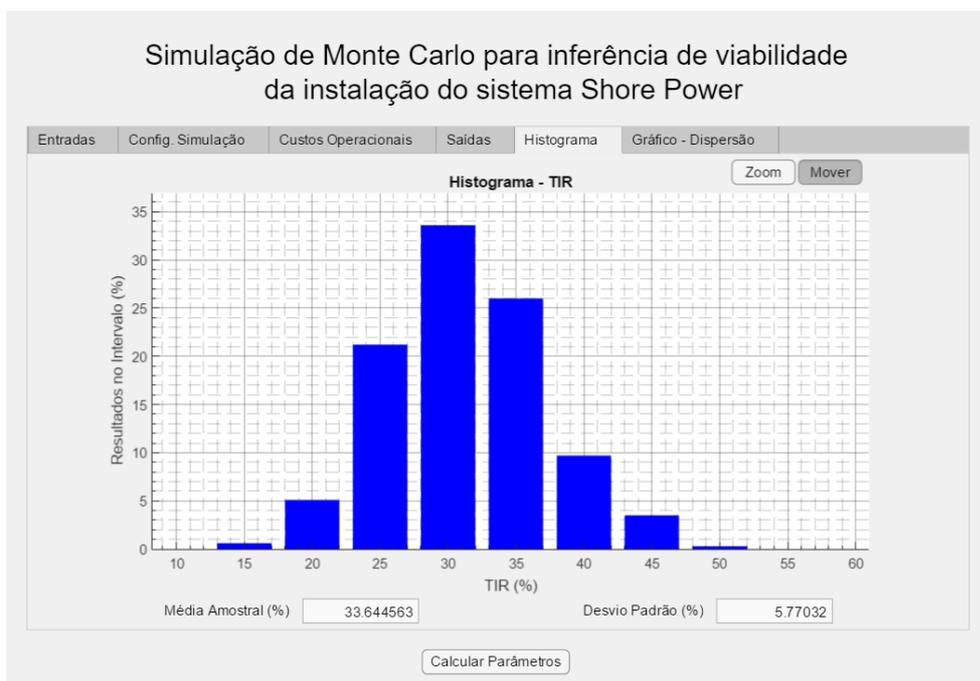
Entradas	Config. Simulação	Custos Operacionais	Saídas	Histograma	Gráfico - Dispersão
Investimento Total (USD)		12022900.74	Investimento Total (R\$)		62999999.88
<b>Dados da Simulação para o Pior Caso</b>			<b>Dados da Simulação para o Melhor Caso</b>		
Preço do Combustível (R\$/ton)		1885.49	Preço do Combustível (R\$/ton)		2737.49
Preço da Energia Elétrica (R\$/kWh)		393.72	Preço da Energia Elétrica (R\$/kWh)		285.29
Câmbio do Dólar (R\$)		4.04	Câmbio do Dólar (R\$)		5.98
<b>Custos em Combustível e Energia Elétrica</b>					
<b>Custo com Combustível Marítimo (R\$)</b>			<b>Custo em Energia Elétrica (R\$)</b>		
Custo para valores atuais (R\$)		32238075.71	Custo para valores atuais (R\$)		20940584.92
Custo para o pior caso (R\$)		22847594.83	Custo para o pior caso (R\$)		21985850.15
Custo para o melhor caso (R\$)		33171805.83	Custo para o melhor caso (R\$)		15930871.53
<input type="button" value="Calcular Parâmetros"/>					

**Figura 26 - Tela "Saídas" do aplicativo**

As saídas do sistema são os resultados da simulação, e incluem o valor do

investimento esperado, a emissão total de gases evitados e o retorno financeiro pela compensação de carbono, além dos valores das variáveis estocásticas, da TIR e do VPL para o pior e melhor caso da simulação.

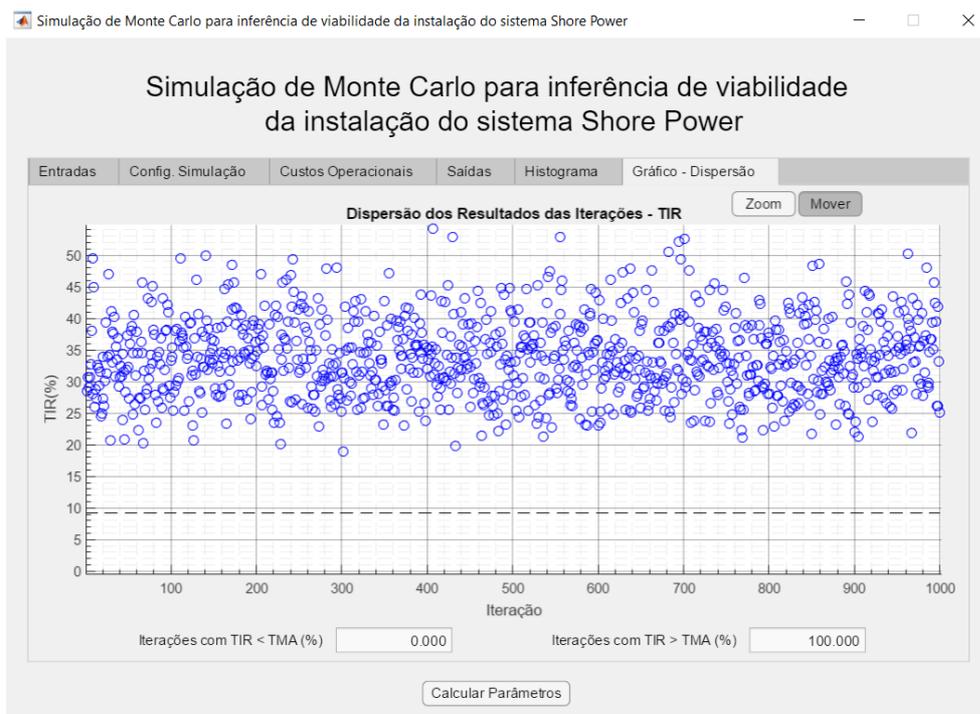
Já a quinta tela, da Figura 27, mostra de forma gráfica a frequência em que os valores da Taxa Interna de Retorno (TIR) foram obtidos na simulação de Monte Carlo.



**Figura 27 - Tela "Histograma" do aplicativo**

Como é possível observar na Figura 27, os valores da TIR estão divididos em intervalos de 5% para facilitar a visualização. Além disso, o sistema fornece a média amostral e o desvio padrão deste resultado, de forma a favorecer a interpretação dos resultados.

Por fim, a última tela apresenta os resultados individuais obtidos na simulação na forma de um gráfico de dispersão, como mostrado na Figura 28.



**Figura 28 - Tela "Gráfico - Dispersão" do aplicativo**

Este gráfico além de apresentar o produto da TIR de cada uma das iterações de Monte Carlo, também mostra, através de uma linha tracejada, o valor da Taxa Mínima de Atratividade (TMA), para facilitar a interpretação dos resultados da simulação.

### 4.3.2 Comparação dos resultados do aplicativo

De forma a demonstrar que os resultados fornecidos pelo aplicativo são os mesmos obtidos no item 4.1, foi proposto uma comparação dos resultados. Para isso, partiu-se de uma premissa que é a de que não será feita a simulação de Monte Carlo para essa comparação, uma vez que este método não foi realizado no item 4.1. Também não foram considerados os custos operacionais nesta análise, pelo mesmo motivo.

Portanto, na tela de configuração da simulação (Figura 24), as variáveis estocásticas utilizarão os limites de variação inferior e superior em 0%, além de utilizar a distribuição de probabilidades uniforme.

Além disso, foi utilizado o banco de dados das atracções no Porto de Santos no ano de 2020 como referência para a análise, assim como foi feito no item 4.1. Desta forma, a primeira tela do aplicativo ficou conforme mostra a Figura 29, a seguir:

**Simulação de Monte Carlo para inferência de viabilidade da instalação do sistema Shore Power**

Entradas	Config. Simulação	Custos Operacionais	Saídas	Histograma	Gráfico - Dispersão
Número de Berços	<input type="text" value="73"/>		Procurar	C:\Users\Lucas\Desktop\Lucas\Pós Graduação\IFRJ\Autor	
Taxa de Inflação (%)	<input type="text" value="5.6"/>		Total de Atracações	Tempo Médio de Atracações (h)	Consumo da Embarcaçã
Taxa Mínima de Atratividade (%)	<input type="text" value="9.25"/>		254.00	25.74	
Período para análise (anos)	<input type="text" value="25"/>		6.00	24.99	
Dados de Literatura			269.00	24.37	
<input checked="" type="checkbox"/> Deseja alterar algum dos parâmetros abaixo?			9.00	25.32	
Custo de Instalação por Berço (USD)	<input type="text" value="667938.93"/>		251.00	25.54	
Comp. de Carbono (US\$/ton)	<input type="text" value="50.00"/>		2.00	26.29	
Taxa de Conversão kWh para ton	<input type="text" value="0.000217"/>		5.00	59.16	
Emissão de CO2 (g/Kwh)	<input type="text" value="690"/>		151.00	49.52	
Emissão de CH4 (g/Kwh)	<input type="text" value="0.09"/>		130.00	59.08	
Iterações de Monte Carlo	<input type="text" value="1000"/>		1.00	16.50	
			1.00	144.92	
			41.00	105.68	
			40.00	104.61	
			4.00	32.50	
			61.00	77.07	
			22.00	75.00	
			Adicionar Uma Linha    Apagar Última Linha    Apagar Todos as Linhas		
			Calcular Parâmetros		

**Figura 29 - Tela "Entradas" para a comparação dos resultados do Porto de Santos**

Para comparar os resultados, foram escolhidos os valores de Investimento Total, TIR, VPL de ambas as análises. Os valores obtidos em cada uma destas encontram-se na Tabela 30, a seguir, assim como o erro relativo entre estes.

**Tabela 30 - Comparação dos resultados da análise manual x aplicativo**

Parâmetro	Resultados		Erro Relativo
	Cálculo Manual	Aplicativo	
Investimento Total	R\$ 255.500.000,00	R\$ 255.499.999,50	$1,96 \times 10^{-7} \%$
Taxa Interna de Retorno (TIR)	24,790%	24,806%	$-6,45 \times 10^{-2} \%$
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 480.557.165,21	R\$ 481.480.928,12	$-1,93 \times 10^{-1} \%$

Desta forma, percebe-se que apesar de existir discrepância entre os resultados encontrados, esta diferença é muito baixa, menor que 0,1%, mostrando a eficácia do aplicativo.

### 4.3.3 Utilização da simulação de Monte Carlo para análise de viabilidade econômica no Porto de Santos

Para exemplificar a aplicação da simulação de Monte Carlo na análise de viabilidade econômica, será utilizado o Porto de Santos como base de estudo, assim como foi feito nos itens 4.2.5 e 4.3.2. Para isso, utilizou-se a mesma metodologia do item anterior, diferindo apenas na utilização do método de Monte Carlo. Portanto, os parâmetros que foram alterados

para essa aplicação ser possível encontram-se na Tabela 31, a seguir.

**Tabela 31 - Alterações necessárias para a aplicação do Método de Monte Carlo no aplicativo**

Parâmetro	Valores Utilizados	
	Sem o Método de Monte Carlo	Com o Método de Monte Carlo
Número de Iterações	1.000	10.000
Lim. Inferior de Variação – Câmbio do Dólar	0%	-30%
Lim. Superior de Variação – Câmbio do Dólar	0%	+60%
Lim. Inferior de Variação – Combustível Marítimo	0%	-40%
Lim. Superior de Variação – Combustível Marítimo	0%	+20%
Lim. Inferior de Variação – Tarifa Energética	0%	-30%
Lim. Superior de Variação – Tarifa Energética	0%	+20%

Além disso, também foram considerados os custos operacionais, cujos valores são mostrados na Figura 30, a seguir:

**Simulação de Monte Carlo para inferência de viabilidade da instalação do sistema Shore Power**

Entradas	Config. Simulação	Custos Operacionais	Saídas	Histograma	Gráfico - Dispersão
Referência de Custo Operacional (R\$)		<input type="text" value="10219999.98"/>			
Custo Anual Operacional (R\$)		<input type="text" value="201600.00"/>			
Percentual sobre Referência (%)		<input type="text" value="1.9726"/>			
<b>Custos Anuais de Operação</b>			<b>Custos Anuais de Administração</b>		
Custo (R\$)		<input type="text" value="25200.00"/>	Custo (R\$)		<input type="text" value="25200.00"/>
Percentual sobre Referência (%)		<input type="text" value="0.246575"/>	Percentual sobre Referência (%)		<input type="text" value="0.246575"/>
<b>Custos Anuais de Manutenção</b>			<b>Custos Anuais de Amortização</b>		
Custo (R\$)		<input type="text" value="37800.00"/>	Custo (R\$)		<input type="text" value="25200.00"/>
Percentual sobre Referência (%)		<input type="text" value="0.369863"/>	Percentual sobre Referência (%)		<input type="text" value="0.246575"/>
<b>Custos Anuais de Seguro</b>			<b>Custos Anuais de Depreciação</b>		
Custo (R\$)		<input type="text" value="50400.00"/>	Custo (R\$)		<input type="text" value="25200.00"/>
Percentual sobre Referência (%)		<input type="text" value="0.493151"/>	Percentual sobre Referência (%)		<input type="text" value="0.246575"/>
			<b>Custos Anuais - Outros</b>		
			Custo (R\$)		<input type="text" value="12600.00"/>
			Percentual sobre Referência (%)		<input type="text" value="0.123288"/>
<input type="button" value="Calcular Parâmetros"/>					

**Figura 30 - Valores utilizados para a análise de viabilidade econômica no Porto de Santos**

Desta forma, os principais resultados obtidos nesta análise encontram-se na Tabela 32. Já a Figura 31 e Figura 32 mostram o histograma e o gráfico de dispersão, respectivamente, derivados desta simulação.

Tabela 32 - Resultados da análise do aplicativo para o Porto de Santos

Parâmetro	Resultado Encontrado	Unidade
Investimento Total	255.499.999,50	R\$
Preço do Combustível para o Pior Caso	1.620,63	R\$/ton
Preço da Energia Elétrica para o Pior Caso	436,34	R\$/kWh
Câmbio do Dólar para o Pior Caso	3,68	R\$/US\$
Preço do Combustível para o Melhor Caso	3.138,45	R\$/ton
Preço da Energia Elétrica para o Melhor Caso	262,61	R\$/kWh
Câmbio do Dólar para o Melhor Caso	6,43	R\$/US\$
TIR para os valores atuais	28,762	%
TIR para o pior caso	1,797	%
TIR para o melhor caso	44,598	%

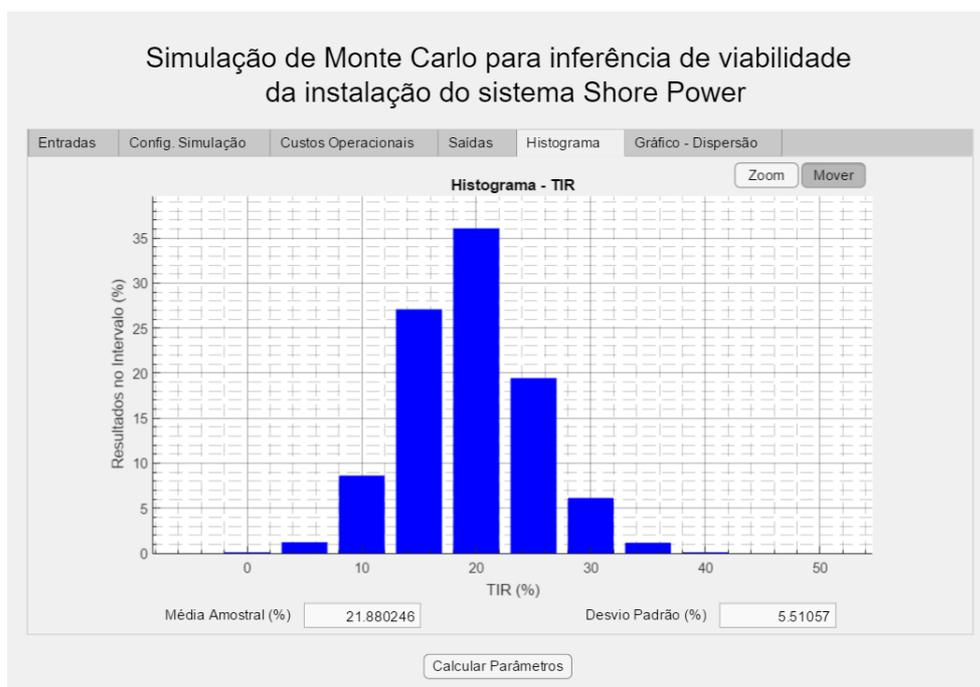
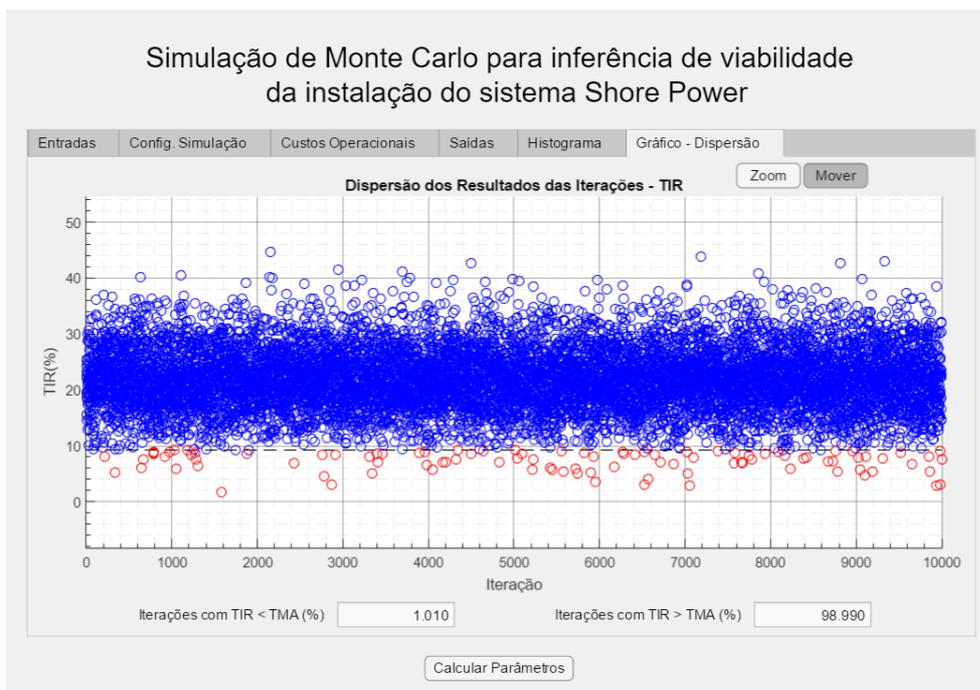


Figura 31 - Histograma resultante da análise do aplicativo para o Porto de Santos



**Figura 32 - Gráfico de dispersão resultante da análise do aplicativo para o Porto de Santos**

Vale destacar que os círculos vermelhos, na Figura 32, representam as iterações que resultaram em TIR menor que a TMA determinada, enquanto os círculos azuis encontraram valores de TIR maior que a TMA.

Desta forma, percebe-se que a partir dos parâmetros utilizados, a média da Taxa Interna de Retorno da instalação do sistema Shore Power foi de, aproximadamente, 21,88%, sendo maior que a Taxa Mínima de Atratividade considerada, de 9,25%. Além disso, vale ressaltar que somente 1,01% das iterações resultaram em TIR menor que a TMA, onde o pior caso a TIR foi de 1,797%.

Vale destacar que, como a simulação de Monte Carlo trabalha com valores aleatórios em cada iteração, quando repetida diversas vezes, a simulação tende a obter resultados próximos, porém diferentes.

Com o objetivo de demonstrar esta situação, foi feita a mesma simulação anterior mais 24 vezes, sendo analisado, então, os valores resultantes da TIR média das iterações, para ser feita uma comparação. Os resultados desta análise encontram-se na Tabela 33, a seguir:

**Tabela 33 - Valores de TIR Média resultantes das simulações**

<b>Número da Simulação</b>	<b>TIR Média Resultante (%)</b>
1	21,880246
2	21,808125
3	21,854143
4	21,768891
5	21,829796
6	21,802433
7	21,897183
8	21,726803
9	21,807609
10	21,879157
11	21,736286
12	21,890704
13	21,917674
14	21,824048
15	21,839652
16	21,850424
17	21,740575
18	21,842633
19	21,994332
20	21,960728
21	21,723230
22	21,836341
23	21,700655
24	21,836304
25	21,833572
<b>MÉDIA</b>	<b>21,831262</b>

Desta forma, comprovou-se que, mesmo gerando valores aleatórios diferentes de uma simulação para outra, o resultado tende a ser bem próximo, com uma variação inferior a 0,2%, neste caso, facilitando, desta forma, a análise do usuário final.

## 5. Conclusões

A proposta desse trabalho foi avaliar as instalações portuárias brasileiras e identificar a viabilidade de uso da tecnologia *Shore Power*. Os resultados discutidos e apresentados na seção anterior apontam, no cenário estudado, para a viabilidade no uso da solução para as instalações do estudo. Além de ganhos com a redução na emissão de gases de efeito estufa, os indicadores financeiros demonstraram um retorno sobre o investimento bem superior à taxa mínima de atratividade considerada (9,25%).

Esse estudo focou nas principais instalações portuárias brasileiras sob à óptica de volume transportado e número de atracações, mas isso não excluiu a possibilidade de uso nas demais instalações brasileiras. De forma macro, as doze instalações portuárias são aquelas com maior potencial de uso da tecnologia, porém se observado sob uma óptica mais específica os resultados podem se tornar ainda mais favoráveis.

O preço da energia elétrica *onshore* em comparação ao preço do óleo combustível, por exemplo, é um dos principais fatores para o uso da solução. Foram utilizados dados públicos fornecidos pelos órgãos brasileiros e considerou os valores médios praticados pelo mercado e não aquele efetivamente pago por uma instalação portuária específica. Isso indica que o resultado financeiro pode ser ainda melhor se a tarifa elétrica adquirida pela instalação for mais barata que aquela utilizada como parâmetro utilizado. Além disso, sugere-se a verificação da utilização de energias renováveis como alternativa. Explorar esse aspecto nas instalações portuárias brasileiras é uma sugestão para trabalhos futuros.

Outro fator que pode potencializar o uso da tecnologia diz respeito ao consumo elétrico efetivo dos navios quando atracados. O valor utilizado no estudo foi aquele disponível na literatura que considera valores médios por classe-tipo de navio associado a um fator de utilização durante o período no berço (*hotelling hour*). Um levantamento específico pode apontar para um tempo de uso superior àquele utilizado nesse estudo. Quanto maior o uso de energia elétrica maior o potencial de retorno financeiro utilizando *Shore Power*.

Considerando os dados históricos de movimentação portuária na última década é possível verificar que o volume de cargas transportado no país apresenta uma constância e, portanto, indicam uma tendência de continuidade para o futuro. O custo de implantação dessa tecnologia é elevado, sendo assim há a necessidade de previsibilidade para justificar a escolha do investimento.

Olhando a questão ambiental o ganho para sociedade é significativo com a redução

dos níveis de emissão de CO<sub>2</sub> e outros gases de efeito estufa além da diminuição dos níveis de vibração e ruído nas regiões portuárias. Uma política que defina a precificação do carbono no país ainda permitiria transformar esse ganho ambiental em ganho financeiro.

Apesar dos dados apresentados no estudo indicarem a viabilidade para o uso da solução pelas doze instalações portuárias brasileiras, ela só pode ser alcançada de fato com uma frota marítima preparada para utilizar esse recurso, o que não foi abordado nesse trabalho, partindo-se da premissa que os navios já estariam preparados. Esse é um dos desafios que a solução enfrenta não apenas no Brasil, mas em todo o mundo. Esse aspecto é abordado por Zis [5] em seu artigo como “*Chicken x egg conjecture*”, ou seja, as instalações portuárias não investem na tecnologia por não haver navios preparados para o uso e, por outro lado, os armadores não investem na conversão de seus navios por não haver instalações que ofereçam a solução. Nesse ponto as políticas nacionais têm papel fundamental. Incentivos ou obrigações no uso pelas embarcações é fator determinante para alcançar o potencial de uso da solução e estimular o investimento pelas instalações portuárias.

A Ferramenta “Calculadora de Viabilidade de Instalação do sistema Shore Power através da simulação de Monte Carlo” se mostrou eficiente para análise preliminares, tendo seus resultados comprovados com a análises analíticas desenvolvidas nesse estudo, considerando a métrica desenvolvida.

Como a proposta foi o a desenvolvimento do modelo matemático, para analisar variáveis de entrada inerentes ao processo de carga e descargas de navios quando estacionado no berço (atracados), indicando a viabilidade da utilização de energia *onshore* disponível do ponto de vista econômico e, como consequência, do ponto de vista ambiental.

Com relação a viabilidade técnica, uma vez que já existe produto disponível no mercado, não há maiores dificuldades quanto a implantação e fornecimento. Em se tratando das instalações brasileiros, que é o foco desse trabalho, a dificuldade técnica pode ocorrer devido a baixa qualidade e oferta da energia disponível em algumas regiões portuárias.

Apesar deste estudo não focar nas características técnicas da solução sugere-se um levantamento de equipamentos e fornecedores que já possuam dispositivos e tecnologias que possam ser usados para implementação do *Shore Power*.

Observa-se ainda que há um outro estudo a ser feito, na questão técnica e econômica de adequação da frota marítima, ou seja, sistemas nos navios adequados para receberem o fornecimento de energia elétrica via terra.

Promover uma expansão nos estudos para terminais portuários em outros países, para a devida comparação.

E finalmente , promover o estudo com a utilização de energias alternativas , em especial energias renováveis, como por exemplo com uso de Hidrogênio Verde.

## Referências Bibliográficas

- [1] L. C. Vidal *et al.*, “Sistema híbrido de fornecimento de energia de terra para embarcações atracadas em terminais portuários marítimos e fluviais com a finalidade de redução de emissões de gases na zona portuária,” BR 10 2020 016278 0, 2020
- [2] “PORTS USING OPS,” 2017. <https://sustainableworldports.org/ops/ops-installed/ports-using-ops/> (accessed May 04, 2021).
- [3] Y. Peng, M. Dong, X. Li, H. Liu, and W. Wang, “Cooperative optimization of shore power allocation and berth allocation: A balance between cost and environmental benefit,” *J. Clean. Prod.*, vol. 279, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123816.
- [4] J. Chen, T. Zheng, A. Garg, L. Xu, S. Li, and Y. Fei, “Alternative Maritime Power application as a green port strategy: Barriers in China,” *J. Clean. Prod.*, vol. 213, pp. 825–837, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.177>.
- [5] T. P. V. Zis, “Prospects of cold ironing as an emissions reduction option,” *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, vol. 119, no. March 2018, pp. 82–95, 2019, doi: 10.1016/j.tra.2018.11.003.
- [6] J. E. Gutierrez-Romero, J. Esteve-Pérez, and B. Zamora, “Implementing Onshore Power Supply from renewable energy sources for requirements of ships at berth,” *Appl. Energy*, vol. 255, no. August, 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.113883.
- [7] Eastern-Research-Group and Energy & Environmental Research Associates, “Shore Power Technology Assessment at U.S. Ports (EPA-420-R-17-004, May 2017),” March 2017, 2017. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-05/documents/420r17004-2017-update.pdf>
- [8] T.-H. Joung, S.-G. Kang, J.-K. Lee, and J. Ahn, “The IMO initial strategy for reducing Greenhouse Gas(GHG) emissions, and its follow-up actions towards 2050,” *J. Int. Marit. Safety, Environ. Aff. Shipp.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–7, 2020, doi: 10.1080/25725084.2019.1707938.
- [9] Empresa de Pesquisa Energética, “A nova regulamentação de combustíveis marítimos IMO 2020,” vol. 2019, 2020.
- [10] H. Winnes, L. Styhre, and E. Fridell, “Reducing GHG emissions from ships in port areas,” *Res. Transp. Bus. Manag.*, vol. 17, pp. 73–82, 2015, doi: 10.1016/j.rtbm.2015.10.008.
- [11] CARB, “Shore Power for Ocean-going Vessels - California Air Resources Board,” 2017.
- [12] Petrobras, “Highlights on production and sales in 3Q20,” 2020.
- [13] REN21, “Energias Renováveis 2016: Relatório da situação mundial,” *Ren21*, pp. 1–31, 2016.
- [14] V. BLASZCZAK, “Análise de Eficiência de Painel Fotovoltaico com Sistema Tracker

- Seguidor Solar,” Universidade Federal da Fronteira Sul, 2017.
- [15] B. L. F. CABRAL, Thiago Cezario; SANTOS, “Geração de Energia Elétrica e Eficiência Energética a Bordo de Navios – Ênfase em Uso de Energias Renováveis,” Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, 2016.
- [16] F. C. Maciel, “Sistema alternativo de fornecimento de energia elétrica para navios mercantes atracados,” 2018.
- [17] ANTAQ, “Sistema de Desempenho Portuário.”
- [18] M. Tichavska and B. Tovar, “Port-city exhaust emission model: An application to cruise and ferry operations in Las Palmas Port,” *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, vol. 78, pp. 347–360, Aug. 2015, doi: 10.1016/j.tra.2015.05.021.
- [19] T. Zis and H. N. Psaraftis, “Operational measures to mitigate and reverse the potential modal shifts due to environmental legislation,” *Marit. Policy Manag.*, vol. 46, no. 1, pp. 117–132, Jan. 2019, doi: 10.1080/03088839.2018.1468938.
- [20] CARB, “Shore Power for Ocean-going Vessels,” 2017. Accessed: Apr. 28, 2021. [Online]. Available: <http://www.arb.ca.gov/ports/shorepower/faq/faq.htm>
- [21] J. Qi, S. Wang, and C. Peng, “Shore power management for maritime transportation: Status and perspectives,” *Marit. Transp. Res.*, vol. 1, no. October, p. 100004, 2020, doi: 10.1016/j.martra.2020.100004.
- [22] V. Trellevik, “Onshore Power Supply for Cruise Vessels Assessment of opportunities and limitations for connecting cruise vessels to shore power,” 2018.
- [23] “IEC/IEEE International Standard - Utility connections in port -- Part 1: High voltage shore connection (HVSC) systems -- General requirements,” *IEC/IEEE 80005-1:2019*, pp. 1–78, 2019, doi: 10.1109/IEEESTD.2019.8666180.
- [24] ABB, “Shore Connection - Electric Solutions | ABB Marine & Ports.”
- [25] Cavotec, “Shore Power - Cruise Ships, Vessels & Ports.”
- [26] Siemens, “SIHARBOR Solutions.”
- [27] H. Davarzani, B. Fahimnia, M. Bell, and J. Sarkis, “Greening ports and maritime logistics: A review,” *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 48, pp. 473–487, 2016, doi: 10.1016/j.trd.2015.07.007.
- [28] U. N. C. on T. and D.- UNCTAD, “UNCTAD - Review of Maritime Transport 2020,” 2020.
- [29] ANTAQ, “RESOLUÇÃO N° 3.274, DE 6 DE FEVEREIRO DE 2014,” 2014. [https://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/30051132/do1-2014-02-07-resolucao-n-3-274-de-6-de-fevereiro-de-2014-30051128](https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/30051132/do1-2014-02-07-resolucao-n-3-274-de-6-de-fevereiro-de-2014-30051128) (accessed Apr. 25, 2021).
- [30] J. Hoffman *et al.*, “Review of Maritime Transport,” New York and Geneva, 2018.

- Accessed: Apr. 20, 2021. [Online]. Available: [https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2018\\_en.pdf](https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2018_en.pdf)
- [31] S. D. G. MÜLLER, “A influência das condições operacionais na pontualidade do transporte marítimo.” São Bernardo do Campo, p. 134, 2020. doi: 10.31414/EM.2020.D.131232.
- [32] M. R. MEIRELLES, “Sistemas Híbridos e a Geração de Energia Elétrica a bordo de navios.” Marinha do Brasil, Rio de Janeiro, p. 43, 2013. [Online]. Available: <http://www.redebim.dphdm.mar.mil.br/vinculos/000003/00000360.pdf>
- [33] P. of Rotterdam, “THE SMARTEST PORT IN THE WORLD. BOUNDLESS AMBITION.,” Rotterdam, 2019. [Online]. Available: <https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/the-worlds-smartest-port-port-of-rotterdam-publieksfolder-2019-en.pdf>
- [34] “Rotterdam terá energia em terra para navios até 2030,” *Portos e Navios*, 2020. <https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/rotterdam-tera-energia-em-terra-para-navios-ate-2030#:~:text=O município de Rotterdam e,atracar no cais do porto.> (accessed Apr. 29, 2021).
- [35] M. and Markets, “Global Shore Power Market (2020 to 2025) - Retrofitting Older Ships and Ports Presents Opportunities - ResearchAndMarkets.com,” Dublin, 2020. [Online]. Available: <https://apnews.com/press-release/business-wire/4cad124fbd7a492e815b42396200177a>
- [36] G. maritime energy efficiency Partnerships, “SHORE POWER - Applicability and assumptions.” 2021. [Online]. Available: <https://glomeep.imo.org/technology/shore-power/>
- [37] R. M. Darbra, C. Wooldridge, and M. Puig, “ESPO Environmental Report 2020 EcoPorts in Sights 2020,” Bruxelas, 2020. [Online]. Available: <https://www.espo.be/media/Environmental Report-WEB-FINAL.pdf>
- [38] M. T. Hossain, “Assessment of Sustainability Initiatives in Port Operations: an Overview of Global and Canadian Ports,” no. April, 2018.
- [39] *LEI No 10.233, DE 5 DE JUNHO DE 2001*. Brazil, 2001.
- [40] ANTAQ, “Índice de Desempenho Ambiental - IDA”.
- [41] E. M. M. D. Casseres, “Potencial de mitigação das emissão de CO<sub>2</sub> do transporte marítimo Internacional: uma análise baseada em cenários para o caso dos navios-tanque de tanque de petróleo bruto,” *Diss. PPE*, p. 169, 2018.
- [42] R. P. e Navios, “Codesp quer fornecer energia elétrica para navios atracados no Porto,” 2018.
- [43] M. de M. e E. N. de E. Elétrica/Diretoria/ANEEL, *RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 819, DE 19 DE JUNHO DE 2018*. 2018.
- [44] B. Stolz, M. Held, G. Georges, and K. Boulouchos, “The CO<sub>2</sub> reduction potential of

- shore-side electricity in Europe,” *Appl. Energy*, vol. 285, no. June 2020, p. 116425, 2021, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.116425.
- [45] M. do M. Ambiente, “Portal EduClima,” 2018.
- [46] Empresa de Pesquisa Energética (Brasil), “Balanço Energético Nacional 2020,” *Rio Janeiro EPE*, pp. 7–295, 2020.
- [47] B.-B. 2019, “What is BRICS.”
- [48] F. P. Nivalde de Castro, Dorel Ramos, Roberto Brandão, P. D. Paulo de Moraes, João Paulo Galvão, Alejandro Arnau, and G. D. e A. L. Rubens Rosental, *As Tarifas de Energia Elétrica no Brasil e em Outros Países: O Porquê das Diferenças*. Rio de Janeiro: Ed. Fábrica de Livros, 2017.
- [49] ANEEL, *PORTARIA N 514, de 27 de Dezembro de 2018*. 2018.
- [50] D. A. Lima and D. N. T. Paula, “Free contract environment for big electricity consumer in Brazil considering correlated scenarios of energy, power demand and spot prices,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 190, no. August 2020, p. 106828, 2021, doi: 10.1016/j.epsr.2020.106828.
- [51] E. de P. E.- EPE, “Premissas e Custos da Oferta de Energia Elétrica no horizonte 2050,” 2018.
- [52] W. Bank, “Carbon Pricing Leadership Report 2019/20,” pp. 1–79, 2020.
- [53] CEBDS, “Carbon Pricing in Brazilian Industry: a strategic initiative,” 2018.
- [54] A. L. P. Melo and B. S. Silva, “Projeto PMR Brasil: perspectivas sobre o mercado brasileiro de redução de emissões,” *Legado do MDL impactos e lições aprendidas a partir da implementação do Mec. Desenvolv. Limpo no Bras.*, pp. 357–375, 2018, doi: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/9502>.
- [55] M. da Economia, “Partnership for Market Readiness (PMR),” *11/13/2020*. 2020. [Online]. Available: <https://www.gov.br/produtividade-e-comercio-exterior/pt-br/assuntos/competitividade-industrial/pmr/partnership-for-market-readines-pmr>
- [56] VALE, “Climate Change.”
- [57] World Bank, “Report of the High-Level Commission on Carbon Prices,” 2017.
- [58] D. World Bank, Washington, “World Bank, 2020. Carbon Pricing Leadership Report 2019/20,” 2020.
- [59] “SSE 5 - REPORT OF THE FIFTH SESSION OF THE IMO SUB-COMMITTEE ON SHIP SYSTEMS AND EQUIPMENT (SSE) - 12 TO 16 MARCH 2018,” 2018.
- [60] C. A. Pereira, R. Guerreiro, and D. A. Marcondes, “Modelo de Simulação de Preços em Ambientes de Incerteza,” *Encontro da ANPAD*, 2004.
- [61] A. F. da Silva, M. de F. F. da Silva, and F. A. S. Marins, “Otimização Estocástica com Múltiplos Objetivos e Simulação de Monte Carlo no Desenvolvimento de Estratégia de

- Vendas,” *PODes - Revista Eletrônica Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, Rio de Janeiro, pp. 35–53, 2014.
- [62] P. Rogers, D. Rogers, and K. C. de S. Ribeiro, “Avaliando os Riscos nas Decisões de Orçamento Empresarial: Uma Aplicação Prática do Método de Monte Carlo,” Porto Seguro, 2004.
- [63] J. L. da Paixão, D. A. C. Lima, F. G. Fabrin, G. C. Santana, L. B. Baldissera, and R. N. da Silva, “Métodos Matemáticos de Modelagem e Otimização: Teoria e Aplicações do Método de Monte Carlo,” *XXVI Jorn. Pesqui.*, 2021.
- [64] G. C. B. Leite, “O uso da simulação de Monte Carlo em análise de viabilidade econômico-financeira de projetos de investimento: um estudo de caso,” Universidade de Brasília, 2009.
- [65] D. Cardoso and H. F. Amaral, “O Uso da Simulação de Monte Carlo na Elaboração do Fluxo de Caixa Empresarial: Uma Proposta para Quantificação das Incertezas Ambientais,” Universidade Federal de Minas Gerais, 2000.
- [66] N. G. Becchi, “Simulação de Monte Carlo para o estudo do limite de inserção de geração distribuída em redes de distribuição de energia,” Univates - Universidade do Vale do Taquari, 2018.
- [67] S. Raychaudhuri, “Introduction to Monte Carlo Simulation,” *Proc. 2008 Winter Simul. Conf.*, 2008.
- [68] J. D. de Almeida, “Aplicação do Método Monte Carlo na comparação com estimativas de orçamento,” Universidade Federal do Paraná, 2010.
- [69] M. B. Z. Garcia, “Simulação de Monte Carlo de Baixa Discrepância Aplicada a Análise de Investimentos,” Universidade Estadual Paulista, 2016.
- [70] N. Metropolis, A. W. Rosenbluth, M. N. Rosenbluth, and A. H. Teller, “Equation of State Calculations by Fast Computing Machines,” *J. Chem. Phys.*, vol. 21, no. 6, 1953.
- [71] J. Maziero, “Introdução ao Método Monte Carlo: Exemplos de Aplicação,” Universidade Federal de Santa Maria, 2007.
- [72] N. Chen and L. J. Hong, “Monte Carlo Simulation in Financial Engineering,” 2008. doi: 10.1109/WSC.2007.4419688.
- [73] H. J. Bortolossi, “Números (Pseudo) Aleatórios, Probabilidade Geométrica, Métodos de Monte Carlo e Estereologia,” *Proj. Klein em Língua Port.*, p. 5, 2006.
- [74] N. R. dos S. Machado and A. O. Ferreira, “Método de Simulação de Monte Carlo em Planilha Excel,” *Revista de Ciências Gerenciais*, São Paulo, Nov. 2012.
- [75] Ministério da Infraestrutura, “Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ).”
- [76] IMO International Maritime Organization, *REVISED GUIDELINES FOR THE ONBOARD OPERATIONAL USE OF SHIPBORNE AUTOMATIC IDENTIFICATION*

- SYSTEMS (AIS)*, vol. 151, no. 1. 2015, pp. 10–17.
- [77] ANTAQ, “Estatístico Aquaviário.”
- [78] L. Corbetta, “Cavotec ’ s shore power innovation hits new highs,” pp. 84–86, 2013.
- [79] A. Brasil, “Pesquisa do IBGE mostra concentração de riqueza no país em 2018,” 2020.
- [80] T. Zis, R. J. North, P. Angeloudis, W. Y. Ochieng, and M. G. H. Bell, “Environmental Balance of Shipping Emissions Reduction Strategies,” *Transp. Res. Rec.*, vol. 2479, no. 1, pp. 25–33, 2015, doi: 10.3141/2479-04.
- [81] Lloyd’s Register, “LR Ships in Class - Lloyd’s Register online register of Classed Ships.”
- [82] DNV GL, “DNV Vessel Register.”
- [83] MarineTraffic, “MarineTraffic: Global Ship Tracking Intelligence | AIS Marine Traffic.”
- [84] VesselFinder, “Free AIS Ship Tracking of Marine Traffic - VesselFinder.”
- [85] EPA, “Shore Power Technology Assessment at U.S. Ports,” no. March, 2017.
- [86] D. P. McArthur and L. Osland, “Ships in a city harbour: An economic valuation of atmospheric emissions,” *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 21, pp. 47–52, 2013, doi: 10.1016/j.trd.2013.02.004.
- [87] IHS Markit, “StatCode 5 Shiptype Coding System,” 2018.
- [88] Agência Nacional de Transportes Aquaviários, “Boletim Aquaviário 4º trimestre - 2020,” 2020.
- [89] IMO *et al.*, “Third IMO Greenhouse Gas Study 2014,” *Int. Marit. Organ.*, p. 327, 2014, doi: 10.1007/s10584-013-0912-3.
- [90] California Environmental Protection Agency, “2005 OCEANGOING SHIP SURVEY SUMMARY OF RESULTS September 2005,” 2005.
- [91] C. Trozzi, “Emission estimate methodology for maritime navigation,” 2006.
- [92] California Air Resources Board. Planning and Technical Support Division, “Appendix D: Emissions Estimation Methodology for Ocean-Going Vessels,” 2011.
- [93] DNV GL, “SEA BEIJING - DNV Vessel Register.”
- [94] M. E. Solutions, “Propulsion | MAN Energy Solutions.”
- [95] X. Peng, Y. Wen, L. Wu, C. Xiao, and C. Zhou, “A sampling method for calculating regional ship emission inventories,” vol. 89, no. November, 2020.
- [96] R. Besso, “Sistema Solar Fotovoltaico Conectado à Rede - Estudo de Caso no Centro de Tecnologia da UFRJ,” Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017.

- [97] CRESESB/CEPEL, “Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.” Rio de Janeiro, pp. 1–530, 2014.
- [98] B. A. RODY, Henrique Apolinário; LUDUCENE, Waltemir Aparecido; SOUZA, Thales Bastos; PEREIRA, “INFRAESTRUTURA FOTOVOLTAICA NO PROJETO DE URBANIZAÇÃO E CICLOVIA NO CONTORNO DA UNIVERSIDADE FEDERAL,” pp. 1–16, 2016.
- [99] J. T. C. Wright and A. M. Pereira, “Levantamento e Análise de Métodos de Elaboração e Utilização de Cenários nas Empresas Brasileiras,” *Pesquisa Quantitativa Política dos Negócios e Economia de Empresas*. VII SEMEAD - Seminários em Administração, São Paulo, 2004.
- [100] T. A. Cruse, “Monte Carlo Simulation,” in *Reliability-based Mechanical Design*, 1st ed., CRC Press, 1997.
- [101] Bradesco, “Projeções Bradesco Longo Prazo,” 2022.
- [102] S. F. A. de B. Bastos, “Teorema de Wilks: uma abordagem Teórica e Assintótica via Simulação de Monte Carlo,” Universidade Federal Fluminense, 2014.
- [103] R. Y. Rubinstein and D. P. Kroese, *Simulation and the Monte Carlo Method*, Third Edit. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2016.
- [104] ANEEL, “A ANEEL - Conheça a Agência de Energia Elétrica - ANEEL.”
- [105] Vale, “Vale.com.”
- [106] VALE, “Vale Energy.”
- [107] EMSD, “Feasibility Study and Preliminary Design of the On-shore Power System for the Kai Tak Cruise Terminal,” no. June 2015, 2015.
- [108] C. E. Delft, “Cost benefit calculation tool onshore power supply - Methodological note,” pp. 1–7, 2016.
- [109] B. C. do Brasil, “Metas para a inflação.” 2021. [Online]. Available: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/metainflacao>
- [110] J. D. De Lima, M. G. Trentin, G. A. Oliveira, D. R. Batistus, and D. Setti, “A systematic approach for the analysis of the economic viability of investment projects,” *Int. J. Eng. Manag. Econ.*, vol. 5, no. 1/2, p. 19, 2015, doi: 10.1504/ijeme.2015.069887.
- [111] B. C. do Brasil, “Selic interest rate.”
- [112] P. da República, “Disposições legais que regulam a exploração de portos organizados e de instalações portuárias.” p. Presidência da República. [Online]. Available: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2021/decreto/d10672.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/decreto/d10672.htm)
- [113] L. SIQUEIRA, “Estudo do Dimensionamento e da Viabilidade Econômica de Microgerador Solar Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica,” Universidade Federal de

- Juiz de Fora, 2015.
- [114] G. B. Cassiano, “Análise de Geração de Energia Solar Fotovoltaica: Estudo de Caso de um Supermercado no Mato Grosso do Sul,” Universidade Federal Mato Grosso do Sul, 2020.
- [115] J. A. Dassi, A. Zanin, F. M. Bagatini, A. Tibola, R. Barichello, and G. D. de Moura, “Análise da Viabilidade Econômico-Financeira da Energia Solar Fotovoltaica em uma Instituição de Ensino Superior do Sul do Brasil,” *XXII Congr. Bras. Custos*, p. 16, 2015.
- [116] A. PERIN, “Análise da Influência de Diferentes Estratégias de Arrefecimento no Desempenho e Durabilidade de Inversores de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede,” Universidade do Rio Grande do Sul, 2016.
- [117] F. Frezatti, *Gestão da viabilidade econômico-financeira dos projetos de investimento*. São Paulo: Atlas, 2008.
- [118] L. J. GITMAN, *Princípios de Administração Financeira*, 12th ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.
- [119] Í. P. SANTOS, “Integração de Painéis Solares Fotovoltaicos em Edificações Residenciais e sua Contribuição em um Alimentador de Energia de Zona Urbana Mista,” Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.
- [120] Thiago de Souza Santos, “Contratação de Energia Elétrica por Grandes Consumidores no Mercado Cativo e no Mercado Livre,” Universidade Federal de Santa Catarina, 2020.
- [121] V. de C. Machado and R. M. Barassuol, “Viabilidade econômico-financeira da migração do mercado cativo para o mercado livre de energia: um estudo de caso da universidade de Cruz Alta,” *Semin. Int. sobre Desenvolv. Reg.*, p. 23, 2019.
- [122] EPE, “Caderno de Preços da Geração,” 2021, [Online]. Available: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-622/CadernodePreçosdeGeração\\_r0.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-622/CadernodePreçosdeGeração_r0.pdf)

## ANEXO A – Certificado INPI - “Calculadora de Viabilidade de Instalação do sistema Shore Power através da simulação de Monte Carlo”




REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL  
MINISTÉRIO DA ECONOMIA  
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL  
DIRETORIA DE PATENTES, PROGRAMAS DE COMPUTADOR E TOPOGRAFIAS DE CIRCUITOS INTEGRADOS

### Certificado de Registro de Programa de Computador

Processo Nº: **BR512022001029-1**

O Instituto Nacional da Propriedade Industrial expedir o presente certificado de registro de programa de computador, válido por 50 anos a partir do 1º de janeiro subsequente à data de 30/03/2022, em conformidade com o §2º, art. 2º da Lei 9.609, de 13 de Fevereiro de 1998.

**Título:** Calculadora de Viabilidade de instalação do sistema Shore Power através da simulação de Monte Carlo

**Data de publicação:** 30/03/2022

**Data de criação:** 30/03/2022

**Titular(es):** INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO DE JANEIRO (IFRJ)

**Autor(es):** LEONARDO DE CARVALHO VIDAL; LUCAS DE PAULA AZEVEDO; TALES CLEBER PIMENTA; NEWTON MARCISO PEREIRA

**Linguagem:** C

**Campo de aplicação:** EC-09; IN-03

**Tipo de programa:** IA-01; SM-01

**Algoritmo hash:** OUTROS

**Resumo digital hash:** 8a788251a6aca000d7c0759595a6b4d

**Expedido em:** 17/05/2022



15 de Novembro  
REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL  
de 1889

Aprovado por:  
Joelson Gomes Pequeno  
Chefe Substituto da DIPTO - PORTARIA/INPI/DIRPA Nº 02, DE 10 DE FEVEREIRO DE 2021