

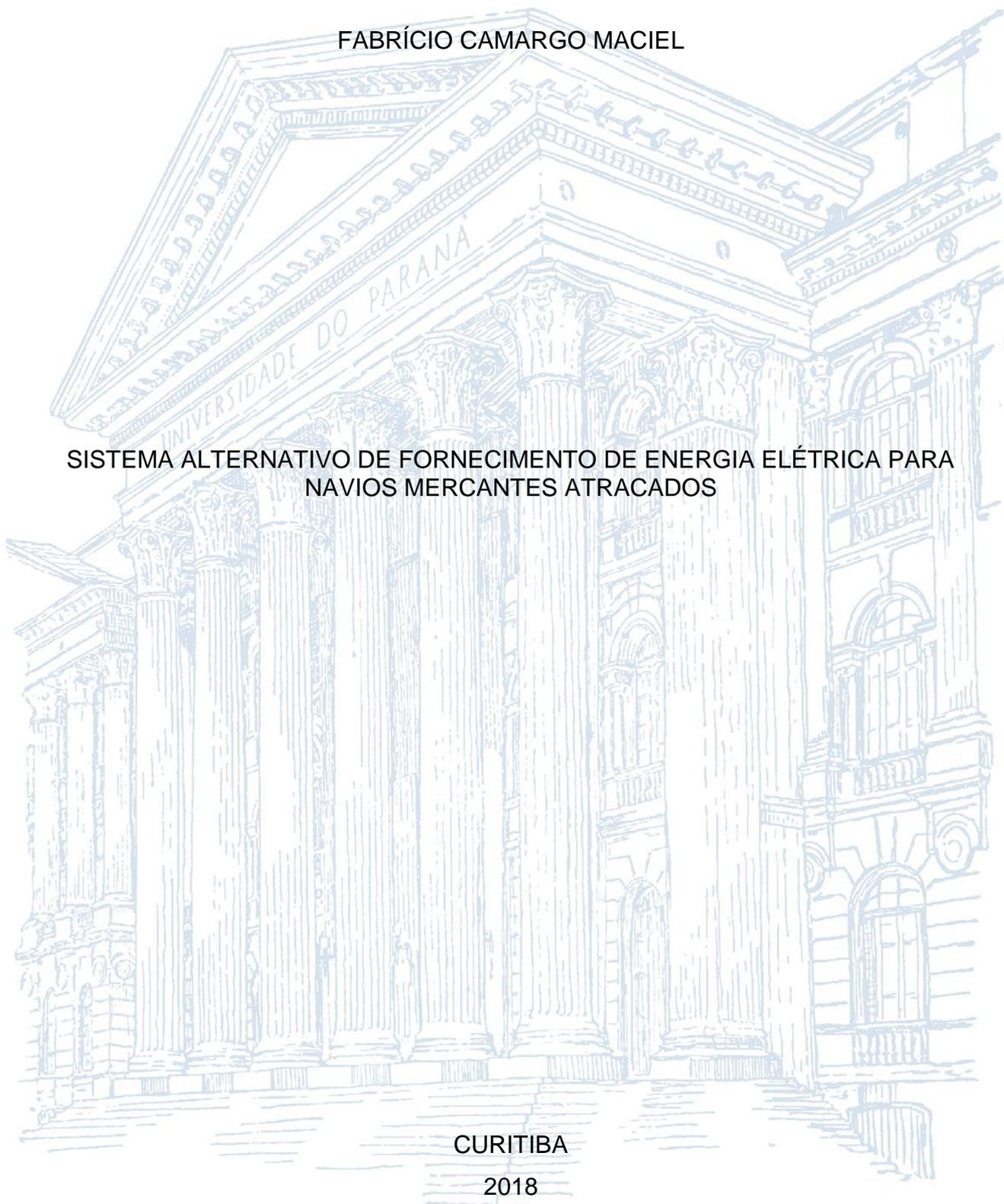
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FABRÍCIO CAMARGO MACIEL

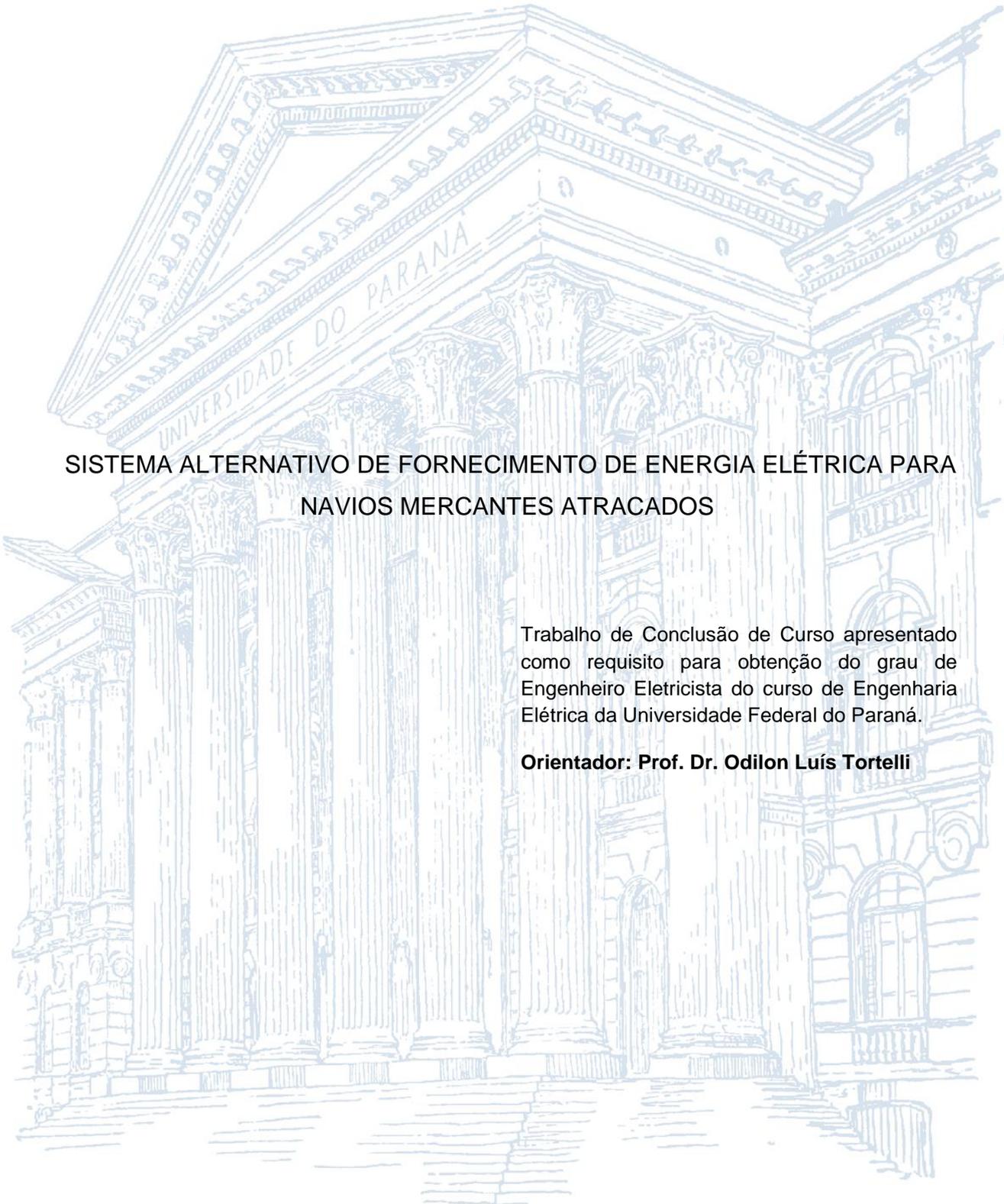
SISTEMA ALTERNATIVO DE FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA  
NAVIOS MERCANTES ATRACADOS

CURITIBA

2018



FABRÍCIO CAMARGO MACIEL



SISTEMA ALTERNATIVO DE FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA  
NAVIOS MERCANTES ATRACADOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como requisito para obtenção do grau de  
Engenheiro Eletricista do curso de Engenharia  
Elétrica da Universidade Federal do Paraná.

**Orientador: Prof. Dr. Odilon Luís Tortelli**

CURITIBA

2018

Dedico este trabalho à minha família,  
Maria, Joel e Lucas, por toda a ajuda  
que me deram ao longo do curso.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao longo desta jornada dentro da engenharia elétrica, tive a sorte e satisfação de contar com pessoas fantásticas que me fizeram evoluir tanto quanto profissional quanto ser humano. Mesmo estando em uma cidade distante de minha origem sempre me senti em casa graças aos amigos que aqui cultivei e que certamente levarei para o resto da vida.

Meus pais foram peças fundamentais para que eu recebesse a estrutura básica de ensino que me levou a sonhar mais alto e agora culmina neste trabalho de conclusão de curso. Meu irmão em especial foi meu maior companheiro nesta jornada com quem dividi todas as alegrias, dificuldades e aprendizados.

Os grandes amigos que fiz estarão para sempre em meu coração, ao lado deles consegui suportar incontáveis manhãs, tardes e madrugadas estudando e aprendendo a tirar o melhor dos desafios que a formação propõe. Sempre que tive dificuldades, dúvidas ou mesmo me senti para baixo pude sempre contar com eles. Os levarei por toda vida.

Também em meu estágio fui muito afortunado em conhecer profissionais fantásticos. Sou grato por todo os ensinamentos que recebi e por tantas oportunidades de mostrar meu trabalho e capacidade, certamente foi um fator chave em meu desenvolvimento.

E dentre tantas pessoas especiais, não poderia deixar de citar um agradecimento especial ao professor, amigo e orientador, Prof. Dr. Odilon Luís Tortelli. Desde de o início de minha formação tive a boa sorte de ter feito as disciplinas de Dispositivos Eletrônicos e Introdução aos Sistemas de Energia Elétrica sob a regência dele. E ao final do curso tive uma maior sorte ainda de poder contar com ele como meu orientador que deu todo o suporte acadêmico necessário para o desenvolvimento do trabalho de conclusão de curso, a ele agradeço pela ajuda e por ser uma pessoa incrível.

## RESUMO

O presente trabalho de conclusão de curso tem a finalidade de apresentar o estudo da tecnologia de *Cold Ironing (Alternative Maritime Power)* nos portos brasileiros. O *Cold Ironing* é um sistema que permite que navios utilizem a rede elétrica do porto para abastecer sua demanda durante o período em que estão atracados. Há um crescente interesse no ramo da navegação em promover o avanço de sistemas como este, no entanto, o desafio de aplicar-se tal sistema é dimensionar a carga corretamente e prover instalações elétricas para o fornecimento. Ao contrário de regiões mais desenvolvidas, no Brasil o *Cold Ironing* ainda é uma tecnologia nova e ainda não foi implementada em nenhum terminal de contêineres, este estudo apresenta o conjunto de aspectos técnicos a serem colocados em pauta para implementação e um estudo de caso sobre a viabilidade de se implementar este sistema no Terminal de Contêineres de Paranaguá. Como resultado têm-se considerações sobre a viabilidade de implementação e ações necessárias para tal.

**Palavras-chave:** “*Cold Ironing*”, “*Alternative Maritime Power*”, Terminal de Contêineres.

## **ABSTRACT**

The present present final paper research has the purpose of presenting the study of the Cold Ironing technology (Alternative Maritime Power) in the Brazilian ports. Cold Ironing is a system that allows ships to use the power grid of the port to supply their demand during the period they are berthed. There is a growing interest in the navigation field in promoting the advancement of systems like this. However, the challenge of applying such a system is to properly dimension the load and provide electrical installations for the supply. Unlike more developed regions, in Brazil Cold Ironing is still a new technology and has not yet been implemented in any container terminal, this study presents the set of technical aspects to be put in place for implementation and a case study on the feasibility of implementing this system in the Container Terminal of Paranaguá. As a result, there are considerations about the feasibility of implementation and actions required to do so.

**Key words:** Cold Ironing, Alternative Maritime Power, Container Terminal.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Navio MV Isla Bella, primeiro porta contêiner movido a GNL.....	11
Figura 2: Contêineres de 20´ e 40´ do tipo Dry. ....	14
Figura 3: Contêineres do tipo Reefer. ....	14
Figura 4: AMP no porto de Shenzhen. ....	18
Figura 5: Custo do combustível para navios entre abril e maio de 2018.....	20
Figura 6: Perfil de consumo de navios. ....	23
Figura 7: Características construtivas de navios. ....	23
Figura 8: Panorama de algumas das instalações similares. ....	26
Figura 9: Porto de Paranaguá. ....	29
Figura 10: Terminal de Contêineres de Paranaguá.....	29
Figura 11: Planta de implantação geral do terminal. ....	30
Figura 12: Localização das subestações elétricas do terminal.....	31
Figura 13: Perfil elétrico interno do terminal. ....	32
Figura 14: Sistema de fornecimento de energia elétrica para navios atracados. ....	34
Figura 15: Posição sugerida para instalação de subestação para AMP. ....	35
Figura 16: Tabela de informações do navio Cap San Nicolas.....	36
Figura 17: Tabela de carga média para cada contêiner reefer.....	36
Figura 18: Panorama de algumas das instalações similares.....	37
Figura 19: Tabela 25 da NBR 14039 - Tipos de linhas elétricas. ....	38
Figura 20: Tabela 28 da NBR 14039 – Capacidades de condução de corrente.....	39
Figura 21: Painel de conexão na beira do cais para AMP no porto de Shenzhen. ...	40
Figura 22: Posição sugerida para instalação do painel de conexão à beira do cais. ....	41
Figura 23: Possíveis cenários para a previsão de carga.....	42

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
1.1. Contexto.....	11
1.1.1. TEU e tipos de contêineres .....	13
1.1.2. Contêiner Reefer .....	14
1.2. Problematização .....	15
1.3. Objetivos .....	18
1.3.1. Objetivo Geral .....	18
1.3.2. Objetivos Específicos .....	18
1.4. Escopo e limitações .....	19
1.5. Justificativa .....	19
1.6. Métodos .....	20
1.7. Estrutura .....	21
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>22</b>
2.1. Definição das características elétricas do sistema.....	22
2.1.1. Previsão da carga .....	22
2.1.2. Tensão de operação e frequência .....	24
2.2. Dimensionamento .....	26
<b>3. ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>28</b>
3.1. O Terminal de Contêineres de Paranaguá.....	28
3.2. A rede elétrica interna do TCP .....	30
3.3. A demanda energética do TCP vista pelo ponto de vista Copel .....	32
3.4. Equipamentos elétricos do sistema .....	33
3.5. Esquemático geral de conexão elétrica .....	34
3.5.1. Subestação destinada ao AMP .....	34
3.5.2. Previsão de carga para a subestação de AMP .....	35
3.5.3. Dimensionamento dos condutores .....	37
3.5.4. Condutores para conexão entre a subestação e painel de conexão ..	39
3.5.5. Painel de conexão na beira do cais.....	39
3.5.6. Condutores para conexão entre painel no cais e painel do navio .....	41
3.6. Possíveis variações de cenário.....	41
3.7. Análise dos resultados.....	42

<b>4. CONCLUSÃO.....</b>	<b>45</b>
<b>5. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>47</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Desde a invenção do motor a combustão, a queima de combustíveis tem sido uma das principais fontes de energia para movimentação de diversos meios de transporte. Assim também ocorreu com o ramo da navegação que adotou majoritariamente a queima de combustíveis como forma de propulsão para promover a movimentação dos mais variados tipos de embarcações. Na maioria dos casos, o combustível adotado é algum tipo de derivado do petróleo. No entanto, existem diversos fatores que pesam contrariamente à utilização desse tipo de energia, tais como: leis ambientais cada vez mais restritas em todo o mundo contra a emissão de gases poluentes, alto custo dos combustíveis que acompanham a variação do preço do petróleo, além do custo implícito de perda de eficiência operacional devido ao rendimento característico da queima de combustível para geração de energia elétrica.

Nesse sentido, surgiram ao longo das últimas décadas algumas iniciativas que visam amenizar os impactos acima citados. Atualmente diversas fontes de energia são vastamente pesquisadas e servem de objeto de estudo em busca de alternativas a utilização de fontes poluentes como é o caso dos derivados de petróleo. Iniciativas como GNL (gás natural liquefeito) começam a dar os primeiros passos em busca de soluções que sejam capazes de transportar pelas vias marítimas com um menor impacto ambiental. Um exemplo recente é o navio porta contêiner MV Isla Bella (figura 1). Construído em 2015 ele é o primeiro navio deste tipo movido a GNL. Há também pesquisas direcionadas a células de combustível que visam maximizar a eficiência na produção de energia e reduzir a quantidade de combustível consumida e conseqüentemente a quantidade gases emitidos. Da mesma forma, várias outras fontes energéticas estão em estágio de pesquisa visando estes mesmos fins.



Figura 1: Navio MV Isla Bella, primeiro porta contêiner movido a GNL.  
Fonte: <http://gcaptain.com/u-s-coast-guard-certifies-worlds-first-lng-containership-mv-isla-bella/>

O tema escolhido para este trabalho é associado a uma dessas iniciativas, tratando-se de um sistema alternativo de fornecimento de energia elétrica para navios mercantes atracados. Sabe-se que atualmente existem sistemas que fornecem energia elétrica da rede do porto para os navios quando atracados, de forma que, uma vez conectados à rede do porto, essas embarcações não necessitam queimar combustível para gerar energia. Sistemas como esse já encontram-se em operação em algumas partes do mundo há mais de uma década. No entanto, tais sistemas ainda são praticamente inexplorados no Brasil. Desta forma ao longo deste trabalho será apresentado uma análise técnica de viabilidade de aplicação deste tipo de tecnologia no contexto brasileiro e mais especificamente no Terminal de Contêineres de Paranaguá.

### 1.1. Contexto

O principal modal de transporte utilizado para movimentação de cargas através do globo entre os continentes é o aquaviário. Nossa sociedade como um todo está profundamente atrelada à movimentação de cargas que ocorre nas superfícies aquáticas, seja por consumir produtos que chegam através de navios ou produzindo produtos que acabam sendo exportados pelo mesmo meio.

Esse transporte de cargas se dá principalmente através de navios mercantes. Há diversos tipos de navios mercantes, também conhecidos como navios cargueiros, que podem ser agrupados nas seguintes categorias (Baptista, 2018):

Navios de transporte:

- Navios de carga geral: embarcações com capacidade de transportar carga de diversa natureza, podendo ter, para o efeito, instalações frigoríficas, tanques para líquidos, compartimentos para carga a granel, etc.
- Navios graneleiros: embarcações concebidas para o transporte de mercadoria a granel\* em porções das mesmas. São geralmente navios de grandes dimensões, sendo muito comuns navios graneleiros com capacidade para mais de 200.000 toneladas de carga.  
\* Granel: carga (cereais, carvão, líquidos etc.) transportada nos porções dos navios mercantes sem embalagem ou acondicionamento especial, sem marca de identificação ou contagem de unidades.
- Navios de passageiros: embarcações preparadas para o transporte de pessoas.
- Navios porta-contentores: embarcações que transportam carga containerizada tendo, para o efeito, células guias nos seus porções e sistemas de ancoragem próprios para acomodar carga acima destes. Possui tomadas eléctricas para parte de suas slots, tomadas essas utilizadas pelos contêineres refrigerados para manter uma temperatura apropriada. Devido à necessidade de fornecer energia eléctrica a todos os contentores a bordo, o consumo de combustível é substancialmente superior ao de um navio porta-contentores.
- Navios roll on roll off: embarcações preparadas para o transporte de automóveis.
- Navios tanque: são embarcações similares ao graneleiro construído para o transporte de líquidos, sejam eles petróleo e derivados, gás liquefeito, água, vinho e etc.

Dado o fato de que os navios porta contêineres possuem um consumo substancialmente maior de energia, devido ao fato de consumir energia extra para refrigeração de cargas perecíveis, optou-se por direcionar o escopo deste estudo a este tipo de embarcação.

#### 1.1.1. TEU e tipos de contêineres

Atualmente o uso de contêineres para transporte de carga é o principal meio para transportar cargas de alto valor agregado em todo o mundo. Os mais diversos segmentos de produtos e mercadorias utilizam este modal como forma de envio ou recebimento. Produtos como alimentos (refrigerados e não refrigerados), maquinários, bens de consumo, produtos químicos, commodities e diversas outras mercadorias são largamente movimentadas pelos navios porta contêineres. Segundo dados da ANTAQ (Agência Nacional de Transportes Aquaviários), órgão que regula, supervisiona e fiscaliza as atividades de prestação de serviços de transporte aquaviário e de exploração da infra-estrutura portuária e aquaviária no Brasil, somente em 2017, foram movimentadas mais de 105 milhões de toneladas em carga containerizada no Brasil (ANTAQ, 2018).

No entanto, é mais usual no ramo da navegação mensurar a carga de navios porta-contêineres em TEUs. O TEU (Twenty-foot Equivalent Unit) representa uma medida-padrão utilizada para calcular o volume de um container de 20 pés de comprimento, por 8 de largura e 8 de altura. O contêiner em si, é um invólucro metálico que possui características definidas por convenções internacionais a fim de padronizar e viabilizar a operação deste tipo de equipamento em todo o mundo. Na figura 2 apresentam-se as dimensões físicas de dois dos principais tipos de contêineres. Na prática, a grande maioria dos contêineres existentes são de 20 pés ou 40 pés. As ilustrações apresentadas na figura 2 são de modelos de contêineres utilizados para cargas não refrigeradas, este tipo de unidade é chamada no ramo da navegação como Dry. Este tipo de unidade não apresenta consumo de energia.

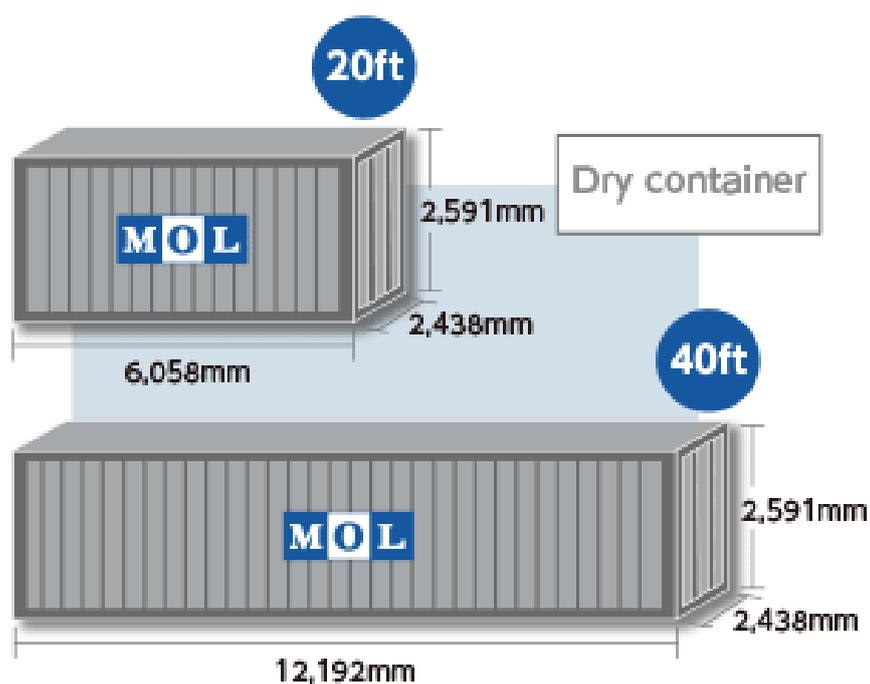


Figura 2: Contêineres de 20' e 40' do tipo Dry.  
 Fonte: [https://www.mol.co.jp/iroiro\\_fune\\_e/03product.html](https://www.mol.co.jp/iroiro_fune_e/03product.html)

### 1.1.2. Contêiner Reefer

As unidades que são responsáveis por comportar cargas perecíveis, que necessitam serem mantidas em temperaturas pré estabelecidas, são chamados contêineres Reefer. Este tipo de contêiner diferencia-se dos contêineres Dry principalmente por possuir um maquinário destinado à refrigeração do interior da unidade e por possuir um isolamento térmico em sua estrutura. A figura 3 apresenta um modelo comum de contêiner reefer.



Figura 3: Contêineres do tipo Reefer.  
 Fonte: <https://www.cma-cgm.com/products-services/reefer/containers-fleet>

A maioria dos contêineres Reefer produzidos atualmente possuem a capacidade de manter cargas em temperaturas entre  $-35^{\circ}\text{C}$  e  $+35^{\circ}\text{C}$ , sendo que a grande maioria opera em modo refrigerado. Tais unidades deste tipo comportam até 27.470 kg de carga e possuem  $63,5\text{ m}^3$  para as unidades de 40' (na prática quase todas as unidades refrigeradas são de 40'). Há toda uma área de desenvolvimento tecnológico na indústria de contêineres sobre a refrigeração neste tipo de contêiner que engloba desde as características de movimentação de ar no interior da unidade até o controle e monitoramento da temperatura medida e da temperatura desejada. No entanto, para ater-se ao escopo de interesse, este trabalho irá limitar-se ao tratamento deste tipo de unidade no âmbito do fornecimento de energia elétrica para a mesma.

Segundo a norma ISO 1496-2:2008(E) (International Organization for Standardization) (adaptado), contêineres Reefer em estado de regime permanente devem operar de acordo com as seguintes condições:

- Alimentação trifásica, a três fios em CA (corrente alternada) em:
  - a) 50 Hz: 360 V min., 460 V máx.
  - b) 60 Hz: 400 V min., 500 V máx.
- As frequências nominais (50 Hz ou 60 Hz) devem ter uma tolerância de  $\pm 2,5\%$ .
- O equipamento deve ter uma carga elétrica máxima, em condições nominais de operação, não superior a 18,75 kVA. O consumo de energia não deve exceder 15 kW.
- A corrente de partida não deve exceder 150 A.

Assim como em todo o mundo, no Brasil a carga containerizada refrigerada é largamente utilizada. No caso dos estados do sul, principalmente o Paraná, este tipo de carga é uma das principais mercadorias exportadas. Produtos como carne bovina, de aves e suína são largamente produzidas no interior do estado e movimentam diretamente e indiretamente grande parte do volume de produção. Neste sentido, faz-se necessário prover fontes de energia capazes de manter as unidades refrigeradas quando carregadas com produtos perecíveis como os citados.

## 1.2. Problematização

Navios cargueiros, assim como os demais tipos de navios, produzem diversos gases que são emitidos durante o seu funcionamento devido à queima de

combustível. Esta queima provém da necessidade de potência para que o navio se locomova. Em alguns tipos de navios, além da necessidade de potência para propulsão, há também a necessidade de produzir-se a energia elétrica para sustentar os sistemas elétricos de potência das instalações dos navios. Nesses tipos de navios destacam-se os navios porta contêineres e os cruzeiros (utilizados para fins turísticos). As quantidades de gases emitidos variam de acordo com o tamanho da embarcação, tipo de carga, velocidade do navio (em função da propulsão necessária para movimenta-lo) e diversos outros fatores.

Segundo o manual técnico de combustíveis marítimos da Petrobras:

“Os combustíveis utilizados em navios podem ser classificados em duas categorias: os residuais ou óleos combustíveis marítimos, ou ainda bunker (MF), são produzidos a partir de formulações contendo principalmente frações pesadas da destilação (resíduos) e outros óleos diluentes, e os produzidos a partir das frações mais leves do processo de refino (gasóleos atmosféricos, majoritariamente) são chamados de diesel marítimo, DMA ou marine gasoil (MGO). Os óleos bunker, apesar de poderem ser preparados com o mesmo tipo de matéria-prima residual que os óleos combustíveis industriais, diferem destes quanto à sua formulação e possuem especificações mais restritivas.” (Petrobras, 2013)

Há uma certa indefinição quanto ao aspecto quantitativo das emissões de gases poluentes por navios devido ao fato dos mesmos operarem geralmente em alto mar e por estas regiões estarem fora de fronteiras. Isso faz com que os países em geral mensurem somente as emissões que ocorrem em terra. No entanto, sabe-se que as quantidades de poluentes emitidas por navios ocupam uma importante fatia das emissões totais dos gases que produzem o efeito estufa. Nos últimos anos a Organização Marítima Internacional (OMI), que é uma agência das nações unidas responsável por questões técnicas que interessam à navegação comercial internacional, tem intensificado agendas que tem por objetivo aumentar a pressão sobre questões ambientais. Um dos principais pontos de preocupação é o índice de enxofre presente no bunker, que como já mencionado é o nome do combustível utilizado na navegação comercial. Este índice está diretamente relacionado a quantidade de enxofre liberada durante a combustão para a atmosfera. Para se ter uma ideia do impacto da poluição gerada, pode tomar-se o índice de enxofre permitido na gasolina comum utilizado nos veículos populares: no Brasil este índice é definido pela legislação em até 0,005% (50 miligramas por quilo) (Resolução ANP

Nº 40 DE 25/10/2013). Já para o combustível utilizado na navegação, o mesmo índice de enxofre é definido como limitado a até 4,5% (Petrobras, 2013), ou seja, 900 vezes o valor permitido para veículos. Além das emissões já citadas existem ainda outros tipos de resíduos da combustão que após filtragem são descartadas no mar como águas residuais.

A mensuração exata dos impactos gerados pela combustão de bunker não está no escopo deste trabalho, desta forma ater-se-á somente a uma abordagem mais geral neste sentido, como já apresentado.

Dado que a navegação comercial demanda tanto consumo energético e que na maioria das vezes esta energia não provém de fontes limpas, há uma crescente preocupação com a operação dessas embarcações principalmente quando estão próximas a regiões habitadas. Diversos países, principalmente na Europa, já aplicam leis que impedem a utilização do combustível bunker com índice de 4,5% de enxofre. Nesses casos os navios ao se aproximarem da costa passam a consumir combustíveis com menores índices de enxofre. O grande ponto de interesse pelo lado das empresas que operam os navios está no custo do combustível, o bunker comum é produzido a partir do resíduo da produção de outros combustíveis como a gasolina. Isso faz com que seu custo seja inferior em relação aos demais. Ao mesmo tempo há a preocupação com a qualidade do ar nessas regiões, pois sabe-se que poluição atmosférica está diretamente relacionada com diversas doenças. Entretanto, no Brasil ainda não há legislações nesse sentido.

Diante de tais desafios, nas últimas décadas surgiram diversas soluções que buscam fornecer alternativas a essas questões. Uma delas é o fornecimento de energia para navios atracados, através da rede elétrica do porto. Esta é uma tecnologia que teve início nos Estados Unidos e hoje já é encontrada também na Europa e Ásia. A ideia geral consiste em conectar cabos que interliguem o sistema de energia do navio ao sistema elétrico do porto. No entanto, para viabilizar este fornecimento há diversos fatores que devem ser previstos e analisados como dimensão da carga, dimensão das instalações necessárias entre outros fatores. A figura 4 apresenta um sistema de fornecimento de energia para navios atracados, este sistema também é conhecido como *Cold Ironing* ou *Alternative Maritime Power* (AMP).

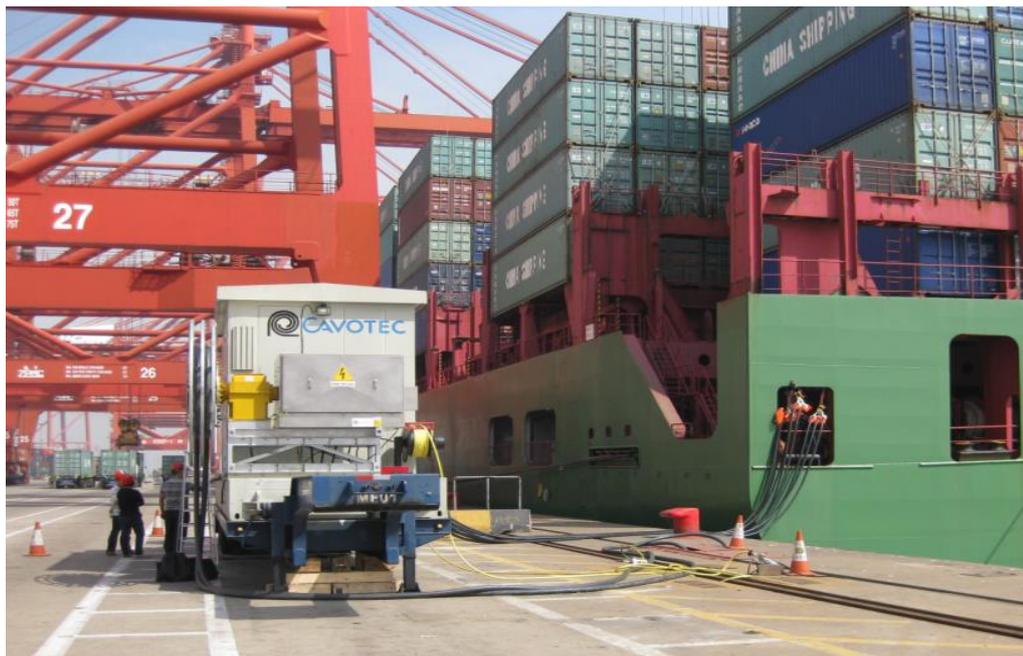


Figura 4: AMP no porto de Shenzhen.  
Fonte: CMPorts, 2015.

Busca-se neste trabalho explorar esta questão tomando como caso particular o cenário energético brasileiro e em específico o Porto de Paranaguá.

### 1.3. Objetivos

A seguir apresentam-se os objetivos gerais e específicos deste trabalho.

#### 1.3.1. Objetivo Geral

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver um estudo sobre a aplicabilidade de um sistema de fornecimento de energia para navios durante o período de tempo que os mesmos estiverem atracados em um terminal portuário. Ao abordar o aspecto da aplicabilidade deste tipo de fornecimento de energia elétrica, busca-se basear as análises necessárias nos princípios expostos durante o curso de engenharia elétrica com ênfase em eletrotécnica.

#### 1.3.2. Objetivos Específicos

Espera-se apresentar de maneira específica uma análise sobre os requisitos necessários quanto a:

- Instalação elétrica para a conexão entre navio e rede elétrica.

- Dimensionamento dos equipamentos necessários.
- Dimensionamento da demanda contratada junto à concessionária de energia elétrica.

De forma secundária busca-se apresentar uma análise quanto aos aspectos de:

- Redução do impacto ambiental causado pela atividade portuária.
- Diferença entre custo financeiro da energia fornecida pelo sistema proposto em relação ao custo da energia gerada em navios pela forma convencional (combustão).
- Abordagem sobre a contratação de energia vista pelo aspecto legal.

#### 1.4. Escopo e limitações

O presente estudo limita-se a apresentar uma análise de aplicabilidade de fornecimento de energia elétrica, através da rede elétrica do porto, para navios mercantes durante o período em que os mesmos se encontram atracados. E trata-se exclusivamente do fornecimento de energia durante o período acima mencionado. Não pretende-se abordar a questão de fornecimento de energia para situações em que os navios encontram-se em alto mar ou desatracados.

Ressalta-se também que este estudo é direcionado a navios do tipo porta contêineres. Naturalmente várias das questões conceituais e técnicas acabam aplicando-se a outros tipos de navios. No entanto, o foco principal neste texto são os tipo acima citados por se tratarem de grande parte do volume de atracções de navios que ocorrem nos portos do Brasil e do mundo. Além de este tipo ser caracteristicamente um dos que possui maior demanda energética.

#### 1.5. Justificativa

Um dos principais fatores que tornam este trabalho relevante para a comunidade acadêmica e para a sociedade em geral, é o fato de que os mencionados impactos ambientais já explanados podem ser significativamente amenizados se o fornecimento de energia elétrica, através da rede elétrica local do porto, vier a se concretizar. Isso implica de maneira indireta na qualidade de vida de

toda a população e principalmente para aqueles que vivem próximo a zonas portuárias.

Além disso, as diversas empresas envolvidas tanto as de navegação quanto os operadores portuários e fornecedores de energia elétrica, possuem interesses envolvidos na questão central abordada que é a substituição temporária da fonte de energia em navios. Tanto pelo aspecto ambiental quanto pelo financeiro e social, há uma clara relação que pode gerar significativas melhorias aos envolvidos. A figura 5 mostra a variação do custo do combustível para navios entre abril e maio de 2018.

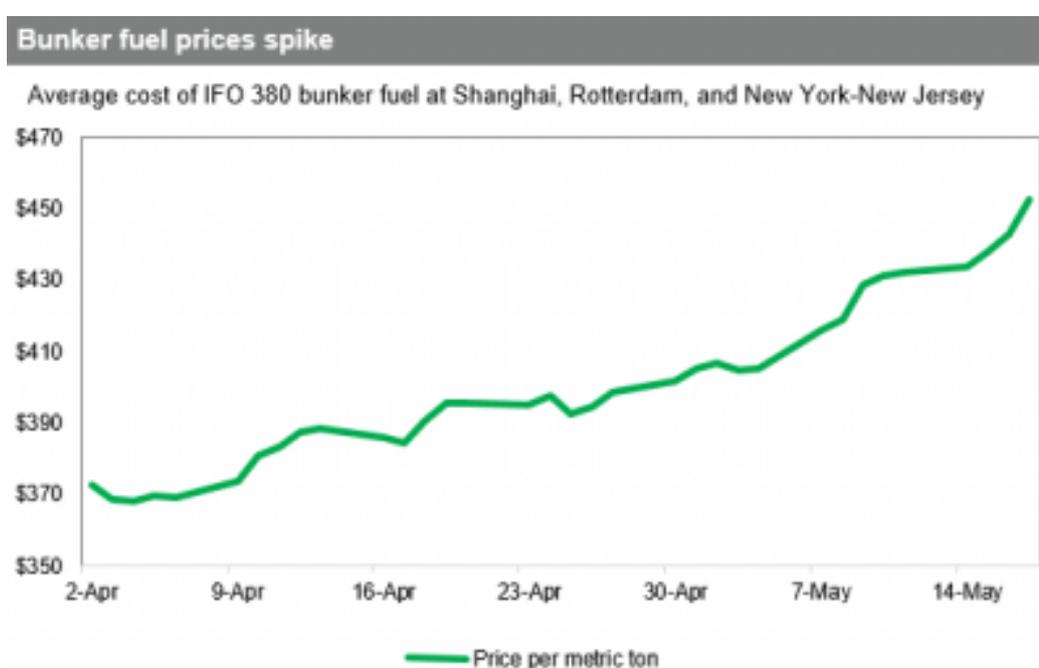


Figura 5: Custo do combustível para navios entre abril e maio de 2018.  
Fonte: Datamar, 2018.

Do ponto de vista acadêmico faz-se também importante considerar que a tecnologia aqui abordada já é utilizada em outros lugares do mundo, enquanto até o momento não há projeto similar em nenhum porto da América do Sul. Desta forma torna-se valiosa uma análise técnica de cunho acadêmico para explorar este tipo de estudo em nosso país. Tendo em vista que tal análise técnica envolve diversos fatores fundamentais à formação acadêmica, fica claro que o projeto serve para o desenvolvimento profissional do pesquisador.

## 1.6. Métodos

De maneira geral este projeto aborda principalmente dentro da área de conhecimento de engenharia elétrica eletrotécnica: instalações elétricas industriais. Incluindo cálculo de previsão de demanda e previsão de dimensionamento para as instalações necessárias.

#### 1.7. Estrutura

O presente trabalho está dividido basicamente em três partes. Na primeira parte apresentou-se uma visão geral da questão do consumo energético de embarcações e a importância contextual de desenvolver o conhecimento de engenharia elétrica eletrotécnica aplicada ao cenário brasileiro. Além de também explicar-se sobre o caso específico sobre a cadeia logística do contêiner.

Durante a segunda parte do trabalho, será apresentada uma abordagem técnica sobre o assunto tomando como base a fundamentação teórica característica do curso de engenharia elétrica eletrotécnica. Neste sentido será feita uma análise das características dos navios vistos como carga do ponto de vista do fornecimento de energia elétrica. Também nesta parte será introduzido o estudo de caso desenvolvido neste trabalho que trata-se de uma análise do tema proposta voltada especificamente para o Porto de Paranaguá.

Na terceira parte, apresenta-se os conclusões das análises levantadas na segunda parte, resultados alcançados e ponderações pertinentes aos estudos efetuados.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Tendo em vista a proposta de estudo da aplicação de um sistema de fornecimento de energia elétrica para navios atracados, a seguir desenvolve-se do ponto de vista conceitual o conjunto de itens a serem levados em conta para aplicar um sistema deste tipo. É válido ressaltar o fato de o tema ainda ser relativamente pouco disseminado e haver restritas fontes bibliográficas voltadas ao tema. Devido a isto, o embasamento teórico é focado na teoria de instalações elétricas industriais e normas técnicas que dizem respeito a instalações elétricas, combinadas às informações coletadas durante a pesquisa junto a empresas e profissionais do ramo.

### 2.1. Definição das características elétricas do sistema

Tendo em vista um sistema de fornecimento de energia elétrica para navios atracados, existem algumas características elétricas fundamentais que devem ser levadas em consideração. Neste capítulo apresenta-se do ponto de vista teórico a previsão de carga para o sistema e considerações sobre a tensão de operação e frequência.

#### 2.1.1. Previsão da carga

O primeiro ponto a ser levado em conta para estabelecer um sistema de fornecimento de energia elétrica para navios atracados, é a previsão da carga a ser atendida. Neste caso, vendo pelo ponto de vista do sistema elétrico que atende o porto, considera-se o navio e sua demanda de energia como a carga do sistema elétrico.

A NBR 14039:2005 (Norma Brasileira 14039:2005), que normatiza o projeto e execução de instalações elétricas em média tensão de 1,0kV a 36,2kV, estabelece que:

“A determinação da potência de alimentação é essencial para a concepção econômica e segura de uma instalação nos limites adequados de temperatura e de queda de tensão.

Na determinação da potência de alimentação de uma instalação ou de parte de uma instalação, devem-se prever os equipamentos a serem instalados, com suas respectivas potências nominais e, após isso, considerar as possibilidades de não simultaneidade de funcionamento destes equipamentos, bem como capacidade de reserva para futuras ampliações.” (ABNT, 2005)

Levando esse critério em conta, deve-se:

1. Definir o tipo de navio a ser atendido pelo sistema.
2. Definir a quantidade de navios a serem atendidos simultaneamente na estrutura portuária em questão.

O perfil de demanda energética exigida para os diversos tipos de navios, que variam também em suas dimensões, é bem variado. Logo, é importante levar em conta o tipo específico de embarcação que se deseja atender para evitar impactos desnecessários aos custos de implementação do sistema. A figura 6 apresenta uma tabela com o perfil de consumo para alguns dos principais tipos de navios:

Tipo de navio (LOA)	Demanda de energia média (MW)	Pico de demanda de energia (MW)	Pico de demanda de energia para 95% dos navios (MW)
Navio Porta Contêiner (< 140 m)	0,2	1,0	0,8
Navio Porta Contêiner (> 140 m)	1,2	8,0	5,0
Navio Porta Contêiner (total)	0,8	8,0	4,0
Navio RoRo	1,5	2,0	1,8
Navios tanque	1,4	2,7	2,5
Navio Cruzeiro (< 200 m)	4,1	7,3	6,7
Navio Cruzeiro (> 200 m)	7,5	11,0	9,5
Navio Cruzeiro (> 300 m)	10,0	20,0	12,5

Figura 6: Perfil de consumo de navios.

Fonte adaptado: ICCT, 2015, Costs and benefits of shore power at the port of Shenzhen

\*LOA: comprimento máximo de uma embarcação, ver figura 7.

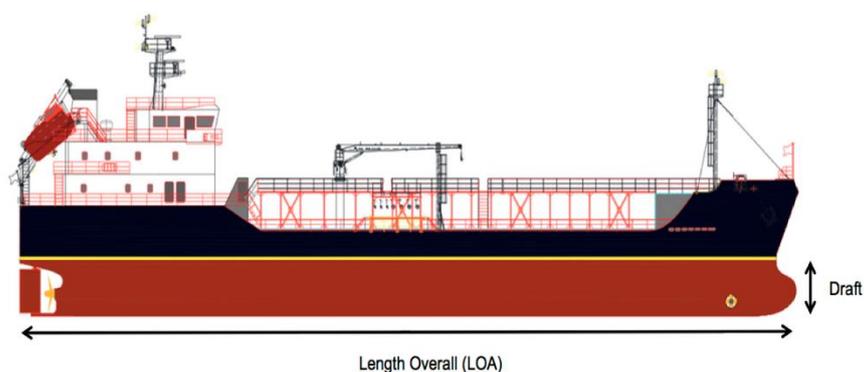


Figura 7: Características construtivas de navios.  
Fonte: <http://www.mdpi.com/2079-8954/4/3/31/htm>

Como apresentado na figura 4, os navios porta contêineres possuem uma das maiores demandas de energia. Ainda que navios cruzeiros possuam, por vezes, demanda maior, é importante ter em conta a quantidade de vezes que cada tipo de navio é operado. O número de escalas de navios porta contêineres é muito superior ao número operações de navios cruzeiros. Para se ter uma dimensão do cenário, somente em 2017, foram operados 699 navios porta contêineres no Terminal de Contêineres de Paranaguá (TCP, 2018). Por esta razão, o escopo desse trabalho é voltado à aplicação desse sistema para navios porta contêineres. Opta-se por isso também em função da costumeira prática em projetos elétricos de se trabalhar com casos extremos a fim de garantir que os casos menos extremos sejam naturalmente atendidos. Ou seja, a maior parte das considerações feita neste trabalho se aplica a sistemas para navios com menor demanda energética, salvo as devidas peculiaridades de cada caso.

Tratando-se dos navios porta contêineres, a prever a demanda de energia para o sistema, é importante levar em conta o LOA dos maiores navios a serem atendidos, pois, sabe-se que a quantidade de tomadas (para conexão dos contêineres do tipo Reefer) em cada navio está ligada à capacidade total do navio. Logo, quanto maior o LOA do navio, maior é a quantidade de tomadas a serem alimentadas. As características específicas de cada navio variam de acordo com o modelo, ano de fabricação, fabricante e assim por diante. Atualmente os maiores navios porta contêineres que operam frequentemente na costa brasileira possuem LOA de aproximadamente 333 metros. Nestes navios, a capacidade é de 9.800 TEU's, em média, e o número médio de tomadas reefer é de 2.100 (o autor, 2018). Essas informações detalhadas são encontradas num documento comumente chamado *Ship Particulars*, que possui informações específicas de cada embarcação.

Logo, de maneira geral, podemos dizer que o porte dos navios e suas respectivas características de consumo energético a serem atendidas irão ditar a determinação da carga a ser atendida em cada projeto.

### 2.1.2. Tensão de operação e frequência

Outro fator crucial a se ter em conta é a tensão de operação do sistema. Nesse caso, considera-se que a alimentação do sistema, que em geral no Brasil se trata de um ramal das concessionárias de energia, fornece a energia elétrica em 60Hz e com a tensão característica do ramal. Após a energia elétrica do sistema de

alimentação da fornecedora passar pela subestação da planta do porto, é necessário que a instalação elétrica do porto leve a energia até a beira do cais onde atracam os navios a serem operados pelo sistema.

As características da energia no ponto de conexão são um importante elemento a ser considerado, e devem ser definidas segundo as seguintes considerações.

- Frequência: como já citado, nos navios porta contêineres a maior carga elétrica a ser atendida provém dos contêineres reefer. Nesses maquinários a frequência de operação é em geral de 60 Hz. Logo, o sistema deve fornecer a energia no ponto de conexão em 60 Hz.
- Tensão: durante as pesquisas em torno do tema, levantou-se junto a empresas do ramo e portos que já possuem esse sistema que, atualmente, a maior parte dos navios porta contêineres opera com sistemas elétricos internos de 6,6 kV. Isso vale para a maior parte dos navios mais novos que estão em operação. Existem ainda navios, em geral mais antigos, que possuem sistemas que devem ser alimentados em 440 V. Nesses casos, é usual a utilização de um sistema auxiliar destinado a adequar a tensão do sistema para esse nível. Por se tratar de uma questão mais específica, neste trabalho, será abordada a questão do fornecimento mais abrangente que é a de 6,6 kV.

A figura 8 apresenta um panorama de algumas das instalações de sistemas deste tipo que já operam na América do Norte e Norte da Europa.

Ano de introdução	Nome da porto	País	Capacidade (MW)	Frequência (Hz)	Tensão (kV)	Tipos de navios que fazem uso do sistema
2000-2010	Gothenburg	Suécia	1,25-2,5	50 & 60	6,6 & 11	RoRo
2000	Zeebrugge	Belgíca	1,25	50	6,6	RoRo
2001	Juneau	Estados Unidos	43350	60	6,6 & 11	Cruzeiro
2004	Los Angeles	Estados Unidos	7,5-60	60	6,6	Porta Contêiner, Cruzeiro
2004	Piteå	Suécia	1	50	6	RoRo
2005-2006	Seattle	Estados Unidos	12,8	60	6,6 & 11	Cruzeiro
2006	Kemi	Finlândia		50	6,6	RoRo
2006	Kotka	Finlândia		50	6,6	RoRo
2006	Oulu	Finlândia		50	6,6	RoRo
2008	Antwerp	Belgíca	0,8	50 & 60	6,6	Porta Contêiner
2008	Lübeck	Alemanha	2,2	50	6	RoRo
2009	Vancouver	Canadá	16	60	6,6 & 11	Cruzeiro
2010	San Diego	Estados Unidos	16	60	6,6 & 11	Cruzeiro
2010	San Francisco	Estados Unidos	16	60	6,6 & 11	Cruzeiro
2010	Karlskrona	Suécia	2,5	50	11	RoRo
2011	Long Beach	Estados Unidos	16	60	6,6 & 11	Porta Contêiner
2011	Oslo	Noruega	4,5	50	11	Cruzeiro
2011	Prince Rupert	Canadá	7,5	60	6,6	
2012	Rotterdam	Holanda	2,8	60	11	RoRo
2012	Ystad	Suécia	6,25	50 & 60	11	RoRo
2013	Trelleborg	Suécia	3,5-4,6	50	11	RoRo
2015	Hamburg	Alemanha	12	50 & 60	6,6 & 11	Cruzeiro

Figura 8: Panorama de algumas das instalações similares.

Fonte: <http://wpci.iaphworldports.org/>

## 2.2. Dimensionamento

Após a definição do esquemático básico do sistema, é válido fazer o dimensionamento básico para os equipamentos a serem utilizados.

Os elementos da subestação de AMP, como transformadores, devem ser dimensionados de acordo com a previsão de carga definida e os valores nominais disponíveis no mercado.

Já para os condutores necessários, podemos partir do ponto mais simples que é o método da seção mínima (Mamede, 2002). A partir das equações básicas para circuitos trifásicos chegamos ao cálculo para a corrente de projeto apresentado na equação 1.

$$I_p = \frac{P}{\sqrt{3} * V * FP} \quad (1)$$

Onde:

$I_p$  : corrente de projeto (A)

P : potência ativa total do circuito (W)

V : tensão do circuito (V)

FP : fator de potência total do circuito.

As demais considerações devem seguir a especificidade de cada tipo de instalação definidas segundo os métodos de instalação na tabela 25 da NBR 14039.

### 3. ESTUDO DE CASO

Com o intuito de estabelecer uma melhor compreensão sobre o tema, descreve-se neste capítulo o estudo de viabilidade de aplicação voltado ao Terminal de Contêineres de Paranaguá que é parte do Porto de Paranaguá. O Porto de Paranaguá é um dos maiores e mais importantes portos brasileiros. Grande parte dos produtores do Brasil, principalmente do Paraná, Mato Grosso, São Paulo e Santa Catarina usam este porto como base para enviar mercadorias e/ou receber subsídios para a produção. O Porto de Paranaguá movimenta milhões de toneladas de mercadorias de exportação e importação, tanto em carga solta (granel) quanto em carga containerizada. O Terminal de Contêineres de Paraná é parte integrante do Porto de Paranaguá e o responsável por toda a movimentação de contêineres e operação de navios porta contêineres deste porto.

Desta forma, nos próximos itens aplicam-se os conceitos apresentados no item 2 a fim de se planejar, ainda que de forma não totalmente completa, a aplicação de um sistema de fornecimento de energia elétrica para navios atracados para o Terminal de Contêineres de Paranaguá. É válido destacar que em uma aplicação desta natureza, toma-se como ponto de partida as premissas gerais, apresentadas no item 2, e a seguir consideram-se as necessidades específicas de onde pretende-se aplicar tal sistema.

#### 3.1. O Terminal de Contêineres de Paranaguá

O Porto de Paranaguá possui vários terminais, cada um destinado a um tipo de carga. Devido a isto, cada um dos terminais, em função de sua operação característica, acaba por operar tipos específicos de navios. A Figura 9 apresenta uma visão do Porto de Paranaguá e alguns dos vários terminais.



Figura 9: Porto de Paranaguá.

Fonte: <http://www.guiageo-parana.com/paranagua/porto.htm>

A figura 10 apresenta uma visão da atual estrutura do terminal que deve completar obras de expansão em 2019. É possível notar, na figura, a área onde os navios porta contêineres atracam para operação de carga e descarga. A beira do cais encontram-se os equipamentos chamados portêineres, estes são os equipamentos utilizados para movimentação dos contêineres entre o porto e o navio. Tais equipamentos são alimentados por energia elétrica, o que indica que o fornecimento de energia elétrica em larga escala na área do cais já ocorre.



Figura 10: Terminal de Contêineres de Paranaguá.

Fonte: <https://www.tcp.com.br/sobre-nos/>

Já na figura 11, temos a planta geral do terminal. Basicamente o terminal se divide entre área de armazenagem, onde ficam armazenados os contêineres, área de movimentação e a área do cais onde se operam os navios porta contêineres.

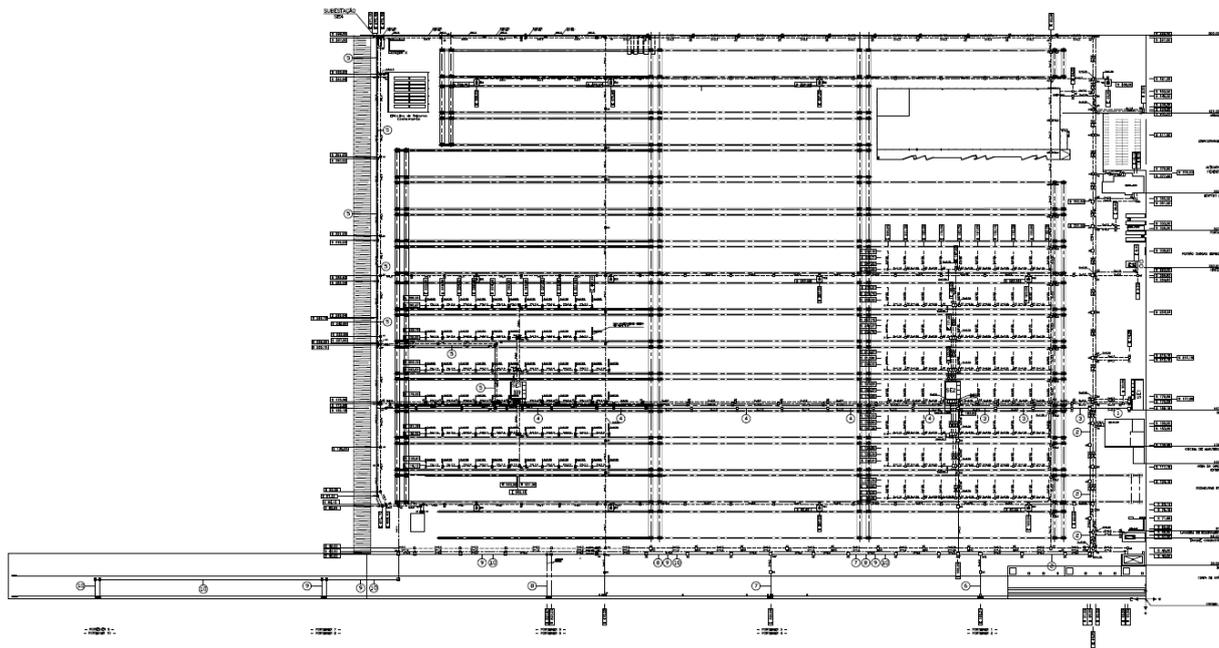


Figura 11: Planta de implantação geral do terminal.  
Fonte: TCP, 2018.

### 3.2. A rede elétrica interna do TCP

A manutenção e ampliação das instalações elétricas da TCP são de responsabilidade do setor de Manutenção da empresa. A distribuição interna de energia elétrica atualmente ocorre através de 4 subestações. A figura 12 exibe a posição das quatro subestações em relação ao layout do terminal.

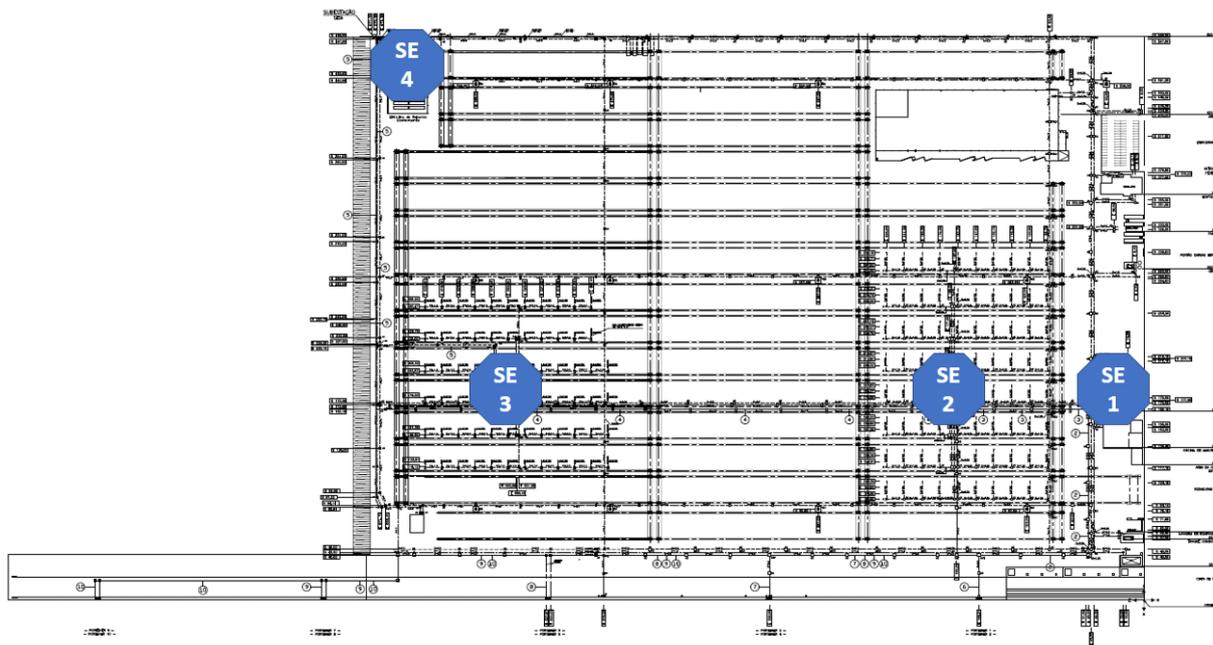


Figura 12: Localização das subestações elétricas do terminal.  
Fonte: TCP, 2018.

Observa-se que a subestação 1 (SE 1) é a responsável por receber a energia fornecida pela concessionária e posteriormente distribuir internamente para as demais subestações. As subestações 2 e 3 estão localizadas nos dois maiores centros de cargas, ambas estão localizadas no centro de áreas de armazenagem de cargas refrigeradas. Já a subestação 4 atualmente atende uma pequena demanda destinada a apenas alguns equipamentos localizados em suas proximidades.

Segunda informações fornecidas pelo setor de manutenção da TCP, o fator de potência exigido pela concessionária através de contrato é de 0,92 indutivo das 06:00 às 00:00 e de 0,92 capacitivo das 00:00 às 06:00. Para atender esses critérios o terminal projeta sua instalação para operar com fator de potência 0,94. Também de acordo com o setor de manutenção a demanda contratada pelo terminal é de 10 MVA, e a demanda média de consumo é de 6MVA. Esta demanda é suprida a partir de uma tensão de entrada de 13,2 kV. A figura 13 apresenta o resumo do perfil elétrico interno do terminal.

Indicador	Valor
Subestações internas no terminal	4
Tensão de entrada	13,2 kV
Demanda contratada	10 MVA
Demanda média	6 MVA
Fator de Potência (06:00 às 00:00)	0,92 indutivo
Fator de Potência (00:00 às 06:00)	0,92 capacitivo

Figura 13: Perfil elétrico interno do terminal.  
Fonte: o autor, 2018.

### 3.3. A demanda energética do TCP vista pelo ponto de vista Copel

Segundo informações fornecidas pelo engenheiro eletricista da Copel, Ayrton J. Schultze Jr, responsável pelo atendimento ao TCP em maio de 2018, o sistema elétrico interno da TCP descrito no item 3.2, atualmente possui uma limitação na contratação de demanda de 10MVA. Isso ocorre devido ao fato de o ramal que fornece a energia elétrica ao terminal possuir limitações de transformação. Desta forma, visto que para a aplicação de um sistema de fornecimento de energia elétrica para navios atracados há a necessidade de se aumentar consideravelmente a demanda contratada, surge a necessidade de alterações na rede de fornecimento da Copel. É possível viabilizar este fornecimento a partir das duas alternativas propostas a seguir:

- Alternativa 1: Aumentar a capacidade de dos transformadores dos ramais atuais que operam em 13,2kV.
- Alternativa 2: Instalar um novo sistema de fornecimento para o porto em 138kV.

A primeira alternativa, que considera manter os ramais atuais e substituir os transformadores atuais por equipamentos de maior potência, possui a vantagem de não alterar muito as instalações atuais, tanto da rede de fornecimento quanto a do porto. No entanto, não seria a mais indicada visto que, mesmo aumentando a capacidade dos transformadores, o aumento de disponibilidade de potência para o ramal não seria tão grande. Isso combinado à tendência de aumento de demanda de energia no terminal, limitaria futuras expansões, tornando a alternativa pouco vantajosa.

A alternativa 2, que prevê a alteração no sistema de fornecimento, que atualmente ocorre em 13,2kV, para um novo sistema em que o fornecimento ocorresse em 138kV, demanda ajustes tanto na estrutura de fornecimento da Copel quanto nas instalações do terminal. Para viabilizar esta opção seria necessário a construção de uma nova linha de fornecimento a partir da subestação da Copel em Paranaguá. Esta nova linha de transmissão iria operar em condições para o fornecimento no nível de 138kV. Já as instalações do terminal também necessitariam de uma nova subestação capaz de receber a energia em 138kV e transformá-la para níveis adequados para o consumo dentro do terminal. Apesar de envolver significativamente mais recursos e investimentos, esta opção possui o grande diferencial que é a capacidade de elevar o fornecimento de potência. Se atualmente a demanda está limitada a 10MVA, com estas alterações seria possível alterar a capacidade de fornecimento para 40MVA. Logo, para a aplicação de um sistema de fornecimento de energia elétrica para navios atracados a melhor opção é esta alternativa 2.

Também é válido ressaltar que atualmente (maio de 2018), o terminal passa por obras de expansão que devem ser concluídas em junho de 2019. Com esta expansão a demanda de energia do porto irá aumentar, e a expectativa é que a capacidade atual seja dobrada. E o próprio projeto de expansão já inclui a construção de uma subestação de 138kV. Desta forma, é factível que este quesito do projeto seja atendido desta forma.

Outra alteração importante é o subgrupo de fornecimento ao qual o terminal pertence. Atualmente a TCP se enquadra no subgrupo A4 com tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV. Considerando a alteração proposta no sistema de fornecimento o terminal passaria ao subgrupo A2 com tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV.

#### 3.4. Equipamentos elétricos do sistema

Tendo em vista a implementação de um sistema de fornecimento de energia elétrica para navios atracados, é necessário definir o conjunto de equipamentos e materiais elétricos para viabilizar a operação do mesmo. Considerando a implementação neste estudo de caso proposto, é possível definir o sistema de equipamentos da seguinte maneira:

- Subestação destinada ao AMP

- Condutores para conexão entre a subestação e painel de conexão
- Painel de conexão na beira do cais
- Condutores para conexão entre painel no cais e painel do navio

### 3.5. Esquemático geral de conexão elétrica

Uma vez definida a lógica básica do sistema, é possível construir o esquemático geral do sistema de fornecimento de energia elétrica para navios atracados. A figura 14 ilustra o esquemático geral da instalação elétrica.

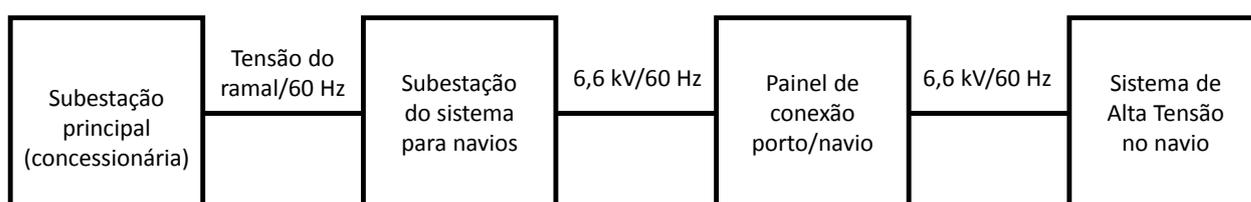


Figura 14: Sistema de fornecimento de energia elétrica para navios atracados.  
Fonte: o autor, 2018.

#### 3.5.1. Subestação destinada ao AMP

Considerando que a energia do sistema elétrico do terminal provém da subestação principal, que é responsável pela distribuição da energia para as demais subestações no interior do terminal, surgem duas opções para esta demanda:

- Opção 1: Subestação própria para o sistema de AMP.
- Nesta opção há a necessidade de se construir uma nova subestação exclusiva para esta finalidade e isto aumentaria o custo para a implementação do projeto. Por outro lado, com uma subestação exclusiva seria possível definir sistemas de proteção mais sofisticados e a confiabilidade do sistema também seria maior, além de um aumento na flexibilidade operacional natural devido ao fato de a subestação estar mais próxima ao ponto de consumo. Por fim, também é válido ressaltar que um sistema que utilizasse desta estrutura, com um transformador nesta subestação dedicado ao sistema AMP, proporciona uma menor queda de tensão entre a subestação e a carga elétrica do navio. A figura 15 apresenta uma sugestão de aplicação para a subestação AMP.

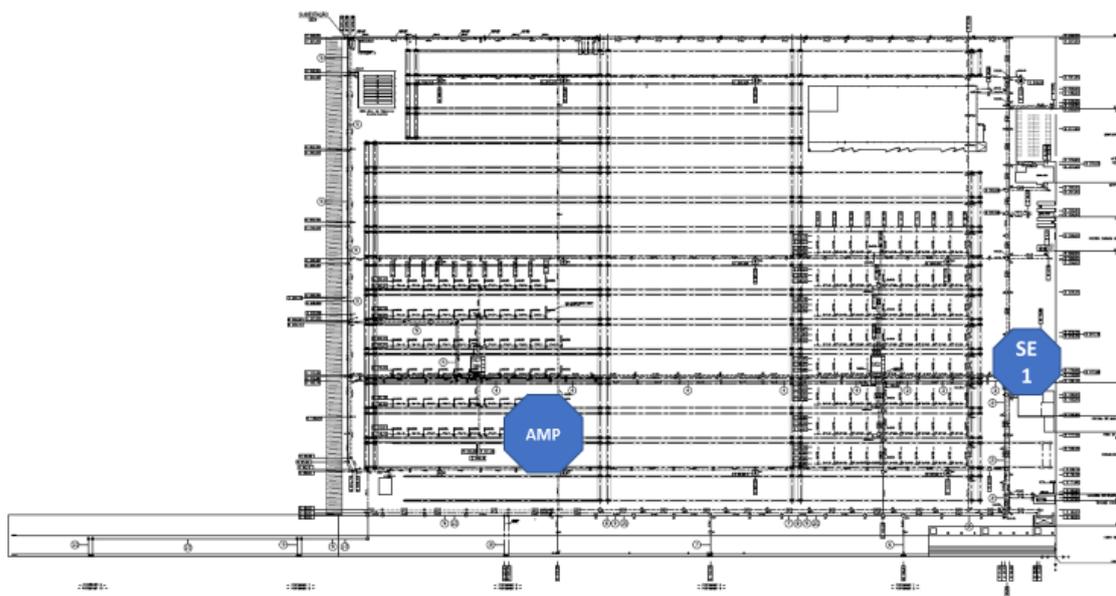


Figura 15: Posição sugerida para instalação de subestação para AMP.  
Fonte: adaptado, TCP, 2018.

- Opção 2: Fornecimento através da subestação principal (SE1)
- Uma outra forma de se fazer este fornecimento seria através de uma conexão direta entre a subestação principal (SE1) e o ponto de conexão na beira do cais. As vantagens desta opção são a não necessidade de construção de uma nova subestação, o que reduziria significativamente os custos do projeto, e o menor impacto na estrutura do terminal para a implementação do projeto. Valido citar que atualmente os portêineres (equipamentos de grande porte utilizados para carregar e descarregar contêineres nos navios) já operam a beira do cais alimentados por condutores que estão ligados diretamente à subestação principal, o que indica que é viável a aplicação desta solução. Por outro lado, ao adotar esta opção deve-se considerar a natural queda de tensão entre a subestação e o ponto de conexão à beira do cais. Além disso, é necessário avaliar a disponibilidade de galerias para passagem de novos condutores.

### 3.5.2. Previsão de carga para a subestação de AMP

Tendo em vista a potência que pretende-se fornecer ao sistema AMP através da subestação, seja qual for a opção adotada, é necessário definir a carga prevista para o sistema. Para esta previsão é necessário levar em conta tanto o

aspecto técnico quanto as observações dos sistemas similares já operantes no mundo.

No atual cenário da costa brasileira no ano de 2018, os navios de 333 m de LOA com capacidade de 9800 TEU's são os maiores navios do tipo porta contêiner que operam com regularidade. É razoável considerar que ao dimensionar um sistema com capacidade para atender a estes navios, automaticamente atende-se os demais em sua maioria, pois a demanda necessária para atendê-los será menor.

Para dar uma visão mais clara sobre o dimensionamento, pode-se tomar o caso particular do navio Cap San Nicolas. Atualmente este navio é um dos maiores porta contêineres que operam com regularidade na costa brasileira. A figura 16 apresenta para este navio o resumo de características relevantes para esta análise.

<b>CAP SAN NICOLAS</b>	
<b>LOA</b>	<b>333,20 m</b>
<b>Capacidade nominal</b>	<b>9.600 TEU's</b>
<b>Tomadas Reefer</b>	<b>2.100</b>

Figura 16: Tabela de informações do navio Cap San Nicolas.  
Fonte: o autor, 2018.

Para a carga de cada unidade Reefer, considerando que a maior parte das cargas de temperatura controlada que circulam pelo Terminal de contêineres de Paranaguá é carga refrigerada para exportação, pode-se tomar como base os dados apresentados na figura 17. Neste caso a carga média para cada contêiner reefer pode ser aproximada (assim como é usual no setor portuário) à 6 kW, considerando a operação em torno de -18° C.

<b>REFRIGERATION CAPACITY</b>									
Zer-O™ system net cooling capacities at 37.8°C (100°C) ambient and 60 Hz electric power:									
<b>Scroll w/R404A:</b>					<b>Reciprocating w/R134a:</b>				
Container Temperature	Cooling Capacity			Power Consp.	Container Temperature	Cooling Capacity			Power Consp.
	Watts	KCal/hr	Btu/hr	KW		Watts	KCal/hr	Btu/hr	KW
21°C (70°F)	13,771	11,844	47,000	10.7	21°C (70°F)	13,507	11,617	46,100	12.0
2°C (35°F)	9,962	8,568	34,000	9.1	2°C (35°F)	11,456	9,853	39,100	10.5
-18°C (0°F)	5,860	5,040	20,000	6.1	-18°C (0°F)	5,604	4,820	19,127	6.0
-29°C (-20°F)	3,809	3,275	13,000	5.3	-29°C (-20°F)	3,023	2,600	10,317	4.5

Figura 17: Tabela de carga média para cada contêiner reefer.  
Fonte: [http://www.containerhandbuch.de/chb\\_e/wild/index.html?chb\\_e/wild/wild\\_08\\_01\\_02.html](http://www.containerhandbuch.de/chb_e/wild/index.html?chb_e/wild/wild_08_01_02.html)

Desta forma, considerando a relação apresentada na equação 2, pode-se chegar ao valor estimado para a carga do sistema apresentado na equação 4.

$$Carga\ prevista = Número\ de\ tomadas * Carga\ média \quad (2)$$

$$Carga\ prevista = 2100 * 6\ kW \quad (3)$$

$$Carga\ prevista = 12,6\ MW \quad (4)$$

Um dos fatores limitantes neste trabalho é a ausência de dados sobre a demanda energética dos navios quando atracados. E isto também se aplica ao Terminal de Contêineres de Paranaguá. Para uma análise mais precisa sobre a demanda energética real seria necessário analisar dados coletadas de diversos navios durante no mínimo alguns meses. Naturalmente este trabalho não dispôs de tantos recursos para tal abordagem. Em função disso, basear-se-á o dimensionamento da demanda nas opções adotadas em outros terminais com operações similares.

Considerando alguns dados sobre a capacidade de sistemas similares em outros portos, apresentados na figura 18, é possível verificar por analogia que este valor está em linha com os parâmetros adotados em outros terminais pelo mundo.

Ano de introdução	Nome da porto	País	Capacidade (MW)	Tensão (kV)
2004	Los Angeles	Estados Unidos	7,5-60	6,6
2008	Antwerp	Belgica	0,8	6,6
2011	Long Beach	Estados Unidos	16	6,6 & 11

Figura 18: Panorama de algumas das instalações similares.

Fonte: <http://wpci.iaphworldports.org/>

Para fornecer o fator de potência compatível com as necessidades do Terminal de Contêineres de Paranaguá, deve-se empregar um banco de capacitores dedicado ao sistema AMP de maneira que o fator de potência final do sistema seja de 0,94, que é o valor adotado para as demais partes da instalação elétrica do terminal.

### 3.5.3. Dimensionamento dos condutores

A partir dos valores definidos nos itens anteriores é possível definir a dimensão dos condutores para o sistema. A equação 5 apresenta o cálculo da corrente de projeto.

$$I_p = \frac{12 * 10^6}{\sqrt{3} * 6,6 * 10^3 * 0,94} \quad (5)$$

$$I_p = 1174 \text{ A} \quad (6)$$

A figura 19 apresenta os métodos de instalação de condutores para instalações industriais considerado na NBR 14039.

Método de instalação número	Descrição	Método de referência a utilizar para a capacidade de condução de corrente
1	Três cabos unipolares justapostos (na horizontal ou em trifólio) e um cabo tripolar ao ar livre	A
2	Três cabos unipolares espaçados ao ar livre	B
3	Três cabos unipolares justapostos (na horizontal ou em trifólio) e um cabo tripolar em canaleta fechada no solo	C
4	Três cabos unipolares espaçados em canaleta fechada no solo	D
5	Três cabos unipolares justapostos (na horizontal ou em trifólio) e um cabo tripolar em eletroduto ao ar livre	E
6	Três cabos unipolares justapostos (na horizontal ou em trifólio) e um cabo tripolar em banco de dutos ou eletroduto enterrado no solo	F
7	Três cabos unipolares em banco de dutos ou eletrodutos enterrados e espaçados – um cabo por duto ou eletroduto não condutor	G
8	Três cabos unipolares justapostos (na horizontal ou em trifólio) e um cabo tripolar diretamente enterrados	H
9	Três cabos unipolares espaçados diretamente enterrados	I

Figura 19: Tabela 25 da NBR 14039 - Tipos de linhas elétricas.  
Fonte: ABNT, 2005.

Tendo em conta que a instalação do sistema tende a utilizar o método C da tabela 25 da NBR 14039, que diz respeito a cabos justapostos em canaleta fechada no solo. A tabela 28 da NBR 14039 apresenta a capacidade de condução de corrente de acordo com o método de referência. A figura 20 apresenta parte da tabela 28 da NBR 14039.

		Métodos de instalação definidos na tabela 25								
Seção mm <sup>2</sup>		A	B	C	D	E	F	G	H	I
Tensão nominal menor ou igual a 8,7/15 kV	10	87	105	80	92	67	55	63	65	78
	16	114	137	104	120	87	70	81	84	99
	25	150	181	135	156	112	90	104	107	126
	35	183	221	164	189	136	108	124	128	150
	50	221	267	196	226	162	127	147	150	176
	70	275	333	243	279	200	154	178	183	212
	95	337	407	294	336	243	184	213	218	250
	120	390	470	338	384	278	209	241	247	281
	150	445	536	382	433	315	234	270	276	311
	185	510	613	435	491	357	263	304	311	347
	240	602	721	509	569	419	303	351	358	395
	300	687	824	575	643	474	340	394	402	437
	400	796	959	658	734	543	382	447	453	489
	500	907	1100	741	829	613	426	502	506	542
	630	1027	1258	829	932	686	472	561	562	598
	800	1148	1411	916	1031	761	517	623	617	655
1000	1265	1571	996	1126	828	555	678	666	706	

Figura 20: Tabela 28 da NBR 14039 – Capacidades de condução de corrente.  
Fonte: ABNT, 2005.

De acordo com a tabela da figura 21 e com a corrente de projeto calculada, pode-se determinar que é adequado para o circuito dois circuitos em paralelo com seção de 500mm<sup>2</sup>. Esta seção deve ser adotada em todos os condutores a partir da subestação de AMP.

#### 3.5.4. Condutores para conexão entre a subestação e painel de conexão

Independente da opção adotada segundo o que foi apresentado no item 3.4.1., é necessário transmitir a energia da subestação para o painel de conexão à beira do cais. Para isso, deve-se utilizar condutores adequados à corrente dimensionada para o sistema, que varia de acordo com a carga dos navios. Neste ponto deve-se adotar os critérios de dimensionamento de condutores apresentados na seção 6.2.5.6. da NBR 14039. Também é válido lembrar que, pelo fato de o terminal estar obviamente localizado em uma zona litorânea, trata-se de um ambiente agressivo aos materiais de modo geral. Assim faz-se necessário prever fatores como o contato com sal presente no ambiente ao escolher os materiais a serem utilizados. Assim como nas outras partes do circuito, esse trecho de condutores segue a seção definida no item 3.4.3.

#### 3.5.5. Painel de conexão na beira do cais

A energia fornecida pela subestação deve ser disponibilizada na beira do cais através de painel elétrico blindado para a conexão. Este painel deve ser alimentado pelos condutores apresentados no item 3.4.2 e possuir tomadas para a conexão dos cabos removíveis. É necessário que este painel seja blindado, pois trata-se de uma área constantemente exposta a umidade, o que gera uma série de complicações e é onde há a maior necessidade de atenção quanto a proteção contra acidentes elétricos.

A figura 21 apresenta um painel de um sistema similar no terminal de contêineres de Shenzhen (China).

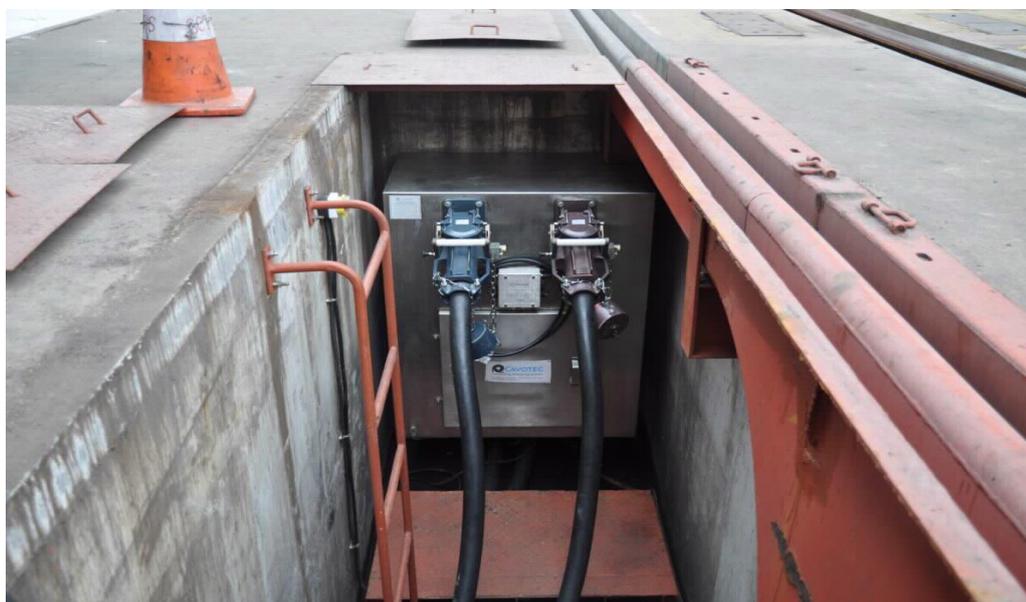


Figura 21: Painel de conexão na beira do cais para AMP no porto de Shenzhen.  
Fonte: CMPorts, 2015.

A instalação deste painel deve ocorrer abaixo do nível do cais para não prejudicar as operações que ocorrem nesta região do terminal. É importante garantir que quando não estiver em operação, o sistema não dificulte o grande fluxo de movimentação de contêineres e equipamentos a beira do cais. A figura 22 apresenta uma opção para local de instalação do painel de conexão.

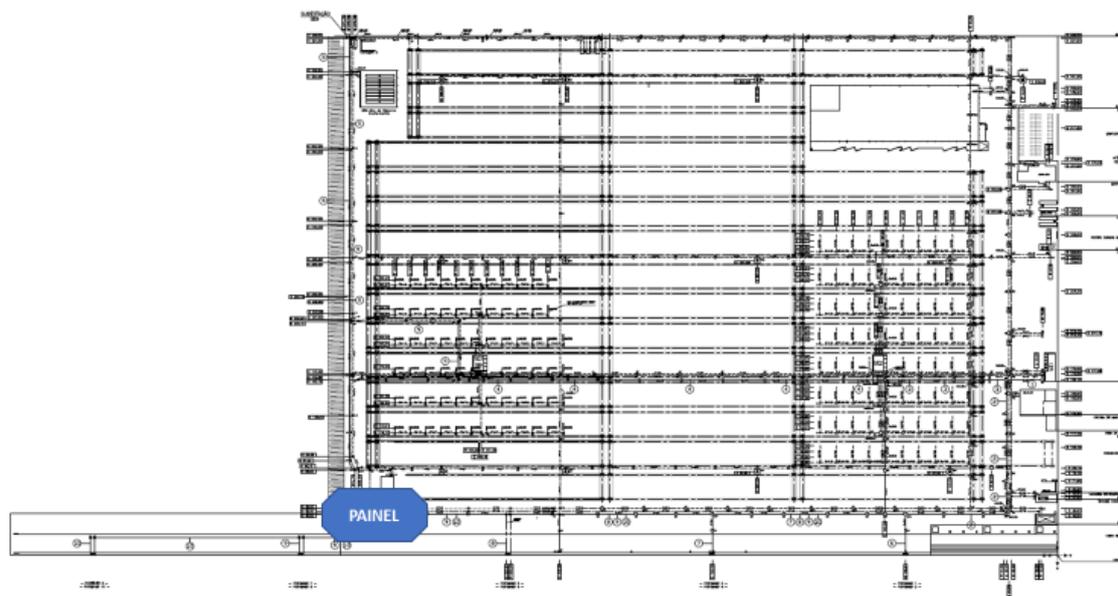


Figura 22: Posição sugerida para instalação do painel de conexão à beira do cais.  
Fonte: adaptado, TCP, 2018.

### 3.5.6. Condutores para conexão entre painel no cais e painel do navio

Por fim, é necessário conectar o painel de energia à beira do cais ao painel de energia do navio. Esta conexão deve ser feita através de condutores removíveis dotados de tomadas de conexão rápida, similares aos apresentados na figura 14.

A figura 16 apresenta um modelo deste tipo de conector, da linha de produtos *Scame Elettrical Solutions*, que pode ser utilizado para este tipo de operação.

### 3.6. Possíveis variações de cenário

Conforme apresentado no item 3.4.2 sobre previsão de carga, há diversos fatores limitantes ao se definir a previsão de carga a ser considerada. Desta forma, é válido traçar alguns dos possíveis cenários sobre esta previsão tendo em conta os extremos.

Cenário 1 – Projetado: É o caso apresentado no item 3.5.2.

Cenário 2 – Moderado: É fato que quando os navios atracam no Terminal de contêineres de Paranaguá, em mais de 95% dos casos, os navios não estão com carga completa, isto se deve à restrições estruturais do porto. Devido a isto é totalmente factível que a carga elétrica dos navios seja no pior dos casos, a metade da carga estimada no item 3.4.2. Somado a isto, sabe-se que em diversos terminais, consultados durante a pesquisa do trabalho, a capacidade de fornecimento de

potência gira em torno de 7 MW. Logo, é válido analisar um cenário onde a previsão de carga leva em conta estes termos. Uma análise como esta indica que uma previsão de carga de 8 MW é um valor factível de atender as necessidades do sistema AMP.

Cenário 3 – Conservador: Seguindo a mesma linha de raciocínio sobre cenários alternativos, é possível prever que, com o gradual aumento dos navios combinado a gradual melhora na infraestrutura do porto, permita que navios com maior demanda de energia elétrica atraiam no Terminal de Containeres de Paranaguá. Somado a isso, há também a possibilidade de as unidades reefer por algum fator externo passem a consumir além dos 6kW em média (por exemplo 7kW) estimados no item 3.4.2, isso faria com que a demanda atingisse um patamar de algo em torno de 17 MW. Apesar de bem pouco provável, este cenário é capaz de fornecer uma visão sobre o outro extremo do dimensionamento.

O resumo dos três cenários apresentados encontra-se na figura 23, assim como a respectiva corrente de projeto para cada uma das situações.

Cenário	Tipo	Carga Prevista	Corrente de projeto
1	Projetado	12,6 MW	1174 A
2	Moderado	8 MW	745 A
3	Conservador	16,8 MW	1565 A

Figura 23: Possíveis cenários para a previsão de carga.  
Fonte: o autor, 2018.

É possível notar que as considerações sobre a previsão de carga têm uma considerável influência sobre os subsequentes fatores do projeto.

### 3.7. Análise dos resultados

Analisando os principais pontos sobre a implementação de sistemas de AMP através do conteúdo apresentado neste trabalho, pode-se concluir alguns pontos relevantes:

- Rede elétrica: é de se esperar que os portos que desejem implementar sistemas de AMP necessitem de adequações nas redes de fornecimento de energia. Isso porque em média, haveria um aumento na demanda contratada de 4 à 8 MVA. Isso implica na maior parte das vezes em reestruturação da rede de distribuição, o que demanda tempo e investimentos tanto dos terminais portuários quanto para as companhias de distribuição de energia.

- Estrutura nos terminais: é factível também que para esta implementação, os portos e terminais interessados tenham de fazer significativas alterações estruturais em suas instalações. Haveria a necessidade de alteração de layouts e instalações elétricas principalmente nas subestações e na área de conexão à beira do cais.
- Viabilidade: a partir dos resultados apresentados no presente trabalho, é possível afirmar que tecnicamente é viável operar sistemas de AMP desde que sejam feitas as adequações necessárias dentro da instalação portuária.
- Aspecto econômico: devido a limitações de tempo e recursos, não foi possível atingir o objetivo inicial de se traçar um paralelo entre o custo de utilização do sistema proposto e o sistema convencional. Ficou claro que apesar de a indústria de interesse em ter avanços neste campo, ainda carece de ferramentas e iniciativas mais solidas para que hajam avanços. Um exemplo disso foi a falta de informação sobre o custo da energia gerada a bordo dos navios, sabe-se que o custo do combustível é um dos principais pontos de interesse neste setor, no entanto não há dados e indicadores para medir a efetividade de maneira mais conclusiva. É possível que com tais dados seja possível avançar mais na direção de respostas quantitativas sobre uma análise de custos.
- Aspectos legais: apesar de não ser o foco principal deste trabalho, é válido citar que a legislação brasileira sobre venda de energia deve ser um dos pontos de atenção ao implementar um sistema de AMP, visto que configuraria algo novo no Brasil, tanto para as empresas distribuidoras de energia quanto para as empresas de navegação.
- Estudo de caso: o estudo de caso sobre a implementação de um sistema de AMP foi parte importante deste trabalho. A partir das análises desenvolvidas é possível concluir que tecnicamente é viável a implementação do sistema mediante as especificações propostas. Pelo aspecto econômico, não é possível aferir pois existem demasiadas incógnitas na análise como o valor da implementação do

sistema, o custo atual do sistema convencional, os futuros custos com mão de obra e diversos outros eventuais custos que tornam qualquer análise numérica preliminar pouco próxima da realidade.

#### 4. CONCLUSÃO

As recentes “escaladas no preço do petróleo” que ocorrem recorrentemente são apenas um dos diversos fatores que fomentam a aplicação de sistemas como o apresentado neste trabalho. Tem-se também o crescente apelo de diversas partes da sociedade para a redução impactos ambientais. Em paralelo a isso, ocorre que as indústrias, incluindo fortemente as do setor de navegação, tem apresentado um crescente interesse em tais sistemas. Durante o período em que o presente trabalho estava sendo desenvolvido houve inclusive uma empresa de navegação que questionou sobre o interesse do Terminal de Contêineres de Paranaguá em aplicar um sistema de AMP.

Por outro lado, devido a diversos fatores incluindo a falta de difusão da questão técnica, a implementação de tais sistemas ainda parece algo um tanto quanto distante de ser concretizada. Através dos resultados deste trabalho, é possível aferir que pelo aspecto técnico não são grandes impedimentos, mas sim alguns desafios que podem ser encarados como oportunidades.

O objetivo principal deste trabalho apresentar um estudo sobre a aplicabilidade de um sistema de *Cold Ironing*. Tendo em vista os dados, informações e ensaios que foram coletados e desenvolvidos ao longo do trabalho, é possível afirmar que este objetivo foi atingido. Pode-se dizer com clareza que atualmente a tecnologia de *Alternative Maritime Power* tem condições técnicas suficientes para operar nos portos brasileiros e isso também se aplica ao Terminal de Contêineres de Paranaguá.

Em segunda instancia este trabalho também buscou apresentar os requisitos básicos necessários para implementação de tais sistemas. Com base nos resultados e análises apresentados fica claro que este objetivo também foi alcançado. De maneira geral, é possível afirmar que o sistema básico apresentado no item 3.5 serve de base para o desenvolvimento deste tipo de solução.

Outro ponto de interesse no projeto, um dos objetivos secundários, foi chegar a conclusões acerca de mensurações sobre a redução de impacto ambiental e uma visão sobre os custos do projeto comparados a uma possível economia gerada ao adotar a tecnologia proposta. No entanto, não foi possível chegar a tais análises. Alguns fatores impediram um maior avanço nestas questões, seja a limitação do escopo do projeto ou mesmo a falta de informações disponíveis para tais análises. Com isto algumas questões como o quanto haveria de redução na

emissão de gases poluentes, não puderam ser respondidas quantitativamente. Assim como se operar um navio no sistema *Cold Ironing* seria mais barato do que no sistema convencional. Para se fazer tais cálculos e projeções seria necessário uma iniciativa vinda das empresas de navegação que possuem navios em conjunto aos terminais portuários.

Embora o presente trabalho ainda deixe em aberto os mencionados questionamentos, é fato que o mesmo pode servir como base para futuros estudos nesta área de conhecimento.

## 5. REFERÊNCIAS

- ANTAQ. (28 de Março de 2018). *Estatístico Aquaviário*. Fonte: Agência Nacional de Transportes Aquaviários: <http://web.antaq.gov.br/ANUARIO/>
- Baptista, P. (30 de Março de 2018). *Classificação de Navios*. Fonte: Transportes XXI: [www.transportes-xxi.net/tmaritimo/investigacao/classificacaodenavios](http://www.transportes-xxi.net/tmaritimo/investigacao/classificacaodenavios)
- Petrobras. (2013). *Combustíveis Marítimos Informações Técnicas (versão 1.1)*.
- ABNT. (15 de Abril de 2018). *NBR 14039 - Instalações elétricas de média tensão - 2005*. Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- Fiadomor. (15 de Abril de 2018). *Assessment Of Alternative Maritime Power - 2009*.
- ICCT. (03 de Maio de 2018). *Costs and benefits of shore power at the port of Shenzhen*. Fonte: <https://www.theicct.org/publications/costs-and-benefits-shore-power-port-shenzhen>.
- Mamede, J. (22 de Maio de 2018). *Instalações Elétricas Industriais.- 2002*.
- Kaarle. (03 de Maio de 2018). *Improving Energy Efficiency And Environmental Sustainability Of A Bulk Carrier – 2011*.