

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**  
**ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**CARLA HARUMI YOSHIMA**

**COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE PREVISÃO DE DEMANDA**  
**PARA CARGA GRANEL SÓLIDA NO PORTO DE PARANAGUÁ**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II**

**PONTA GROSSA**

**2017**

**CARLA HARUMI YOSHIMA**


**COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE PREVISÃO DE DEMANDA  
PARA CARGA GRANEL SÓLIDA NO PORTO DE PARANAGUÁ**

Trabalho de conclusão de curso apresentado para banca como requisito parcial à obtenção do título Bacharel em Engenharia De Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dra. Yslene Rocha Kachba

**PONTA GROSSA**

**2017**

	<p style="text-align: center;"><b>Ministério da Educação</b></p> <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ</b> <b>CÂMPUS PONTA GROSSA</b></p> <p style="text-align: center;"><i>Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção</i></p>	
---	---	---

## **TERMO DE APROVAÇÃO DE TCC**

**COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE PREVISÃO DE DEMANDA PARA CARGA  
GRANEL SÓLIDA NO PORTO DE PARANAGUÁ**

por

*CARLA HARUMI YOSHIMA*

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 29 de junho de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

**Prof. Yslene Rocha Kachba**

Prof. Orientador

---

**Prof. Rui Tadashi Yoshino**

Membro titular

---

**Prof.Dr.Juan Carlos Claros Garcia**

Membro titular

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”.

## **RESUMO**

A evolução da informação e do transporte fizeram com que o câmbio de produtos seja cada vez mais vantajoso e efetuado no decorrer das décadas. Dessa maneira, o transporte responsável pela movimentação da carga para terras estrangeiras influencia diretamente na qualidade e no serviço a ser prestado pela empresa produtora e recebedora. Então, esse estudo teve como objetivo a obtenção da previsão de demanda por meio da aplicação de diferentes métodos de previsão a fim de entender a demanda futura no setor de granel sólido de um dos principais portos do país, bem como, a importância de contar com a infraestrutura adequada para tal. Dessa maneira, o estudo de caso de natureza aplicada e abordagem quantitativa, em questão, apresentou a comparação de desempenho de métodos que consideram sazonalidade, tendência ou a ausência das mesmas para obter a equação que retornou o menor desvio em relação a demanda, originada da minimização dos desvios obtido a partir da programação linear, e as possíveis causas de sua superioridade frente aos demais métodos.

Palavras chaves: Previsão de demanda. Sazonalidade. Granel sólido.

## **ABSTRACT**

The market is becoming increasingly global. The evolution of information and transportation made the exchange of products profitable. Consequently, the transportation responsible for the movement of cargo to foreign lands influences directly the quality and the service to be provided by producer and receiver firm. Therefore this study is proposed to obtain the forecast demand by different methods in order to understand future demand in the bulk solids industry shipped at one of the main ports of the country and at the same time, the importance of having appropriate infrastructure. In this way, the case study of applied nature and quantitative approach, in question, presented the comparison of the performance of methods that consider seasonality, tendency or the absence of them to obtain the equation that returned the smallest deviation in relation to the demand, originating from the Minimization of deviations obtained from linear programming, and the possible causes of its superiority over other methods.

Key words: Forecast demand. Trend. Bulk solids.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Movimentação portuária ordenada pelo perfil de carga.....	14
Figura 2– Movimentação de carga nos portos organizados .....	15
Figura 3 – Movimentação de contêineres nos portos organizados .....	15
Figura 4 – Movimentação de granel sólido nos portos organizados .....	16
Figura 5 – Índice de qualidade de infraestrutura portuária.....	21
Figura 6 – Percentual de composição do escoamento de grãos de soja por modal .....	23
Figura 7 – Indução de Sazonalidade Relacionada à Oferta e à Demanda na Agricultura. ....	25
Figura 8 – Alguns métodos de previsão de demanda .....	26
Figura 9 – Modelo de regressão linear simples mostra que a expectativa da variável dependente Y é linear na variável independente X, com uma interceptação $a = 1,0$ e uma inclinação $b = 2,0$ . ....	32
Figura 10 – Esquema de previsão por meio da decomposição.....	36

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparativo entre modais de transporte .....	18
Quadro 2 – Avaliação quanto ao tipo de previsão .....	27
Quadro 3 – Interpretação da correlação .....	31
Quadro 4 – Equações de suavização exponencial considerando a presença ou ausência de tendência e sazonalidade. ....	35
Quadro 5 – Equações comparativas dos modelos de Holt-Winters multiplicativo e aditivo quanto a Nível, Tendência, Sazonalidade e Previsão. ....	36
Quadro 6 – Cálculos referentes a tabela de análise de variância .....	42
Quadro 7 – Dados de carga granel movimentada .....	46
Quadro 8 – Dados para previsão .....	46
Quadro 9 – Dados de regressão .....	47
Quadro 10 – Dados teste ANOVA .....	48
Quadro 11 – Estatísticas ARMA primeira ordem .....	58
Quadro 12 – Estatísticas ARMA segunda ordem .....	58
Quadro 13 – Coeficientes ARMA segunda ordem .....	59
Quadro 14 – Estatísticas ARMA de primeira ordem .....	63
Quadro 15 – Estatísticas ARMA de segunda ordem .....	64
Quadro 16 – Estatísticas ARMA de terceira ordem .....	64
Quadro 17 – Autocorrelação da demanda .....	66
Quadro 18 – Autocorrelação da demanda-1 .....	66
Quadro 19 – Autocorrelação da demanda-2 .....	67
Quadro 20 – Autocorrelação parcial da demanda .....	66
Quadro 21 – Estimativas finais de parâmetros .....	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Previsão pelo método de regressão.....	49
Tabela 2 – Previsão do modelo Holt-Winter.....	51
Tabela 3 – Reordenação da previsão do modelo Holt-Winter.....	52
Tabela 4– Previsão pela ferramenta solver linear com sazonalidade .....	53
Tabela 5– Ordenação de previsão pela ferramenta solver linear com sazonalidade .....	54
Tabela 6– Previsão pela ferramenta solver linear.....	56
Tabela 7 – Previsão pela ferramenta lingo para equação linear .....	57
Tabela 8 – Erro ARMA segunda ordem.....	59
Tabela 9 – Quadro comparativo para previsão de demanda de granéis sólidos (em toneladas) .....	62
Tabela 10 – Dados portuários.....	63
Tabela 11 – Demanda e diferenciações .....	65
Tabela 12 – Resultado teste de autocorrelação.....	67
Tabela 13 – Previsão com método ARIMA .....	67



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1	OBJETIVOS .....	14
1.1.1	Objetivo Geral .....	14
1.1.2	Objetivos Específicos .....	14
1.2	JUSTIFICATIVA .....	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>17</b>
2.1	LOGÍSTICA.....	17
2.2	TRANSPORTE HIDROVIÁRIO .....	18
2.3	.....	18
2.4	INFRAESTRUTURA PORTUÁRIA .....	19
2.5	.....	19
2.6	TIPOS DE CARGA MOVIMENTADAS NO PORTO E INFRAESTRUTURA NECESSÁRIA.....	22
2.6.1	Contêineres .....	22
2.6.2	Carga Granel.....	22
2.7	MÉTODOS DE PREVISÃO DE DEMANDA.....	25
2.7.1	Qualitativos.....	27
2.7.1.1	Método Delphi.....	28
2.7.1.2	Pesquisa de mercado .....	28
2.7.1.3	Simulação de cenários .....	29
2.7.2	Quantitativo .....	29
2.7.2.1	Métodos series temporais .....	29
2.7.2.2	Modelos causais .....	30
2.7.2.3	Correlação .....	30
2.7.2.4	Regressão simples .....	31
2.7.2.5	Regressão múltipla .....	32
2.7.2.6	Métodos econométricos.....	33
2.7.2.7	Médias móveis.....	33
2.7.2.8	Suavização exponencial .....	34
2.7.2.9	Projeção de tendências .....	36
2.7.2.10	Decomposição .....	36
2.7.2.11	Holt-Winter .....	37
2.7.2.12	Problema de minimização na Pesquisa Operacional.....	38
2.7.2.13	Modelos Autoregressivos Integrados de Médias Móveis ( <i>ARIMA</i> ).....	38

2.11 DETERMINAR OS ERROS DE PREVISÃO .....	40
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>43</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>46</b>
4.1 REGRESSÃO .....	48
4.2 HOLT-WINTER .....	51
4.3 MINIMIZAÇÃO DOS DESVIOS .....	53
4.3.1 Utilização da Ferramenta Solver para Desenvolver Uma Equação que Considere a Sazonalidade e Minimize o Somatório dos Desvios para o Modelo Holt-Winter. ....	53
4.3.2 Utilização da Ferramenta Solver para Desenvolver uma Equação Linear que Minimize o Somatório dos Desvios da Previsão.....	55
4.4 LINGO .....	57
4.4.1 Utilização da Modelagem no Software Lingo para Desenvolver uma Equação Linear que Minimize o Somatório dos Desvios da Previsão .....	57
4.5 MÉTODO ARIMA .....	59
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>73</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>75</b>

## Dicionário<sup>1</sup>

**ARMADOR:** Aquele que com recursos próprios, explora comercialmente as embarcações mercantis.

**ARMAZÉNS:** São áreas utilizadas para a acomodação das cargas a serem embarcadas ou aquelas desembarcadas dos navios.

**ATRACAÇÃO:** Operação de fixação do navio ao cais.

**BERÇO OU DOCA:** São locais de atracação e de movimentação das cargas as serem embarcadas e descarregadas.

**CAIS:** Plataforma em parte da margem de um rio ou porto de mar ao qual atracam os navios e onde se faz o embarque ou desembarque de pessoas e/ou mercadorias.

**CARGA A GRANEL** Também denominada de graneis, é aquela que não é acondicionada em qualquer tipo de embalagem.

**SHIPLOADER:** Carregador de navios, equipamento portuário móvel em forma de torre, com um tubo ou um túnel que é projetado para um berço, destinado ao carregamento de carga a granel através de correias transportadoras, diretamente de um armazém ou silo aos porões do navio.

## 1 INTRODUÇÃO

O mundo em que vivemos atualmente foi moldado por um enorme aumento dos fluxos de comércio e investimento internacionais, e pela realocação de atividades industriais para países que oferecem custos funcionais mais baixos (WILMSMEIER e MARTÍNEZ-ZARZOSO, 2010). Conseqüentemente, como os produtos geralmente não são produzidos onde são consumidos, uma rede de distribuição tem de ser configurada para que as mercadorias possam chegar ao cliente final (VILKELIS, 2011).

Tal rede, é composta por diferentes tipos de transporte que têm consigo diferentes características que o tornam mais ou menos adequados para com a carga a ser manipulada. Quanto aos parâmetros dessa carga, os principais elementos são: peso e volume; densidade média; dimensão da carga; dimensão do veículo; grau de fragilidade da carga; grau de perecibilidade; estado físico; assimetria; e compatibilidade entre cargas diversas (RIBEIRO e FERREIRA, 2002). No entanto, considera-se também a distância a ser percorrida e o custo envolvido antes da seleção do tipo de transporte.

No Brasil, a operação de transporte intermodal é a mais praticada (DUBKE, FERREIRA e PIZZOLATO, 2004) a qual, por meio, da combinação de modalidades de transporte, busca-se extrair o que tem de melhor em cada uma. Sob a ótica de Moura e Botter (2011), o transporte por via marítima na costa de um país, a cabotagem, é uma forma de tornar este modal competitivo para grandes distâncias num país com esta grande extensão territorial e, aliada aos demais modais de transportes (ferroviário, rodoviário e hidroviário), pode contribuir muito para redução dos custos logísticos nacionais, além de reduzir avarias de transporte, perda de carga, etc.

Adentrando as características desse modal, é necessário identificar os fatores cruciais que influem para o uso de navegação costeira, a fim de incentivar o seu desenvolvimento (CHING-CHIAO, HUI-HUANG e WEN-HSING, 2014). Ademais, segundo Geomelos e Xideas (2014), o envio através deste modal é caracterizado pela complexidade e incerteza uma vez que é uma das indústrias mais globalizadas do mundo.

Tais incertezas são potencializadas quando existe uma carência de infraestrutura para atender eficientemente a demanda. Com a diminuição das barreiras geográficas, a competitividade atua em proporções mundiais tornando o mercado cada vez mais sensível a mudanças de indicadores de desempenhos ou desempenho de mercadorias concorrentes ou complementares.

Em outras palavras, o tráfego de carga e de trânsito através dos portos é, geralmente, afetado por vários fatores, tais como: geografia; macroeconomia; política; competição; e técnicas organizacionais, etc. (VYTAUTAS e VALDAS, 2003). É então que surge a oportunidade de estudos acerca de fatores que influenciam, de alguma maneira, o tráfego dessa carga.

Anteriormente, a academia endossou que a escolha pela utilização do modal aquaviário deve-se a fatores como tempo e custos, a frequência dos serviços ou a confiabilidade (SHINGHAL e FOWKES, 2002; PAIXÃO e MARLOW, 2005; MEDDA e TRUJILLO, 2010; SAMBRACS e MANIATI, 2012).

Paralelamente, também ocorreram estudos acerca dos fatores que influenciam o custo do transporte marítimo por meio de metodologias propostas por Kavussanos e Nomikos (1999) usando quatro modelos de previsão e alinhamento (VECM, ARIMA, suavização exponencial e Random Walk) no mercado de futuros fretes. Lyridis, Zacharioudakis, Mitrou e Mylonas (2004) com uma nova metodologia para a previsão dos fretes; entre outros, com o intuito apresentar previsões mais próximas do ideal para uma posterior tomada de decisão.

Previsões e teoria da decisão geralmente são ligados entre si com efeitos de feedback. Os tomadores de decisão não devem confiar apenas em seu conhecimento ou sua visão, mas eles também podem usar técnicas de previsão econométricos (GEOMELOS e XIDEAS, 2014) para embasar decisões mais sólidas.

Aliado a isso tem-se que, segundo a *United Nations Conference on Trade And Development* (UNCTAD) (2011), o setor de granéis sólidos é responsável por pouco mais de um quarto do volume total de cargas transportado por via marítima em âmbito global. Em complemento, segundo a Agência Nacional de Transporte Aquaviário (ANTAQ) (2013) esse mesmo tipo de carga representou em média 60% da carga movimentada no Brasil entre os anos de 2011-2013.

Então, fica evidente a importância, tanto do modal quanto da carga para a economia brasileira. Ambos representam uma considerável parcela dos bens movimentados e, conseqüentemente, do bom desempenho do país. Dessa maneira, um limitante, sendo esse causado por mal planejamento, falta de estrutura ou qualquer outro motivo, estaria limitando uma das principais fontes de câmbio de mercadorias do país de economia emergente.

Assim sendo, cabe às instalações portuárias a adequação física para suprir, com eficiência, tal demanda. E é então que esse estudo tem por finalidade responder à pergunta: Qual a equação que apresenta o menor desvio para a previsão da demanda portuária de granéis sólidos do Porto de Paranaguá?

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Comparar específicos métodos de previsão de demanda a fim de encontrar a equação que retorne o menor desvio para a previsão de demanda portuária.

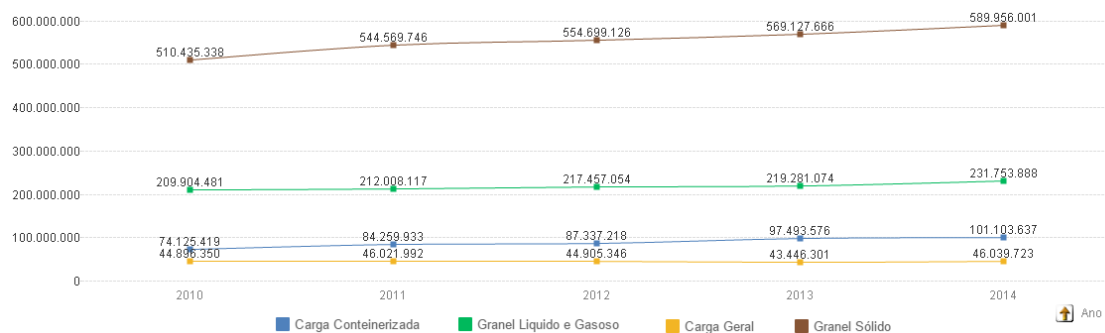
### 1.1.2 Objetivos Específicos

1. Definir e caracterizar as variáveis explicativas;
2. Ajustar modelos tentativos;
3. Comparação dos resultados entre os modelos e os softwares utilizados.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Segundo dados da Agência Nacional de Transporte Aquaviário (ANTAQ) (2015), o tipo de carga que representa predominância na movimentação portuária, conforme demonstra a estatística (Figura 1) a seguir é a do granel sólido. Dessa maneira, o foco desse estudo manipula a carga de maior representatividade na atividade portuária, tomando assim caráter ainda mais significativo.

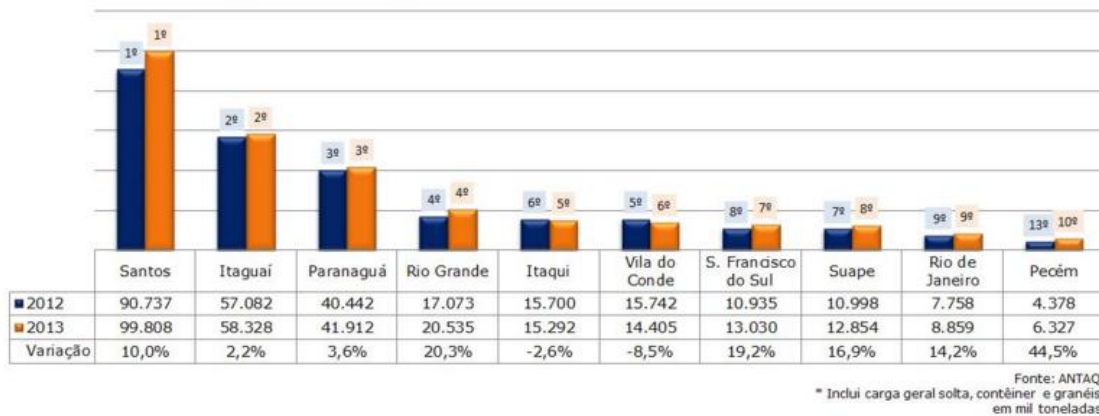
**Figura 1– Movimentação portuária ordenada pelo perfil de carga.**



**Fonte: ANTAQ, 2015.**

Já o porto de Paranaguá também é de suma importância para o país. Protagonizando importantes estatísticas, seu crescimento vem sendo cada vez mais significativo para o país e para a área de câmbio ao qual está inserido. Segundo a ANTAQ *apud* Portos do Brasil (2015) as estatísticas referentes aos portos organizados brasileiros são apresentadas.

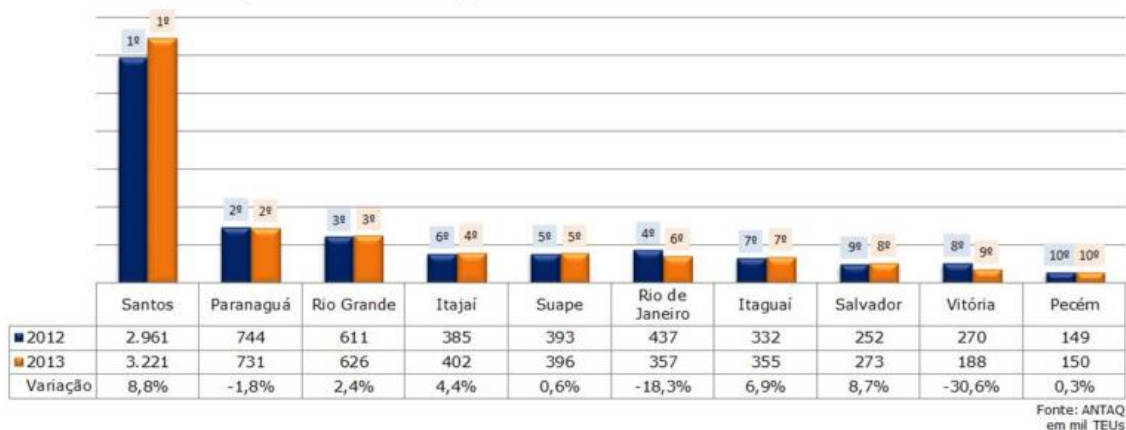
**Figura 2– Movimentação de carga nos portos organizados**  
**Movimentação Portos Organizados\***



Fonte: ANTAQ *apud* Portos do Brasil (2015)

Percebe-se a terceira colocação do Porto de Paranaguá ao considerar três tipos de carga movimentadas nos portos organizados: carga granel solta, contêiner e granéis. Então, adentrando a movimentação por tipo de carga temos uma posição de destaque para o porto em termos de movimentação de contêineres.

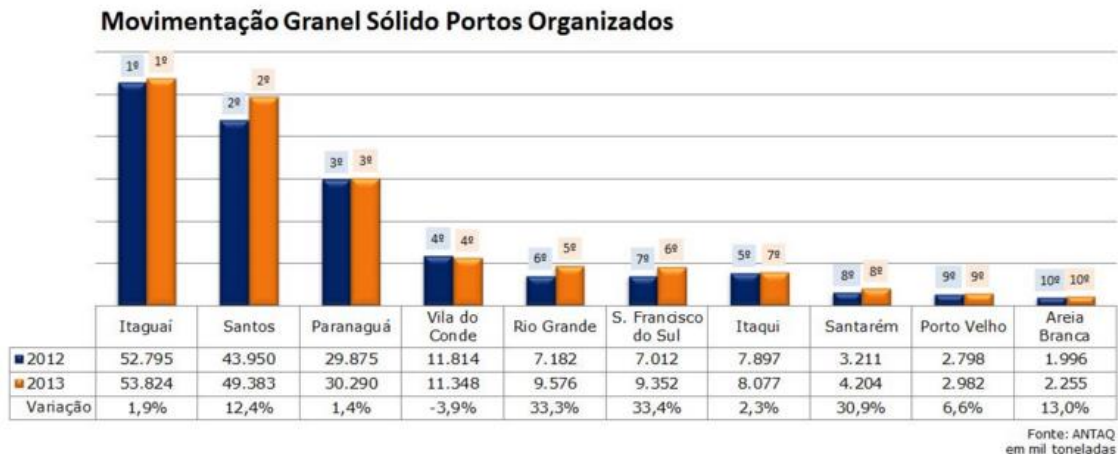
**Figura 3– Movimentação de contêineres nos portos organizados**  
**Movimentação TEUs Portos Organizados**



Fonte: ANTAQ *apud* Portos do Brasil, 2015

Já quando se refere ao granel sólido, o Porto de Paranaguá também aparece entre os 3 maiores movimentadores, mas dessa vez em terceiro lugar.

**Figura 4–Movimentação de granel sólido nos portos organizados**



**Fonte: ANTAQ apud Portos do Brasil, 2015**

Assim sendo, fica evidente a importância de adentrar ao universo que envolve o setor portuário e, uma vez que essa é uma das principais “portas” de entrada e saída de mercadorias no país.

Mas, essas movimentações de carga necessita uma atenção maior quando por questões de falta de preparo ou deficiência estrutural ocorre a limitação ou o atrasado na atividade de troca de mercadorias. E nesse contexto, abre-se espaço para a previsão de demanda.

O termo, conhecido em inglês como *forecasting*, pode ser entendido como estimar situações futuras. Os riscos do futuro desconhecido podem ser minimizados por uma avaliação tão correta quanto possível de suas tendências (POPADIUK e SANTOS). Em complemento, um conhecimento prévio da disparidade da demanda para com a capacidade, justificaria e apoiaria uma mudança do planejamento portuário e/ou a iniciativa em planos de expansão física de alguns setores.

Assim, adaptando Paixão e Marlow (2002), as autoridades portuárias poderiam aumentar sua eficiência através de medidas tais como layouts portuários eficazes, menos burocracia, melhores portos, infraestruturas mais eficientes, conexões intermodais e redes de transporte multimodal.

Em suma, a partir dessa necessidade de entender os fatores que viriam a afetar a demanda portuária de uma região com o intuito de analisar se essas mudanças assumem caráter esporádico ou definitivo, direta ou inversamente proporcional a quantidade de carga movimentada e alteração fraca, moderada ou forte na demanda portuária, justifica-se o estudo.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo o *Council of Supply Chain Management Professionals – CSCMP* (2013), logística é a parte da gestão da cadeia de suprimentos que planeja, implementa e controla o fluxo direto e reverso de maneira eficaz. Inclui também a armazenagem de mercadorias, serviços e informações relacionadas entre o ponto de origem e o ponto de consumo, a fim de atender às exigências dos clientes.

Dessa maneira, pode-se adentrar a tal universo considerando diferentes vertentes e com diferentes focos a fim de tornar o processo mais eficiente.

### 2.1 LOGÍSTICA

Logística, portanto, inclui diversas atividades dentro dos processos de produção, distribuição e consumo (KUSE e IWAO, 2010). E a partir de então, segundo Alarcón et al (2012), tornou-se um fator fundamental para a geração de vantagens competitivas e de criação de valor através do planejamento, implementação e controle de processos ligados aos fluxos físicos, bem como a integração de processos ao longo da cadeia de abastecimento.

Absorvendo as definições, busca-se maneiras de compreender o funcionamento e as maneiras de possíveis priorizações dentro dessa grande área. Então, Ballou (2010) considerada como atividades primárias as de transporte, manutenção de estoques e processamento de pedidos, uma vez que ou elas contribuem com a maior parcela do custo logístico total, ou elas são essenciais para a coordenação e o cumprimento da tarefa logística.

Seguindo nesta linha, para que os conhecimentos logísticos possam efetivamente atuar como diferencial, é importante conhecer as necessidades e as variáveis envolvidas no ramo de atuação uma vez que, segundo Monié (2003), a globalização reativa a competição entre os territórios para a captação de fluxos de bens, capitais e informações que circulam em volumes cada vez maiores no espaço econômico mundial.

A escolha do modal é feita considerando a necessidade e peculiaridade da movimentação a ser feita, bem como a viabilidade financeira e estrutural do universo de atuação ao qual a organização está inserida.

Ao considerar a demanda de viagens, Carrion e Levinson (2012), ressaltam que os dois valores mais importantes obtidos a partir de estudos dessas demandas são o valor do

tempo de viagem, que consiste na economia de tempo literalmente conseguida pelo consumidor e o valor de confiabilidade do tempo de viagem que consiste na ligação de valores monetários para a melhoria da previsibilidade (redução da variabilidade de tempo).

Então, segundo Wang et al. (2013), a partir de estudos previamente endossados pela academia, foi percebido que a escolha do modo de transporte de mercadorias, do ponto de vista de quem o está expedindo, depende principalmente da demanda de transporte e infraestrutura, bem como características de fornecimento de serviços apresentado pelo modal em questão. E ainda segundo o autor, do lado da oferta, as principais variáveis explicativas são custo de transporte, tempo e frequência.

Já as principais variáveis, em termos de mercadoria, são: natureza e característica da mercadoria; tamanho do lote; restrições dos modais; disponibilidade e frequência do transporte; tempo de trânsito; valor do frete; índice de faltas e/ou avarias (taxa de sinistralidade); nível de serviços prestado (RODRIGUES, 2007, p. 29).

Uma má escolha ou utilização do sistema de transporte pode influenciar negativamente não somente a organização que depende de tal serviço para o atendimento a seu cliente, mas, ao analisar o cenário de maneira macro, percebe-se que tal fator pode acarretar problemas para a região a qual tal organização está inserida ou tem influência. O transporte de mercadorias ineficiente provoca uma série de problemas, entre que estão o congestionamento do tráfego, a deterioração da infraestrutura e da poluição ambiental (KUSE e IWAO, 2010).

Em outras palavras, a decisão logística pode impactar toda a cadeia de abastecimento e transporte sendo um diferencial, tanto positivo quanto negativo. Em países que as condições oferecidas divergem mais, como o caso do Brasil, é fundamental uma análise logística para toda e qualquer atividade.

## 2.2 TRANSPORTE HIDROVIÁRIO

Portos têm sido um meio importante para o comércio por milhares de anos. Hoje o setor do transporte marítimo carrega 90% do mundo 5,1 bilhões de toneladas de comércio internacional (STEELE et al., 2001). Mas, a exportação é uma operação multimodal por natureza, com os carregamentos sendo transportados por rodovias, ferrovias e hidrovias até os pontos de saída, ou seja, portos e aeroportos (WANKE e HIJJAR, 2009).

Reforçando e complementando a teoria em relação a esse modal, Setten (2010) afirma que o modal hidroviário é caracterizado pelo baixo custo operacional e também pelo reduzido níveis de emissão de poluentes e acidentes. Em contrapartida, é um modal pouco flexível em comparação ao rodoviário e, também é dependente de outros modais, pela necessidade de conexões a fim de possibilitar uma logística integrada.

**Quadro 1 – Comparativo entre modais de transporte**

	Unidade	Rodoviário*	Ferrovário	Hidroviário
Consumo de combustível	Litros de Diesel/1000 t km	43, 4	12, 6	7, 4
Eficiência de carregamento	t transportada/hp	0, 14	2, 04	4, 86
Capacidade de Carga	Nº de unidades para transporte de 1500 t	60	15	1

**Fonte:** BRANCO e MARINS, 2006, p.108.

\* **Base:** Caminhões com 25 t de carga líquida

**Fonte: Branco e Marins (2006) apud Setten (2010), p. 47.**

Com base no quadro 1, é possível observar a notória superioridade do modal hidroviário em importante pontos, que o tornariam menos custoso que os demais. Mas, são suas peculiaridades relacionadas ao acesso e necessidade de custo físico que o tornam menos demandado.

### 2.3 INFRAESTRUTURA PORTUÁRIA

A infraestrutura portuária é composta pelos ativos fixos sobre os quais é realizada a movimentação de cargas entre os navios e os modais terrestres (NETO, 2009). O conceito de infraestrutura portuária é claro e sucinto. Mas para entender os fatores que afetam e são afetados pelo desempenho de suas atividades é importante entender a diferença dos fatores que compõem tal estrutura.

Primeiramente, conceitua-se por instalação portuária a instalação localizada dentro ou fora da área do porto organizado e utilizada em movimentação de passageiros, em movimentação ou armazenagem de mercadorias, destinadas ou provenientes de transporte aquaviário (SECRETARIA DE PORTOS – PRESIDÊNCIA DO BRASIL, 2015).

Portos organizados, ainda conceituado sob a ótica da Secretaria de Portos – Presidência do Brasil (2015), são bens público construído e aparelhado para atender a necessidades de navegação, de movimentação de passageiros ou de movimentação e armazenagem de mercadorias, e cujo tráfego e operações portuárias estejam sob jurisdição de autoridade portuária.

Em termos de composição, segundo Neto (2009), os portos são formados, de maneira geral, por uma combinação de elementos essenciais o seu funcionamento operacional (retroporto, terminais, berços, canais de acesso e atracagem, vias perimetrais rodoviárias e férreas, além de centros administrativos e operacionais) e tem por objetivo ser um local para transbordo de mercadorias e produtos, destacando-se: graneis (sólidos e líquidos), bens de capital e contêineres. Este transbordo pode ocorrer de um navio para outro, mas também de um trem para um navio, de um caminhão para um navio, e vice-versa.

Adentrando à essa composição, a Agência Nacional de Transporte Aquaviário (ANTAQ) (2015) conceitua por retroporto (ou retroárea), uma área adjacente ao porto organizado destinada a suprir as deficiências de área de armazenagem do porto por terminal portuário, uma instalação portuária, normalmente cais ou *pier* especializado com equipamentos apropriados para movimentação de um determinado tipo de carga, sejam elas granel (sólido ou líquido), carga geral ou exclusivamente contêiner, por berços o ponto de atracação das embarcações no cai. Já por vias perimetrais rodoviárias e férreas, sob a ótica de Rojas (2014), conceitua-se como as estruturas de acesso terrestre ao retroporto e a área do porto localizada em paralelo ao cais.

Tais instalações, segundo o Manual do Trabalho Portuário e Ementário (2001), podem ser exploradas em duas modalidades, por meio do uso público ou privado. As instalações de uso público estão sempre dentro da área do porto organizado, no entanto, as de uso privado podem situar-se tanto na área interna do porto organizado como também fora dessa área. Na exploração de uso privativo, o particular detém maior autonomia no uso da instalação.

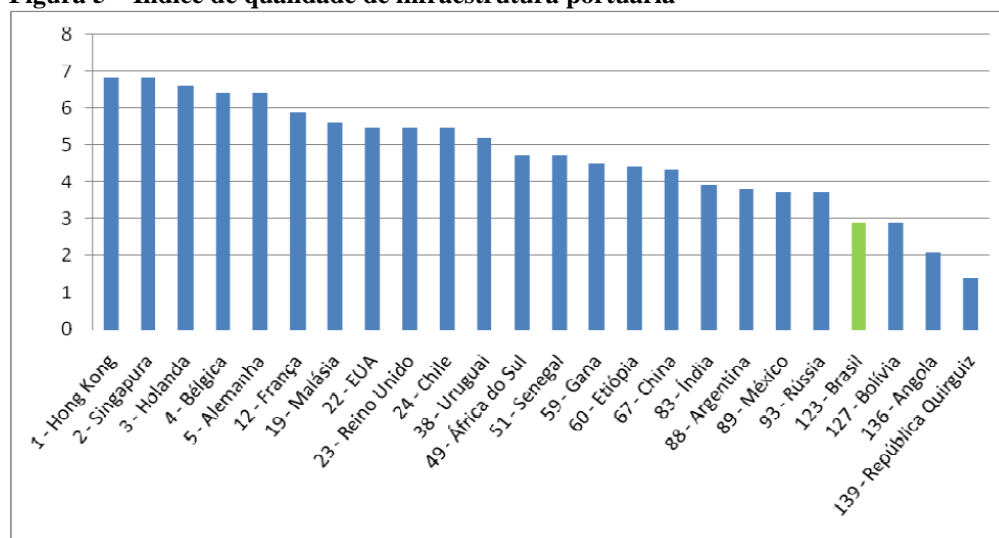
Segundo Lacerda (2005), o setor privado é responsável pela movimentação da maior parte de cargas nos portos brasileiros tanto por meio de terminais portuários arrendados como dos terminais privativos. Ainda sob a ótica deste autor, o atual modelo brasileiro (adotado com a instituição da Lei dos Portos), aumentou o envolvimento privado nos portos, mas o serviço de infraestrutura portuária foi mantido sob responsabilidade pública e hoje, é um dos principais gargalos para o bom funcionamento dos portos nacionais.

Em complemento, Neto (2009) afirma que entre os principais problemas a serem destacados de infraestrutura portuária identificadas no Brasil são os déficits das áreas portuárias (que incluem a construção, ampliação ou recuperação de berços, píeres, terminais, etc.) e a necessidade da expansão e melhoramento dos acessos terrestres as imediações do porto – sendo que, juntos, esses os fatores são responsáveis por quase 90% do valor orçado para os gargalos.

Todos esses problemas vão contra o trabalho eficiente de um porto. Um porto eficiente, segundo Figueiredo (2001) é aquele que minimiza a permanência do navio na região portuária. Esse tempo de permanência do navio é a soma da espera para atracação com o tempo de operação e o tempo para liberação do navio. A eficiência portuária também pode ser avaliada segundo a performance operacional, a qualidade da infraestrutura existente e o grau de segurança associado à operação. De maneira geral, faz-se uso de indicadores de desempenho para tentar mensurar a eficiência portuária.

Em termos de qualidade de infraestrutura portuária, o Brasil perde para países que tem mercados de exportação similar e atuante como concorrente, como descreve a figura que segue.

**Figura 5 – Índice de qualidade de infraestrutura portuária**



Fonte: Schwab (2010) *apud* Falcao e Correia (2012)

Então, Falcao e Correia (2012) destacam a impulsão da preocupação mundial em estudar novas maneiras de otimizar os custos da infraestrutura portuária uma vez que com o advento da globalização o transporte marítimo e, conseqüentemente, os portos, tornaram-se peças fundamentais para alavancar o desenvolvimento do comércio internacional de um país.

Ainda salientam que, os portos são considerados uma das principais forças que movem a economia então, ao diminuir os custos relacionados a ele, a economia global irá ganhar.

## 2.4 TIPOS DE CARGA MOVIMENTADAS NO PORTO E INFRAESTRUTURA NECESSÁRIA

### 2.4.1 Contêineres

Segundo Steenken e Stahlbock (2004), os contêineres entraram no mercado de transporte internacional de frete marítimo quase cinco décadas atrás. Pode-se considerar como bem aceitos e é correto afirmar que continuam a atingir ainda mais aceitação devido ao fato de que são hoje, a base do conceito de unidade de carga.

Ainda sob a ótica de Steenken e Stahlbock (2004), contêineres são caixas relativamente uniformes cujo conteúdo não tem que ser desembalado em cada ponto de transferência. São objetos projetados para um manuseamento fácil e rápido de transporte de mercadorias.

Em complemento, Ballou (1993) *apud* De Martins Ribeiro (2014) afirma que, o contêiner padrão é uma peça que é transferível para todos os modais de transporte de superfície, com exceção dos dutos. Dessa maneira, a transferência de carga em contêineres evita o remanejamento custoso de pequenas unidades de cargas nos pontos de transferência intermodal e possibilita o serviço porta a porta combinado com caminhões.

### 2.4.2 Carga Granel

No Brasil o setor agrícola vem apresentando forte crescimento nas últimas décadas em virtude principalmente das novas técnicas no campo e também da modernização de máquinas e equipamentos (GIOVINE e CHRIST, 2010).

Analisando de maneira quantitativa a produção de granel, a importância deste setor no crescimento econômico, segundo Giovine e Cherist (2010), verifica-se pela sua participação no PIB que em 2009 atingiu cerca de 23% conforme dados da Confederação

Nacional da Agricultura e Pecuária, além de representar cerca de 40% das exportações brasileiras.

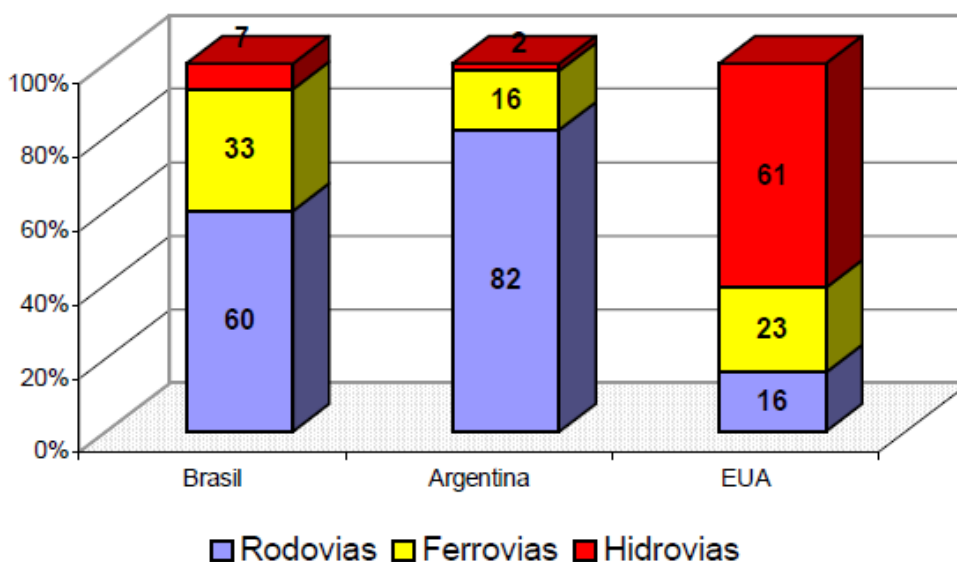
Tal participação nos indicadores brasileiros é relevante e consolidada. Segundo dados do IBGE (2012), a safra nacional de cereais, leguminosas e oleaginosas foi estimada em 158,6 milhões de toneladas. O arroz, o milho e a soja são as três principais culturas consideradas e somadas, representam 90,9% da previsão da produção e respondem por pouco mais de 83% da área de colheita.

Conforme a logística foi sendo aperfeiçoada, a possibilidade de especialização das terras em cultivo de produtos beneficiados pelo tipo de clima ou de solo, começou a tornar-se cada vez mais atrativa. Ou seja, o desenvolvimento do sistema logístico no campo, após o crescente aumento e evolução da agricultura, influenciou ainda mais na separação geográfica entre o consumo e a produção (BAHIA et al. 2007).

O mesmo princípio, quando aplicado a mercados mundiais, ajuda a explicar o alto nível de comércio internacional hoje existente. Sistemas logísticos eficazes dão ao comércio mundial condições de tirar proveito do fato de não serem terras uniformemente produtivas, e ao mesmo tempo incentivam a concorrência entre os países pelos mercados disponíveis.

O constante crescimento da concorrência no mercado internacional de *commodities* agrícolas e minerais exige cada vez mais velocidade, qualidade e baixos custos para os produtos nacionais (LEITE, 2013). Então, é coerente um cenário comparativo aos principais concorrentes pelo mercado de granel em relação ao transporte para com essa carga. Tomando como exemplo o caso da soja, um dos principais produtos da exportação brasileira, teve-se em cenário comparativo: Brasil, Argentina e Estados Unidos.

**Figura 6 – Percentual de composição do escoamento de grãos de soja por modal**



**Fonte: Associação das Indústrias Brasileiras de Óleos Vegetais (ABIOVE) apud FILHO, 2014**

O caso dos Estados Unidos, segundo tal estudo, demonstra como a nação já se tornava menos dependente do transporte rodoviário e tendendo a maior utilização do modal mais adequado as características da carga.

Já no caso da Argentina, embora o país dependa mais do modal rodoviário que o Brasil, este dado deve ser relativizado já que, segundo o estudo de Timossi (2003) citado por Filho (2014), as áreas produtoras do grão encontram-se mais próximas aos portos.

Deve-se também dosar as condições estruturais e os tempos aos quais os produtos são submetidos durante o percurso de transporte, uma vez que essas características são tão decisivas quanto o tipo do modal para a análise de desperdício de carga que ocorre no trajeto.

Já em termos de comercialização, o transporte a granel é constituído por dois mercados principais, o mercado petrolífero e o mercado graneleiro onde a maioria das cargas são transferidas. O transporte desses bens é essencial para as economias mundiais e o papel do transporte marítimo é muito importante nesse ponto (GEOMELOS e XIDEAS, 2014).

Segundo a *United Nations Conference on Trade And Development* (UNCTAD) (2011) as transferências de grãos são, em grande medida, determinadas pelo tempo em produção e exportação dos países. No entanto, outros fatores são cada vez mais influenciar o volume, estrutura e padrões de embarques de grãos e incluir:

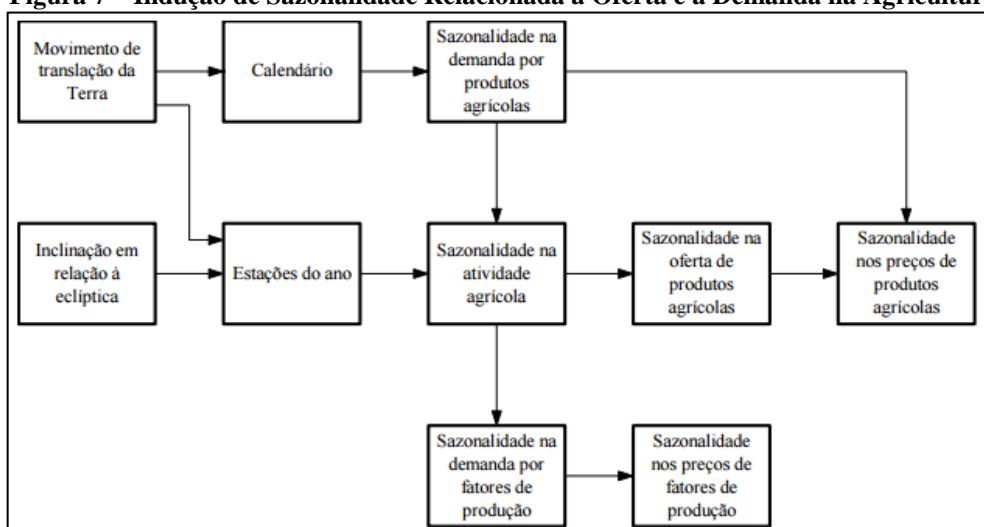
- a. A mudança na demanda e uso (por exemplo, fins industriais vs. alimentação);
- b. Políticas ambientais e energéticas que promovam a utilização de fontes de energia alternativas, como os biocombustíveis;
- c. A evolução dos padrões de consumo e da procura (por exemplo, maior consumo de carne nos países emergentes em desenvolvimento países levar a mais embarques de grãos como matéria-prima);
- d. Medidas comerciais destinadas a promover ou restringindo os fluxos comerciais.

Então, outro ponto que pode ser considerado é a sazonalidade.

Segundo Pino (2014), os termos estacionalidade e sazonalidade referem-se às estações ou sações do ano. E, considerando o setor agrícola, embora as causas primárias da sazonalidade na agricultura tenham sido astronômicas, suas causas mais imediatas são decorrentes de questões econômicas. Assim sendo, as causas da sazonalidade na agricultura podem ser classificadas em dois grupos, as relacionadas à oferta e as relacionadas à demanda, como expõe a figura 7.



**Figura 7 – Indução de Sazonalidade Relacionada à Oferta e à Demanda na Agricultura.**



Fonte: Pino, 2014 p. 65.

Em complemento, Signor et al (2013) salienta que apesar da existência de uma estreita relação entre os períodos de safra e entressafra sobre os efeitos sazonais dos preços de grãos, a abertura do mercado para produtos externos concorrentes, as dinâmicas mudanças dos mercados consumidores, as influências da política governamental sobre o setor, entre outros motivos, também alteram as características sazonais dos produtos de um período para outro.

## 2.5 MÉTODOS DE PREVISÃO DE DEMANDA

Pode-se definir por previsão de demanda, segundo Archer (1980), a arte de prever a ocorrência de acontecimentos antes que esses realmente aconteçam. Nessa linha, previsões fornecem, portanto, informações que permitem aos planejadores tomar decisões antes que o fato que antecede ou são afetados por sua decisão acabem por realmente acontecer. Assim sendo, a previsão está no centro do planejamento

É então que surge a oportunidade de agregar os conhecimentos de previsão de demanda aos dados históricos de movimentação de carga e, a partir de então, adentrar à busca de equações que se adequem da melhor maneira e retornando o menor desvio para a previsão de futuras demandas.

Nessa linha, apresentam-se diversos estudos de aplicações de previsões de demanda. Batchelor, Alizadeh, e Visvikis (2007) exploraram diversos modelos de séries temporais lineares padrões como ferramentas de previsão buscando prever o ponto e os valores futuros

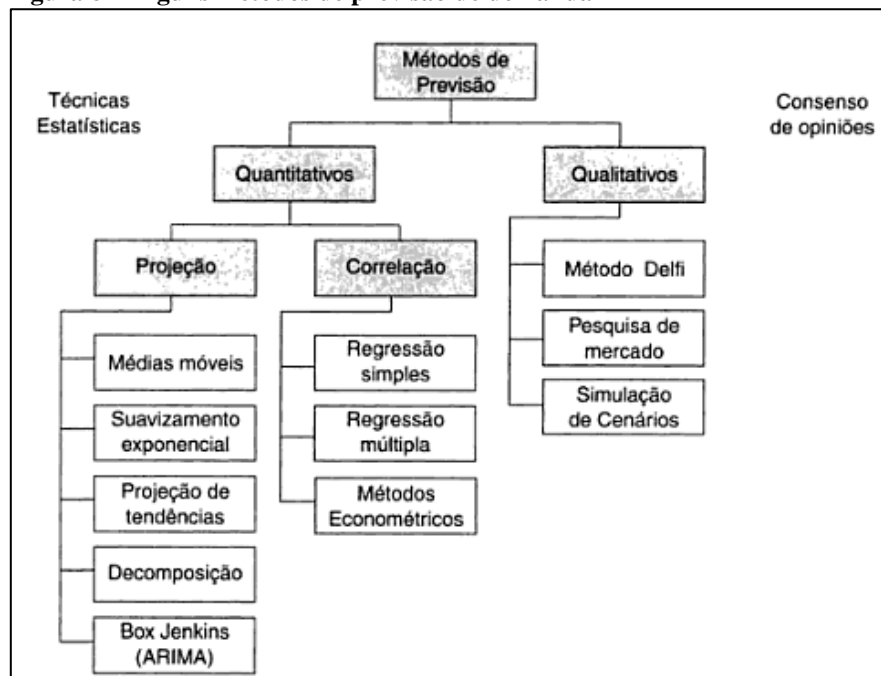
de frete. Já Geomelos e Xideas (2014), tiveram seu estudo focado na previsão preços locais no transporte a granel utilizando modelos multivariados e univariados, em ambos os mercados de petroleiros e graneleiros em um nível desagregado. Para tal, empregaram um estudo econométrico.

Ainda sob a ótica de Geomelos e Xideas (2014), a análise econométrica centra-se na comparação dos modelos econométricos de duas importantes categorias de econometria: modelos multivariados (VAR e VECM) e modelos de série temporal univariada (ARIMA, GARCH e E-GARCH) no intuito de obter o modelo que melhor se adere a sua necessidade.

Os estudos são aplicados envolvendo diferentes métodos de previsão e nas mais variadas áreas. Em características gerais, Archer (1980) afirma que existem duas abordagens disponíveis, a intuitiva, que envolve experiências e práticas do conhecimento de peritos de campo ou o método numérico que inclui modelos de construção que pode ser utilizado na análise e geração de dados.

Assim, também parte a divisão estudada por Lustosa, de Mesquita e Oliveira (2008), em seus estudos que envolvem previsão de demanda e planejamento e controle da produção, como demonstra o fluxograma apresentado na Figura 8.

**Figura 8 – Alguns métodos de previsão de demanda**



Fonte: Lustosa, de Mesquita e Oliveira (2008).

Então, consideram-se espaços para a análise de quando e como utilizar os métodos de previsão de demanda. A tomada de decisão de maneira intuitiva e qualitativa teria suas

características positivas e negativas bem como o método de previsão numérico e quantitativo, como representado no Quadro 2.

**Quadro 2 – Avaliação quanto ao tipo de previsão**

	Avaliação Positiva	Avaliação Negativa
Previsão Quantitativa	Acessibilidade de dados sem complicações; Possibilidade de prever pontos de mudança empresarial; Avaliação do indicador econômico intra-relacionado e da flutuação.	Inadequado para nova previsão de demanda de novos produtos; Elevados custos: muitas vezes exige análise de mercado constante e compilação regular de dados; Muitas vezes complica aplicação e interpreta resultados.
Previsão Qualitativa	Os dados dos períodos anteriores não são necessários; Adequado para previsão de demanda: 1) em novos mercados; 2) nos mercados atuais através de novas equipes de vendas; Permite o desenvolvimento de opinião diversidade; Opinião de especialistas aumentam a confiabilidade da previsão.	Opinião subjetivas de especialistas; Flutuações de sequência de dados (sazonal, cíclica, como tendência, aleatório) não são levadas em consideração; Interrelação de dados econômico não é avaliada; Não se aplica para o desenvolvimento de previsão de curto prazo.

Fonte: Pilinkiené (2015)

Cabe ao pesquisador testar ou identificar o método que melhor representa a série de dados para que, desde o início de um estudo, os resultados sejam condizentes com a realidade.

### 2.5.1 Qualitativos

Para Archer (1980), os métodos qualitativos de previsão dependem da experiência acumulada dos peritos e das pessoas envolvidas na atividade de antever o provável resultado de uma série de acontecimentos. O autor afirma que esta abordagem é mais apropriada em situações em que os dados são insuficientes ou inadequados para o processamento, ou em situações cujas alterações das dimensões tornem uma análise numérica inadequada.

Em complemento, Zhang, Huang e Zhao (2013), reforçam que os métodos qualitativos de previsão são embasados principalmente em dados históricos e ainda confiam na experiência pessoal, conhecimento e capacidade de análise na previsão da desenvoltura futura. Exemplos de métodos qualitativos podem ser Método de Delphi, método de pesquisa sobre o fornecimento de mercadorias, entre outros.

### 2.5.1.1 Método Delphi

O método Delphi, segundo Skulmoski, Hartman e Krahn (2007) é adequado como instrumento de pesquisa em ocasiões onde há o conhecimento incompleto acerca do problema ou fenômeno em pauta. Esse método aplica satisfatoriamente quando o objetivo é melhorar a compreensão dos problemas, oportunidades, soluções, ou para desenvolver previsões.

Já sob a ótica de Okoli e Pawlowski (2004), o método Delphi é caracterizado como um método de voltado à estruturação de um processo de comunicação em um grupo de modo com que tal relacionamento seja eficaz em prol da resolução um problema complexo. E, para alcançar tal objetivo, a então denominada “comunicação estruturada” proporciona: algum feedback das contribuições individuais para com a informação ou o conhecimento, avaliação do julgamento do grupo, oportunidades de rever pontos de vista, entre outros.

Então, Skulmoski, Hartman e Krahn (2007) abordam Delphi em dois pontos chaves: em primeiro, a abordagem Delphi como uma ferramenta agressiva e criativa que pode ser adaptada e mixada para atender uma situação particular; e em segundo lugar, quando se efetua uma adaptação para a abordagem, existe a necessidade de equilibrar a eficácia com a inovação. Assim sendo, quanto mais inovação perante o método clássico, mais provável que o pesquisador queira validar seus resultados.

### 2.5.1.2 Pesquisa de mercado

A pesquisa de mercado, segundo Lustosa, de Mesquita e Oliveira (2008), é um recurso que pode ser utilizado para diferentes finalidades na gestão empresarial. É possível a busca de tal método para a avaliação do nível de satisfação dos consumidores, da força da marca, testes de novos produtos, avaliação do preço, entre outros.

Em complemento, Urbietta (2009) afirma que nesse método são elaboradas hipóteses que serão testadas por meio de pesquisas de mercado. O autor ressalta sua utilização na aceitação de novos produtos.

### 2.5.1.3 Simulação de cenários

Na simulação de cenários, para Lustosa, de Mesquita e Oliveira (2008) busca-se com base na opinião de especialistas, construir diferentes cenários futuros e, para cada um desses, estimar o comportamento das vendas. Os resultados finais seriam apresentados em três cenários alternativos, sendo esses os: otimistas, mais provável e pessimista.

Ainda segundo os autores, com base na avaliação subjetiva das probabilidades de cada cenário, acontece o processo de decisão. Assim sendo, a técnica vem para fornecer subsídios para o planejamento da capacidade e também para apoiar as decisões de investimento de médio e longo prazo.

Já Urbietta (2009) destaca esse método como a elaboração de cenários com probabilidade de ocorrerem para que posteriormente, sejam feitas reuniões para o planejamento de ações que a empresa deve exercer para cada um dos cenários elencados.

## 2.5.2 Quantitativo

Sob a ótica de Archer (1980), os métodos numéricos podem conter diferentes níveis de sofisticação, embora elas se dividam em apenas duas categorias: series temporais (métodos que envolvem a análise estatística dos dados passados da variável a ser prevista) e causal (métodos com base na análise estatística de variáveis que podem vir a influenciar a variável alvo a ser prevista).

### 2.5.2.1 Métodos series temporais

A abordagem de series temporais, segundo Archer (1980), abrange a análise de tendências lineares e exponenciais, mudanças cíclicas e lineares, entre outras. No caso de os dados a serem tratados apresentarem uma grande regularidade, a previsão pode ser efetuada a partir da observação da natureza e regularidade da distribuição dos desvios de frequência.

O método de séries temporais, segundo Zhang, Huang e Zhao (2013), é o exercício de descobrir a lei de variação da taxa de transferência total de carga de dados históricos para a partir de então, estabelecer o modelo matemático que proporcionará a previsão. Métodos que

se enquadram nessa classificação incluem: média móvel, suavização exponencial, mudanças sazonais, método auto regressivo, entre outras.

Em complemento, Aiube (2007, p. 1) classifica as séries temporais como segue.

- i. Discretas: quando o conjunto de observações for finito ou infinito enumerável;
- ii. Contínuas: quando o conjunto for infinito não enumerável;
- iii. Estocásticas: quando houver um componente aleatório;
- iv. Determinística: quando não houver componente aleatório e o modelo puder ser definido por funções determinísticas;
- v. Multivariadas: quando a série temporal é representada por um vetor;
- vi. Multidimensional: quanto  $t$ , a variável que representa o tempo, assume dimensão superior a 1.

#### 2.5.2.2 Modelos causais

Machado (2006) que afirma que os modelos causais pressupõem que a previsão de demanda é correlacionada com alguns fatores conjunturais. Então, tais modelos estabelecem a correlação entre a demanda e esses fatores e utilizam as estimativas para prever a demanda futura.

Assim sendo, segundo Archer (1980), os modelos causais envolvem a análise de dados para outras variáveis que estão relacionadas, de alguma maneira, com a variável de interesse, e a partir da utilização destas, podemos prever a procura para a variável chave.

Adentrando aos métodos quantitativos de previsão de demanda, existem diferentes métodos para tratamento e aplicação nos dados em busca da previsão que melhor adere aos dados em estudo. Dessa maneira, descreve-se brevemente alguns dos principais métodos nessa sessão.

#### 2.5.2.3 Correlação

Segundo Bewic, Cheek e Ball (2003), ao observar um diagrama de dispersão, quanto aproximado a uma linha reta os pontos medidos se dispuserem, mais forte será a relação linear entre as duas variáveis. Na notação algébrica, tem-se duas variáveis  $x$  e  $y$ , que se organizam de maneira a formarem  $n$  pares ordenados ou seja,  $[x_1, y_1], [x_2, y_2], \dots, [x_n, y_n]$ . A partir de então, o coeficiente é encontrado através da seguinte equação 1.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

O objetivo da análise de correlação, segundo Zou, Tuncali e Silverman (2003), é a medição e interpretação da força de uma cadeia linear ou não linear ou a relação entre duas variáveis contínuas. Adentrando as correlações de Pearson (linear) e Spearman (de classificação), seus coeficientes podem assumir valores entre -1 e 1 que vão desde ser correlacionada negativamente (-1), não ser correlacionada (0) para ser correlacionada positivamente (1). Assim sendo, o sinal da correlação (positivo ou negativo) define a direção da relação. No Quadro 3 é atribuída a classificação de acordo com a teoria dos autores.

**Quadro 3 – Interpretação da correlação**

Valor do coeficiente de correlação	Direção e força da correção
-1.0	Perfeitamente negativa
-0.8	Fortemente negativa
-0.5	Moderadamente negativa
-0.2	Fracamente negativa
0	Sem associação
+ 0.2	Fracamente positiva
+ 0.5	Moderadamente positiva
+ 0.8	Fortemente positiva
+ 1.0	Perfeitamente positiva

Fonte: Zou, Tuncali e Silverman (2003, p. 618)

#### 2.5.2.4 Regressão simples

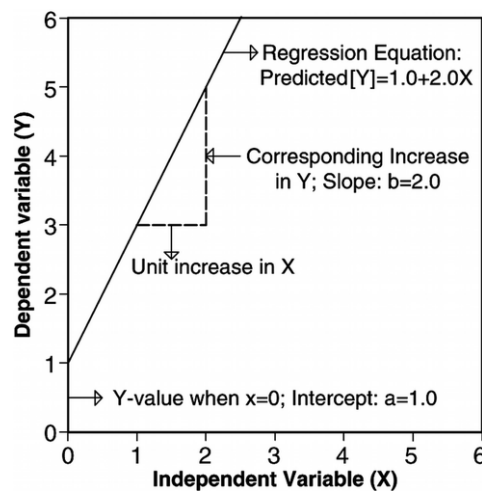
Para atingir o objetivo de analisar os padrões de variabilidade, segundo Brown (2014), faz-se necessário o questionamento se a variabilidade no critério foco em estudo pode ser prevista a partir da variabilidade do critério predictor. Se a resposta for positiva, pode-se dizer que as duas variáveis estão associadas ou relacionadas. A afirmação de que “X explica Y” é corriqueiramente utilizada, mas é válida somente em uma gama limitada de condições. Pela definição tem-se que se duas variáveis estão associadas, aprendemos algo sobre uma delas ao saber algo sobre a outra.

Um modelo de regressão simples, para Zou, Tuncali e Silverman (2003), contém apenas uma variável independente (explanatória) e é linear em relação a ambos os parâmetros de regressão e a variável dependente. O modelo é expresso pela equação 2.

$$Y_i = a + bX_i + e_i, \quad (2)$$

em que o parâmetro de regressão  $a$  é a intercepção (no eixo Y) e o parâmetro de regressão  $b$  é o declive da linha de regressão, como observa-se na figura 13. Já o erro aleatório  $e_i$  é assumido como não correlacionado, com média de 0 e variância constante.

**Figura 9 – Modelo de regressão linear simples mostra que a expectativa da variável dependente Y é linear na variável independente X, com uma intercepção  $a = 1,0$  e uma inclinação  $b = 2,0$ .**



Fonte: Zou, Tuncali e Silverman (2003, p. 619)

#### 2.5.2.5 Regressão múltipla

A regressão linear múltipla é apenas uma extensão natural da regressão linear simples. Na regressão múltipla, assume-se que a variável dependente  $y$ , pode ser influenciada por mais de um fator (MOY, CHEN e KAO, 2015 p. 224).

O modelo mais simples para prever  $Y$  usando  $X_1, X_2, \dots, X_{p-1}$ , na literatura de Schinazi (2012), é um modelo linear que é descrito pela equação 3.

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_{p-1}X_{p-1}, \quad (3)$$

Onde  $b_0, b_1, b_2, \dots, b_{p-1}$  são constantes a serem estimadas. É observado que não houve a ocorrência apenas de uma variável explicativa  $X$  e, portanto, tivemos  $p > 2$ . Quando  $p = 2$ , o modelo é chamado de modelo de regressão simples. Para  $p \geq 3$  chamamos de modelo de regressão linear múltipla (SCHINAZI, 2012. p. 311).



Para fazer inferências estatísticas válidas, os pressupostos do modelo de regressão linear múltipla são de acordo com Moy, Chen e Kao, (2015. p. 224).

1. O termo de erro é normalmente distribuído com uma média zero e variância constante;
2. Os termos de erro são assumidos para ser independente das variáveis independentes  $k$ ;
3. Termos de erro são assumidos como sendo independentes uns dos outros;
4. As variáveis independentes não são altamente linearmente.

Os estudos a partir desse método podem ser aplicados nas mais variadas áreas possíveis. Tomando como exemplo, foi feito um estudo por Seabrooke et al. (2003) aplicado para prever o crescimento das cargas o desenvolvimento do porto de Hong Kong, por meio de análise de regressão. Para tal, os fatores que afetam a transferência de carga em Hong Kong são identificados, avaliados qualitativamente e, em seguida, integraram um modelo de previsão, que gera uma projeção de taxa de transferência de carga.

#### 2.5.2.6 Métodos econométricos

A econometria é usada para explicar fatos passados, testar teorias e prever resultados de políticas ou eventos futuros (BUENO, 2011) e é recorrente em pesquisas nas áreas financeira (MORETTIN, 2008), espacial (ALMEIDA, 2012; TYSZLER, 2006.), inflacionária (GALI e GERTLER, 1999), entre outras.

#### 2.5.2.7 Médias móveis

As médias móveis são uma forma de indicador de atraso, que traça os preços dos ativos médios ao longo do tempo. Pode ser considerado o mais utilizado de todos os indicadores técnicos, tal método é representado por (ELLIS e PARBERY, 2005. p. 400).

$$SMA_n = \frac{1}{n} \sum_{t=k-n+1}^k P_t \quad (4)$$

Onde  $n$  é o número de períodos incluídos na média,  $k$  é a posição relativa do período atual a ser considerado dentro do número total de períodos, e  $P_t$  é o valor preço no tempo  $t$ .

Ainda segundo Ellis e Parbery (2005), a média móvel simples difere da Linear Weighted Average (LWMA) e Exponentially Weighted Average (EWMA) a medida que

ambas consideram peso em cada período de acordo com sua posição relativa na média enquanto cada preço na SMA é igualmente ponderado no modelo.

A Linear ponderada média móvel pode ser representada, segundo Batten e Ellis (1996), pela equação 5.

$$LWMA = \frac{\sum_{i=1}^n IC_{k-n+1}}{\sum_{i=1}^n i} = \frac{1C_{k-n+1} + 2C_{k-n+2} + 3C_{k-n+3} + \dots + nC_k}{1 + 2 + 3 + \dots + n} \quad (5)$$

Já a média móvel exponencialmente ponderada (EWMA), segundo Graham, Mukherjee e Chakrabarti (2012), têm desfrutado de grande popularidade e recorrência por parte de analistas de dados. Estes gráficos se assemelham aos gráficos de soma cumulativa (CUSUM) no sentido de que ambos utilizam dados acumulados até ao ponto de tempo mais recente, a fim de detectar desvios do processo.

#### 2.5.2.8 Suavização exponencial

Os modelos de suavização exponencial, na literatura de Jacobs (2012), pode-se utilizar da combinação multiplicativa ou aditiva dos componentes da série temporal, portanto, são classificados como de abordagem determinística.

O quadro 4, presente nos estudos de Gardner (2006), apresenta equações para os métodos padrão de suavização exponencial que atuam como extensões das pesquisas de Brown (1959, 1963), Holt (1957) que consiste na suavização exponencial com tendência, e Winters (1960), sendo que Holt-Winters consiste na suavização exponencial com tendência e sazonalidade. Para cada tipo de tendência, há duas seções de equações: o primeiro dá formas de recorrência e a segunda dá formas de correção de erros equivalentes (GARDNER, 2006; URBIETA, 2009).

O Método de Holt é baseado no amaciamento exponencial. Pode ser utilizado em séries temporais com tendência linear. Este modelo emprega duas constantes de suavização,  $\alpha$  e  $\beta$  (com valores entre 0 e 1), sendo representado por três equações (PELLEGRINI, 2000 *apud* CAVALHEIRO et al., 2003).

O método de Winters, descrevem apropriadamente dados de demanda onde se verifica a ocorrência de tendência linear, além de um componente de sazonalidade (CAVALHEIRO, 2003).

**Quadro 4 – Equações de suavização exponencial considerando a presença ou ausência de tendência e sazonalidade.**

Trend	Seasonality		
	N (None)	A (Additive)	M (Multiplicative)
N (None)	$S_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)S_{t-1}$ $\hat{X}_t(m) = S_t$	$S_t = \alpha(X_t - I_{t-p}) + (1 - \alpha)S_{t-1}$ $I_t = \delta(X_t - S_t) + (1 - \delta)I_{t-p}$ $\hat{X}_t(m) = S_t + I_{t-p+m}$	$S_t = \alpha(X_t/I_{t-p}) + (1 - \alpha)S_{t-1}$ $I_t = \delta(X_t/S_t) + (1 - \delta)I_{t-p}$ $\hat{X}_t(m) = S_t I_{t-p+m}$
	$S_t = S_{t-1} + \alpha e_t$ $\hat{X}_t(m) = S_t$	$S_t = S_{t-1} + \alpha e_t$ $I_t = I_{t-p} + \delta(1 - \alpha)e_t$ $\hat{X}_t(m) = S_t + I_{t-p+m}$	$S_t = S_{t-1} + \alpha e_t / I_{t-p}$ $I_t = I_{t-p} + \delta(1 - \alpha)e_t / S_t$ $\hat{X}_t(m) = S_t I_{t-p+m}$
A (Additive)	$S_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)(S_{t-1} + T_{t-1})$ $T_t = \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1 - \gamma)T_{t-1}$ $\hat{X}_t(m) = S_t + mT_t$	$S_t = \alpha(X_t - I_{t-p}) + (1 - \alpha)(S_{t-1} + T_{t-1})$ $T_t = \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1 - \gamma)T_{t-1}$ $I_t = \delta(X_t - S_t) + (1 - \delta)I_{t-p}$ $\hat{X}_t(m) = S_t + mT_t + I_{t-p+m}$	$S_t = \alpha(X_t/I_{t-p}) + (1 - \alpha)(S_{t-1} + T_{t-1})$ $T_t = \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1 - \gamma)T_{t-1}$ $I_t = \delta(X_t/S_t) + (1 - \delta)I_{t-p}$ $\hat{X}_t(m) = (S_t + mT_t)I_{t-p+m}$
	$S_t = S_{t-1} + T_{t-1} + \alpha e_t$ $T_t = T_{t-1} + \alpha \gamma e_t$ $\hat{X}_t(m) = S_t + mT_t$	$S_t = S_{t-1} + T_{t-1} + \alpha e_t$ $T_t = T_{t-1} + \alpha \gamma e_t$ $I_t = I_{t-p} + \delta(1 - \alpha)e_t$ $\hat{X}_t(m) = S_t + mT_t + I_{t-p+m}$	$S_t = S_{t-1} + T_{t-1} + \alpha e_t / I_{t-p}$ $T_t = T_{t-1} + \alpha \gamma e_t / I_{t-p}$ $I_t = I_{t-p} + \delta(1 - \alpha)e_t / S_t$ $\hat{X}_t(m) = (S_t + mT_t)I_{t-p+m}$
DA (Damped additive)	$S_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)(S_{t-1} + \phi T_{t-1})$ $T_t = \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1 - \gamma)\phi T_{t-1}$ $\hat{X}_t(m) = S_t + \sum_{i=1}^m \phi^i T_t$	$S_t = \alpha(X_t - I_{t-p}) + (1 - \alpha)(S_{t-1} + \phi T_{t-1})$ $T_t = \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1 - \gamma)\phi T_{t-1}$ $I_t = \delta(X_t - S_t) + (1 - \delta)I_{t-p}$ $\hat{X}_t(m) = S_t + \sum_{i=1}^m \phi^i T_t + I_{t-p+m}$	$S_t = \alpha(X_t/I_{t-p}) + (1 - \alpha)(S_{t-1} + \phi T_{t-1})$ $T_t = \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1 - \gamma)\phi T_{t-1}$ $I_t = \delta(X_t/S_t) + (1 - \delta)I_{t-p}$ $\hat{X}_t(m) = \left( S_t + \sum_{i=1}^m \phi^i T_t \right) I_{t-p+m}$
	$S_t = S_{t-1} + \phi T_{t-1} + \alpha e_t$ $T_t = \phi T_{t-1} + \alpha \gamma e_t$ $\hat{X}_t(m) = S_t + \sum_{i=1}^m \phi^i T_t$	$S_t = S_{t-1} + \phi T_{t-1} + \alpha e_t$ $T_t = \phi T_{t-1} + \alpha \gamma e_t$ $I_t = I_{t-p} + \delta(1 - \alpha)e_t$ $\hat{X}_t(m) = S_t + \sum_{i=1}^m \phi^i T_t + I_{t-p+m}$	$S_t = S_{t-1} + \phi T_{t-1} + \alpha e_t / I_{t-p}$ $T_t = \phi T_{t-1} + \alpha \gamma e_t / I_{t-p}$ $I_t = I_{t-p} + \delta(1 - \alpha)e_t / S_t$ $\hat{X}_t(m) = \left( S_t + \sum_{i=1}^m \phi^i T_t \right) I_{t-p+m}$
M (Multiplicative)	$S_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)(S_{t-1} R_{t-1})$ $R_t = \gamma(S_t/S_{t-1}) + (1 - \gamma)R_{t-1}$ $\hat{X}_t(m) = S_t R_t^m$	$S_t = \alpha(X_t - I_{t-p}) + (1 - \alpha)S_{t-1} R_{t-1}$ $R_t = \gamma(S_t/S_{t-1}) + (1 - \gamma)R_{t-1}$ $I_t = \delta(X_t - S_t) + (1 - \delta)I_{t-p}$ $\hat{X}_t(m) = S_t R_t^m + I_{t-p+m}$	$S_t = \alpha(X_t/I_{t-p}) + (1 - \alpha)S_{t-1} R_{t-1}$ $R_t = \gamma(S_t/S_{t-1}) + (1 - \gamma)R_{t-1}$ $I_t = \delta(X_t/S_t) + (1 - \delta)I_{t-p}$ $\hat{X}_t(m) = (S_t R_t^m) I_{t-p+m}$
	$S_t = S_{t-1} R_{t-1} + \alpha e_t$ $R_t = R_{t-1} + \alpha \gamma e_t / S_{t-1}$ $\hat{X}_t(m) = S_t R_t^m$	$S_t = S_{t-1} R_{t-1} + \alpha e_t$ $R_t = R_{t-1} + \alpha \gamma e_t / S_{t-1}$ $I_t = I_{t-p} + \delta(1 - \alpha)e_t$ $\hat{X}_t(m) = S_t R_t^m + I_{t-p+m}$	$S_t = S_{t-1} R_{t-1} + \alpha e_t / I_{t-p}$ $R_t = R_{t-1} + \alpha \gamma e_t / (S_{t-1} I_{t-p})$ $I_t = I_{t-p} + \delta(1 - \alpha)e_t / S_t$ $\hat{X}_t(m) = (S_t R_t^m) I_{t-p+m}$
DM (Damped multiplicative)	$S_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)(S_{t-1} R_{t-1}^\phi)$ $R_t = \gamma(S_t/S_{t-1}) + (1 - \gamma)R_{t-1}^\phi$ $\hat{X}_t(m) = S_t R_t \sum_{i=1}^m \phi^i$	$S_t = \alpha(X_t - I_{t-p}) + (1 - \alpha)S_{t-1} R_{t-1}^\phi$ $R_t = \gamma(S_t/S_{t-1}) + (1 - \gamma)R_{t-1}^\phi$ $I_t = \delta(X_t - S_t) + (1 - \delta)I_{t-p}$ $\hat{X}_t(m) = S_t R_t \sum_{i=1}^m \phi^i + I_{t-p+m}$	$S_t = \alpha(X_t/I_{t-p}) + (1 - \alpha)(S_{t-1} R_{t-1}^\phi)$ $R_t = \gamma(S_t/S_{t-1}) + (1 - \gamma)R_{t-1}^\phi$ $I_t = \delta(X_t/S_t) + (1 - \delta)I_{t-p}$ $\hat{X}_t(m) = \left( S_t R_t \sum_{i=1}^m \phi^i \right) I_{t-p+m}$
	$S_t = S_{t-1} R_{t-1}^\phi + \alpha e_t$ $R_t = R_{t-1}^\phi + \alpha \gamma e_t / S_{t-1}$ $\hat{X}_t(m) = S_t R_t \sum_{i=1}^m \phi^i$	$S_t = S_{t-1} R_{t-1}^\phi + \alpha e_t$ $R_t = R_{t-1}^\phi + \alpha \gamma e_t / S_{t-1}$ $I_t = I_{t-p} + \delta(1 - \alpha)e_t$ $\hat{X}_t(m) = S_t R_t \sum_{i=1}^m \phi^i + I_{t-p+m}$	$S_t = S_{t-1} R_{t-1}^\phi + \alpha e_t / I_{t-p}$ $R_t = R_{t-1}^\phi + \alpha \gamma e_t / (S_{t-1} I_{t-p})$ $I_t = I_{t-p} + \delta(1 - \alpha)e_t / S_t$ $\hat{X}_t(m) = \left( S_t R_t \sum_{i=1}^m \phi^i \right) I_{t-p+m}$

Fonte: GARDNER, 2006. p. 640

### 2.5.2.9 Projeção de tendências

Segundo Bouzada (2012), as grandezas costumam apresentar certa tendência de comportamento em relação ao tempo observado. Dessa maneira, pode-se observar se existe um comportamento que tende a ser maior (na maioria das vezes) ou menor no decorrer do tempo. Essa mudança pode ser fruto de diferentes causas como o aumento da população, a evolução tecnológica, entre outros.

### 2.5.2.10 Decomposição

Os métodos de amaciamento, segundo Cavalheiro (2003), baseiam-se no conceito de que quando há a existência de um padrão na série de dados, tal padrão pode ser distinguido do erro pelo amaciamento dos valores passados. Dessa maneira, o efeito do amaciamento é eliminar tal erro para que o padrão possa servir de previsão a partir de sua projeção futura.

Tal método, segundo Balou (2006) *apud* Jardini (2010), dividi o padrão do histórico em quatro categorias: tendência, variação sazonal, variação cíclica e residual. A tendência representaria as mudanças sofridas durante os períodos de tempo anteriores. A sazonalidade são as variações em series temporais que se repetem periodicamente (normalmente 12 meses). A variação cíclica são as ondulações de longo prazo na demanda padrão e a variação residual é o que não pode ser explicado por nenhum dos três itens anteriormente citados.

Em complemento, segundo Lemos (2006), a decomposição de series temporais é útil para previsão de cada componente das séries quando o intuito é retirar os efeitos dos fatores contextuais passados da série analisada e gerar a previsão quantitativa ajustando com fatores contextuais futuros.

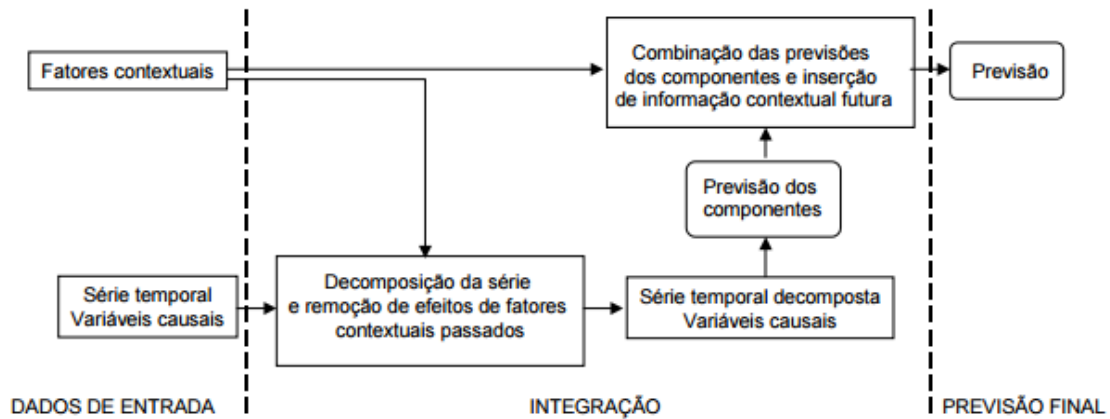
A decomposição clássica da série de tempo, segundo Jardini (2010), é descrita na equação 6. (6)

$$F = T \times S \times C \times R$$

Onde F = demanda prevista; T = nível de tendência; S = índice cíclico; R = índice residual.

A previsão por meio da decomposição poderia ser esquematizada, de maneira sucinta a como demonstra a figura 10.

Figura 10 – Esquema de previsão por meio da decomposição.



Fonte Webby; O'Connor (1996) *apud* Lemos (2006) p. 66.

A decomposição foi dividida em três etapas onde inicialmente deve-se identificar a série histórica, as previsões então são obtidas através das séries decompostas e existe a possibilidade do especialista efetuar ajustes e, por fim combinam-se os componentes para gerar a previsão requerida.

#### 2.5.2.11 Holt-Winter

Segundo Azeredo Barros e Menezes (2012), O modelo de Holt-Winters é baseado em três equações alisadoras, sendo uma para o nível, uma para tendência e outra para sazonalidade. A sazonalidade pode ter efeito multiplicativo ou aditivo. Os autores esboçaram de maneira comparativa essas duas possibilidades para o modelo, apresentadas no quadro 5.

Quadro 5 – Equações comparativas dos modelos de Holt-Winters multiplicativo e aditivo quanto a Nível, Tendência, Sazonalidade e Previsão.

	<i>Holt-Winters</i> Multiplicativo	<i>Holt-Winters</i> Aditivo
Nível	(1) $L_t = \alpha \frac{Y_t}{S_{t-s}} + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1})$	(5) $L_t = \alpha(Y_t - S_{t-s}) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1})$
Tendência	(2) $b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1}$	(6) $b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1}$
Sazonalidade	(3) $S_t = \gamma \frac{Y_t}{L_t} + (1 - \gamma)S_{t-s}$	(7) $S_t = \gamma(Y_t - L_t) + (1 - \gamma)S_{t-s}$
Previsão	(4) $F_{t+m} = (L_t + b_{t-m})S_{t-s+m}$	(8) $F_{t+m} = L_t + b_{t-m} + S_{t-s+m}$

Fonte: Azeredo Barros e Menezes, 2012.

Onde:

$s$  – comprimento da sazonalidade;

$L_t$  – nível da série;

$b_t$  – tendência;

$S_t$  – componente sazonal;

$F_{t+m}$  – previsão para o período  $m$  e os seguintes;

$Y_t$  – valor observado;

$\alpha, \beta, \gamma$  – parâmetros do nível, tendência e sazonalidade, respectivamente.

#### 2.5.2.12 Problema de minimização na Pesquisa Operacional.

Pesquisa operacional pode ser definida pelo uso de modelos matemáticos, estatística e algoritmos para ajudar a tomada de decisões. É mais frequente o seu uso para análise de sistemas complexos reais, tipicamente com o objetivo de melhorar ou otimizar a performance (YOSHIMA et al, 2014).

A otimização trata do problema da busca da melhor alocação de um conjunto limitado de recursos, escolhendo a alternativa que maximize ou minimize um determinado fator, dentre todas aquelas que satisfazem certas restrições (DUBEUX, 2005).

#### 2.5.2.13 Modelos Autoregressivos Integrados de Médias Móveis (ARIMA)

Com base na metodologia Box-Jenkins ou *Auto regressive Integrated Moving Average (ARIMA)*, busca-se determinar a equação que retorne menor desvio para a previsão da demanda. Tais modelos, possuem a característica de relacionar os valores correntes de determinada variável somente com seus próprios valores no passado e com os seus erros correntes e passados, sendo chamados de modelos de séries temporais univariados (DA SILVA, SAMOBYL e COSTA, 2002).

Segundo Werner e Ribeiro (2003), os modelos de Box-Jenkins também conhecidos por ARIMA (*Auto Regressive Integrated Moving Averages*), traduzido na literatura em português por Auto-regressivos Integrados de Médias Móveis, são modelos matemáticos que visam capturar e observar o comportamento da correlação seriada ou autocorrelação entre os valores da série temporal, para embasar a realização de previsões futuras. Quando bem moldada, essa estrutura pode gerar boas previsões.

Por outro ângulo, Pellegrini (2000) afirma que os modelos de Box-Jenkins trabalham sobre a hipótese de que os valores de uma série temporal são altamente dependentes, em outras palavras, que um valor pode ser explicado por observações prévias na série. Para o autor, os modelos ARIMA representam a classe mais geral de modelos para a análise de séries temporais e, por esse motivo, alguns conceitos devem ser analisados mais atentamente para o entendimento dos modelos Box-Jenkins.

Para a utilização dessa metodologia, com base em Scheffer, Mendonça e Zanini (2014), há três hipóteses que devem ser observadas cuidadosamente. Deve ser considerada a suposição de que trata-se de uma série estacionária (que a série varie em torno de uma média e variância constantes). E por fim, que a série seja homocedástica, ou seja, que tenha uma variância constante ao longo do tempo.

Pellegrini (2000) ressalta ainda que as principais ferramentas utilizadas para essa identificação são as funções de autocorrelação e a função de autocorrelação parcial (FACP).

Os Modelos Autoregressivos Integrados de Médias Móveis (ARIMA) resultam da combinação de três componentes que também são chamados de filtros: o componente autorregressivo (AR), o filtro de integração (I) e o componente de médias móveis (MA). Uma série pode ser modelada pelos três filtros ou apenas um subconjunto deles, resultando em várias combinações de modelos (WERNET ET RIBEIRO, 2003; COELHO; SAMOHYL, 2007; GUARNIERI et al., 2009 *apud* HENNING, 2014 p. 5).

De Souza et al (2013) descreve os modelos ARIMA em duas classes de processos:

a) Processos lineares estacionários: processos que utilizam basicamente os três tipos de modelos.

- Processo autorregressivo (AR) de ordem  $p$ , onde  $AR(p)$  modela uma autorregressão da variável  $X_t$  com essa mesma variável, defasada ( $X_{t-1}, X_{t-2}, \dots, X_{t-p}$ ), para os “ $p$ ” períodos de defasagem em que a autocorrelação parcial entre as variáveis é significativa. Os modelos  $AR(q)$  são representados pela equação 7 (DE SOUZA et al, 2013 p. 5).

$$X_t = \alpha + \phi_1 X_{t-1} + \phi_2 X_{t-2} + \dots + \phi_p X_{t-p} + \varepsilon_t \quad (7)$$

- Processo de médias móveis (MA) de ordem  $q$ , onde cada observação  $X_t$  é gerada por uma média ponderada dos erros aleatórios “ $q$ ” períodos no passado. Denota-se esse processo por  $MA(q)$ , representado pela equação 8 (DE SOUZA et al, 2013 p. 6).

$$X_t = \alpha + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (8)$$

Onde os parâmetros  $\theta_1, \dots, \theta_q$  podem ser positivos ou negativos. O sinal negativo no terceiro termo em diante corresponde a uma convenção;

- Processo autorregressivo e de médias móveis de ordem  $p$  e  $q$ , ARMA( $p, q$ ), quando o processo gerador da série temporal corresponde a modelos compostos por parte autoregressiva e parte médias móveis (DE SOUZA et al, 2013 p. 6).

A modelagem de séries temporais por modelos lineares ARMA, de acordo com Aiube (2007 p. 11), deve seguir as seguintes etapas:

- (i) Cálculo de algumas estatísticas básicas para série temporal;
  - (ii) Comparar o valor de tais estatísticas com valores teóricos caso estes sejam adequados;
  - (iii) Estimar os parâmetros para o modelo sugerido no passo anterior, observando caso necessário, os critérios AIC e BIC;
  - (iv) Avaliar o modelo usando as medidas diagnósticas;
  - (v) Caso não esteja adequado reespecificar o modelo;
  - (vi) Usar o modelo para descrever a variável e fazer previsões.
- b) Processos lineares não-estacionários homogêneos.

E, segundo De Souza et al (2013), de maneira geral, ao fazer referência aos modelos ARIMA, tais modelos estão ajustados à série original. Por outro lado, ao fazer referência aos modelos ARMA, considera-se que trata-se de uma série diferenciada. Supondo que  $Y_t$  seja a série já diferenciada, os modelos ARMA( $p, q$ ) em sua forma geral se escrevem:

$$Y_t = \alpha + \phi_1 Y_{t-1} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \epsilon_t - \theta_1 \epsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \epsilon_{t-q} \quad (9)$$

## 2.11 DETERMINAR OS ERROS DE PREVISÃO

É importante conhecer os erros atrelados as principais, sob a ótica de Donkor (2012), uma vez que tal erro fornece uma maneira de medir a precisão das previsões. Esses erros podem ser significativos no momento de seleção de método mais apropriado. A abordagem geral seleção de modelo pode ser descrita nos itens que segue.

- (i) dividir o conjunto de dados a ser tratado em um período de estimação e um período de hold-out;
- (ii) usar o período de estimação para modelar a demanda;



(iii) avaliar a precisão dos modelos, comparando as previsões com os valores observados, tanto para o período de estimação quanto no período de hold-out; e

(iv) selecionar o melhor modelo com base no seu desempenho, conforme medido por qualquer uma das medidas de erro populares especificadas nas equações apresentadas a seguir.

- Média absoluta dos erros ou Desvio Médio Absoluto (MAE ou DMA):

$$\text{Mean Absolute Error (MAE)} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N |Y_t - \hat{Y}_t| \quad (10)$$

- Média absoluta percentual dos erros ou Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE ou EPAM):

$$\text{Mean Absolute Percentage Error (MAPE)} = \frac{100}{N} \sum_{t=1}^N \left| \frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t} \right| \quad (11)$$

- Média do quadrado dos erros:

$$\text{Mean Squared Error (MSE)} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (Y_t - \hat{Y}_t)^2 \quad (12)$$

Segundo Furtado (2006), a escolha do modelo mais apropriado pode ser feita através do somatório dos erros entre o valor real e a previsão ajustada ao longo da série, mas como existe a possibilidade de erros positivos ou negativos, haveria a possibilidade dos erros se anularem, prejudicando o julgamento dos modelos. Então, outras maneiras de determinar tais desvios tornam-se uma maneira de evitar tal problema.

Dentre os erros citados, ainda segundo a ótica de Furtado (2006), existe uma peculiaridade de utilização do método MAPE, uma vez que, quando a série temporal contém valores iguais a zero, torna-se impossível o uso de sua fórmula.

Então, automaticamente tem-se que para métodos, quanto menor o valor do desvio, mais próximo da realidade estarão.

Existem também métodos que não consideram somente o resíduo da previsão para serem considerados classificatórios. Dessa maneira, é cada vez mais frequente a integração de métodos que discriminam a significância de uma resposta.

- Análise de variâncias

A análise de variância (ANOVA) é um teste estatístico largamente utilizado pelos analistas e tem por objetivo verificar se existe uma diferença significativa entre as médias e se os fatores exercem influência em alguma variável dependente (que deverá ser contínua).

Parte do pressuposto de envolver amostras dependentes (quando uma amostra em estudo não é influenciada pela outra), homogeneidade de variâncias e que os resíduos seguem uma distribuição normal.

Para análise da variância, segundo Anjos (2009), pode-se utilizar a denominada tabela da análise de variância, observada no quadro 6.

**Quadro 6: Cálculos referentes a tabela de análise de variância**

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F calculado
Tratamentos	I-1	SQTrat	QMTrat	QMTrat/QMRes
Resíduo	I(J-1)	SQRes	QMRes	
Total	IJ-1	SQTotal		

**Fonte: Anjos, 2009**

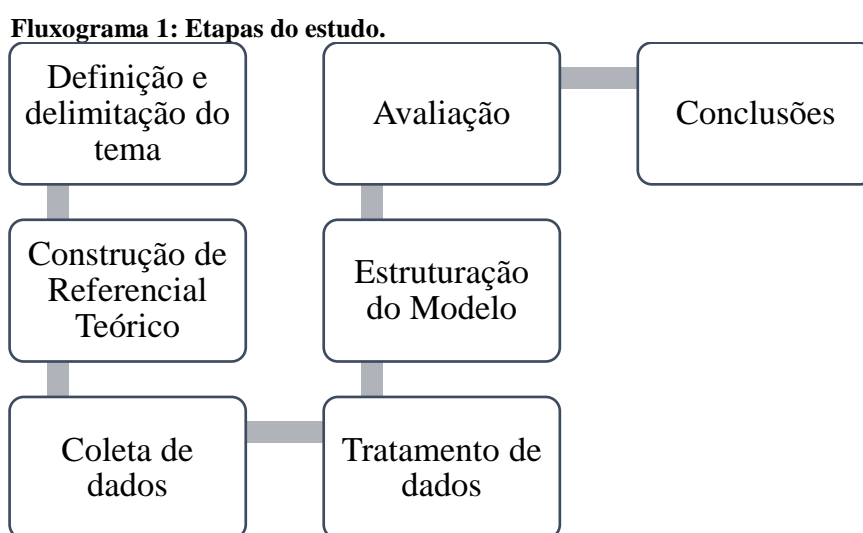
A partir desse quadro, obtém-se o  $f$  calculado, a partir do qual é possível aceitar ou recusar a hipótese nula. Uma vez que o  $f$  calculado é superior ao  $f$  tabelado ou  $p$ -valor é inferior ao nível de significância escolhido, a hipótese nula é rejeitada, transparecendo que existem diferenças significativas.

Dessa maneira, como demonstrado na tabela, o valor de  $f$  calculado retorna um percentual que analisa a variância do retorno tratado em relação aos resíduos encontrados para o mesmo.

### 3 METODOLOGIA

O estudo é caracterizado por ser uma metodologia de natureza aplicada, com abordagem quantitativa do problema a ser resolvido. Do ponto de vista dos objetivos, classifica-se como uma pesquisa de cunho explicativa. Em relação aos procedimentos, classifica-se a pesquisa como um estudo de caso único uma vez que primordialmente busca-se entender de maneira detalhada os pontos característicos da movimentação portuária e as consequências externas em tal indicador.

O estudo foi subdividido em 7 etapas, como demonstrado no fluxograma 1 e ordenado de maneira a completar as atividades como apresenta-se no cronograma que segue.



**Fonte: Autoria própria.**

A partir do tema proposto, inicialmente foi feito um estudo acerca dos temas abordados na pesquisa bem como de fatores que venham a influenciar ou complementar as variáveis em estudo. Então, foi construído um referencial teórico de modo a embasar, complementar ou até mesmo contrapor as conclusões aqui obtidas.

Foi-se delimitado a aplicação do estudo com dados referentes a apenas um porto, o porto de Paranaguá. E, a partir da observação dos principais tipos de carga movimentadas no porto e da infraestrutura disponível para tal, os dados a serem tratados foram os de carga granel sólida. Sua infraestrutura para movimentação de tal carga é constituída por 6 berços exclusivos para carga a granel, 11 terminais, 24 silos para o armazenamento destes grãos (capacidade de ensilagem de 1.426.500 toneladas estáticas) e 10 *shiploaders* com capacidade de movimentação variando entre 800 e 1.500 t/h (PORTOS DO PARANÁ,2015).

Em sequência, a coleta inicial de dados foi feita por meio dos relatórios mensais divulgados pela Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina (APPA) onde tem-se discriminado a quantidade de carga movimentada (importação e exportação) descritas pelo tipo de carga.

Outras variáveis selecionadas para o estudo foram a média do valor do dólar (Banco Central do Brasil, 2017); o índice pluviométrico (Instituto Nacional de Meteorologia, 2017); a variação do PIB (IBGE, 2016).

Para a escolha do método de seleção, com base na teoria relacionada a esse tipo de carga, foi decidido a utilização, para uma possível comparação de um método que considere uma demanda sazonal, uma demanda sazonal e com tendência e uma demanda sem a atuação de sazonalidade e tendência.

Dessa maneira, os métodos escolhidos para um estudo comparativo de menor desvio de previsão foram 4.

1. Regressão: foi proposta a regressão considerando como valor a ser previsto (Y) a demanda de carga granel movimentada trimestralmente e como variáveis explicativas: montante de mercadorias importadas, montante de mercadorias exportadas, variação do PIB brasileiro, média do valor do dólar e índice pluviométrico na cidade de Paranaguá (Anexo II). Tais variáveis foram selecionadas a partir de um estudo previamente estruturado (Yoshima e Kachba, 2016) para observar os respectivos comportamentos bem como possíveis impactos portuários;
2. Busca de coeficientes para uma equação linear: por meio da minimização dos desvios (que consiste no módulo da diferença entre a demanda prevista e a demanda real), são determinados os coeficientes multiplicativos para cada variável explicativa (importação, exportação, variação do PIB, média do dólar e índice pluviométrico);
3. Holt Winter: Explora-se a previsão por meio dos dois tipos de previsão propostos nessa metodologia, multiplicativo e aditivo. Ambos consideram a existência de nível, tendência e sazonalidade (com utilização inicialmente de coeficientes largamente utilizados na literatura,  $\alpha = 0,05$ ,  $\beta = 0,01$  e  $\gamma = 0,01$ , e posteriormente coeficientes otimizados por meio de programação linear). Para representação de tal método no estudo, será descrito o que apresentar melhor aderência para o tipo de carga foco do estudo;

4. *Auto Regressive Integrated Moving Averages (ARIMA)*: Devido a sua complexibilidade e natureza de estudos encontrados na academia, tal método teve a aplicação considerada em dois diferentes momentos, a consideração de demanda trimestral e, posteriormente, a consideração da demanda diária. Isso devido ao fato de que busca-se, para tal método, a comparação de performance frente aos demais (em considerar a demanda trimestral) e a comparação frente a ele mesmo (considerando um período mais granulado).

Vale ressaltar que os métodos só foram considerados na comparação com os demais métodos somente se a performance estivesse dentro do aceito pela estatística descrita na literatura (ANOVA, MAE, MAPE, MSE, entre outros).

Então, foi feita a seleção do método que melhor descreve a previsão com base no cálculo de da média absoluta de erro (MAE), da Média Absoluta Percentual de Erro (MAPE) e do quadrado da média de erro (MSE), que sejam significantes quando submetidos ao teste ANOVA, representados pelas equações (10), (11) e (12). E, então foi possível indagar sobre a presença ou ausência de sazonalidade, influência de fatores externos e tendências.

Por fim, como complemento ao foco do estudo, uma previsão será feita da equação de melhor adequação para os 12 meses posteriores (referentes ao ano de 2016 e que não foram considerados na criação dos coeficientes).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a previsão, teve-se como base os dados divulgados em Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina (2016), apresentados no quadro 7.

**Quadro 7: Dados de carga granel movimentada**

	Carga granel movimentada (toneladas)
2012/T1	2.137.205
2012/T2	2.747.995
2012/T3	3.165.302
2012/T4	2.562.746
2013/T1	2.218.773
2013/T2	3.023.761
2013/T3	2.992.891
2013/T4	2.402.622
2014/T1	2.622.498
2014/T2	2.899.144
2014/T3	2.774.860
2014/T4	2.111.201
2015/T1	2.095.207
2015/T2	3.050.456
2015/T3	2.842.431
2015/T4	2.203.563

**Fonte: Autoria própria**

Primeiramente, o estudo relacionou os dados das variáveis explicativas consideradas que foram PIB (variação), valor de mercadorias importadas, valor de mercadorias exportadas, chuvas ocorridas no mês (em mm) e valor médio do dólar (em relação ao real), dispostas no Quadro 8 com a variável central de estudo (demanda), em uma análise trimestral da demanda a granel do Porto de Paranaguá.

**Quadro 8: Dados para previsão**

	Carga granel movimentada (ton)	Importação	Exportação	Dolar (R\$)	PIB	Chuva (mm)
2012/T1	2.137.205	135.075	117.445	1,768	1,60	231,67
2012/T2	2.747.995	158.479	144.359	1,963	0,01	126,00
2012/T3	3.165.302	160.204	150.996	2,029	2,30	91,67
2012/T4	2.562.746	173.546	150.773	2,059	2,30	154,00
2013/T1	2.218.773	162.678	123.910	1,996	2,60	380,67
2013/T2	3.023.761	179.437	154.681	2,070	3,90	150,00
2013/T3	2.992.891	199.499	168.208	2,288	2,40	99,33
2013/T4	2.402.622	198.817	173.120	2,277	2,10	261,33
2014/T1	2.622.498	190.441	144.062	2,364	2,70	239,67
2014/T2	2.899.144	189.511	161.811	2,230	-1,20	106,67
2014/T3	2.774.860	203.756	171.620	2,275	-0,60	122,00
2014/T4	2.111.201	204.419	158.417	2,543	-0,20	206,67
2015/T1	2.095.207	202.085	152.545	2,938	-1,60	290,00
2015/T2	3.050.456	2.918.320	1.273.569	3,073	-3,00	113,33
2015/T3	2.842.431	2.899.002	1.032.900	3,545	-4,50	136,67
2015/T4	2.203.563	2.435.893	583.073	3,841	-5,90	160,00
2016/T1	2.776.396	1.170.507	2.611.246	2,865	-5,40	820,00
2016/T2	2.999.104	1.341.109	2.855.213	3,073	-3,80	650,00
2016/T3	2.347.042	1.635.782	2.153.548	3,545	-2,90	610,00
2016/T4	1.839.797	1.488.535	1.697.897	3,841	-3,00	656,67

**Fonte: Autoria própria**

Com base nesses dados, estudos anteriores foram feitos para testar a aderência de diferentes métodos de previsão bem como seus erros, foram ampliados e incrementados como: regressão, modelagem de equações que buscam a minimização de erros, Winter e minimização de erros pela alteração dos coeficientes de um método tradicional (YOSHIMA e KACHBA, 2016) e novos modelos foram propostos para previsão em questão.

#### 4.1 REGRESSÃO

A partir do quadro 8, foi feita a regressão buscando relacionar a demanda (Y) com uma série de variáveis independentes (PIB, exportações, importações, chuva e dólar), uma vez que é um pressuposto do estudo que tais variáveis influenciam diretamente a quantidade de carga movimentada no porto. Os coeficientes resultantes desse modelo apresentam-se ilustrados no quadro 9.

<b>Quadro 9 – Dados de regressão</b>	
<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,900127
R-Quadrado	0,810228
R-quadrado ajustado	0,715342
Erro padrão	199843,4
Observações	16

**Fonte: Autoria própria**

A partir dessas estatísticas, segundo Andreasi (2015), o R múltiplo (0,9001) representa a correlação entre as variáveis independentes e a variável dependente e o R quadrado (0,8102) descreve o poder de explicação do modelo de regressão apresentados no quadro 9 (YOSHIMA E KACHBA, 2016).



Quadro 10 – Dados teste ANOVA

ANOVA					
	<i>Gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
		1,71E+1	3,41E+1	8,53896289	
Regressão	5	2	1	3	0,002230984
		3,99E+1	3,99E+1		
Resíduo	10	1	0		
Total	15	2,1E+12			

Fonte: Autoria própria.

Já o teste ANOVA, feito após a confirmação dos pressupostos de amostras independentes, homogeneidade de variância e normalidade dos resíduos, busca afirmar se a regressão assume caráter significativo ou não. Para que a regressão seja significativa, o *f* de significação deve apresentara-se em valor igual ou inferior a 0,05. Isso garantiria que a probabilidade de o resultado ser real e não aconteceu ao acaso é significativa. Neste caso, a regressão resultou como significativa restringindo a possibilidade de um resultado que não ocorreu ao acaso.

Dessa maneira, apresenta-se a equação de regressão.

$$\begin{aligned}
 \text{Demanda} = & 2.866.424 - 0,1588 \times \text{Importação} + 0,8680 \times \text{Exportação} \\
 & + 85.707,8 \times \text{Dólar} + 84.888,69 \times \text{PIB} - 3.539,91 \times \text{Chuva}
 \end{aligned}$$

A partir da equação, pode-se observar claramente dois pontos marcantes:

- A constante da equação tem um valor alto e, por si só já se aproxima da grandeza da previsão final, ou seja, por analisar somente a constante pode-se esperar que venha um ou mais coeficientes que relacione negativamente a variável explicativa à demanda de granel;
- Dada as grandezas de cada variável explicativa escolhidas, a variável de maior consideração para o modelo foi o índice pluviométrico e, alinhado ao pressuposto do item anterior, essa influência é considerada negativamente. Endossando a decisão em relação a tal coeficiente e sua direção na equação, pode-se argumentar que, devido a peculiaridade da carga granel, a precipitação pluviométrica na zona portuária inviabiliza o manuseio e conseqüentemente o carregamento da carga.

Aplicando essa equação, obtem-se a previsão exposta na tabela 1.

**Tabela 1 – Previsão pelo método de regressão**

	<b>Demanda</b>	<b>Previsão Regressão</b>	<b>Erro</b>	<b>Erro %</b>
<b>2012/T1</b>	2.137.205	2.414.187	276.983	13%
<b>2012/T2</b>	2.747.995	2.689.480	58.514	2%
<b>2012/T3</b>	3.165.302	3.016.668	148.634	5%
<b>2012/T4</b>	2.562.746	2.796.273	233.527	9%
<b>2013/T1</b>	2.218.773	1.992.371	226.403	10%
<b>2013/T2</b>	3.023.761	2.949.682	74.079	2%
<b>2013/T3</b>	2.992.891	3.028.944	36.053	1%
<b>2013/T4</b>	2.402.622	2.433.441	30.819	1%
<b>2014/T1</b>	2.622.498	2.544.638	77.860	3%
<b>2014/T2</b>	2.899.144	2.688.448	210.696	7%
<b>2014/T3</b>	2.774.860	2.695.240	79.620	3%
<b>2014/T4</b>	2.111.201	2.440.888	329.687	16%
<b>2015/T1</b>	2.095.207	2.056.152	39.055	2%
<b>2015/T2</b>	3.050.456	3.115.936	65.480	2%
<b>2015/T3</b>	2.842.431	2.740.635	101.796	4%
<b>2015/T4</b>	2.203.563	2.247.670	44.107	2%
<b>Total</b>			2.033.313	

**Fonte: Autoria própria.**

Ao observar os períodos que apresentam maiores desvios (2012/T1, 2013/T1, 2014/T4), é possível observar o padrão. Nesses casos o de precipitação pluviométrica (Anexo II) é consideravelmente superior aos valores dos demais períodos e são os meses onde a média do dólar (Anexo II) destoa com mais intensidade da série histórica.

Analicamente, esses são os dois fatores que mais impactam o resultado final de maneira positiva e negativa, respectivamente. Dessa maneira, o primeiro erro, que dos destacados é o único que desviou para mais, pode ser justificado principalmente pelo baixo valor do dólar e por apresentar um valor inferior de importação.

Já nos outros dois períodos destacados, o motivo para o erro é mais claro: ambos têm um salto na precipitação pluviométrica. E, uma vez que a equação visa um menor desvio considerando o histórico de períodos, quando ocorrem mudanças mais significativas nas variáveis de maior interferência, tal fato é sensivelmente percebido no erro.

Assim sendo, tem-se a somatória dos erros totalizando 2.033.311 e a média dos desvios em 127.082, valores que serão utilizados para comparação futura.

Após a tentativa de encontrar a equação que se adequasse aos dados de carga granel movimentada, considerando somente o histórico da mesma, foi considerada a possibilidade da existência de sazonalidade nos dados observados.

#### 4.2 HOLT-WINTER

Para isso, utilizou-se a metodologia de Winter onde não se considera que todos os períodos teriam o mesmo comportamento e, após a aplicação das Equações 1, 2, 3 e 4 (Figura 15), com  $\alpha = 0,05$ ,  $\beta = 0,01$  e  $\gamma = 0,01$  (valores estipulados como proposição inicial devido a sua larga utilização na literatura), os resultados para previsão foram ilustrados na tabela 2.

**Tabela 2 – Previsão do modelo Holt-Winter**

Período (T)	Demanda	Previsão	Erro absoluto	DMA <sub>t</sub>	EPAM <sub>t</sub>
0	0				
1	2.137.205	2.446.066	308.862	308.862	14,45
2	2.747.995	3.145.208	397.213	353.038	14,45
3	3.165.302	3.123.363	41.939	249.338	10,08
4	2.562.746	2.458.947	103.799	212.953	8,57
5	2.218.773	2.278.740	59.967	182.356	7,40
6	3.023.761	2.940.343	83.418	165.866	6,62
7	2.992.891	2.940.723	52.169	149.624	5,93
8	2.402.622	2.314.157	88.465	141.979	5,65
9	2.622.498	2.142.653	479.845	179.520	7,05
10	2.899.144	2.801.487	97.657	171.333	6,68
11	2.774.860	2.805.031	30.171	158.501	6,17
12	2.111.201	2.205.710	94.508	153.168	6,03
13	2.095.207	2.034.414	60.793	146.062	5,79
14	3.050.456	2.632.037	418.419	165.516	6,36
15	2.842.431	2.651.123	191.308	167.236	6,38
16	2.203.563	2.093.885	109.678	163.638	6,30

Fonte: Autoria própria

Assim, a previsão apresenta-se da seguinte maneira.

**Tabela 3 – Reordenação da previsão do modelo Holt-Winter**

Período	Carga granel movimentada	Fator Sazonal St	Winter	Erro	Erro %
2012/T1	2.137.205	0,839	2.446.066	308.862	11%
2012/T2	2.747.995	1,101	3.145.208	397.213	14%
2012/T3	3.165.302	1,118	3.123.363	41.939	1%
2012/T4	2.562.746	0,893	2.458.947	103.799	4%
2013/T1	2.218.773	0,839	2.278.740	59.967	2%
2013/T2	3.023.761	1,101	2.940.343	83.418	3%
2013/T3	2.992.891	1,118	2.940.723	52.169	2%
2013/T4	2.402.622	0,893	2.314.157	88.465	3%
2014/T1	2.622.498	0,839	2.142.653	479.845	19%
2014/T2	2.899.144	1,101	2.801.487	97.657	4%
2014/T3	2.774.860	1,118	2.805.031	30.171	1%
2014/T4	2.111.201	0,893	2.205.710	94.508	4%
2015/T1	2.095.207	0,839	2.034.414	60.793	3%
2015/T2	3.050.456	1,101	2.632.037	418.419	17%
2015/T3	2.842.431	1,118	2.651.123	191.308	8%
2015/T4	2.203.563	0,893	2.093.885	109.678	5%
Total				2.618.211	

**Fonte: Autoria própria.**

Tratando-se de um método clássico onde inicialmente utilizou-se valores amplamente difundidos na literatura para nível, inclinação e sazonalidade sem o alinhamento prévio com a necessidade da demanda, os resultados apresentaram desvios mais significativos.

Por outro lado, ainda que o resultado não tenha sido tão satisfatório, foi possível observar uma tendência para o erro, sugerindo que existe um padrão para o comportamento da demanda, mas que talvez a decisão de nível, inclinação e sazonalidade não foram as mais assertivas.

Dessa maneira tem-se a somatória dos erros absolutos consumados em 2.618.211,56 e 163.638 de média dos desvios absolutos. E, a partir desse método, foi proposta uma maneira de trabalhar  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  para que representassem de maneira mais próxima possível os efeitos que esses fatores representam na demanda real.

### 4.3 MINIMIZAÇÃO DOS DESVIOS

#### 4.3.1 Utilização da Ferramenta Solver para Desenvolver Uma Equação que Considere a Sazonalidade e Minimize o Somatório dos Desvios para o Modelo Holt-Winter.

A partir do modelo de Holt-Winter utilizado, as mesmas equações foram aplicadas para a determinação dos valores de nível (Eq. 1) e tendência (Eq. 2). A diferenciação para essa otimização foi no cálculo do coeficiente de sazonalidade, que foi considerada como a variável do modelo de otimização para a minimização do somatório dos desvios.

Portanto, a variável do modelo foi a sazonalidade respeitando a repetição do coeficiente sazonal de um período de 4 trimestres, obtendo-se o seguinte resultado ilustrado na tabela 4.

**Tabela 4– Previsão pela ferramenta solver linear com sazonalidade**

Período (T)	Demanda	Previsão	Erro absoluto	DMA <sub>t</sub>	EPAM <sub>t</sub>
0	0,000				
1	2137205	2390083	252878	252878,0	11,83
2	2747995	3246014	498019	375448,6	14,98
3	3165302	3165302	0	250299,1	9,99
4	2562746	2562746	0	187724,4	7,49
5	2218773	2218770	3	150180,2	5,99
6	3023761	3023760	1	125150,3	4,99
7	2992891	2968352	24539	110777,3	4,40
8	2402622	2401878	744	97023,1	3,85
9	2622498	2077383	545115	146811,1	5,73
10	2899144	2869586	29558	135085,8	5,26
11	2774860	2820009	45149	126909,8	4,93
12	2111201	2280049	168847	130404,6	5,19
13	2.095.207	1964679	130528	130414,0	5,27
14	3.050.456	2684571	365885	147233,4	5,75
15	2.842.431	2653630	188801	150004,5	5,81
16	2.203.563	2155009	48554	143663,9	5,58

Fonte: Autoria própria

Reordenado de maneira a evidenciar os critérios comparativos utilizados no estudo tem-se os resultados da tabela 5.

**Tabela 5– Ordenação de previsão pela ferramenta solver linear com sazonalidade**

	<b>Demanda</b>	<b>Fator sazonal</b>	<b>Previsão</b>	<b>Erro absoluto</b>	<b>Erro %</b>
<b>2012/T1</b>	2.137.205	0,82	2.390.083	252.878	12%
<b>2012/T2</b>	2.747.995	1,135	3.246.014	498.019	18%
<b>2012/T3</b>	3.165.302	1,133	3.165.302	0	0%
<b>2012/T4</b>	2.562.746	0,932	2.562.746	0	0%
<b>2013/T1</b>	2.218.773	0,82	2.218.770	3	0%
<b>2013/T2</b>	3.023.761	1,135	3.023.760	1	0%
<b>2013/T3</b>	2.992.891	1,133	2.968.352	24.539	1%
<b>2013/T4</b>	2.402.622	0,932	2.401.878	744	0%
<b>2014/T1</b>	2.622.498	0,82	2.077.383	545.115	21%
<b>2014/T2</b>	2.899.144	1,135	2.869.586	29.558	1%
<b>2014/T3</b>	2.774.860	1,133	2.820.009	45.149	2%
<b>2014/T4</b>	2.111.201	0,932	2.280.049	168.847	8%
<b>2015/T1</b>	2.095.207	0,82	1.964.679	130.528	6%
<b>2015/T2</b>	3.050.456	1,135	2.684.571	365.885	12%
<b>2015/T3</b>	2.842.431	1,133	2.653.630	188.801	7%
<b>2015/T4</b>	2.203.563	0,932	2.155.009	48.554	2%
Total				2.298.621	

**Fonte: Autoria própria**

Dessa maneira, aplicando uma ferramenta de minimização de erros, trabalhou-se com um  $\alpha = 0,05$ ,  $\beta = 0,01$  e  $\gamma \sim 0,04$ . Frente ao método clássico, apresentado anteriormente, o método que adequa os coeficientes à demanda se mostrou superior em 11 das 16 previsões feitas.

Alterando o fator sazonal, foi possível perceber uma assertividade maior. Ainda nos períodos em que o método clássico foi superior, os desvios foram relativamente similares. Dessa maneira, obteve-se o somatório dos erros absolutos totalizando 2.298.621,88 e a média dos desvios com o valor de 143.663.

#### 4.3.2 Utilização da Ferramenta Solver para Desenvolver uma Equação Linear que Minimiza o Somatório dos Desvios da Previsão

Primeiramente, define-se a função que será trabalhada e o objetivo que existem relacionado a ela, seja ele de minimização ou maximização, sendo  $n$  = número de períodos históricos disponíveis para a utilização do modelo.

$$\text{Minimizar} = \sum_{i=1}^n \left| \text{Demanda}_{\text{histórica}(i)} - \text{Demanda}_{\text{prevista}(i)} \right| \quad (13)$$

A função que caracteriza a demanda prevista, que está diretamente relacionada a função objetivo do método é caracterizada na equação 14.

$$\begin{aligned} \text{Demanda}_{\text{prevista}(i)} = & \\ & \text{Constante} + \text{Importação}(i) * \text{Coeficiente}_{\text{importação}(i)} + \text{Exportação}(i) * \\ & \text{Coeficiente}_{\text{exportação}(i)} + \text{Dolar}_{\text{medio}(i)} * \text{Coeficiente}_{\text{dolar}_{\text{medio}(i)}} + \\ & \text{Variação}_{\text{PIB}(i)} * \text{Coeficiente}_{\text{variação}_{\text{PIB}(i)}} + \text{Índice}_{\text{Pluviométrico}_i} * \\ & \text{Coeficiente}_{\text{Índice}_{\text{Pluviométrico}(i)}} \end{aligned} \quad (14)$$

Uma vez que as únicas variáveis dessa equação são os coeficientes e a constante, a única restrição necessária para o modelo foi o enquadramento das variáveis no universo de números reais.

A partir dessas definições, foram inseridos para leitura do software os registros históricos, em forma de vetores, para cada período  $i$ . É então que o software faz, a cada iteração, a comparação de desvio entre a demanda prevista e a demanda histórica.

Resumidamente, essa ferramenta foi aplicada para encontrar os coeficientes de uma equação linear que minimize o erro da previsão. Então, as variáveis do problema foram exatamente os coeficientes que viriam a multiplicar cada variável explicativa (importação, exportação, média do dólar, variação do PIB e índice pluviométrico) da série histórica e a função a ser minimizada foi a subtração do desvio da previsão em relação a carga efetivamente movimentada, ou seja, o módulo do valor real de carga movimentada subtraído da previsão gerada com os coeficientes determinados pela ferramenta.

Os coeficientes então, deram origem a seguinte reta que segue.

$$\begin{aligned} \text{Demanda} = & 377.938,20 + 0,5172 \times \text{Importação} - 0,0828 \times \text{Exportação} \\ & + 832.462,08 \times \text{Dólar} + 353.076,95 \times \text{PIB} - 2.278,73 \times \text{Chuva} \end{aligned}$$

Após a aplicação da equação de previsão, pôde-se determinar o valor do desvio que tal equação gerou para comparação futura a outras ferramentas apresentado na tabela 6.

**Tabela 6– Previsão pela ferramenta solver linear**

	<b>Demanda</b>	<b>Previsão Solver</b>	<b>Erro</b>	<b>Erro %</b>
<b>2012/T1</b>	2.137.205	1.946.881	190.323	9%
<b>2012/T2</b>	2.747.995	1.798.052	949.943	35%
<b>2012/T3</b>	3.165.302	2.740.271	425.031	13%
<b>2012/T4</b>	2.562.746	2.630.122	67.376	3%
<b>2013/T1</b>	2.218.773	2.163.691	55.082	2%
<b>2013/T2</b>	3.023.761	3.216.318	192.557	6%
<b>2013/T3</b>	2.992.891	2.992.891	1	0%
<b>2013/T4</b>	2.402.622	2.507.896	105.274	4%
<b>2014/T1</b>	2.622.498	2.839.614	217.116	8%
<b>2014/T2</b>	2.899.144	1.652.184	1.246.960	43%
<b>2014/T3</b>	2.774.860	1.873.383	901.477	32%
<b>2014/T4</b>	2.111.201	2.046.217	64.984	3%
<b>2015/T1</b>	2.095.207	1.689.839	405.367	19%
<b>2015/T2</b>	3.050.456	3.022.444	28.012	1%
<b>2015/T3</b>	2.842.431	2.842.517	86	0%
<b>2015/T4</b>	2.203.563	2.339.184	135.621	6%
<b>Total</b>			4.985.210	

Fonte: Autoria própria

Esse método teve um desempenho bom em alguns trimestres, mas com um desvio relativamente alto em outros. Isso pode ser atribuído ao fato de que, assim como as outras equações lineares, é proposto um coeficiente que se repete para cada período multiplicando as variáveis explicativas.

Dessa maneira, ao observar que os maiores desvios aconteceram no segundo trimestre do ano, sugerindo que pode haver a atuação de algum fator que se repete periodicamente e afeta a demanda. Mas, como nos outros anos esse mesmo trimestre não apresentou um desvio tão expressivo, não seria conclusivo tal afirmação.



Por fim, como parâmetro comparativo, pode-se considerar a soma dos desvios (erro) das previsões. Para essa equação, o erro total foi de 4.985.210 e a média dos desvios absolutos foi de 311.575.

#### 4.4 LINGO

Lingo é uma ferramenta projetada para construção e resolução de problemas linear, não linear e programação inteira. O software foi utilizado em versão acadêmica, limitando o estudo em número de iterações e variáveis.

##### 4.4.1 Utilização da Modelagem no Software Lingo para Desenvolver uma Equação Linear que Minimiza o Somatório dos Desvios da Previsão

Primeiramente, foram definidas as funções que direcionam o modelo, sendo a função objetivo caracterizada pela Equação (13) e a função que descreve a demanda prevista caracterizada pela equação (14). As restrições que impõem que o retorno dos coeficientes do modelo pertença ao mundo dos números reais também é aplicada nesse modelo, como no método que utilizou a ferramenta Solver para geração da equação linear.

Matematicamente, as equações de erro, função objetivo, variáveis de decisão e restrições são idênticas para ambos os modelos. Dessa maneira, a comparação entre o desempenho de ambos os softwares pode ser e é comparável em termos de assertividade para esse estudo.

Então, através da modelagem que tem como variáveis de decisão os coeficientes que multiplicam as variáveis explicativas da série histórica da demanda (importação, exportação, média do dólar, variação do PIB e índice pluviométrico) e função objetivo caracterizada pela minimização da somatória dos desvios (módulo da diferença entre a previsão e o real valor de carga movimentada), obteve-se a equação que segue.

$$\begin{aligned} Demanda = & 3.035.435 - 0,2604 \times Importação + 0,9288 \times Exportação \\ & + 79.468,65 \times Dólar + 73.165,73 \times PIB - 3.829,81 \times Chuva \end{aligned}$$

Após a aplicação da equação de previsão, pôde-se determinar o valor do desvio que tal equação gerou para comparação futura a outras ferramentas apresentado na tabela 7.

**Tabela 7 – Previsão pela ferramenta lingo para equação linear**

	<b>Demanda</b>	<b>Previsão</b>	<b>Erro</b>	<b>Erro %</b>
<b>2012/T1</b>	2.137.205	2.479.678	342.473	16%
<b>2012/T2</b>	2.747.995	2.802.309	54.314	2%
<b>2012/T3</b>	3.165.302	3.112.402	52.900	2%
<b>2012/T4</b>	2.562.746	2.872.381	309.635	12%
<b>2013/T1</b>	2.218.773	1.999.112	219.661	10%
<b>2013/T2</b>	3.023.761	3.007.762	15.999	1%
<b>2013/T3</b>	2.992.891	3.116.722	123.830	4%
<b>2013/T4</b>	2.402.622	2.478.209	75.586	3%
<b>2014/T1</b>	2.622.498	2.587.192	35.306	1%
<b>2014/T2</b>	2.899.144	2.817.289	81.855	3%
<b>2014/T3</b>	2.774.860	2.811.470	36.610	1%
<b>2014/T4</b>	2.111.201	2.525.340	414.139	20%
<b>2015/T1</b>	2.095.207	2.130.275	0	0%
<b>2015/T2</b>	3.050.456	3.049.180	1.276	0%
<b>2015/T3</b>	2.842.431	2.669.067	1	0%
<b>2015/T4</b>	2.203.563	2.203.565	2	0%
Total			1.763.587	

**Fonte: Autoria própria**

Para tal equação, pode-se observar um valor de constante mais alto que todas as demandas consideradas no histórico e uma forte influência, de maneira negativa, da variável que considera a precipitação pluviométrica.

E, como resposta a função objetivo e critério comparativo tem-se a soma dos módulos dos desvios totalizando 1.763.587,56 e a média desses valores totalizando 110.224.

#### 4.5 MÉTODO ARIMA

Expandindo os estudos de previsão com a aplicação de novos modelos, foi verificada a aderência do modelo ARIMA para tal série de dados. Primeiramente, foi testada a aderência do modelo considerando nulos os valores de  $p$  (número de termos autoregressivos) e de  $d$  (número de diferenciações).

Para a previsão por meio do modelo ARMA de primeira ordem, ARMA (1,1), não houve boa aderência aos dados, como as estatísticas apresentadas no quadro 11.

**Quadro 11 – Estatísticas ARMA primeira ordem**

<i>Estatística de regressão</i>					
R múltiplo		0,049426			
R-Quadrado		0,002443			
R-quadrado ajustado		-0,07429			
Erro padrão		377823,9			
Observações		15			

ANOVA					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	4,54E+09	4,54E+09	0,031836	0,86113895
Resíduo	13	1,86E+12	1,43E+11		
Total	14	1,86E+12			

**Fonte: Autoria própria**

Tais estatísticas embasam a decisão de não aceitar tal modelo para a previsão da série de dados em estudo. Então, buscou-se verificar a aderência do ARMA de segunda ordem para a série de dados em estudo, obtendo como resultado as estatísticas apresentadas no quadro 12.

**Quadro 12 – Estatísticas ARMA segunda ordem**

<i>Estatística de regressão</i>					
R múltiplo		0,831397			
R-Quadrado		0,691221			
R-quadrado ajustado		0,63508			
Erro padrão		227852,8			
Observações		14			

ANOVA					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	2	1,28E+12	6,39E+11	12,31211	0,001559769
Resíduo	11	5,71E+11	5,19E+10		

Total 13 1,85E+12  
 Fonte: Autoria própria

O modelo ARMA de segunda ordem tem boa aderência para a série de dados, como a estatística aponta. Dessa maneira, aplica-se os coeficientes de maneira a obter a equação:

$$Demanda = 4868701 - 0,02302 \times Demanda_{(t-1)} - 0,82415 \times Demanda_{(t-2)}$$

**Quadro 13 – Coeficientes ARMA segunda ordem**

	Coefici entes	Erro padrão	Stat t	valor- P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseç ão	486870 1	648203 ,9	7,511 065	1,18E -05	3442014, 023	6295388	3442014	6295388
Variáve l X 1	- 0,02302	0,1774 32	0,129 76	0,899 097	0,413549 793	0,367502	-0,41355	0,367502
Variáve l X 2	- 0,82415	0,1661 44	4,960 48	0,000 428	1,189834 958	-0,45847	-1,18983	-0,45847

Fonte: Autoria própria

Aplicando a equação (9) para a previsão e mensuração de erro, obteve-se os resultados mostrados na tabela 8.

**Tabela 8 – Erro ARMA segunda ordem**

Período	Demanda	Previsão ARMA	Erro	Erro %
2012/T1	2.137.205			
2012/T2	2.747.995			
2012/T3	3.165.302	3.044.044	121.258	4%
2012/T4	2.562.746	2.531.051	31.695	1%
2013/T1	2.218.773	2.200.998	17.775	1%
2013/T2	3.023.761	2.705.517	318.244	11%
2013/T3	2.992.891	2.970.470	22.422	1%
2013/T4	2.402.622	2.307.746	94.876	4%
2014/T1	2.622.498	2.346.778	275.720	11%
2014/T2	2.899.144	2.828.188	70.956	2%
2014/T3	2.774.860	2.640.607	134.252	5%
2014/T4	2.111.201	2.415.470	304.268	14%
2015/T1	2.095.207	2.533.179	437.973	21%
2015/T2	3.050.456	3.080.505	30.049	1%
2015/T3	2.842.431	3.071.693	229.262	8%
2015/T4	2.203.563	2.289.209	85.646	4%

**Fonte: Autoria própria**

Já para a aplicação do modelo ARIMA considerando  $p$ ,  $d$  e  $q$  diferentes de zero, os dados em questão não foram aderentes à tentativa do modelo.

Juntando tais valores aos estudos pela autora publicados anteriormente, pode-se comparar o desempenho dos diferentes métodos de previsão atuando sobre o mesmo universo de observações. Tais valores e a respectiva comparação podem ser observados na 9.  
tabela

Tabela 9: Quadro comparativo para previsão de demanda de granéis sólidos (em toneladas)

	Regressão	Erro	Erro %	Solver	Erro	Erro %	Lingo	Erro	Erro %	Winter	Erro	Erro %	Solver Saz	Erro	Erro %	ARMA	Erro	Erro %
2012/T1	2.414.187	276.983	13%	1.946.881	190.323	9%	2.479.678	342.473	16%	2.446.066	308.862	14%	2.390.083	252.878	12%			
2012/T2	2.689.480	58.514	2%	1.798.052	949.943	35%	2.802.309	54.314	2%	3.145.208	397.213	14%	3.246.014	498.019	18%			
2012/T3	3.016.668	148.634	5%	2.740.271	425.031	13%	3.112.402	52.900	2%	3.123.363	41.939	1%	3.165.302	0	0%	3.044.044	121.258	4%
2012/T4	2.796.273	233.527	9%	2.630.122	67.376	3%	2.872.381	309.635	12%	2.458.947	103.799	4%	2.562.746	0	0%	2.531.051	31.695	1%
2013/T1	1.992.371	226.403	10%	2.163.691	55.082	2%	1.999.112	219.661	10%	2.278.740	59.967	3%	2.218.770	3	0%	2.200.998	17.775	1%
2013/T2	2.949.682	74.079	2%	3.216.318	192.557	6%	3.007.762	15.999	1%	2.940.343	83.418	3%	3.023.760	1	0%	2.705.517	318.244	11%
2013/T3	3.028.944	36.053	1%	2.992.891	1	0%	3.116.722	123.830	4%	2.940.723	52.169	2%	2.968.352	24.539	1%	2.970.470	22.422	1%
2013/T4	2.433.441	30.819	1%	2.507.896	105.274	4%	2.478.209	75.586	3%	2.314.157	88.465	4%	2.401.878	744	0%	2.307.746	94.876	4%
2014/T1	2.544.638	77.860	3%	2.839.614	217.116	8%	2.587.192	35.306	1%	2.142.653	479.845	18%	2.077.383	545.115	21%	2.346.778	275.720	11%
2014/T2	2.688.448	210.696	7%	1.652.184	1.246.960	43%	2.817.289	81.855	3%	2.801.487	97.657	3%	2.869.586	29.558	1%	2.828.188	70.956	2%
2014/T3	2.695.240	79.620	3%	1.873.383	901.477	32%	2.811.470	36.610	1%	2.805.031	30.171	1%	2.820.009	45.149	2%	2.640.607	134.252	5%
2014/T4	2.440.888	329.687	16%	2.046.217	64.984	3%	2.525.340	414.139	20%	2.205.710	94.508	4%	2.280.049	168.847	8%	2.415.470	304.268	14%
2015/T1	2.056.152	39.055	2%	1.689.839	405.367	19%	2.130.275	0	0%	2.034.414	60.793	3%	1.964.679	130.528	6%	2.533.179	437.973	21%
2015/T2	3.115.936	65.480	2%	3.022.444	28.012	1%	3.049.180	1.276	0%	2.632.037	418.419	14%	2.684.571	365.885	12%	3.080.505	30.049	1%
2015/T3	2.740.635	101.796	4%	2.842.517	86	0%	2.669.067	1	0%	2.651.123	191.308	7%	2.653.630	188.801	7%	3.071.693	229.262	8%
2015/T4	2.247.670	44.107	2%	2.339.184	135.621	6%	2.203.565	2	0%	2.093.885	109.678	5%	2.155.009	48.554	2%	2.289.209	85.646	4%
<b>Total</b>		2.033.313			4.985.210			1.763.587			2.618.211			2.298.621				2.174.396

Fonte: Autoria própria

Então, a partir da observação de um bom desempenho do método ARIMA e da observação de um padrão na performance da previsão, foi proposta uma amostra dessa demanda de maneira diária, aumentando assim o número de observações para testar a aderência de tal método, fator necessário para um melhor desempenho desse método, ao contrário dos demais. Dessa maneira, o universo de estudo foi ampliado com os dados presentes na tabela 10.

**Tabela 10 – Dados portuários**

Mês/Ano	2012	2013	2014	Total Geral
Jan	1.772.331	1.898.257	2.226.608	8.003.621
Fev	2.296.826	2.277.026	2.572.934	8.740.386
Mar	2.342.457	2.481.037	3.067.951	10.477.040
Abr	2.490.466	2.843.617	2.903.918	11.012.768
Mai	3.053.499	3.375.107	2.889.290	12.355.880
Jun	2.700.019	2.852.559	2.904.224	11.795.419
Jul	2.944.735	3.012.609	3.163.053	12.009.683
Ago	3.324.458	3.061.587	3.143.566	9.529.611
Set	3.226.713	2.904.478	2.017.960	8.149.151
Out	2.957.524	2.866.476	2.251.497	8.075.497
Nov	2.517.769	2.294.337	2.103.478	6.915.584
Dez	1.943.756	2.047.054	1.978.629	5.969.439
<b>Total Geral</b>	<b>31.570.553</b>	<b>31.914.144</b>	<b>31.223.108</b>	<b>113.034.079</b>

Fonte: APPA (2016)

Seguindo a mesma metodologia da aplicação do método ARIMA previamente implementado, agora com universo de estudos ampliado, aplicou-se o método ARMA de primeira ordem.

**Quadro 14 – Estatísticas ARMA de primeira ordem**

<i>Estatística de regressão</i>					
R múltiplo		0,645824			
R-Quadrado		0,417089			
R-quadrado ajustado		0,399425			
Erro padrão		338706,6			
Observações		35			
ANOVA					
	<i>Gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	2,71E+12	2,71E+12	23,61242	2,79102E-05
Resíduo	33	3,79E+12	1,15E+11		
Total	34	6,49E+12			

Fonte: Autoria própria

Para a sequência do estudo, buscou-se uma melhor aderência no ARMA de segunda ordem obtendo como resultado o quadro 15.

**Quadro 15 – Estatísticas ARMA de segunda ordem**

<i>Estatística de regressão</i>					
R múltiplo					0,672848
R-Quadrado					0,452724
R-quadrado ajustado					0,417416
Erro padrão					335145,4
Observações					34

ANOVA					
	<i>Gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	2	2,88E+12	1,44E+12	12,82211	8,75375E-05
Resíduo	31	3,48E+12	1,12E+11		
Total	33	6,36E+12			

Fonte: Autoria própria

Seguiu-se a verificação de aderência para o método ARMA de terceira ordem conferindo os resultados mostrados no quadro 16.

**Quadro 16 – Estatísticas ARMA de terceira ordem**

<i>Estatística de regressão</i>					
R múltiplo					0,692548
R-Quadrado					0,479623
R-quadrado ajustado					0,425791
Erro padrão					335013,5
Observações					33

ANOVA					
	<i>Gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	3	3E+12	1E+12	8,909601	0,000243041
Resíduo	29	3,25E+12	1,12E+11		
Total	32	6,25E+12			

Fonte: Autoria própria

Uma vez que a significação foi averiguada, busca-se o modelo ARIMA com os testes necessários para determinar p, q e d onde foi necessário fazer a diferenciação dos dados.



**Tabela 11 – Demanda e diferenciações**

Período	Demanda	Demanda-1	Demanda-2	Demanda-3
Jan/2012	1.772.331			
Fev/2012	2.296.826	524.495		
Mar/2012	2.342.457	45.631	-478.864	
Abr/2012	2.490.466	148.009	102.378	581.242
Mai/2012	3.053.499	563.033	415.024	312.646
Jun/2012	2.700.019	-353.480	-916.513	-1.331.537
Jul/2012	2.944.735	244.716	598.196	1.514.709
Ago/2012	3.324.458	379.723	135.007	-463.189
Set/2012	3.226.713	-97.745	-477.468	-612.475
Out/2012	2.957.524	-269.189	-171.444	306.024
Nov/2012	2.517.769	-439.755	-170.566	878
Dez/2012	1.943.756	-574.013	-134.258	36.308
Jan/2013	1.898.257	-45.499	528.514	662.772
Fev/2013	2.277.026	378.769	424.268	-104.246
Mar/2013	2.481.037	204.011	-174.758	-599.026
Abr/2013	2.843.617	362.580	158.569	333.327
Mai/2013	3.375.107	531.490	168.910	10.341
Jun/2013	2.852.559	-522.548	-1.054.038	-1.222.948
Jul/2013	3.012.609	160.050	682.598	1.736.636
Ago/2013	3.061.587	48.978	-111.072	-793.670
Set/2013	2.904.478	-157.109	-206.087	-95.015
Out/2013	2.866.476	-38.002	119.107	325.194
Nov/2013	2.294.337	-572.139	-534.137	-653.244
Dez/2012	2.047.054	-247.283	324.856	858.993
Jan/2014	2.226.608	179.554	426.837	101.981
Fev/2014	2.572.934	346.326	166.772	-260.065
Mar/2014	3.067.951	495.017	148.691	-18.081
Abr/2014	2.903.918	-164.033	-659.050	-807.741
Mai/2014	2.889.290	-14.628	149.405	808.455
Jun/2014	2.904.224	14.934	29.562	-119.843
Jul/2014	3.163.053	258.829	243.895	214.333
Ago/2014	3.143.566	-19.487	-278.316	-522.211
Set/2014	2.017.960	-1.125.606	-1.106.119	-827.803
Out/2014	2.251.497	233.537	1.359.143	2.465.262
Nov/2014	2.103.478	-148.019	-381.556	-1.740.699
Dez/2014	1.978.629	-124.849	23.170	404.726

Fonte: Autoria própria

Posteriormente, foi testada a autocorrelação da demanda em relação a equação 13.

$$C = \frac{1}{\sqrt{n}} \times 2 \quad (13)$$

### Função de Autocorrelação: Demanda

**Quadro 17 – Autocorrelação da demanda**

Lag	FAC	T	QLB
1	0,594634	3,57	13,82
2	0,222006	1,02	15,80
3	-0,101410	-0,45	16,23
4	-0,449686	-2,00	24,87
5	-0,450319	-1,81	33,82
6	-0,485511	-1,79	44,57
7	-0,433037	-1,47	53,42
8	-0,195423	-0,63	55,28
9	0,138301	0,44	56,25
10	0,434364	1,37	66,18
11	0,544020	1,64	82,37
12	0,479208	1,35	95,46
13	0,159099	0,43	96,97
14	-0,087729	-0,23	97,45
15	-0,248837	-0,66	101,48
16	-0,418895	-1,10	113,48
17	-0,304988	-0,78	120,18
18	-0,261694	-0,65	125,39
19	-0,182093	-0,45	128,05
20	0,051192	0,13	128,28

Fonte: Autoria própria

### Função de Autocorrelação: Demanda-1

**Quadro 18 – Autocorrelação da demanda-1**

Lag	FAC	T	QLB
1	0,062617	0,37	0,15
2	-0,046803	-0,28	0,24
3	0,033444	0,20	0,28
4	-0,276606	-1,62	3,48
5	-0,009116	-0,05	3,48
6	-0,126045	-0,69	4,19
7	-0,217151	-1,17	6,37
8	-0,163213	-0,85	7,65
9	0,031394	0,16	7,70
10	0,138013	0,70	8,68
11	0,115488	0,58	9,40
12	0,359190	1,79	16,67
13	-0,009672	-0,04	16,67
14	-0,016158	-0,07	16,69
15	0,084821	0,39	17,16
16	-0,317923	-1,45	24,04
17	0,006377	0,03	24,05
18	-0,048760	-0,21	24,23
19	-0,155688	-0,67	26,19
20	-0,018333	-0,08	26,22

Fonte: Autoria própria

### Função de Autocorrelação: Demanda-2

**Quadro 19 – Autocorrelação da demanda-2**

Lag	FAC	T	QLB
1	-0,428826	-2,50	6,82
2	-0,104972	-0,52	7,24
3	0,165564	0,82	8,32
4	-0,245687	-1,19	10,79
5	0,179979	0,84	12,15
6	-0,027254	-0,12	12,19
7	-0,051653	-0,24	12,31
8	-0,069641	-0,32	12,54
9	0,070716	0,32	12,78
10	0,078796	0,36	13,10
11	-0,181565	-0,82	14,85
12	0,303960	1,35	19,99
13	-0,196697	-0,83	22,25
14	-0,062268	-0,26	22,48
15	0,263816	1,09	26,97
16	-0,333625	-1,33	34,54
17	0,169003	0,64	36,59
18	0,022840	0,09	36,63
19	-0,105485	-0,39	37,54
20	0,034576	0,13	37,65

Fonte: Autoria própria

Como um segundo teste, decidiu-se testar a série através da estatística Q de Box e Pierce onde a hipótese conjunta que todos os coeficientes da correlação são zero. Para tal teste, deve ser verdadeira a afirmação que segue.

$$Q(k) = n \sum_{j=1}^K \hat{r}_j^2 \quad (13)$$

Sendo n: número de observações

K: número de defasagens tomada na função de autocorrelação

r: autocorrelação da série k

Os resultados para tal teste apresentam-se na tabela 12.

**Tabela 12 – Resultado teste de autocorrelação**

$\sum r_j^2$	2,480677	0,47151	0,724782
N	36	35	34
Q (k)	89,30436	16,50285	24,64259
Q critico	28,41	28,41	28,41
Resultado	Rejeita	Aceita	Aceita

**Fonte: Autoria própria**

Então, com base nos testes, decide-se os coeficientes a serem considerados no estudo. Uma vez que na primeira diferenciação atendeu o teste proposto, o modelo inicialmente desenhou-se em ARIMA (p,1,q).

Posteriormente, foi necessária a autocorrelação parcial da série para definição do valor utilizado em p.

### **Função de Autocorrelação Parcial: Demanda**

**Quadro 20 – Autocorrelação parcial da demanda**

<u>Lag</u>	<u>FACP</u>	<u>T</u>
1	0,594634	3,57
2	-0,203560	-1,22
3	-0,224734	-1,35
4	-0,405604	-2,43
5	0,070416	0,42
6	-0,364114	-2,18
7	-0,216465	-1,30
8	-0,121982	-0,73
9	0,291934	1,75
10	0,051301	0,31
11	0,040339	0,24
12	0,039868	0,24
13	-0,171144	-1,03
14	0,002460	0,01
15	-0,018593	-0,11
16	-0,063784	-0,38
17	0,212107	1,27
18	-0,103328	-0,62
19	-0,135135	-0,81
20	-0,138427	-0,83

**Fonte: Autoria própria**

Com base nessa estatística, considerando a equação (9), tem-se decidida a aplicação do modelo ARIMA (4,1,1).

### **Modelo ARIMA: Demanda**

**Quadro 21 – Estimativas finais de parâmetros**

<u>Tipo</u>	<u>Coef.</u>	<u>EP de Coef</u>	<u>T</u>	<u>P</u>
AR 1	0,6431	0,1695	3,80	0,001
AR 2	0,1570	0,1954	-0,80	0,428
AR 3	0,1343	0,1959	0,69	0,498
AR 4	0,5758	0,1721	-3,35	0,002
MM 1	0,9351	0,1604	5,83	0,000

**Fonte: Autoria própria**

Diferenciação: 1 diferença regular

Número de observações: Série original 36, depois da diferenciação de 35

Resíduos: SQ = 2885958547267 (previsões retroativas excluídas)

QM = 96198618242 GL = 30

Estatística Qui-Quadrado de Box-Pierce (Ljung-Box) modificada

Lag	12	24	36	48
Qui-Quadrado	19,6	32,4	*	*
GL	7	19	*	*
Valor-p	0,007	0,028	*	*

Então, apresenta-se a previsão para o modelo a tabela 13.

**Tabela 13 – Previsão com método ARIMA**

Ano	Mês	ARIMA (4,1,1)	Erro	
2012	Jan			
2012	Fev	2.051.491,06	245.334,94	11%
2012	Mar	2.523.252,94	180.795,94	8%
2012	Abr	2.665.842,75	175.376,75	7%
2012	Mai	3.091.907,70	38.408,70	1%
2012	Jun	3.132.385,34	432.366,34	16%
2012	Jul	2.782.160,56	162.574,44	6%
2012	Ago	2.995.995,96	328.462,04	10%
2012	Set	2.851.422,85	375.290,15	12%
2012	Out	2.989.718,09	32.194,09	1%
2012	Nov	2.739.925,25	222.156,25	9%
2012	Dez	2.253.151,32	309.395,32	16%
2013	Jan	1.953.071,58	54.814,58	3%
2013	Fev	2.106.336,36	170.689,64	7%
2013	Mar	2.544.311,02	63.274,02	3%
2013	Abr	2.936.369,07	92.752,07	3%
2013	Mai	3.208.573,41	166.533,59	5%
2013	Jun	3.313.565,74	461.006,74	16%
2013	Jul	2.795.312,61	217.296,39	7%
2013	Ago	2.857.000,00	204.587,00	7%
2013	Set	2.500.417,68	404.060,32	14%
2013	Out	2.740.323,10	126.152,90	4%
2013	Nov	2.663.157,28	368.820,28	16%
2013	Dez	2.227.901,20	180.847,20	9%
2014	Jan	2.232.325,25	5.717,25	0%
2014	Fev	2.331.308,31	241.625,69	9%
2014	Mar	2.837.797,63	230.153,37	8%
2014	Abr	3.283.241,83	379.323,83	13%
2014	Mai	3.018.498,86	129.208,86	4%
2014	Jun	2.893.507,79	10.716,21	0%
2014	Jul	2.599.021,36	564.031,64	18%
2014	Ago	2.892.260,82	251.305,18	8%
2014	Set	2.865.832,99	847.872,99	42%
2014	Out	2.116.065,54	135.431,46	6%
2014	Nov	2.300.143,40	196.665,40	9%
2014	Dez	2.015.556,03	36.927,03	2%

**Fonte: Autoria própria**

Dada a comparação entre os métodos de previsão de demanda, é possível observar que para cada período do objeto em estudo existe um método que se adere melhor.

Considerou-se para o estudo três critérios avaliativos, para a demanda apresentada trimestralmente:

1. A superioridade da previsão período a período: tal critério considerada quantas vezes o método foi superior para a previsão da carga. Para tal critério a distribuição foi, do melhor para o pior desempenho.

Método	nº de superioridades
Modelagem no software Lingo com a obtenção de uma função linear	8
Solver considerando sazonalidade	5
ARIMA	1
Holt-Winter Clássico	1
Modelagem na ferramenta Solver com obtenção de uma função linear	1
Regressão	0

2. Somatório dos módulos dos desvios: considerando tal critério, é percebida a seguinte ordenação, considerando do menor para o maior valor absoluto de desvios, ou seja, do método mais aderente para o menos.

Método	Erro total
Modelagem no software Lingo com a obtenção de uma função linear	1.763.587
Regressão	2.033.313
ARIMA	2.174.396
Solver considerando sazonalidade	2.298.621
Holt-Winter Clássico	2.618.211
Modelagem na ferramenta Solver com obtenção de uma função linear	4.985.210

3. Média dos módulos de desvio: para tal critério, considerou-se o módulo do desvio para cada trimestre e então a média desses valores.

Método	Erro médio
Modelagem no software Lingo com a obtenção de uma função linear	110.224
Regressão	127.082
Solver considerando sazonalidade	143.664
ARIMA	155.314
Holt-Winter Clássico	163.638
Modelagem na ferramenta Solver com obtenção de uma função linear	311.576

Ainda que todos os modelos testados tenham retornado previsões estatisticamente aceitáveis, fica clara uma tendência de desvio maior em determinados meses/trimestres nos modelos que consideram somente o histórico da variável em estudo.

Em outras palavras, os modelos que consideram as variáveis explicativas tiveram um desempenho superior aos que consideram somente a demanda histórica, deixando claro que tais variáveis realmente interferem na demanda.

Extrapolando a previsão do método que se mostrou superior nas três mensurações de erros para o ano de 2016, apresenta-se a previsão e o erro.

	Carga granel movimentada	Previsão	Erro	Erro %
<b>2016/T1</b>	2.776.396	1.848.203	928.193	33%
<b>2016/T2</b>	2.999.104	2.880.898	118.206	4%
<b>2016/T3</b>	2.347.042	2.335.834	11.209	0%
<b>2016/T4</b>	1.839.797	2.015.234	175.437	10%

A partir dessa previsão, é possível observar um comportamento que já ocorria de maneira regular nas previsões comparadas: o primeiro trimestre tem uma divergência mais considerável que as demais. Esse específico trimestre é exatamente o que, quando considerado individualmente, adequa-se melhor aos métodos de previsão que consideram a sazonalidade no período.

Baseado em Yoshima e Kachba (2016) esses períodos são os que apresentam maior desvio nas variáveis explicativas para a composição da equação de previsão. Seguindo por essa linha, quanto mais granulado está o período, maior o desafio em formular uma equação que atenda a previsão uma vez que não existe um cálculo médio para diluir impactos pontuais, como fica visível nos gráficos que consideram a demanda e a previsão (ANEXO I).



## 5 CONCLUSÃO

Dentre diversos motivos causadores de impactos na demanda portuária, pode-se atribuir a questões climáticas, questões cambiais, questões estruturais, característica da carga, sazonalidades, planejamento de atividades do porto e dos navios que ali operam, entre outros.

Ao considerar a sazonalidade, tendência e nível obteve-se um bom resultado, sugerindo dessa maneira que o tipo de carga apresenta, em algum grau, esses fatores. No entanto, a utilização de variáveis explicativas em outro dos métodos propostos, apresentou melhor desempenho na consideração de todos os três métodos avaliativos/comparativos propostos.

A partir de tal desempenho, é possível entender que tais variáveis, cada uma com uma intensidade diferente, interferiu na previsão da demanda de granel. Em nenhuma das equações foi zerada a participação de uma das variáveis explicativas para resultar em erro inferior, ou seja, dentre todas as combinações, a melhor considera todas as variáveis escolhidas no estudo.

Por entender e relacionar teorias acerca da demanda estudada e de fatores que a influenciam, através de análises ou mesmo de percebimentos relacionados as equações sugeridas em cada método, o objetivo geral desse trabalho foi alcançado.

As etapas a serem concluídas no decorrer do estudo justificavam e direcionavam o estudo para uma maior assertividade dos métodos uma vez que depois de um estudo mais aprofundado das variáveis em questão, foi o momento que decidiu-se pela consideração do índice pluviométrico, que posteriormente veio a ser o coeficiente de maior impacto para todas as equações geradas.

Adentrando a cada objetivo específico proposto no estudo, a caracterização das variáveis envolvidas foi um desafio à medida que, dentre todo o universo de informação, foi necessária a seleção de apenas algumas para envolver no estudo.

Posteriormente, o ajuste dos modelos para efeito comparativo, foi interessante ao passo de que foram escolhidos métodos e períodos que pudessem ser comparáveis em termos de performance. Todos os métodos escolhidos tinham o mesmo objetivo (minimizar o desvio do modelo de previsão frente a demanda histórica) mas podendo utilizar metodologias diferentes (consideração de variáveis explicativas, sazonalidade, tendência, entre outros).

Por fim, para comparação dos diferentes modelos ou mesmo dos mesmos modelos em diferentes softwares, foram constatados resultados distintos. Fato esse que deixou a

discussão mais rica e dirigiu o estudo para um maior entendimento de aspectos fundamentais para a carga em estudo, como a relação direta com a exportação e inversa com a importação, influência pluviométrica, entre outros.

Outro ponto importante a ser ressaltado é a importância da precipitação pluviométrica dentro dos modelos estudados. Em todos os métodos que consideram as variáveis explicativas, é esse fator o que ganha maior peso na equação, sempre interferindo de maneira contrária ao aumento de movimentação de carga. E é um fator fortemente citado em visitas portuárias uma vez que tal fenômeno pode inviabilizar a movimentação de carga ainda que toda a infraestrutura esteja disponível para o carregamento/d Descarregamento.

A incidência de filas causadas por motivos operacionais nos portos brasileiros e o alto valor em multas, desperdício e até mesmo custo de oportunidade em ter o navio e a carga parada também foram destacados de maneira recorrente. Dessa maneira, pode-se inferir que a demanda movimentada normalmente é inferior a demanda total necessária para ser movimentada.

Então, é importante a observação da tendência de crescimento da quantidade de carga movimentada na zona portuária, mas sempre atentos as limitações impostas pela infraestrutura disponível para tal, o deixa a movimentação da carga suscetível a maiores interferências do meio.

## REFERÊNCIAS

- ANJOS, A. dos. Análise de Variância. Notas de Aula, Capítulo 7, Disciplina: ce003, Curitiba, 2009. Disponível em: <http://www.est.ufpr.br/ce003/material/apostilace003.pdf> Acesso em: 28 mar. 2017.
- AIUBE, Fernando Antonio Lucena. Econometria para séries financeiras. **Departamento de Engenharia de Produção, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro**, 2007. Disponível em: [http://www.researchgate.net/publication/228460419\\_Econometria\\_para\\_Sries\\_Financeiras](http://www.researchgate.net/publication/228460419_Econometria_para_Sries_Financeiras). Acesso em: 15/10/2015.
- ALARCÓN, Rodrigo; ANTÓN, Juan Pablo; LOZANO, Angélica. Logistics Competitiveness in a Megapolitan Network of Cities: A Theoretical Approach and Some Application in the Central Region of Mexico. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 39, p. 739-752, 2012.
- ALMEIDA, Eduardo. **Econometria Espacial**. Campinas-SP. Alínea, 2012;
- ANTAQ – Agência Nacional de Transporte Aquaviário 2013. Disponível em: <http://www.antaq.gov.br/Portal/Anuarios/Anuario2013/Tabelas/AnaliseMovimentacaoPortuaria.pdf>. Acesso em: 15/08/2015.
- ARCHER, Brian H. Forecasting demand: quantitative and intuitive techniques. **International Journal of Tourism Management**, v. 1, n. 1, p. 5-12, 1980.
- BAHIA, P. Q., TOBIAS, M. S. G., SOUZA, M.S., SOUZA, M.G. A competitividade da soja do centro-oeste através da logística de redes de transportes de grãos de soja para exportação do estado do Mato Grosso. XLV CONGRESSO DA SOBER, Londrina, 2007.
- BALLOU, Ronal H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial. 4.ed, São Paulo: Bookman, 2001. p. 532
- BALLOU, Ronald H. **Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física**. 1ª edição. São Paulo-SP: Atlas, 2010.
- Batchelor, R., Alizadeh, A., & Visvikis, I. (2007). Forecasting spot and forward prices in the international freight market. **International Journal of Forecasting**, 23, 101–114.
- BATTEN, Jonathan; ELLIS, Craig. Technical trading system performance in the Australian share market: Some empirical evidence. **Asia Pacific Journal of Management**, v. 13, n. 1, p. 87-99, 1996.
- BEHRENDTS, S. (2012). The urban context of intermodal road-rail transport – Threat or opportunity for modal shift?. **Procedia - Social and Behavioral Sciences** 39 (2012) 463 – 475.
- BEWICK, Viv; CHEEK, Liz; BALL, Jonathan. Statistics review 7: Correlation and regression. **Critical Care**, v. 7, n. 6, p. 451, 2003.

BONTEKONING, Y. M.; MACHARIS, C.; TRIP, J. J. Is a new applied transportation research field emerging? – A review of intermodal rail–truck freight transport literature. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 38, n. 1, p. 1-34, 2004.

BORGES, G.R., ARAUJO, F., SOLON, A.S. Desperdício de soja nas estradas: Análise de perdas de soja nas regiões sudeste e centro-oeste. **Anais do XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2013.

BOUZADA, Marco Aurélio Carino. Aprendendo Decomposição Clássica: Tutorial para um Método de Análise de Séries Temporais. **TAC-Tecnologias de Administração e Contabilidade**, p. 1-18, 2012.

BROWN, Jonathon D. Simple linear regression. In: **Linear Models in Matrix Form**. Springer International Publishing, 2014. p. 39-67.

BUENO, Rodrigo de Losso da Silveira. Econometria de séries temporais, 2 Edição – São Paulo: Cengage Learning, 2011

CARRION, Carlos; LEVINSON, David. Value of travel time reliability: A review of current evidence. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 46, n. 4, p. 720-741, 2012.

CAVALHEIRO, Darlene et al. Método de previsão de demanda aplicada ao planejamento da produção de indústrias de alimentos. 2003.

Ching-Chiao Yang, Hui-Huang Tai & Wen-Hsing Chiu (2014). Factors influencing container carriers' use of coastal shipping, **Maritime Policy & Management: The flagship journal of international shipping and port research**, 41:2, 192-208

CULLINANE, K. (1992). A short-term adaptive forecasting model for BIFFEX speculation, a Box–Jenkins approach. **Maritime Policy and Management**, 19, 1–114.

DA SILVA, Wesley Vieira; Samohyl, Robert Wayne; Costa, Luciana Santos, 2002. Comparação entre os métodos de previsão univariados para o preço médio da soja no Brasil. **Anais XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção** 2002, p. 1-8.

DE MARINS RIBEIRO, Ms Luiz Otávio; BOENTE, Alfredo Nazareno Pereira; BIANCHI, Ms José Mauro Baptista. Utilização do modal de transporte com maior eficiência no transporte de carga. **Revista Edu. Tec.**, v. 1, n. 1, 2014.

DE SOUZA, Arnold Estephane Castro et al. Utilização do método Box-Jenkins (ARIMA) na previsão de demandas de um produto de uma empresa de beneficiamento de açaí. **XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2013.

DEY, Prasanta Kumar; OGUNLANA, Stephen O.; NAKSUKSAKUL, Sittichai. Risk-based maintenance model for offshore oil and gas pipelines: a case study. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 10, n. 3, p. 169-183, 2004

DONKOR, Emmanuel A. et al. Urban water demand forecasting: Review of methods and models. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 140, n. 2, p. 146-159, 2012.

DUBKE, A.F., Ferreira, F.R.N. e Pizzolato, N.D. 2004. Plataformas Logísticas: características e tendências para o Brasil. **XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGETP)**, Florianópolis – SC.

ELLIS, Craig A.; PARBERY, Simon A. Is smarter better? A comparison of adaptive, and simple moving average trading strategies. **Research in International Business and Finance**, v. 19, n. 3, p. 399-411, 2005

ERHART, Sabrina; PALMEIRA, Eduardo Mauch. Análise do setor de transportes. **Observatório de la Economía Latino americana: Revista acadêmica de economia**, n. 71, p. 1-6, 2006.

FALCÃO, Viviane Adriano; CORREIA, Anderson Ribeiro. Eficiência portuária: análise das principais metodologias para o caso dos portos brasileiros. **Journal of Transport Literature**, v. 6, n. 4, p. 133-146, 2012.

FENG, Bo; LI, Yanzhi; SHEN, Zuo-Jun Max. Air cargo operations: Literature review and comparison with practices. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 56, p. 263-280, 2015.

FIGUEIREDO, Gustavo Soares. O papel dos portos concentradores na cadeia logística global. **Artigo Científico: Anais do XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção Bahia**, 2001

FILHO, R.S., LIRIO, V.S. **Análise da estrutura de escoamento da soja brasileira em estados selecionados: Mato Grosso, Paraná e Rio Grande do Sul**, IN < <http://www.sober.org.br/palestra/12/03P195.pdf>>. Acesso em 14/10/2014.

FURTADO, Maurício Rocha. **Aplicação de um modelo de previsão da demanda total nos credenciados belgo pronto**. 2006. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Juiz de fora.

GALI, Jordi; GERTLER, Mark. Inflation dynamics: A structural econometric analysis. **Journal of monetary Economics**, v. 44, n. 2, p. 195-222, 1999.

GARDNER, Everette S. Exponential smoothing: The state of the art—Part II. **International journal of forecasting**, v. 22, n. 4, p. 637-666, 2006.

GEOMELOS, N.D., Xideas, E. 2014. Forecasting spot prices in bulk shipping using multivariate and univariate models. **Cogent Economics & Finance** 2014; 2: 932701.

GIOVINE, Humberto; CHRIST, Divair. Estudo sobre processos de armazenagem de grãos—um estudo de caso—Região de Francisco Beltrão-PR. **Ciências Sociais Aplicadas em Revista**, Cascavel, PR, v.10, n.18, p.138-162, jan. 2010.

GRAHAM, MarienAlet; MUKHERJEE, Amitava; CHAKRABORTI, Subhabrata. Distribution-free exponentially weighted moving average control charts for monitoring unknown location. **Computational Statistics & Data Analysis**, v. 56, n. 8, p. 2539-2561, 2012.

HENNING, Elisa et al. Um estudo para a aplicação de gráficos de controle estatístico de processo em indicadores de qualidade da água potável. **Sistemas & Gestão**, v. 9, n. 1, p. 2-13, 2014.

J. Steele et al., eds., *Encyclopedia of Marine Science*, Academic Press, 2001, pp. 2768-76.

JACOBS, William. Modelos de suavização exponencial, arima e redes neurais artificiais: um estudo comparativo para a previsão de demanda de produtos. 2012.

JARDINI, P.H.R. Previsão de Demanda em uma Rede de Varejo de Eletrodoméstico como Apoio ao Gerenciamento de Estoque. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2010. Disponível em: <[http://www.ufjf.br/ep/files/2014/07/2010\\_1\\_Paulo-Henrique.pdf](http://www.ufjf.br/ep/files/2014/07/2010_1_Paulo-Henrique.pdf)>. Acesso em: 27/10/2015.

KAYUSSANOS, M. G., & NOMIKOS, N. (1999). The forward pricing function of the shipping freight futures market. **Journal of Futures Markets**, 19, 353–376.

KUSE, H., ENDO, A., & IWAO, E. (2010). Logistics facility, road network and district planning: Establishing comprehensive planning for city logistics. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, 2 (2010), 6251–6263.

LACERDA, Sander Magalhães. Investimentos nos portos brasileiros: oportunidade da concessão da infraestrutura portuária. **BNDES Setorial, Rio de Janeiro**, n. 22, p. 297-315, 2005.

LEITE, Guilherme Leão Dias. **CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO E ESCOAMENTO DE GRÃOS DO ESTADO DO MATO GROSSO**. 2013. 34 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Agrônoma, Universidade de Brasília, Brasília – DF, 2013.

LEMOS, Fernando de Oliveira. Metodologia para seleção de métodos de previsão de demanda. 2006.

LUSTOSA, Leonardo Junqueira; DE MESQUITA, Marco Aurélio; OLIVEIRA, Rodrigo J. **Planejamento e controle da produção**. Elsevier Brasil, 2008.

LYRIDIS, D. V., ZACHARIOUDAKIS, P. G., Mitrou, P., & Mylonas, A. (2004). Forecasting tanker Market using artificial neural networks. **Maritime Economics and Logistics**, 6, 93–108.

MACHADO, Fabio de Souza. **APLICAÇÃO DE MODELOS DE PREVISÃO EM UMA EMPRESA DO SETOR FERROVIÁRIO**. 2006. 55f. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Juiz de Fora. Manual do trabalho portuário e ementário. – Brasília : MTE, SIT, 2001.

MEDDA, F., and L. Trujillo. 2010. “Short-Sea Shipping: An Analysis of Its Determinants.” **Maritime Policy and Management** 37 (3): 285–303.

MONIÉ, Frédéric. Planejamento territorial, modernização portuária e logística. O impasse das políticas públicas no Brasil e no Rio de Janeiro. **Geeconomia do Gás Natural no Cone Sul**, v. 46, p. 71, 2003.

MORETTIN, Pedro A. Econometria financeira. **Um curso em séries temporais**, 2008.

MOURA, D. A., BOTTER, R. C. (2011). O Transporte por Cabotagem no Brasil – Potencialidade para a Intermodalidade Visando a Melhoria do Fluxo Logístico. **Revista Produção Online**. Florianópolis, SC, v.11, n. 2, p. 595-617.

MOY, Ronald L.; CHEN, Li-Shya; KAO, Lie Jane. Multiple Linear Regression. In: **Study Guide for Statistics for Business and Financial Economics**. Springer International Publishing, 2015. p. 223-240.

NETO, Campos et al. **Gargalos e demandas da infraestrutura portuária e os investimentos do PAC: mapeamento Ipea de obras portuárias**. Texto para Discussão, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2009.

OKOLI, Chitu; PAWLOWSKI, Suzanne D. The Delphi method as a research tool: na example, design considerations and applications. **Information & management**, v. 42, n. 1, p. 15-29, 2004.

PAIXÃO CASACA, Ana C.; MARLOW, Peter B. The competitiveness of short sea shipping in multimodal logistics supply chains: service attributes. **Maritime Policy & Management**, v. 32, n. 4, p. 363-382, 2005.

PAIXÃO, A. C.; MARLOW, Peter B. Strengths and weaknesses of short sea shipping. **Marine Policy**, v. 26, n. 3, p. 167-178, 2002.

PAULAUSKAS, Vytautas; LUKAUSKAS, Valdas. Cargo flow and transit impacts on port development. **Transport**, v. 18, n. 3, p. 120-123, 2003.

PELLEGRINI, Fernando Rezende. Metodologia para implementação de sistemas de previsão de demanda. 146 f. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Porto Alegre: UFRGS, 2000.

PILINKIENĖ, Vaida. Selection of market demand forecast methods: Criteria and application. **Engineering Economics**, v. 58, n. 3, 2015.

PINO, Francisco Alberto. SAZONALIDADE NA AGRICULTURA1. **Revista de Economia Agrícola**, v.61, n. 1, p. 63-93, 2014.

POPADIUK, S.; SANTOS, A. E. Conhecimentos tácito, explícito e cultural no planejamento da demanda. **Revista de Gestão da Tecnologia e Sistemas de Informação**, v. 7, n. 1, p. 205-226, 2010.

Portos do Brasil 2014. Disponível em <http://www.portosdobrasil.gov.br/home-1/estatisticas/desempenho-do-complexo-portuario-brasileiro-em-2013>. Acesso em: 29/08/2015.

RIBEIRO, Priscilla Cristina Cabral; FERREIRA, Karine Araújo. Logística e transportes: uma discussão sobre os modais de transporte e o panorama brasileiro. **XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2002.

RODRIGUE, Jean-Paul; COMTOIS, Claude; SLACK, Brian. **The geography of transport systems**. Routledge, 2013.

RODRIGUES, P. R. A. Introdução aos Sistemas de Transporte no Brasil e à Logística Internacional, 4. ed. São Paulo: Aduaneiras, 2007.

ROJAS, Pablo. Introdução à logística portuária e noções de comércio exterior – Porto Alegre: Bookman, 2014.

SAMBRACOS, Evangelos; MANIATI, Marina. Competitiveness between short sea shipping and road freight transport in mainland port connections; the case of two Greek ports. **Maritime Policy & Management**, v. 39, n. 3, p. 321-337, 2012.

SANTOS, Sílvio dos et al. Um estudo sobre a participação do modal ferroviário no transporte de cargas no Brasil. 159f. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

SECRETARIA DOS PORTOS DO BRASIL. Informações sobre transporte. Disponível em: Acesso em:

SCHEFFER, D; MENDONÇA, S.A.; ZANINI, R.R. "Utilização de modelos ARIMA para previsão da arrecadação de ICMS do estado do Rio Grande do Sul. **Blucher Marine Engineering Proceedings**, v. 1, n. 1, p. 734-745, 2014.

SCHINAZI, Rinaldo B. Multiple Linear Regression. In: **Probability with Statistical Applications**. Birkhäuser Boston, 2012. p. 311-331

SEABROOKE, William et al. Forecasting cargo growth and regional role of the port of Hong Kong. **Cities**, v. 20, n. 1, p. 51-64, 2003.

SETTEN, Alexandre de Mattos. Infraestrutura logística de exportação de açúcar e etanol no centro-sul do Brasil. 2010.

SHINGHAL, Nalin; FOWKES, Tony. Freight mode choice and adaptive stated preferences. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 38, n. 5, p. 367-378, 2002.

SIGNOR, Diogo et al. Sazonalidade dos preços dos grãos no Rio Grande do Sul de 1980 a 2009. **Revista Cadernos de Economia**, v. 17, n. 32, p. 31-39, 2013.

SKULMOSKI, Gregory; HARTMAN, Francis; KRAHN, Jennifer. The Delphi method for graduate research. **Journal of Information Technology Education: Research**, v. 6, n. 1, p. 1-21, 2007.

STEENKEN, Dirk; VOß, Stefan; STAHLBOCK, Robert. Container terminal operation and operations research - a classification and literature review. **OR spectrum**, v. 26, n. 1, p. 3-49, 2004.

SURYANI, Erma; CHOU, Shuo-Yan; CHEN, Chih-Hsien. Dynamic simulation model of air cargo demand forecast and terminal capacity planning. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 28, p. 27-41, 2012

TEDESCO, Giovanna Megumi Ishida et al. Mercado de Transporte Rodoviário de Cargas no Brasil. **Revista ANTT**, v. 3, n. 2, p. 140-51, 2011.

TYSZLER, Marcelo. Econometria espacial: discutindo medidas para a matriz de ponderação espacial. 2006.

UNCTAD (United Nations Conference on Trade And Development) – Review of Maritime Transport. (2011). Disponível em: [http://unctad.org/en/docs/rmt2011\\_en.pdf](http://unctad.org/en/docs/rmt2011_en.pdf). Acesso em: 04/09/2015.



URBIETA, Pablo Cezar. Trabalho de Conclusão de Curso. Disponível em: <<http://pro.poli.usp.br/wp-content/uploads/2012/pubs/melhoria-dos-processos-de-previsao-de-demanda-e-controle-de-estoques-de-pecas-de-reposicao-de-linha-branca.pdf>>. Acesso em: 15/08/2015.

VIANA, Fernando Luis. Entendendo a logística no seu estágio atual. Disponível em <<http://www.flf.edu.br/revista-flf.edu/volume02/24.pdf> > Acesso em: 30/09/2015.

VILKELIS, A. 2011. Utilisation of transport capacities and opportunities to mitigate negative environmental impact of logistics operations. Selected paper from TRANSBALTICA 7th International Conference, 5-6 th May 2011. Disponível em: <[http://leidykla.vgtu.lt/conferences/Transbaltica\\_2011/pdf/053.pdf](http://leidykla.vgtu.lt/conferences/Transbaltica_2011/pdf/053.pdf)>. Acesso em: 01/09/2015.

WANG, Yaowu et al. An Analysis of Interstate Freight Mode Choice between Truck and Rail: A Case Study of Maryland, United States. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 96, p. 1239-1249, 2013.

WANKE, Peter Fernandes. Fatores de satisfação com o uso de autônomos no transporte rodoviário de cargas. **Production Journal**, v. 22, n. 3, p. 584-595, 2012.

WANKE, Peter Fernandes; HIJJAR, Maria Fernanda. Exportadores brasileiros: estudo exploratório das percepções sobre a qualidade da infraestrutura logística. **Produção**, v. 19, n. 1, p. 143-162, 2009

WANKE, Peter; FLEURY, Paulo Fernando. Transporte de cargas no Brasil: estudo exploratório das principais variáveis relacionadas aos diferentes modais e às suas estruturas de custos. **Estrutura e dinâmica do setor de serviços no Brasil. Cap**, v. 12, p. 409-464, 2006.

WERNER, Liane; RIBEIRO, José Luis Duarte. Previsão de demanda: uma aplicação dos modelos Box-Jenkins na área de assistência técnica de computadores pessoais. **Revista Gestão & Produção**, v. 10, n. 1, p. 47-67, 2003.

WILMSMEIER, Gordon; MARTÍNEZ-ZARZOSO, Inmaculada. Determinants of maritime transport costs—a panel data analysis for Latin American trade. **Transportation Planning and Technology**, v. 33, n. 1, p. 105-121, 2010.

YOSHIMA, Carla Harumi; Kachba, Yslene Rocha, Desperdício na movimentação de cargas a granel agroindustriais no transporte aquaviário. **XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. 2016

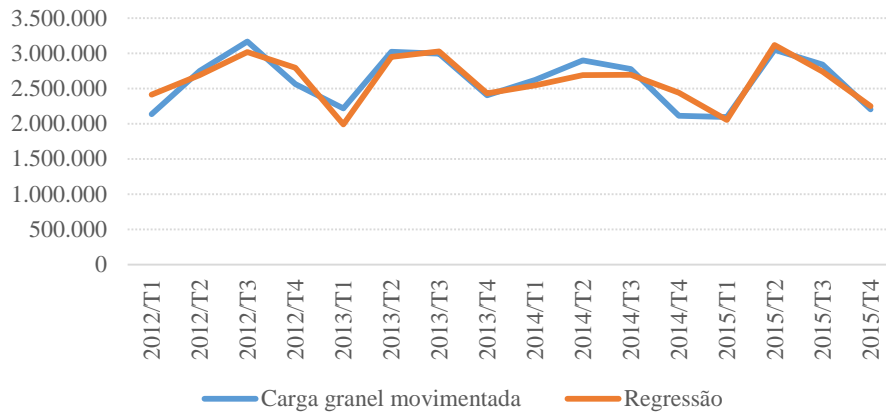
ZHANG, Chi; HUANG, Lei; ZHAO, Zhichao. Research on combination forecast of port cargo through put based on time series and causality analysis. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 6, n. 1, p. 124-134, 2013.

ZHAO, Yiyuan; LUNDGREN, Thomas S. CHARACTERISTICS OF A FREIGHT PIPELINE TRANSPORTATION SYSTEM.[Електроннийресурс]. **Режимдоступу: <http://faculty.washington.edu/jbs/itrans/zhao.htm>**. Acesso em: 22/10/2015

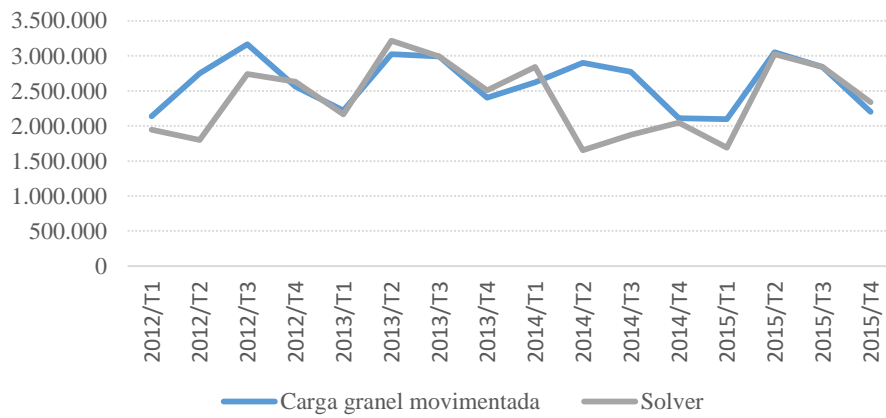
ZOU, Kelly H.; TUNCALI, Kemal; SILVERMAN, Stuart G. Correlation and simple linear regression 1. **Radiology**, v. 227, n. 3, p. 617-628, 2003.

ANEXO I

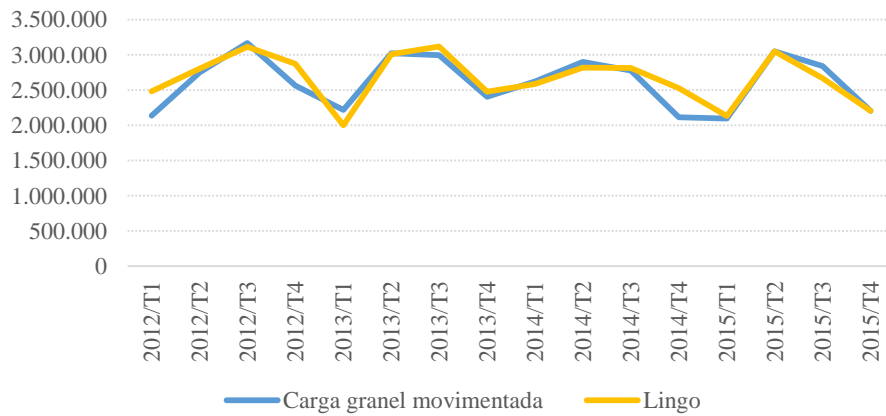
Demanda vs Previsão



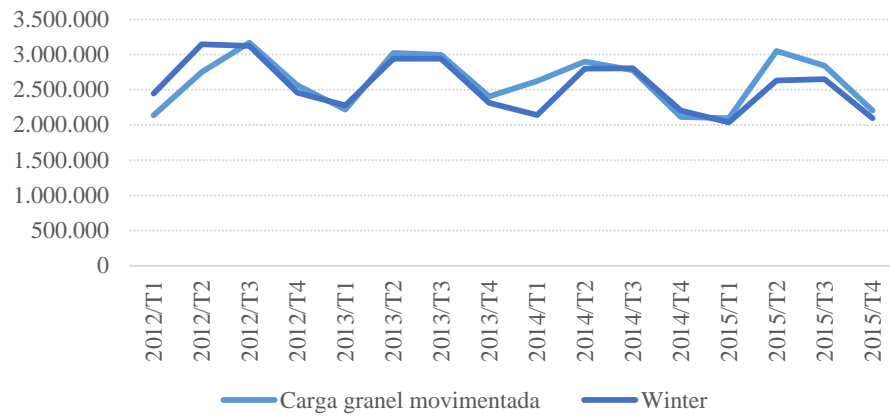
Carga Movimentada vs Previsão



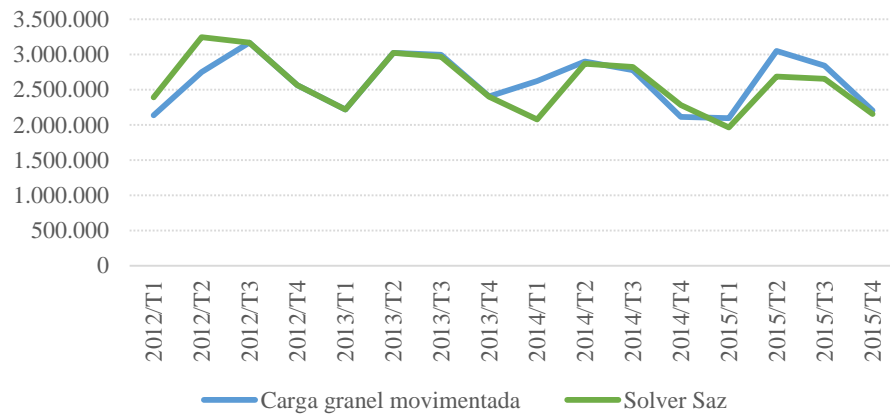
Demanda vs Previsão



Demanda vs Previsão



Demanda vs Previsão



Demanda vs Previsão

