

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS

PROJETO DE CANAL LOGÍSTICO

DJONATHAN LUIZ DE OLIVEIRA QUADRAS
MARCUS GIOVANI FRIGHETTO
LUCCA MAGRI ZAGHI
RODRIGO CLARINDO DA SILVEIRA

FLORIANÓPOLIS
2021

RESUMO

A logística empresarial tem se tornado um desafio cada vez maior para as empresas, principalmente depois da ascensão da Indústria 4.0. Assim, um bom planejamento e controle da logística e da cadeia de suprimentos se tornou, além de uma preocupação, uma necessidade e uma estratégia competitiva. O bom dimensionamento de estoques, rotas e transporte podem trazer benefícios significativos no âmbito empresarial. O presente trabalho tem como objetivo realizar o projeto logístico para uma empresa da indústria de cerâmicas. O projeto é dividido em: (1) previsão de demanda para os diferentes produtos; e (2) definição das rotas e modais de transporte de produtos.

Keywords: Logística Empresarial, Cadeia de Suprimentos, Previsão de Demanda, Centro de Distribuição, Roteirização

Lista de Figuras

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Histório do produto MO0021 em São Paulo | 13 |
| 2 | Série decomposta do produto MO0021 em São Paulo | 14 |
| 3 | Resíduos da previsão para o produto MO0021 em São Paulo | 15 |
| 4 | Previsão para o produto MO0021 em São Paulo | 16 |
| 5 | Histório do produto MO0021 em Tocantins | 16 |
| 6 | Série decomposta do produto MO0021 em Tocantins | 17 |
| 7 | Resíduos da previsão para o produto MO0021 em Tocantins | 18 |
| 8 | Previsão para o produto MO0021 em Tocantins | 19 |
| 9 | Histório do produto MO0021 no Amazonas | 19 |
| 10 | Série decomposta do produto MO0021 no Amazonas | 20 |
| 11 | Resíduos da previsão para o produto MO0021 no Amazonas | 21 |
| 12 | Previsão para o produto MO0021 no Amazonas | 22 |
| 13 | Histório do produto MO0091 em São Paulo | 22 |
| 14 | Série decomposta do produto MO0091 em São Paulo | 23 |
| 15 | Resíduos da previsão para o produto MO0091 em São Paulo | 24 |
| 16 | Previsão para o produto MO0091 em São Paulo | 25 |
| 17 | Histório do produto MO0091 em Tocantins | 25 |
| 18 | Série decomposta do produto MO0091 em Tocantins | 26 |
| 19 | Resíduos da previsão para o produto MO0091 em Tocantins | 27 |
| 20 | Previsão para o produto MO0091 em Tocantins | 28 |
| 21 | Histório do produto MO0091 no Amazonas | 28 |
| 22 | Série decomposta do produto MO0091 no Amazonas | 29 |
| 23 | Resíduos da previsão para o produto MO0091 no Amazonas | 30 |
| 24 | Previsão para o produto MO0091 no Amazonas | 31 |
| 25 | Histório do produto MO1401 em São Paulo | 31 |
| 26 | Série decomposta do produto MO1401 em São Paulo | 32 |
| 27 | Resíduos da previsão para o produto MO1401 em São Paulo | 33 |
| 28 | Previsão para o produto MO1401 em São Paulo | 34 |
| 29 | Histório do produto MO1401 em Tocantins | 34 |
| 30 | Série decomposta do produto MO1401 em Tocantins | 35 |
| 31 | Resíduos da previsão para o produto MO1401 em Tocantins | 36 |
| 32 | Previsão para o produto MO1401 em Tocantins | 37 |
| 33 | Histório do produto MO1401 no Amazonas | 37 |
| 34 | Série decomposta do produto MO1401 no Amazonas | 38 |
| 35 | Resíduos da previsão para o produto MO1401 no Amazonas | 39 |

| | | |
|----|--|----|
| 36 | Previsão para o produto MO1401 no Amazonas | 40 |
| 37 | Rotas Definidas | 51 |

Lista de Tabelas

| | | |
|----|--|----|
| 1 | Parâmetros do Centro de Gravidade | 10 |
| 2 | Comparação entre os modelos | 14 |
| 3 | Previsão de demanda do produto MO0021 para São Paulo | 15 |
| 4 | Comparação entre os modelos | 17 |
| 5 | Previsão de demanda do produto MO0021 para Tocantins | 18 |
| 6 | Comparação entre os modelos | 20 |
| 7 | Previsão de demanda do produto MO0021 para Amazonas | 21 |
| 8 | Comparação entre os modelos | 23 |
| 9 | Previsão de demanda do produto MO0091 para São Paulo | 24 |
| 10 | Comparação entre os modelos | 26 |
| 11 | Previsão de demanda do produto MO0091 para Tocantins | 27 |
| 12 | Comparação entre os modelos | 29 |
| 13 | Previsão de demanda do produto MO0091 para Amazonas | 30 |
| 14 | Comparação entre os modelos | 32 |
| 15 | Previsão de demanda do produto MO1401 para São Paulo | 33 |
| 16 | Comparação entre os modelos | 35 |
| 17 | Previsão de demanda do produto MO1401 para Tocantins | 36 |
| 18 | Comparação entre os modelos | 38 |
| 19 | Previsão de demanda do produto MO1401 para Amazonas | 39 |
| 20 | Previsão de demanda final para o produto MO0021 | 40 |
| 21 | Previsão de demanda final para o produto MO0091 | 41 |
| 22 | Previsão de demanda final para o produto MO1401 | 41 |
| 23 | Dados Utilizados para Definição do Centro de Distribuição | 42 |
| 24 | Resultado do Centro de Gravidade | 42 |
| 25 | Proximidade dos Centros de Distribuição ao Centro de Gravidade | 43 |
| 26 | Resultados para o Método P-Centro | 43 |
| 27 | Resultados para o Método P-Mediana | 44 |
| 28 | Pesos | 44 |
| 29 | Notas dos critérios | 44 |
| 30 | Ranking das Notas | 45 |
| 31 | Ranking Dos Lead Times - Rodoviário | 45 |
| 32 | Ranking Dos Lead Times - Cabotagem | 46 |
| 33 | Pesos para os critérios | 46 |
| 34 | Ranking dos CDs - Geral | 47 |
| 35 | Dimensionamento de Carga - Toco | 48 |

| | | |
|----|---|----|
| 36 | Dimensionamento de Carga - Truck | 49 |
| 37 | Dimensionamento de Carga - Dry Box 20 pés | 49 |
| 38 | Dimensionamento de Carga - Dry Box 40 pés | 49 |
| 39 | Quantidade média necessária de cada modal | 50 |
| 40 | Custos para Cenário 1 | 50 |
| 41 | Custos para Cenário 2 | 50 |
| 42 | Custos para Cenário 3 | 51 |
| 43 | Custos para Cenário 4 | 51 |
| 44 | Lead Times | 52 |

Conteúdo

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Introdução | 7 |
| 2 | Revisão da Literatura | 8 |
| 2.1 | Métodos de Previsão de Demanda | 8 |
| 2.2 | Método do Centro de Gravidade | 10 |
| 3 | Metodologia | 12 |
| 4 | Previsão de Demanda | 13 |
| 4.1 | Produto MO0021 | 13 |
| 4.2 | Produto MO0091 | 22 |
| 4.3 | Produto MO1401 | 31 |
| 4.4 | Resultado Final | 40 |
| 5 | Centro de Distribuição | 42 |
| 6 | Dimensionamento de Carga e Roteirização | 48 |
| 6.1 | Dimensionamento de Carga | 48 |
| 6.2 | Roteirização | 49 |
| 7 | Conclusão | 53 |
| | Referências Bibliográficas | 54 |

1 Introdução

A logística empresarial tem se tornado um desafio cada vez maior para as empresas, principalmente depois da ascensão da Indústria 4.0. Assim, um bom planejamento e controle da logística e da cadeia de suprimentos se tornou, além de uma preocupação, uma necessidade e uma estratégia competitiva. O bom dimensionamento de estoques, rotas e transporte podem trazer benefícios significativos no âmbito empresarial.

A Catarina Cerâmicas é uma empresa familiar sediada em Porto Belo/SC bastante representativa no mercado de pisos e azulejos da região sul e sudeste. Com a expansão da marca para regiões mais afastadas, a empresa passou a realizar entregas para os mercados de São Paulo/SP, Palmas/TO e Manaus/AM. Nesse cenário, faz-se necessário o planejamento da gestão da logística e cadeia de suprimentos para a empresa.

O presente trabalho traz o desenvolvimento do projeto logístico para a Catarina Cerâmicas. Ele tem como objetivo retornar um projeto que vise a otimização dos recursos da empresa a fim de reduzir os custos e garantir um serviço de qualidade na entrega dos produtos. O projeto é dividido em: (1) Previsão de Demanda; (2) Definição da Localização do Centro de Distribuição; e (3) Definição da Roteirização e Modais.

2 Revisão da Literatura

Essa seção apresenta uma breve revisão da literatura referente aos métodos aplicados no estudo. Ela dividida em: (1) métodos de previsão de demanda; e (2) método do centro de gravidade.

2.1 Métodos de Previsão de Demanda

Serão apresetados os métodos abordados para a realização do estudo de previsão de demanda. São considerados três métodos matemáticos diferentes para o modelo preditivo de demanda: (1) Suavização Exponencial, (2) Modelos Autoregressivos Integrados e de Médias Móveis e (3) Redes Neurais Artificiais.

Suavização Exponencial (SE)

A Suavização Exponencial (SE) baseia os seus resultados de acordo com os acontecimentos passados, mas, diferentemente de uma média móvel (que considera os eventos passados isobáricos dentro do modelo preditivo), a SE não segue o mesmo efeito. A suavização passa a considerar que os eventos mais recentes e próximos têm maior peso dentro do modelo preditivo quando comparados com eventos mais distantes da série temporal, os quais decaem de forma exponencial da mais recente à mais distante observação (William J, 2011).

O método é um dos mais utilizados dentro da indústria para a predição de produtos e as suas respectivas demandas e a razão para tal é o baixo custo e simplicidade (Teixeira, 2004). Para a utilização deste método, deve-se considerar que o mesmo tem melhores resultados, ou seja, possui melhor ajustamento para séries que não possuem tendência ou sazonalidade. O modelo foi proposto primeiramente por Robert Goodell Brown e a expressão que suporta a suavização exponencial é dada por:

$$\hat{P}_{t+1} = \alpha \hat{P}_t + (1 - \alpha) \hat{P}_t \quad (1)$$

O ponto \hat{P}_{t+1} é a próxima observação da demanda, é a constante que varia referente à suavização e seu valor está contido entre 0 e 1 e \hat{P}_t representa a mais recente observação da série. A Combinação dos valores dos referentes pesos de com os valores observados atuais \hat{P}_t geram as previsões para as próximas observações. Note que o valor de α como constante é arbitrário e sua determinação pode ser realizada por diferentes métodos que minimizem os erros causados pela mesma (JONAS *et. al*, 2012).

Modelos Autoregressivos Integrados e de Médias Móveis (ARIMA)

Esta metodologia consiste em ajustar modelos autorregressivos integrados de médias móveis, ARIMA(p,d,q), a um conjunto de dados. Para a construção do modelo seguimos um algoritmo no qual a escolha da estrutura do modelo é baseado nos próprios dados. Podemos descrever o algoritmo através dos seguintes passos:

1. Considerar uma classe geral de modelos para a análise;
2. Identificar um modelo com base na análise de autocorrelações, autocorrelações parciais e outros critérios;
3. Estimar os parâmetros do modelo identificado; Verificar se o modelo ajustado é adequado aos dados através de uma análise de resíduos.
4. Caso o modelo não seja adequado o algoritmo é repetido, voltando à fase de identificação.
5. Existem vários critérios para identificação de um modelo, por isso, é possível identificar modelos diferentes dependendo do critério que foi escolhido para identificação.

2.1.0.1 Modelos Autorregressivos (AR) Dizemos que o modelo X_t , t pertencente a \mathbb{Z} é um modelo autoregressivo de ordem p e escrevemos $X_t \cong AR(p)$ se pudermos escrever da forma:

$$X_t = \phi_0 + \phi_1 X_{t-1} + \cdots + \phi_p X_{t-p} + \epsilon_t \quad (2)$$

Onde ϕ_0 , ϕ_1 e ϕ_t são parâmetros reais, e ϵ_t são variáveis independentes aleatórias com $E(\epsilon_t) = 0$ e $VAR(\epsilon_t) = \sigma^2$.

2.1.0.2 Modelos de médias móveis (MA). Consiste em um modelo de médias móveis de ordem p e q , representado por:

$$X_t = \phi_1 X_{t-1} + \cdots + \phi_p X_{t-p} + \alpha_t - \theta_1 \alpha_{t-1} - \cdots - \theta_q \alpha_{t-q} \quad (3)$$

Um processo de $MA(p, q)$ tem função de autocovariância infinita, decaindo de acordo com exponenciais ou senóides amortecidas após o lag $p - q$.

Redes Neurais Artificiais (RNA)

Funcionam analogamente ao cérebro e neurônios, tentando entender padrões e regularidades. Uma de suas vantagens é a aproximação de séries temporais não lineares

(Kashei ; Bijari 2010; Zhang 2003).

Modelo descrito por três camadas, entrada, saída e escondida. Os neurônios nestas camadas só se conectam com as camadas subsequentes. A camada escondida necessita ser definida, se for muito grande estará memorizando os padrões assim perdendo capacidade de generalização, se muito pequena necessita de muitas interações, por consequência força computacional para chegar a precisão desejada. (FERNANDES, L. G.; PORTUGAL, M. S.; NAVAUX, P. O). Para o sucesso da previsão é necessário dividir as amostras em pares de treinamento e teste e assim avaliar a camada oculta.

2.2 Método do Centro de Gravidade

O método do centro de gravidade visa encontrar a melhor localização que corresponde ao menor custos de transporte com base em todos os lugares para onde as mercadorias são transportadas. Procura-se, portanto, um local para a instalação do CD intermediário para a entrega nos CD finais. O local da instalação é determinado pelas coordenadas x e y conforme segue na equação (4). É importante ressaltar que este método não considera fatores qualitativos como incentivos fiscais, restrições sociais, restrições urbanas e facilidade de acesso aos modais de transporte.

$$x = \frac{\sum V_i C_i x_i}{\sum V_i C_i}, \quad y = \frac{\sum V_i C_i y_i}{\sum V_i C_i} \quad (4)$$

Onde:

Tabela 1: Parâmetros do Centro de Gravidade

| Parâmetro | Descrição |
|-----------|---|
| V_i | Volume Transportado para o local i |
| C_i | Custo por unidade de volume transportado para o local i |
| x_i | Coordenada na direção x do local i |
| y_i | Coordenada na direção y do local i |

Este método também considera outros dois parâmetros:

- **Método P-Centro:** Método que ranqueia as cidades pré-definidas como CDI pela distância máxima entre o CDI até o CDF. Para isto é analisado todas as distâncias do CDI até todos os CDF e com base na distância máxima é ranqueado como melhor opção o CDI que possuir a menor distância máxima;
- **Método P-Mediana:** Utiliza os pontos de demanda definidas, os locais pré-definidos como potenciais para CDI, a distância entre os CDI e CDF e o número p de facilidades

a serem instaladas o método que tem como objetivo localizar P CDI para entregar nos centros de demanda com a objetivo de minimizar as distâncias médias ponderadas entre os CDF e os CDI.

3 Metodologia

Nessa seção serão apresentadas as metodologias utilizadas para a realização deste projeto logístico. Ela é dividida em: (1) Previsão de demanda, (2) Definição do Centro de Distribuição e (3) Roteirização.

Previsão de Demanda

Para a previsão de demanda foram considerados três modelos principais: (1) Suavização Exponencial, (2) ARIMA e (3) Redes Neurais Artificiais. Cada um dos modelos foi alimentado com os históricos de vendas de cada um dos produtos para cada uma das regiões. A comparação dos modelos foi feita considerando o Erro Percentual Médio Absoluto (MAPE), sendo escolhido como modelo preditivo aquele que tivesse o menor MAPE. Ademais, também foi considerada a análise de resíduos para avaliar o quão precisa é a previsão encontrada.

Definição do Centro de Distribuição

Para a realização da escolha do CD foram utilizados um conjunto de dados e métodos para atingirmos um ranking final que nos permitiu priorizar qual o CD mais adequado para a nossa demanda. Foram considerados os critérios: (1) Centro de Gravidade, (2) P-Centro, (3) P-Mediana, (4) Custos e (5) *Lead Time*. Cada um dos critérios recebeu um peso específico, sendo escolhido o Centro de Distribuição que retornasse a melhor nota geral considerando todos os critérios e respectivos pesos estabelecidos

Roteirização

Para a definição das melhores rotas e modais, inicialmente foi definido o Dimensionamento de Carga. Para o dimensionamento de carga foram realizadas interações a fim de se otimizar o carregamento, respeitando a área da superfície plana, altura e capacidade de carga dos paletes e modais de transporte.

Com as cargas dimensionadas para cada um dos modais previstos, foi calculado a quantidade de modais necessária para enviar cada um dos produtos. Após estabelecida a quantidade necessária, foi considerado um conjunto de possíveis rotas para avaliação. A avaliação foi feita com base no custo total de cada rota, considerando os diferentes modais disponíveis. Como resultado, foi escolhida a rota e o modal que apresentassem o menor custo logístico para a empresa.

4 Previsão de Demanda

A previsão de demanda irá isolar os produtos para realizar as previsões de forma isolada. Assim, essa seção será dividida entre os produtos MO0021, MO0091 e MO1401.

4.1 Produto MO0021

Será realizada uma previsão para cada um dos centros de distribuição: São Paulo, Tocantins e Amazonas.

Centro de São Paulo

A Figura 1 apresenta o histórico de vendas para este centro.

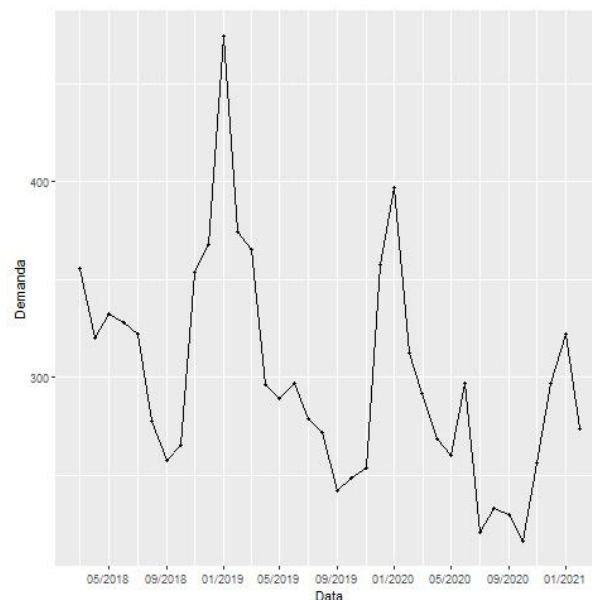


Figura 1: Histórico do produto MO0021 em São Paulo

A Figura 2 apresenta a série de forma decomposta em tendência, sazonalidade e restante. Percebe-se pela figura que há uma tendência negativa (queda da demanda ao longo do tempo), com uma sazonalidade bastante clara.

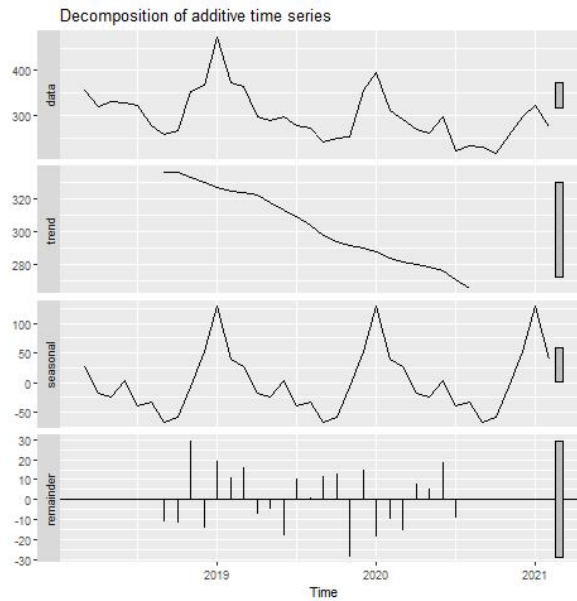


Figura 2: Série decomposta do produto MO0021 em São Paulo

A aplicação dos métodos Suavização Exponencial (SE), ARIMA e Redes Neurais Autoregressivas (RNA) retornou os MAPE's apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Comparação entre os modelos

| Método | SE | ARIMA | RNA |
|--------|------|-------|------|
| MAPE | 3.98 | 5.37 | 4.35 |

Portanto, por ter o menor MAPE, o método utilizado para a previsão é o de Suavização Exponencial. Ademais, a Figura 3 apresenta a análise de resíduos. Como esperado, os resíduos variam em torno de zero sem tendência positiva ou negativa, o parâmetro ACF (fator de autocorrelação) mostra resultados positivos uma vez que os resíduos não apresentam autocorrelação (as linhas pretas não extrapolam os limites em azul) e os erros apresentam uma característica normal.

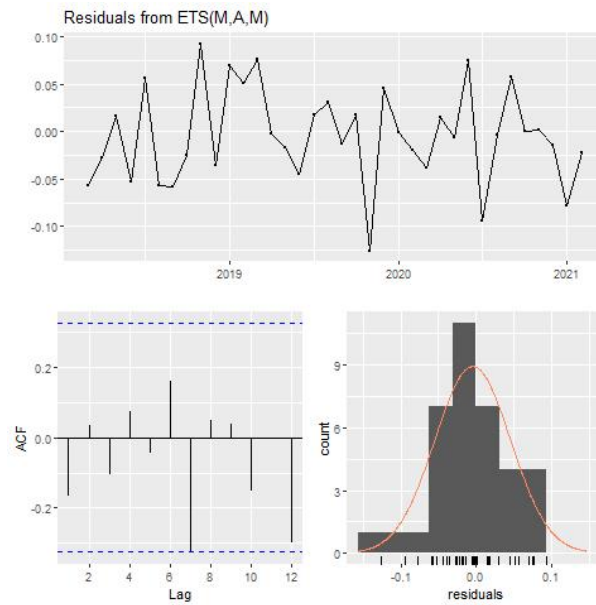


Figura 3: Resíduos da previsão para o produto MO0021 em São Paulo

A Tabela 3 apresenta os valores previstos para o ano de 2021.

Tabela 3: Previsão de demanda do produto MO0021 para São Paulo

| 03/21 | 04/21 | 05/21 | 06/21 | 07/21 | 08/21 | 09/21 | 10/21 | 11/21 | 12/21 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 265.82 | 231.47 | 228.68 | 240.97 | 211.92 | 203.22 | 188.37 | 186.82 | 221.32 | 259.74 |

O gráfico da previsão está apresentado na Figura 4.

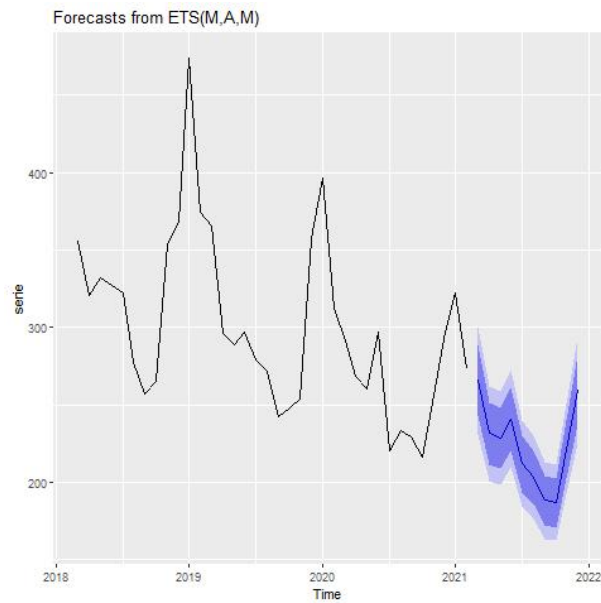


Figura 4: Previsão para o produto MO0021 em São Paulo

Centro de Tocantins

A Figura 5 apresenta o histórico de vendas para este centro.

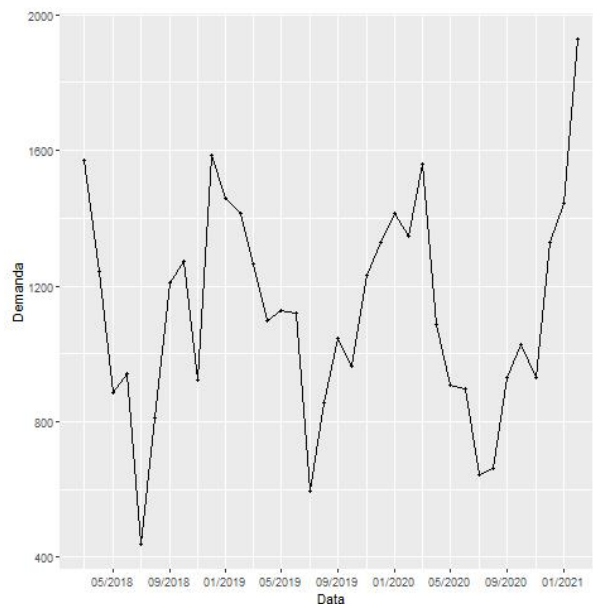


Figura 5: Histórico do produto MO0021 em Tocantins

A Figura 6 apresenta a série de forma decomposta em tendência, sazonalidade e restante. Percebe-se pela figura que há uma tendência negativa (diminuição da demanda ao longo do tempo) com uma sazonalidade bastante clara.

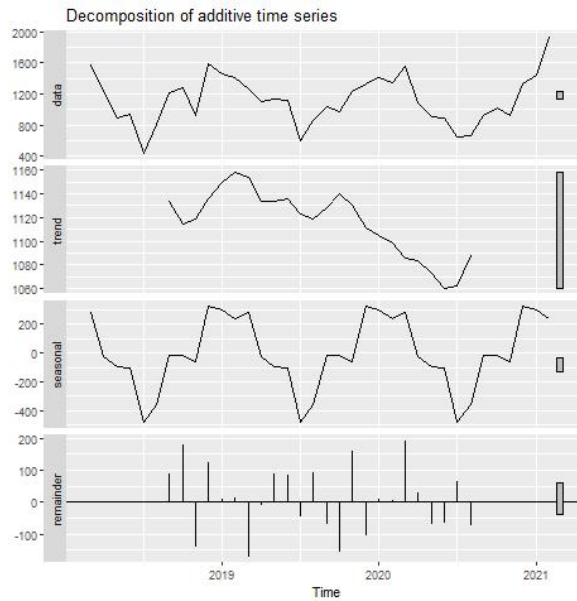


Figura 6: Série decomposta do produto MO0021 em Tocantins

A aplicação dos métodos Suavização Exponencial (SE), ARIMA e Redes Neurais Autoregressivas (RNA) retornou os MAPE's apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Comparação entre os modelos

| Método | SE | ARIMA | RNA |
|--------|-------|-------|------|
| MAPE | 10.67 | 11.05 | 8.15 |

Portanto, por ter o menor MAPE, o método utilizado para a previsão é o de Redes Neurais Artificiais. Ademais, a Figura 3 apresenta a análise de resíduos. Como esperado, os resíduos variam em torno de zero sem tendência positiva ou negativa, o parâmetro ACF (fator de autocorrelação) mostra resultados positivos uma vez que os resíduos não apresentam autocorrelação (as linhas pretas não extrapolam os limites em azul) e os erros apresentam uma característica normal.

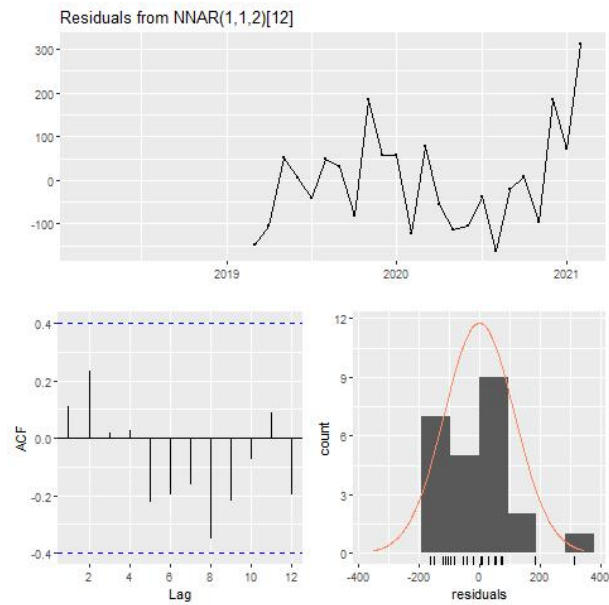


Figura 7: Resíduos da previsão para o produto MO0021 em Tocantins

A Tabela 5 apresenta os valores previstos para o ano de 2021.

Tabela 5: Previsão de demanda do produto MO0021 para Tocantins

| 03/21 | 04/21 | 05/21 | 06/21 | 07/21 | 08/21 | 09/21 | 10/21 | 11/21 | 12/21 |
|---------|---------|---------|---------|-------|-------|--------|--------|---------|---------|
| 1434.72 | 1090.04 | 1091.35 | 1084.99 | 584 | 818.1 | 939.26 | 993.53 | 1057.72 | 1208.58 |

O gráfico da previsão está apresentado na Figura 8.

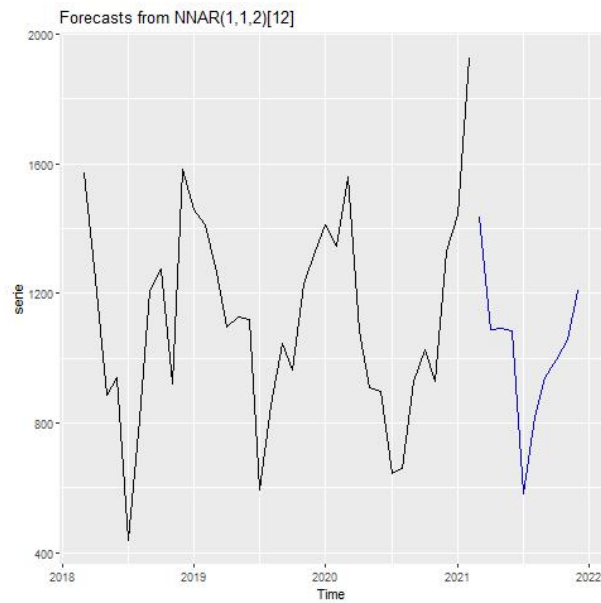


Figura 8: Previsão para o produto MO0021 em Tocantins

Centro do Amazonas

A Figura 9 apresenta o histórico de vendas para este centro.

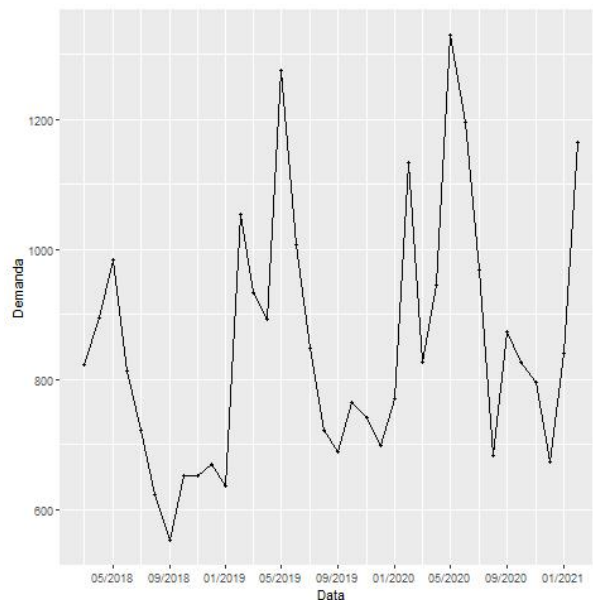


Figura 9: Histórico do produto MO0021 no Amazonas

A Figura 10 apresenta a série de forma decomposta em tendência, sazonalidade e restante. Percebe-se pela figura que há uma tendência positiva (aumento da demanda ao longo do tempo) com uma sazonalidade bastante clara.

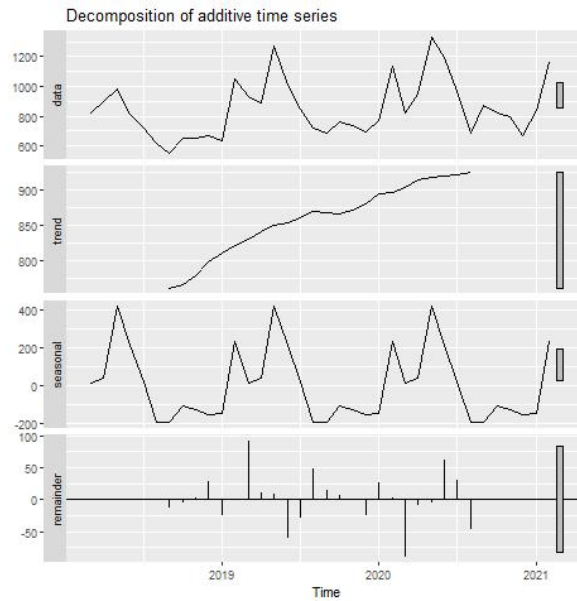


Figura 10: Série decomposta do produto MO0021 no Amazonas

A aplicação dos métodos Suavização Exponencial (SE), ARIMA e Redes Neurais Autoregressivas (RNA) retornou os MAPE's apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Comparação entre os modelos

| Método | SE | ARIMA | RNA |
|--------|------|-------|------|
| MAPE | 6.32 | 4.84 | 4.94 |

Portanto, por ter o menor MAPE, o método utilizado para a previsão é o ARIMA. Ademais, a Figura 11 apresenta a análise de resíduos. Como esperado, os resíduos variam em torno de zero sem tendência positiva ou negativa, o parâmetro ACF (fator de autocorrelação) mostra resultados positivos uma vez que os resíduos não apresentam autocorrelação (as linhas pretas não extrapolam os limites em azul) e os erros apresentam uma característica normal.

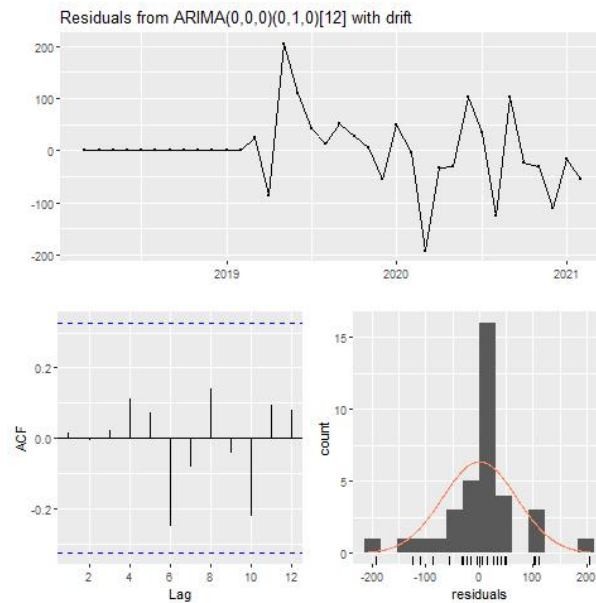


Figura 11: Resíduos da previsão para o produto MO0021 no Amazonas

A Tabela 7 apresenta os valores previstos para o ano de 2021.

Tabela 7: Previsão de demanda do produto MO0021 para Amazonas

| 03/21 | 04/21 | 05/21 | 06/21 | 07/21 | 08/21 | 09/21 | 10/21 | 11/21 | 12/21 |
|--------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 910.99 | 1030.59 | 1414.69 | 1281.29 | 1053.59 | 768.39 | 959.29 | 910.99 | 881.09 | 759.19 |

O gráfico da previsão está apresentado na Figura 12.

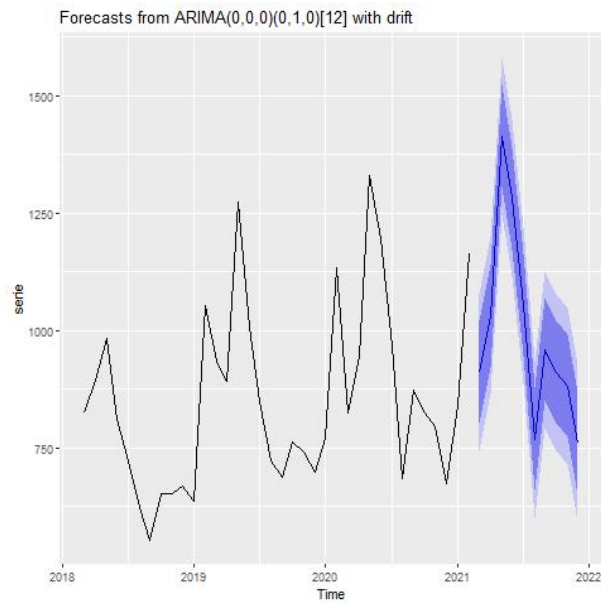


Figura 12: Previsão para o produto MO0021 no Amazonas

4.2 Produto MO0091

Será realizada uma previsão para cada um dos centros de distribuição: São Paulo, Tocantins e Amazonas.

Centro de São Paulo

A Figura 13 apresenta o histórico de vendas para este centro.

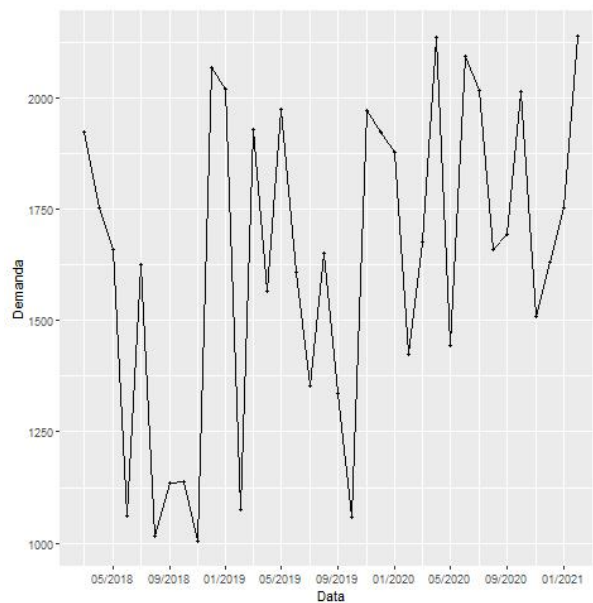


Figura 13: Histórico do produto MO0091 em São Paulo

A Figura 14 apresenta a série de forma decomposta em tendência, sazonalidade e restante. Percebe-se pela figura que há uma tendência positiva (aumento da demanda ao longo do tempo) com uma sazonalidade bastante clara.

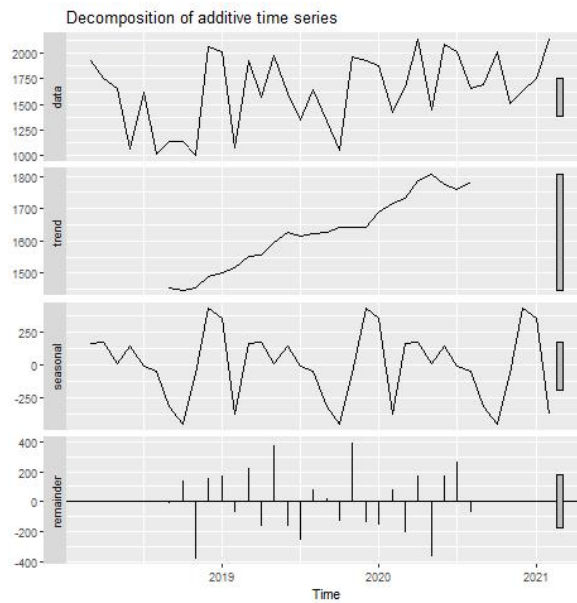


Figura 14: Série decomposta do produto MO0091 em São Paulo

A aplicação dos métodos Suavização Exponencial (SE), ARIMA e Redes Neurais Autoregressivas (RNA) retornou os MAPE's apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Comparação entre os modelos

| Método | SE | ARIMA | RNA |
|--------|-------|-------|-------|
| MAPE | 20.01 | 19.23 | 10.28 |

Portanto, por ter o menor MAPE, o método utilizado para a previsão é o de Redes Neurais Artificiais. Ademais, a Figura 15 apresenta a análise de resíduos. Como esperado, os resíduos variam em torno de zero sem tendência positiva ou negativa, o parâmetro ACF (fator de autocorrelação) mostra resultados positivos uma vez que os resíduos não apresentam autocorrelação (as linhas pretas não extrapolam os limites em azul) e os erros apresentam uma característica normal.

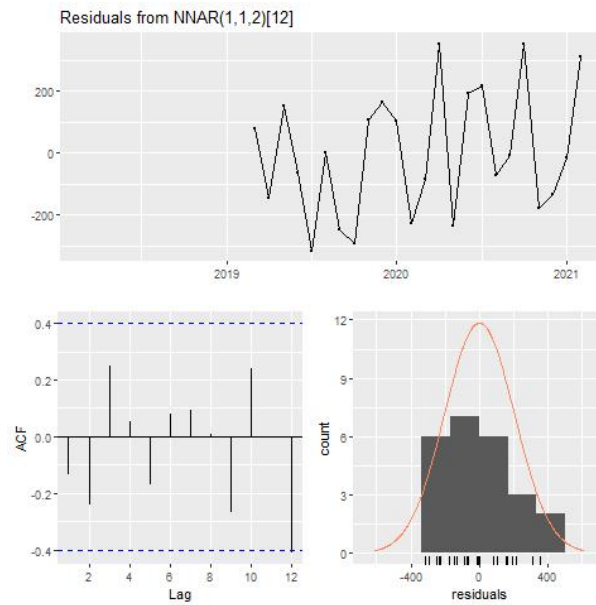


Figura 15: Resíduos da previsão para o produto MO0091 em São Paulo

A Tabela 9 apresenta os valores previstos para o ano de 2021.

Tabela 9: Previsão de demanda do produto MO0091 para São Paulo

| 03/21 | 04/21 | 05/21 | 06/21 | 07/21 | 08/21 | 09/21 | 10/21 | 11/21 | 12/21 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1727.54 | 1761.27 | 1859.03 | 1883.49 | 1985.14 | 1729.86 | 1705.26 | 1762.71 | 2045.94 | 1733.64 |

O gráfico da previsão está apresentado na Figura 16.

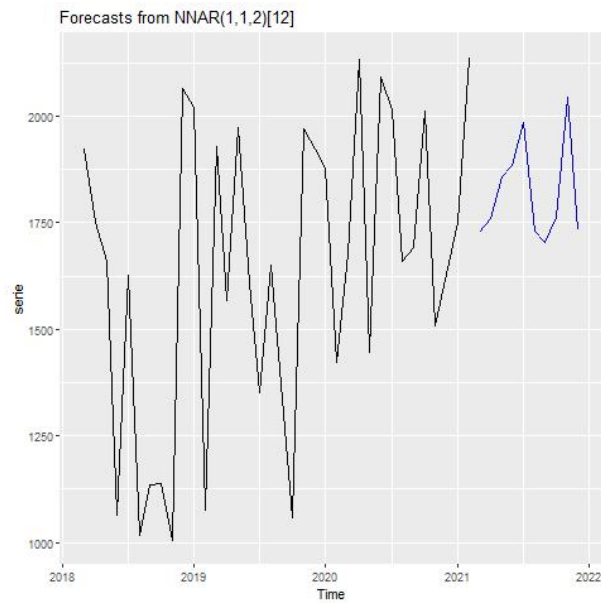


Figura 16: Previsão para o produto MO0091 em São Paulo

Centro de Tocantins

A Figura 17 apresenta o histórico de vendas para este centro.

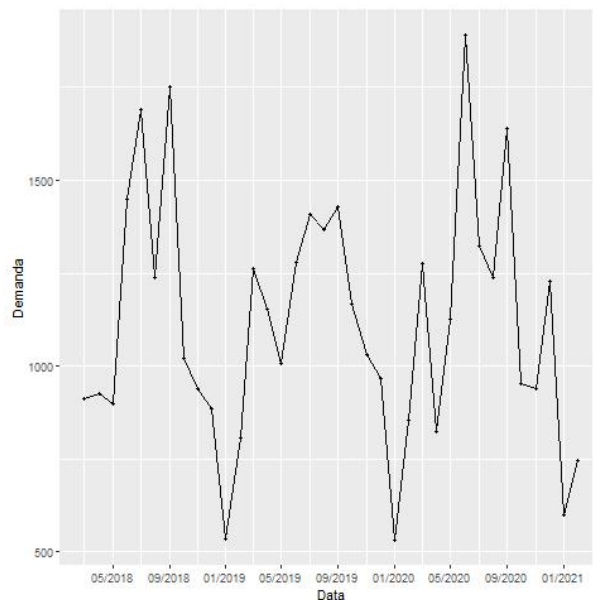


Figura 17: Histórico do produto MO0091 em Tocantins

A Figura 18 apresenta a série de forma decomposta em tendência, sazonalidade e restante. Percebe-se pela figura que há uma leve tendência positiva (aumento da demanda

ao longo do tempo), sendo predominantemente linear, com uma sazonalidade bastante clara.

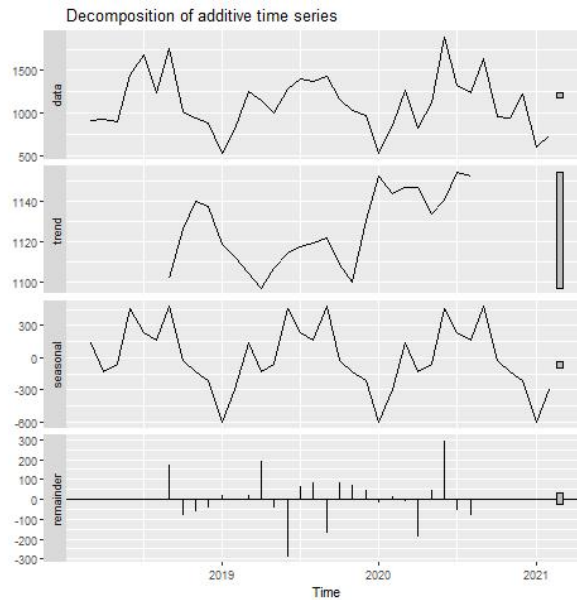


Figura 18: Série decomposta do produto MO0091 em Tocantins

A aplicação dos métodos Suavização Exponencial (SE), ARIMA e Redes Neurais Autoregressivas (RNA) retornou os MAPE's apresentados na Tabela 10.

Tabela 10: Comparação entre os modelos

| Método | SE | ARIMA | RNA |
|--------|------|-------|------|
| MAPE | 9.15 | 9.86 | 9.78 |

Portanto, por ter o menor MAPE, o método utilizado para a previsão é o de Suavização Exponencial. Ademais, a Figura 15 apresenta a análise de resíduos. Como esperado, os resíduos variam em torno de zero sem tendência positiva ou negativa, o parâmetro ACF (fator de autocorrelação) mostra resultados positivos uma vez que os resíduos não apresentam autocorrelação (as linhas pretas não extrapolam os limites em azul) e os erros apresentam uma característica normal.

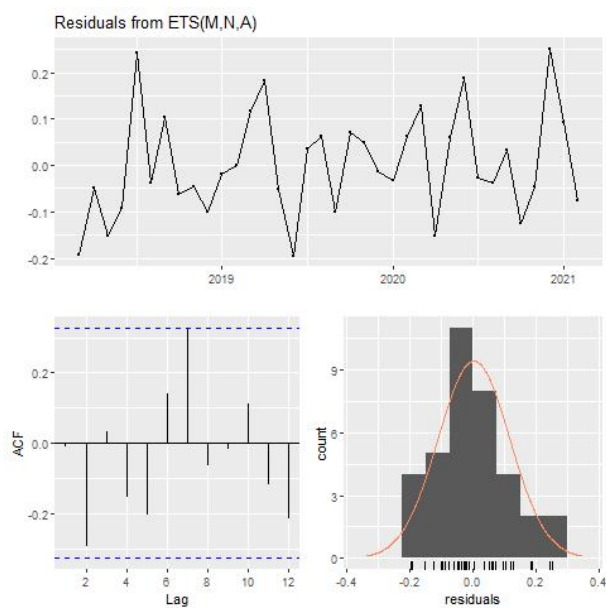


Figura 19: Resíduos da previsão para o produto MO0091 em Tocantins

A Tabela 11 apresenta os valores previstos para o ano de 2021.

Tabela 11: Previsão de demanda do produto MO0091 para Tocantins

| 03/21 | 04/21 | 05/21 | 06/21 | 07/21 | 08/21 | 09/21 | 10/21 | 11/21 | 12/21 |
|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|
| 1129.11 | 974.03 | 1061.11 | 1592.61 | 1359.4 | 1285.07 | 1587.77 | 1088.8 | 984.45 | 980.72 |

O gráfico da previsão está apresentado na Figura 20.

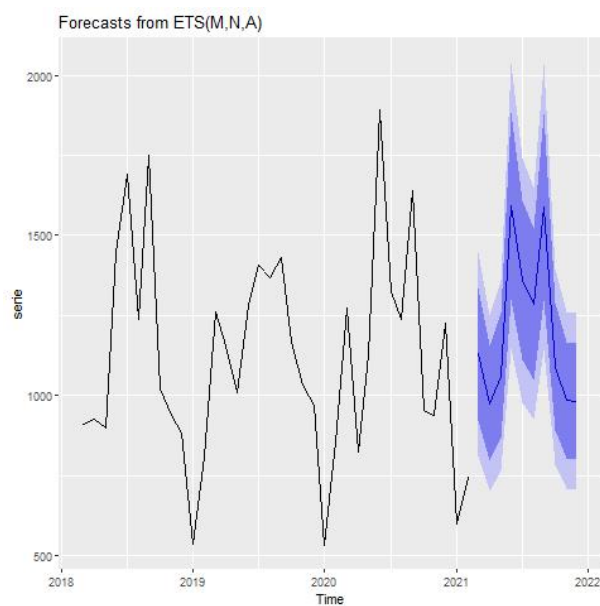


Figura 20: Previsão para o produto MO0091 em Tocantins

Centro do Amazonas

A Figura 21 apresenta o histórico de vendas para este centro.

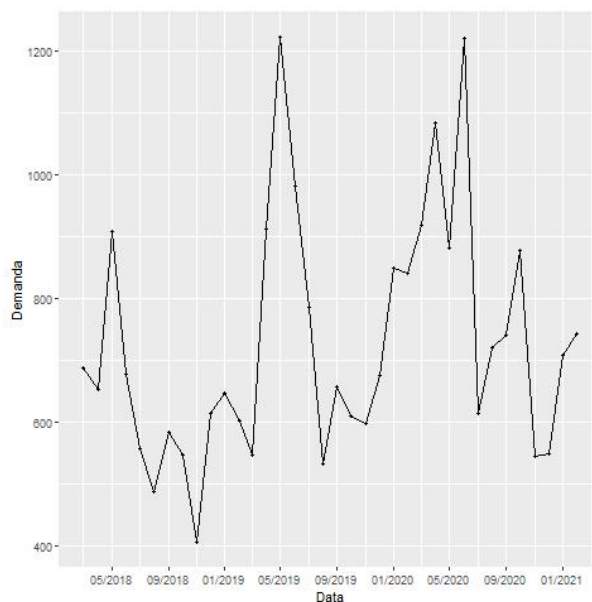


Figura 21: Histórico do produto MO0091 no Amazonas

A Figura 22 apresenta a série de forma decomposta em tendência, sazonalidade e restante. Percebe-se pela figura que há uma tendência positiva (aumento da demanda ao longo do tempo), com uma sazonalidade bastante clara.

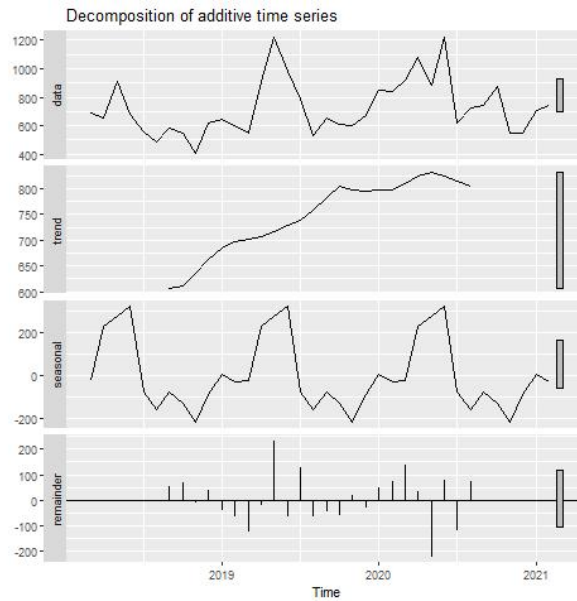


Figura 22: Série decomposta do produto MO0091 no Amazonas

A aplicação dos métodos Suavização Exponencial (SE), ARIMA e Redes Neurais Autoregressivas (RNA) retornou os MAPE's apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Comparação entre os modelos

| Método | SE | ARIMA | RNA |
|--------|-------|-------|-------|
| MAPE | 20.03 | 11.24 | 11.94 |

Portanto, por ter o menor MAPE, o método utilizado para a previsão é o de Redes Neurais Artificiais. Ademais, a Figura 23 apresenta a análise de resíduos. Como esperado, os resíduos variam em torno de zero sem tendência positiva ou negativa, o parâmetro ACF (fator de autocorrelação) mostra resultados positivos uma vez que os resíduos não apresentam autocorrelação (as linhas pretas não extrapolam os limites em azul) e os erros apresentam uma característica normal.

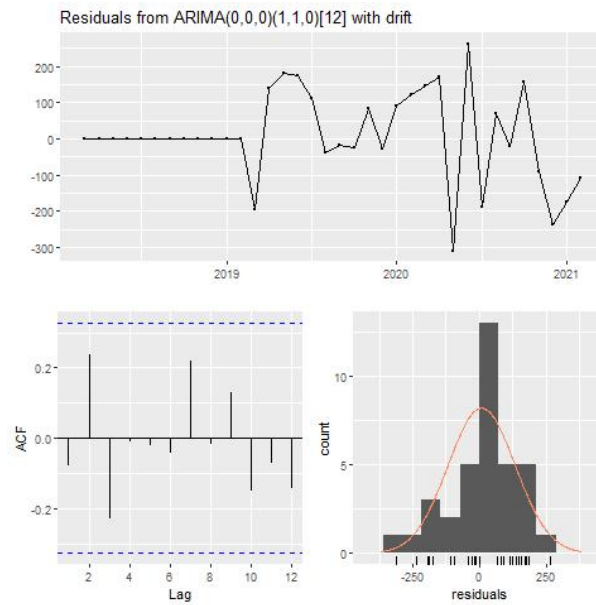


Figura 23: Resíduos da previsão para o produto MO0091 no Amazonas

A Tabela 13 apresenta os valores previstos para o ano de 2021.

Tabela 13: Previsão de demanda do produto MO0091 para Amazonas

| 03/21 | 04/21 | 05/21 | 06/21 | 07/21 | 08/21 | 09/21 | 10/21 | 11/21 | 12/21 |
|--------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
| 857.01 | 1132.82 | 1214.56 | 1231.73 | 852.98 | 760.45 | 839.24 | 873.1 | 717.42 | 763.12 |

O gráfico da previsão está apresentado na Figura 24.

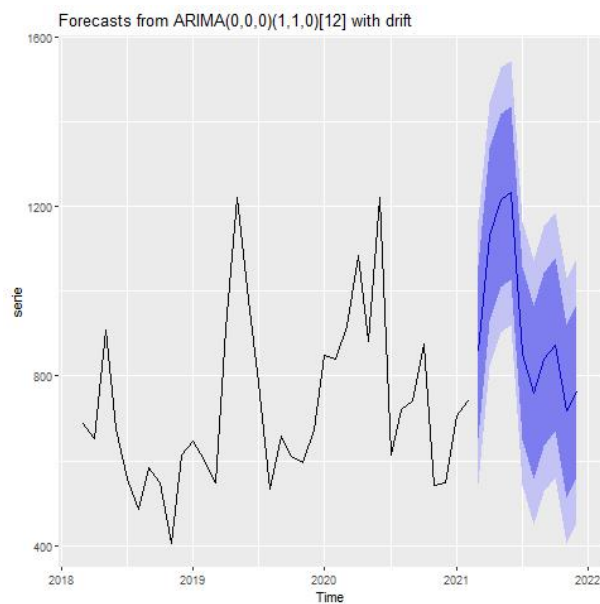


Figura 24: Previsão para o produto MO0091 no Amazonas

4.3 Produto MO1401

Será realizada uma previsão para cada um dos centros de distribuição: São Paulo, Tocantins e Amazonas.

Centro de São Paulo

A Figura 25 apresenta o histórico de vendas para este centro.

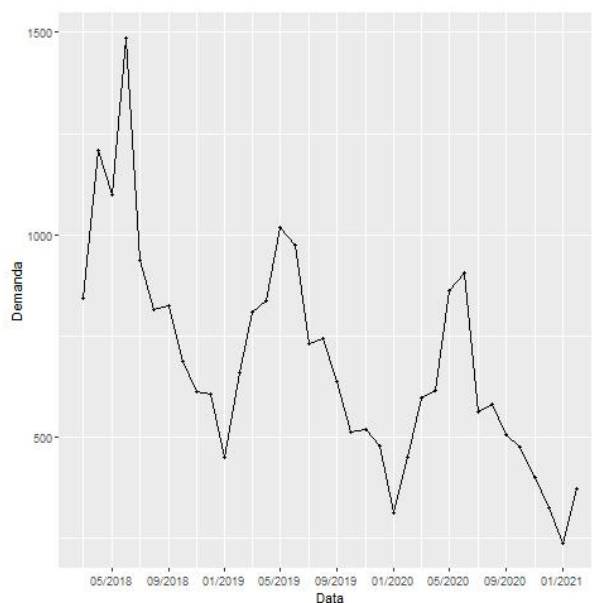


Figura 25: Histórico do produto MO1401 em São Paulo

A Figura 26 apresenta a série de forma decomposta em tendência, sazonalidade e restante. Percebe-se pela figura que há uma tendência negativa (queda da demanda ao longo do tempo), com uma sazonalidade bastante clara.

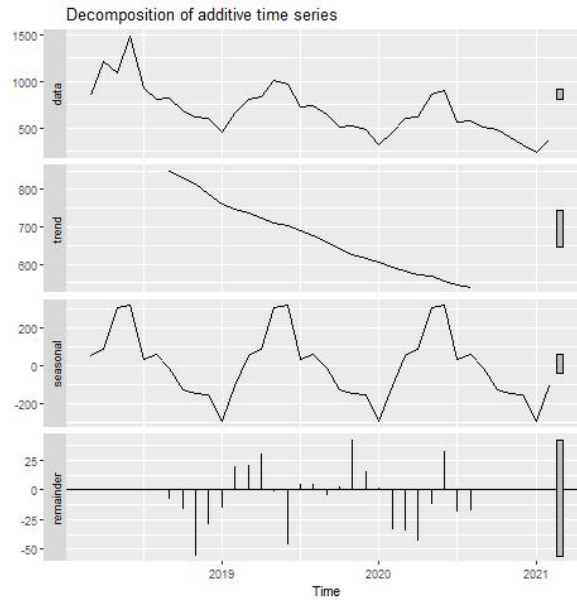


Figura 26: Série decomposta do produto MO1401 em São Paulo

A aplicação dos métodos Suavização Exponencial (SE), ARIMA e Redes Neurais Autoregressivas (RNA) retornou os MAPE's apresentados na Tabela 14.

Tabela 14: Comparação entre os modelos

| Método | SE | ARIMA | RNA |
|--------|------|-------|------|
| MAPE | 5.75 | 7.73 | 6.22 |

Portanto, por ter o menor MAPE, o método utilizado para a previsão é o de Suavização Exponencial. Ademais, a Figura 27 apresenta a análise de resíduos. Como esperado, os resíduos variam em torno de zero sem tendência positiva ou negativa, o parâmetro ACF (fator de autocorrelação) mostra resultados positivos uma vez que os resíduos não apresentam autocorrelação (as linhas pretas não extrapolam os limites em azul) e os erros apresentam uma característica normal.

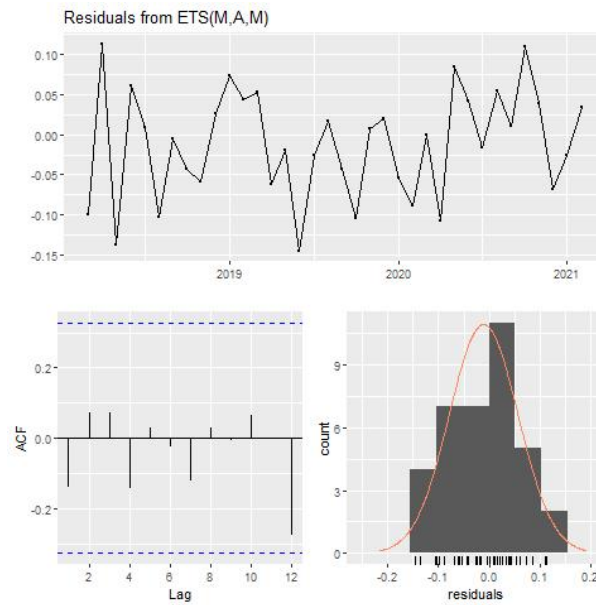


Figura 27: Resíduos da previsão para o produto MO1401 em São Paulo

A Tabela 15 apresenta os valores previstos para o ano de 2021.

Tabela 15: Previsão de demanda do produto MO1401 para São Paulo

| 03/21 | 04/21 | 05/21 | 06/21 | 07/21 | 08/21 | 09/21 | 10/21 | 11/21 | 12/21 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 431.94 | 493.07 | 565.47 | 612.52 | 396.51 | 379.52 | 339.67 | 286.75 | 253.18 | 224.73 |

O gráfico da previsão está apresentado na Figura 28.

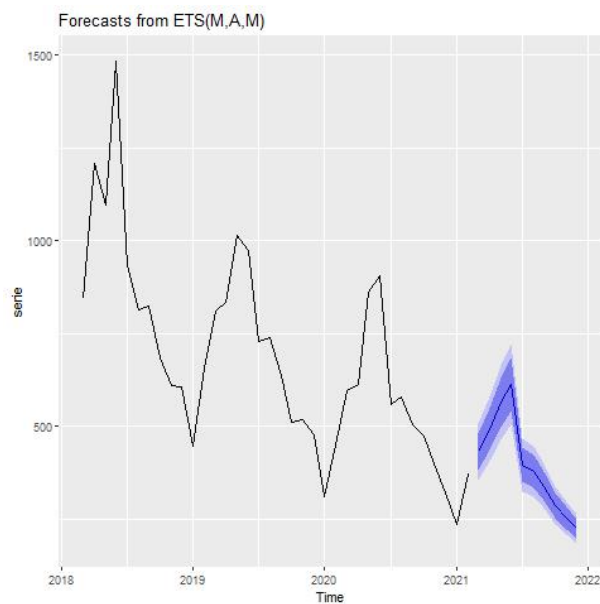


Figura 28: Previsão para o produto MO1401 em São Paulo

Centro de Tocantins

A Figura 29 apresenta o histórico de vendas para este centro.

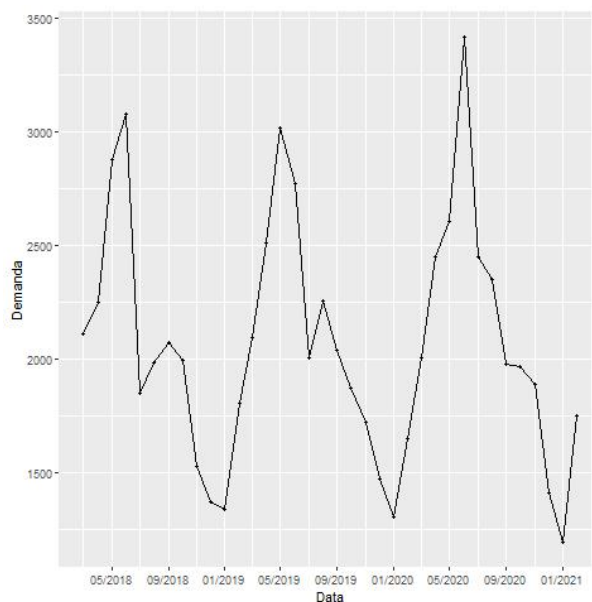


Figura 29: Histórico do produto MO1401 em Tocantins

A Figura 30 apresenta a série de forma decomposta em tendência, sazonalidade e restante. Percebe-se pela figura que há uma leve tendência positiva (queda da demanda ao longo do tempo), com uma sazonalidade bastante clara.

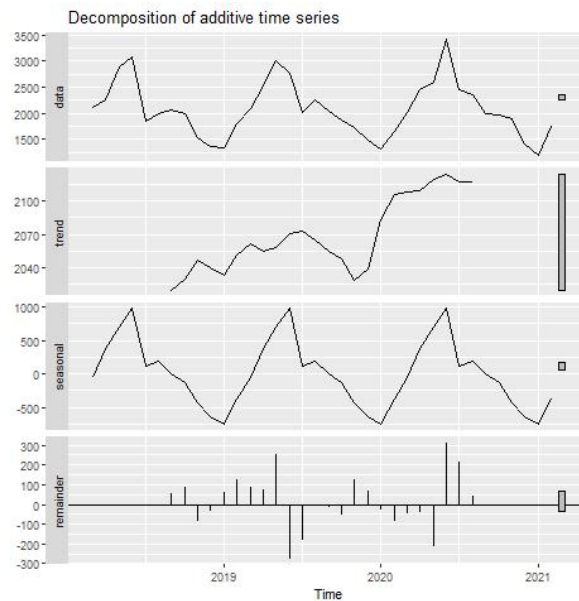


Figura 30: Série decomposta do produto MO1401 em Tocantins

A aplicação dos métodos Suavização Exponencial (SE), ARIMA e Redes Neurais Autoregressivas (RNA) retornou os MAPE's apresentados na Tabela 16.

Tabela 16: Comparação entre os modelos

| Método | SE | ARIMA | RNA |
|--------|------|-------|-----|
| MAPE | 5.16 | 5.15 | 5.3 |

Portanto, por ter o menor MAPE, o método utilizado para a previsão é o ARIMA. Por outro lado, a Figura 27 apresenta a análise de resíduos que apresenta uma inconsistência no parâmetro ACF (fator de autocorrelação) mostrando um valor que apresenta autocorrelação (uma das linhas pretas extrapola os limites em azul). Como a extrapolação é pequena e não apresenta grandes perdas ela será desconsiderada, uma vez que como esperado os resíduos variam em torno de zero sem tendência positiva ou negativa e os erros apresentam uma característica normal.

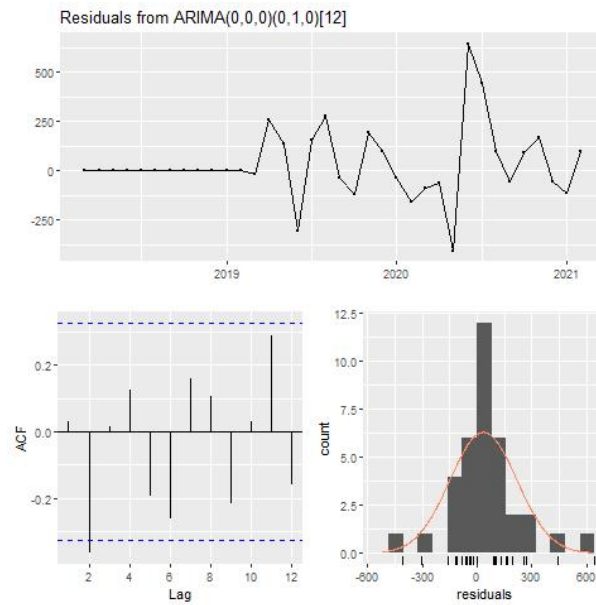


Figura 31: Resíduos da previsão para o produto MO1401 em Tocantins

A Tabela 17 apresenta os valores previstos para o ano de 2021.

Tabela 17: Previsão de demanda do produto MO1401 para Tocantins

| 03/21 | 04/21 | 05/21 | 06/21 | 07/21 | 08/21 | 09/21 | 10/21 | 11/21 | 12/21 |
|--------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 2006.4 | 2448 | 2606.4 | 3417.6 | 2448 | 2352 | 1977.6 | 1963.2 | 1886.4 | 1411.2 |

O gráfico da previsão está apresentado na Figura 32.

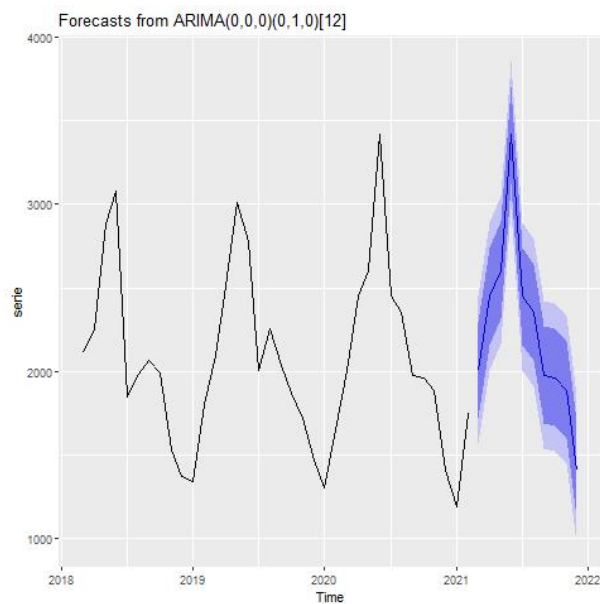


Figura 32: Previsão para o produto MO1401 em Tocantins

Centro do Amazonas

A Figura 33 apresenta o histórico de vendas para este centro.

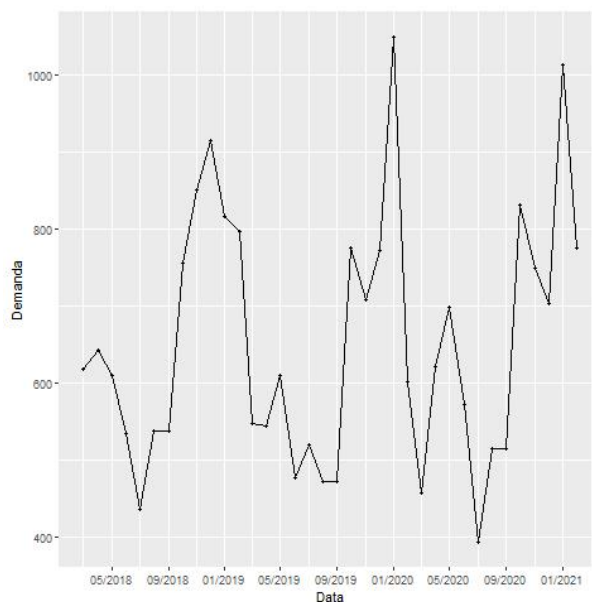


Figura 33: Histórico do produto MO1401 no Amazonas

A Figura 34 apresenta a série de forma decomposta em tendência, sazonalidade e restante. Percebe-se pela figura que há uma leve tendência aparentemente linear (nem queda nem aumento na demanda), com uma sazonalidade bastante clara. De fato a

tendência se apresenta linear nos últimos meses, mas se recupera de uma tendência de queda no ano de 2019.

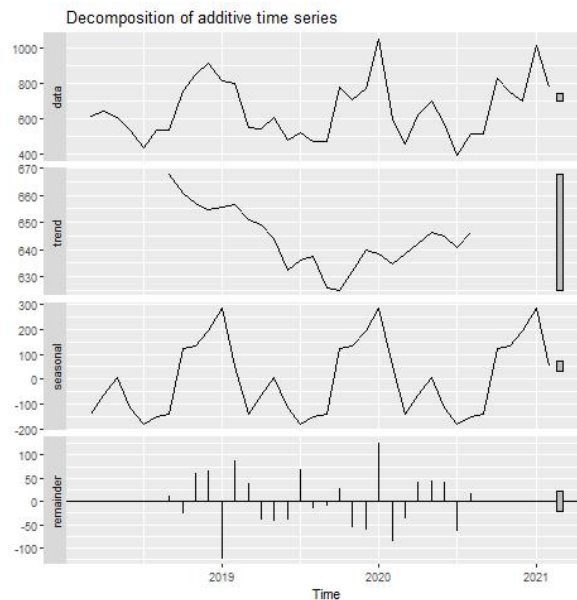


Figura 34: Série decomposta do produto MO1401 no Amazonas

A aplicação dos métodos Suavização Exponencial (SE), ARIMA e Redes Neurais Autoregressivas (RNA) retornou os MAPE's apresentados na Tabela 18.

Tabela 18: Comparação entre os modelos

| Método | SE | ARIMA | RNA |
|--------|------|-------|------|
| MAPE | 8.06 | 9.44 | 6.06 |

Portanto, por ter o menor MAPE, o método utilizado para a previsão é o de Redes Neurais Artificiais. Ademais, a Figura 35 apresenta a análise de resíduos. Como esperado, os resíduos variam em torno de zero sem tendência positiva ou negativa, o parâmetro ACF (fator de autocorrelação) mostra resultados positivos uma vez que os resíduos não apresentam autocorrelação (as linhas pretas não extrapolam os limites em azul) e os erros apresentam uma característica normal.

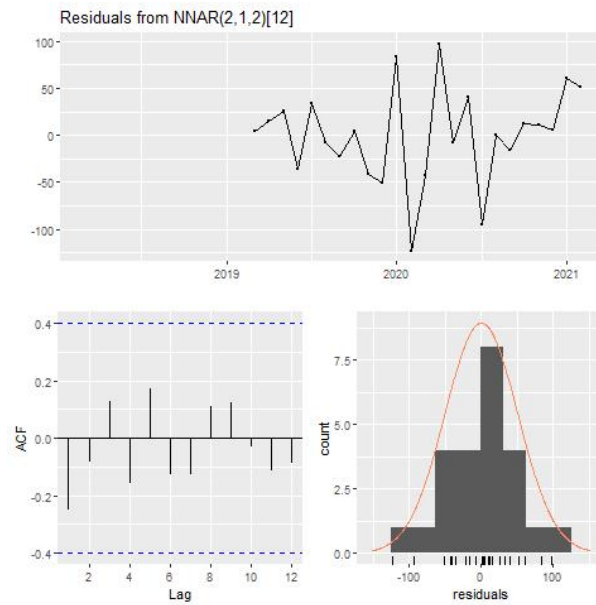


Figura 35: Resíduos da previsão para o produto MO1401 no Amazonas

A Tabela 19 apresenta os valores previstos para o ano de 2021.

Tabela 19: Previsão de demanda do produto MO1401 para Amazonas

| 03/21 | 04/21 | 05/21 | 06/21 | 07/21 | 08/21 | 09/21 | 10/21 | 11/21 | 12/21 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 471.96 | 534.56 | 849.06 | 719.28 | 356.54 | 532.42 | 647.35 | 951.96 | 727.02 | 533.94 |

O gráfico da previsão está apresentado na Figura 36.

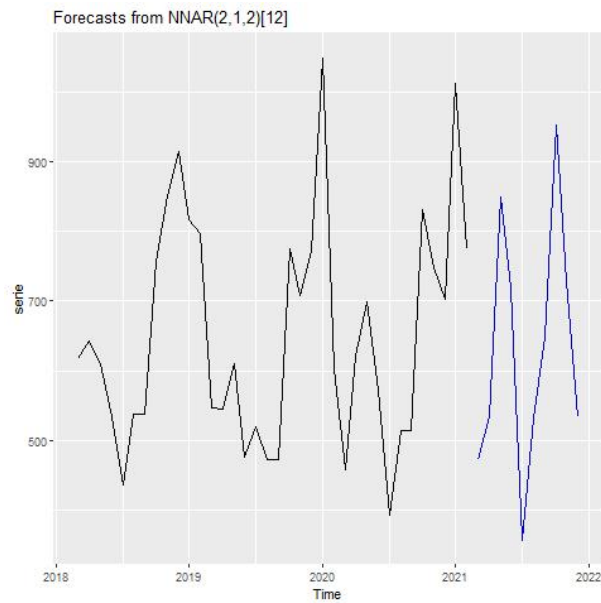


Figura 36: Previsão para o produto MO1401 no Amazonas

4.4 Resultado Final

A Tabela 20 apresenta um resumo das demandas finais para o produto MO0021.

Tabela 20: Previsão de demanda final para o produto MO0021

| Data | São Paulo | Tocantins | Amazonas |
|-------|-----------|-----------|----------|
| 03/21 | 265.82 | 1434.72 | 910.99 |
| 04/21 | 231.47 | 1090.04 | 1030.59 |
| 05/21 | 228.68 | 1091.35 | 1414.69 |
| 06/21 | 240.97 | 1084.99 | 1281.29 |
| 07/21 | 211.92 | 584.00 | 1053.59 |
| 08/21 | 203.22 | 818.10 | 768.39 |
| 09/21 | 188.37 | 939.26 | 959.29 |
| 10/21 | 186.82 | 993.53 | 910.99 |
| 11/21 | 221.32 | 1057.72 | 881.09 |
| 12/21 | 259.74 | 1208.58 | 759.19 |

A Tabela 20 apresenta um resumo das demandas finais para o produto MO0091.

Por fim, a Tabela 22 apresenta um resumo das demandas finais para o produto MO1401.

Tabela 21: Previsão de demanda final para o produto MO0091

| Data | São Paulo | Tocantins | Amazonas |
|-------|-----------|-----------|----------|
| 03/21 | 1727.54 | 1129.11 | 857.01 |
| 04/21 | 1761.27 | 974.03 | 1132.82 |
| 05/21 | 1859.03 | 1061.11 | 1214.56 |
| 06/21 | 1883.49 | 1592.61 | 1231.73 |
| 07/21 | 1985.14 | 1359.40 | 852.98 |
| 08/21 | 1729.86 | 1285.07 | 760.45 |
| 09/21 | 1705.26 | 1587.77 | 839.24 |
| 10/21 | 1762.71 | 1088.80 | 873.10 |
| 11/21 | 2045.94 | 984.45 | 717.42 |
| 12/21 | 1733.64 | 980.72 | 763.12 |

Tabela 22: Previsão de demanda final para o produto MO1401

| Data | São Paulo | Tocantins | Amazonas |
|-------|-----------|-----------|----------|
| 03/21 | 431.94 | 2006.4 | 471.96 |
| 04/21 | 493.07 | 2448.0 | 534.56 |
| 05/21 | 565.47 | 2606.4 | 849.06 |
| 06/21 | 612.52 | 3417.6 | 719.28 |
| 07/21 | 396.51 | 2448.0 | 356.54 |
| 08/21 | 379.52 | 2352.0 | 532.42 |
| 09/21 | 339.67 | 1977.6 | 647.35 |
| 10/21 | 286.75 | 1963.2 | 951.96 |
| 11/21 | 253.18 | 1886.4 | 727.02 |
| 12/21 | 224.73 | 1411.2 | 533.94 |

5 Centro de Distribuição

Com base na previsão de demanda definida para os produtos MO0021, MO0091 e MO1401 e considerando os centros de distribuição finais (CDF) São Paulo/SP, Palmas/TO e Manaus/AM, será agora definida a localização do Centro de Distribuição Intermediário (CDI). São considerados os seguintes CDIs: (1) Belém/PA; (2) Goiânia/GO; (3) Itajaí/SC; (4) Manaus/AM; (5) Palmas/TO; (6) Santos/SP; (7) Porto Belo/SC; (8) São Paulo/SP; (9) Santos/SP; (10) Suape/PE.

Centro de Gravidade

A Tabela 23 apresenta a demanda total para cada mercado consumidor e as suas localizações (latitudes e longitudes).

Tabela 23: Dados Utilizados para Definição do Centro de Distribuição

| Localização | Demanda | x_i | y_i |
|-------------|----------|---------|---------|
| São Paulo | 24415.59 | -46.646 | -23.548 |
| Tocantins | 44862.15 | -48.328 | -10.167 |
| Amazonas | 25536.64 | -60.025 | -3.102 |

Com os dados acima é possível aplicar a equação característica para o Centro de Gravidade. Dessa forma, o resultado para a Localização do Centro de Distribuição é apresentado na Tabela 24.

Tabela 24: Resultado do Centro de Gravidade

| Parâmetro | Valor |
|---------------------------|---------------------------------------|
| x | -51.0453 |
| y | -11.7099 |
| Coordenada Correspondente | São Félix do Araguaia - MT, 78670-000 |

Para comparar as distâncias entre o ponto ideal e o CD, foi utilizada a ferramenta *Google maps* a fim de identificar quais seriam os CD's mais próximos ao local. A Tabela 25 apresenta o resultado dessa análise.

P-Centro

Para o método P-Centro foram aplicadas as distâncias existentes entre os CD's e os mercados consumidores para, então, ser escolhido o centro de distribuição com menor valor. O resultado é apresentado na Tabela 26.

Tabela 25: Proximidade dos Centros de Distribuição ao Centro de Gravidade

| CD | Distância de São Félix do Araguaia | Ranking |
|-----------------|------------------------------------|---------|
| Belém | 1578 | 3 |
| Goiânia | 771 | 2 |
| Itajaí | 2270 | 6 |
| Manaus | 2997 | 9 |
| Palmas | 425 | 1 |
| Porto Belo | 2305 | 7 |
| Porto de Santos | 1766 | 5 |
| São Paulo | 1692 | 4 |
| Suape | 2308 | 8 |

Tabela 26: Resultados para o Método P-Centro

| CD | Palmas | são Paulo | Manaus | Máximo | Ranking |
|-----------------|--------|-----------|--------|--------|---------|
| Belém | 1224 | 2880 | 3049 | 3049 | 1 |
| Goiânia | 861 | 900 | 3249 | 3249 | 2 |
| Itajaí | 2393 | 606 | 4262 | 4262 | 7 |
| Manaus | 3892 | 3872 | 0 | 3892 | 4 |
| Palmas | 0 | 1816 | 3895 | 3895 | 5 |
| Porto Belo | 2427 | 640 | 4296 | 4296 | 8 |
| Porto de Santos | 1886 | 78 | 3947 | 3947 | 6 |
| São Paulo | 1814 | 0 | 3875 | 3875 | 3 |
| Suape | 2109 | 2634 | 4716 | 4716 | 9 |

P-Mediana

O método da P-Mediana foi aplicado considerando as distâncias em função da demanda de cada localidade dos mercados consumidores. A Tabela 27 apresenta os resultados obtidos.

Custos

A Tabela 28 apresenta os critérios e seus respectivos pesos. Os pesos variam 1 a 5. Para esta classificação, quanto maior a pontuação, melhor em seu respectivo critério este atributo está. A Tabela 29 apresenta as notas para os critérios. As notas variam de 1 a 3.

Com os pesos e as notas, foi possível calcular quais seriam os CD's que melhor desempenharam no termo de custos em comparação com os demais. O cálculo utilizado foi a somatória das notas multiplicadas pelos pesos de cada critério, resultando em um

Tabela 27: Resultados para o Método P-Mediana

| CD | Palmas | são Paulo | Manaus | Máxima demanda | Ranking |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|----------------|---------|
| Belém | 54911266 | 70316890 | 77861216 | 203089372 | 5 |
| Goiânia | 38626307 | 21974028 | 82968544 | 143568879 | 2 |
| Itajaí | 107355114 | 14795846 | 108837161 | 230988120 | 6 |
| Manaus | 174603470 | 94537152 | 0 | 269140622 | 8 |
| Palmas | 0 | 44338705 | 99465214 | 143803919 | 1 |
| Porto Belo | 108880427 | 15625975 | 109705407 | 234211809 | 7 |
| Porto de Santos | 84610006 | 1904416 | 100793119 | 187307541 | 4 |
| São Paulo | 81379932 | 0 | 98954481 | 180334413 | 3 |
| Suape | 94614265 | 64310655 | 120430796 | 279355716 | 9 |

Tabela 28: Pesos

| Código | Critérios | Pesos |
|--------|---|-------|
| C1 | Aluguel | 3 |
| C2 | Energia/Água/Manutenção | 3 |
| C3 | IPTU | 2 |
| C4 | Manutenção/Depreciação Equipamentos/Operações | 2 |
| C5 | Salários | 5 |
| C6 | Custo de Capital | 2 |
| C7 | Manutenção | 1 |

Tabela 29: Notas dos critérios

| CD | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 |
|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|
| Belém | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Goiânia | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Itajaí | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| Manaus | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Palmas | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| Porto de Santos | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Porto Belo | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| São Paulo | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| Suape | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |

valor de grandeza contida entre $0 < x < 54$. A Tabela 30 apresenta os resultados.

Tabela 30: Ranking das Notas

| CD | Nota | Ranking |
|------------|------|---------|
| Belém | 54 | 1 |
| Goiânia | 36 | 5 |
| Itajaí | 22 | 8 |
| Manaus | 38 | 4 |
| Palmas | 52 | 3 |
| Santos | 36 | 5 |
| Porto Belo | 18 | 9 |
| São Paulo | 25 | 7 |
| Suape | 54 | 1 |

Lead Time

Os últimos critérios utilizados para a escolha de CD envolviam o *Lead Time*, tanto rodoviário quanto de cabotagem. Os *lead times* são importantes para interpretarmos quantos dias em média cada um dos CD's levaria para entregar em cada uma das localidades demandadas, impactando diretamente no critério de escolha. Os *Lead Times* médios para transporte rodoviário e os respectivos rankings de cada CD podem ser vistos na Tabela 31.

Tabela 31: Ranking Dos Lead Times - Rodoviário

| CD | Lead Time | Ranking |
|------------|-----------|---------|
| Belém | 10.0 | 5 |
| Goiânia | 6.0 | 1 |
| Itajaí | 8.0 | 2 |
| Manaus | 12.0 | 8 |
| Palmas | 10.5 | 7 |
| Santos | 8.6 | 4 |
| Porto Belo | 8.0 | 2 |
| São Paulo | 10.0 | 5 |
| Suape | 12.6 | 9 |

Os *Lead Times* médios para transporte por cabotagem e os respectivos rankings de cada CD podem ser vistos na Tabela 32.

Definição do Centro de Distribuição

Para a clusterização final e para que fosse possível conceder uma nota que pudesse demonstrar qual poderia ser o melhor CD, outra parametrização foi realizada. Como

Tabela 32: Ranking Dos Lead Times - Cabotagem

| CD | Lead Time | Ranking |
|------------|-----------|---------|
| Belém | 13 | 3 |
| Goiânia | - | - |
| Itajaí | 11.25 | 1 |
| Manaus | 16.25 | 4 |
| Palmas | - | - |
| Santos | - | - |
| Porto Belo | - | - |
| São Paulo | - | - |
| Suape | 11.25 | 1 |

foram utilizadas diversas classificações (centro de gravidade, P-centro, P-mediana, Análise de Custos e Análise de Lead time) é importante conceder os devidos pesos para cada um dos métodos. Dessa forma, ao efetuar a multiplicação das notas dos ranking (1 à 9) pelos respectivos pesos, teremos uma nota, e a somatória dessas notas possibilitará rankear novamente os CD's, mas desta vez com a classificação final. Os pesos concedidos para um dos métodos utilizados pode ser visto na Tabela 33.

Tabela 33: Pesos para os critérios

| Código | Critério | Peso |
|--------|------------------------|-------|
| CR1 | Custos | 0.250 |
| CR2 | Centro de Gravidade | 0.200 |
| CR3 | P-Mediana | 0.200 |
| CR4 | P-Centro | 0.200 |
| CR5 | Lead Time - Rodoviário | 0.075 |
| CR6 | Lead Time - Cabotagem | 0.075 |

Com todos os métodos rankeados e os devidos pesos é possível selecionar a melhor opção para Centro de Distribuição. A Tabela 34 apresenta a comparação entre os candidatos.

Os 3 primeiros colocados dentro do ranking de CD's em ordem são: Palmas, Goiânia e Belém. A interpretação envolveu a discussão da quantidade e localidade de CD's para os produtos mensurados. A conclusão foi a escolha de um único CD localizado em Palmas. A razão pela qual Palmas foi optada, além de ser a 1^o colocada no ranking de CD's, também se deve pelo pensamento analítico da roteirização. O CD de Palmas está dentro da capital que demanda a maior quantidade de produtos manufaturados pela

Tabela 34: Ranking dos CDs - Geral

| CD | CR1 | CR2 | CR3 | CR4 | CR5 | CR6 | Nota | Ranking |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|---------|
| Belém | 1 | 3 | 1 | 5 | 5 | 3 | 2.650 | 3 |
| Goiânia | 5 | 2 | 2 | 2 | 1 | - | 2.525 | 2 |
| Itajaí | 8 | 6 | 7 | 6 | 2 | 1 | 6.025 | 7 |
| Manaus | 4 | 9 | 5 | 8 | 8 | 4 | 6.300 | 9 |
| Palmas | 3 | 1 | 4 | 1 | 7 | - | 2.475 | 1 |
| Porto Belo | 5 | 7 | 8 | 7 | 4 | - | 5.950 | 6 |
| Santos | 9 | 5 | 6 | 4 | 2 | - | 5.400 | 5 |
| São Paulo | 7 | 4 | 3 | 3 | 5 | - | 4.125 | 4 |
| Suape | 1 | 8 | 9 | 9 | 9 | 1 | 6.200 | 8 |

indústria, o que facilita o escoamento interno da mercadoria. Da mesma forma, Palmas está quase equidistante de São Paulo e Manaus, podendo suprir demandas inesperadas e que sejam outliers (excesso de demanda em São Paulo, por exemplo), o que concede à este CD uma localização estratégica.

Outra hipótese é a possibilidade de adicionar na Rota do CD de Palmas uma parada em São Paulo, aproveitando para escoar parte da mercadoria sem a necessidade de um CD intermediário, o que de certa forma pode facilitar e diminuir a quantidade de km rodados para a entrega de mercadoria. Não havendo a necessidade de escoar o produto até Palmas e posteriormente trazê-lo de volta para o Sudeste.

O CD de Palmas é capaz de suprir a região norte (Palmas e Manaus), não havendo a necessidade de alocar outros custos na aquisição/aluguel de outro CD, o que torna o nosso processo logístico menos oneroso, trazendo benefícios para a empresa de Porto Belo. Portanto, a escolha do CD de Palmas como o CD intermediário utilizado pela empresa é a melhor opção para equilibrar de forma sustentável a vertente econômica e logística, tendo alta capacidade de suprir e trazer resultados positivos.

6 Dimensionamento de Carga e Roteirização

Nessa seção serão apresentados o dimensionamento de carga e roteirização de veículos para o caso estudado.

6.1 Dimensionamento de Carga

O dimensionamento foi feito com objetivo de otimizar a quantidade de produtos nos paletes por camada (bem como o número de camadas) respeitando capacidade de peso e área da superfície do mesmo. Foram utilizados paletes recicláveis de 1 metro por 1,2 metro, com altura em relação a base de 0,145 metros, peso 20 kg e capacidade de carregamento de 1200 kg. Posteriormente foi dimensionada a capacidade de cada modal de transporte sendo:

- **Caminhão Toco:** Capacidade de 6 toneladas, 14 metros de comprimento, 2,6 metros de largura e 4,4 metros de altura;
- **Caminhão Truck:** Capacidade de 14 toneladas, 14 metros de comprimento, 2,6 metros de largura e 4,4 metros de altura;
- **Dry box 40 pés:** Capacidade de 27 toneladas, 12,032 metros de comprimento, 2,438 metros de largura e 2,591 metros de altura;
- **Dry box 20 pés:** Capacidade de 21 toneladas, 6,058 metros de comprimento, 2,438 metros de largura e 2,591 metros de altura.

Os resultados para os caminhões do tipo **Toco** são apresentados na Tabela 35, para os caminhões do tipo **Truck** são apresentados na Tabela 36, para Dry Box **20 pés** são apresentados na Tabela 37 e, finalmente, para Dry Box **40 pés** são apresentados na Tabela 38.

Tabela 35: Dimensionamento de Carga - Toco

| Parâmetros | MO0021 | MO0091 | MO1401 |
|--|---------|---------|---------|
| Produtos por camada no palete | 4.00 | 4.00 | 4.00 |
| Quantidade de camadas no palete | 8.00 | 4.00 | 7.00 |
| Quantidade de paletes em área | 5.00 | 5.00 | 5.00 |
| Quantidade de paletes no segundo andar | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Quantidade de produtos (un) | 160.00 | 80.00 | 140.00 |
| Peso carga (kg) | 5284.00 | 5084.00 | 5095.20 |
| Altura (cm) | 95.61 | 37.93 | 83.84 |

Tabela 36: Dimensionamento de Carga - Truck

| Parâmetros | MO0021 | MO0091 | MO1401 |
|--|----------|----------|----------|
| Produtos por camada no palete | 4.00 | 4.00 | 4.00 |
| Quantidade de camadas no palete | 8.00 | 4.00 | 7.00 |
| Quantidade de paletes em área | 11.00 | 11.00 | 11.00 |
| Quantidade de paletes no segundo andar | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Quantidade de produtos (un) | 352.00 | 176.00 | 308.00 |
| Peso carga (kg) | 11624.80 | 11184.80 | 11209.44 |
| Altura (cm) | 95.61 | 37.93 | 83.84 |

Tabela 37: Dimensionamento de Carga - Dry Box 20 pés

| Parâmetros | MO0021 | MO0091 | MO1401 |
|--|----------|----------|----------|
| Produtos por camada no palete | 4.00 | 4.00 | 4.00 |
| Quantidade de camadas no palete | 8.00 | 4.00 | 7.00 |
| Quantidade de paletes em área | 12.00 | 12.00 | 12.00 |
| Quantidade de paletes no segundo andar | 7.00 | 8.00 | 8.00 |
| Quantidade de produtos (un) | 608.00 | 320.00 | 560.00 |
| Peso carga (kg) | 20079.20 | 20336.00 | 20380.80 |
| Altura (cm) | 191.22 | 75.86 | 167.68 |

Tabela 38: Dimensionamento de Carga - Dry Box 40 pés

| Parâmetros | MO0021 | MO0091 | MO1401 |
|--|----------|----------|----------|
| Produtos por camada no palete | 4.00 | 4.00 | 4.00 |
| Quantidade de camadas no palete | 8.00 | 4.00 | 7.00 |
| Quantidade de paletes em área | 24.00 | 24.00 | 24.00 |
| Quantidade de paletes no segundo andar | 0.00 | 1.00 | 1.00 |
| Quantidade de produtos (un) | 768.00 | 400.00 | 700.00 |
| Peso carga (kg) | 25363.20 | 25420.00 | 25476.00 |
| Altura (cm) | 95.61 | 75.86 | 167.68 |

6.2 Roteirização

A Tabela 39 apresenta a quantidade média de cada modal necessário para entregar todos os produtos necessários.

Tabela 39: Quantidade média necessária de cada modal

| Modal | MO0021 | MO0091 | MO1401 |
|----------------|--------|--------|--------|
| Toco | 15 | 25 | 21 |
| Truck | 7 | 12 | 10 |
| Dry Box 20 pés | 4 | 7 | 6 |
| Dry Box 40 pés | 3 | 6 | 5 |

Definição da Rota e Modais

Para a roteirização e consequente escolha dos modais foram estabelecidos seguintes cenários:

1. Porto Belo → Palmas;
2. Porto Belo → Itajaí → Belém → Palmas;
3. Porto Belo → Itajaí → Santos → Palmas;
4. Porto Belo → Itajaí → Suape → Palmas.

A Tabela 40 apresenta os resultados para o primeiro cenário, considerando os diferentes modais.

Tabela 40: Custos para Cenário 1

| Modal | Quantidade Utilizada | Frete | Valor Total |
|----------------|----------------------|-------|-------------|
| Toco | 61 | 18280 | 1115080 |
| Truck | 29 | 27800 | 806200 |
| Dry Box 20 pés | 17 | 25420 | 432140 |
| Dry Box 40 pés | 14 | 33120 | 463680 |

A Tabela 41 apresenta os resultados para o segundo cenário, considerando os diferentes modais.

Tabela 41: Custos para Cenário 2

| Modal | Quantidade Utilizada | Frete | Valor Total |
|----------------|----------------------|-------|-------------|
| Dry Box 20 pés | 17 | 30580 | 519860 |
| Dry Box 40 pés | 14 | 38855 | 543970 |

A Tabela 42 apresenta os resultados para o terceiro cenário, considerando os diferentes modais.

Tabela 42: Custos para Cenário 3

| Modal | Quantidade Utilizada | Frete | Valor Total |
|----------------|----------------------|-------|-------------|
| Dry Box 20 pés | 17 | 24145 | 410465 |
| Dry Box 40 pés | 14 | 32485 | 454790 |

Por fim, a Tabela 43 apresenta os resultados para o quarto cenário, considerando os diferentes modais.

Tabela 43: Custos para Cenário 4

| Modal | Quantidade Utilizada | Frete | Valor Total |
|----------------|----------------------|-------|-------------|
| Dry Box 20 pés | 17 | 31770 | 540090 |
| Dry Box 40 pés | 14 | 41845 | 585830 |

Com base nos resultados obtidos é possível definir qual a melhor rota e melhor modal a ser utilizado. Obtendo o menor custo, no valor total de R\$410,465 opta-se então pela rota **Porto Belo** → **Itajaí** → **Santos** → **Palmas**, utilizando o *container Dry Box 20 Pés*, nos modais: rodoviário de Porto Belo até Itajaí, cabotagem de Itajaí até Santos, rodoviário de Santos até Palmas. As rotas são apresentadas na Figura 37

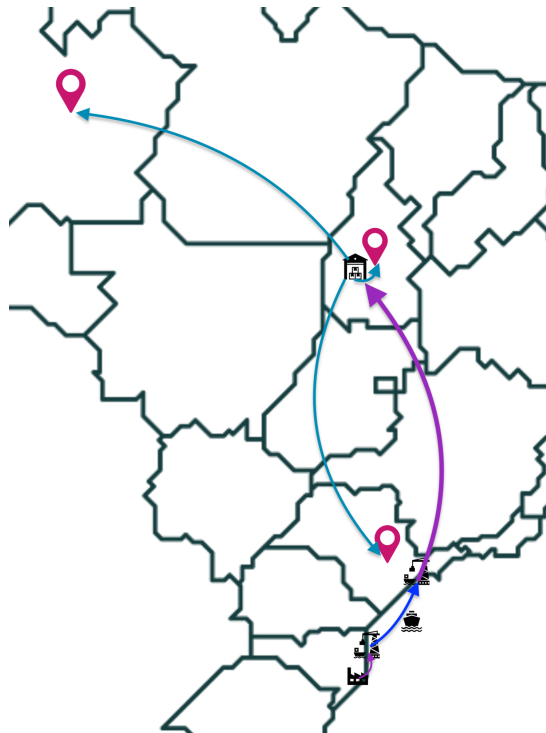


Figura 37: Rotas Definidas

Com a definição das retas, também é possível determinar o *Lead Time* de entrega de produtos até os mercados consumidores (Manaus, Palmas e São Paulo). Os resultados estão apresentados na tabela 44.

Tabela 44: Lead Times

| Destino | Lead Time (dias) |
|-----------|------------------|
| Palmas | 15 |
| Manaus | 30 |
| São Paulo | 21 |

7 Conclusão

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver um Projeto Logístico para a empresa Catarina Cerâmicas, definindo o melhor Centro de Distribuição, roteirização e modais de transporte por meio da definição da previsão de demanda dos diferentes produtos para diferentes mercados.

Como resultado final, foi definido que o melhor Centro de Distribuição para o cenário proposto é localizado em Palmas, tendo como melhor rota de entrega a saída dos produtos de Porto Belo até Itajaí por transporte rodoviário, de Itajaí até Santos por cabotem, e, finalmente, de Santos até Palmas por meio rodoviário. O Para o transporte foi definido que será utilizado o cointainer Dry box 20 pés.

A solução apresentada apresenta satisfatórios para a metodologia proposta, uma vez que visa a diminuição do custo total para a definição dos parâmetros requisitados. Entretanto, compreende-se que os resultados obtidos podem não ser resultados ótimos. Para que esse resultado fosse obtido, recomenda-se a aplicação de uma metodologia mais enorpada e robusta por meio do desenvolvimento de modelos matemáticos e a aplicação direta de Pesquisa Operacional. Por outro lado, a solução encontrada apresenta resultados adequados para o problema proposto.

Referências Bibliográficas

JONAS , Andrey; ALVES, Custodia; HENNING, Elisa; EMÍLIO, Claiton. Métodos Estatísticos de suavização Exponencial Holt-Winters para Previsão de Demanda em uma Empresa do Setor Metal Mecânico.Revista Gestão Industrial, p. 1-14, 1 fev. 2012.

KASHEI, BIJARI e ZHANG. An artificial neural network (p,q,d) Model for Times Forecasting, 2003.

JACOBS, William. Modelos de Suavização Exponencial, ARIMA e Redes Neurais Artificiais: Um estudo comparativo para previsão de demanda de produtos. UNIVATES, p. 1-110, 1 fev. 2011.

TEIXEIRA, João. Metodologia para implementação de um sistema de gestão de estoques baseado em previsão de demanda. UFRGS, p. 30-36, 1 fev. 2004.