

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; (2) definição de centro de distribuição, rotas e modais de transporte de produtos; e (3) definição de nível de serviço e parâmetros de estoque

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

Lista de Figuras

1	Histório do produto MO0021 em São Paulo	15
2	Série decomposta do produto MO0021 em São Paulo	16
3	Resíduos da previsão para o produto MO0021 em São Paulo	17
4	Previsão para o produto MO0021 em São Paulo	18
5	Histório do produto MO0021 em Tocantins	18
6	Série decomposta do produto MO0021 em Tocantins	19
7	Resíduos da previsão para o produto MO0021 em Tocantins	20
8	Previsão para o produto MO0021 em Tocantins	21
9	Histório do produto MO0021 no Amazonas	21
10	Série decomposta do produto MO0021 no Amazonas	22
11	Resíduos da previsão para o produto MO0021 no Amazonas	23
12	Previsão para o produto MO0021 no Amazonas	24
13	Histório do produto MO0091 em São Paulo	24
14	Série decomposta do produto MO0091 em São Paulo	25
15	Resíduos da previsão para o produto MO0091 em São Paulo	26
16	Previsão para o produto MO0091 em São Paulo	27
17	Histório do produto MO0091 em Tocantins	27
18	Série decomposta do produto MO0091 em Tocantins	28
19	Resíduos da previsão para o produto MO0091 em Tocantins	29
20	Previsão para o produto MO0091 em Tocantins	30
21	Histório do produto MO0091 no Amazonas	30
22	Série decomposta do produto MO0091 no Amazonas	31
23	Resíduos da previsão para o produto MO0091 no Amazonas	32
24	Previsão para o produto MO0091 no Amazonas	33
25	Histório do produto MO1401 em São Paulo	33
26	Série decomposta do produto MO1401 em São Paulo	34
27	Resíduos da previsão para o produto MO1401 em São Paulo	35
28	Previsão para o produto MO1401 em São Paulo	36
29	Histório do produto MO1401 em Tocantins	36
30	Série decomposta do produto MO1401 em Tocantins	37
31	Resíduos da previsão para o produto MO1401 em Tocantins	38
32	Previsão para o produto MO1401 em Tocantins	39
33	Histório do produto MO1401 no Amazonas	39
34	Série decomposta do produto MO1401 no Amazonas	40
35	Resíduos da previsão para o produto MO1401 no Amazonas	41

36	Previsão para o produto MO1401 no Amazonas	42
37	Rotas Definidas	55
38	Parâmetros de Inventário do Produto MO0021	59
39	Parâmetros de Inventário do Produto MO0091	60
40	Parâmetros de Inventário do Produto MO1401	60

Lista de Tabelas

1	Parâmetros do Centro de Gravidade	10
2	Comparação entre os modelos	16
3	Previsão de demanda do produto MO0021 para São Paulo	17
4	Comparação entre os modelos	19
5	Previsão de demanda do produto MO0021 para Tocantins	20
6	Comparação entre os modelos	22
7	Previsão de demanda do produto MO0021 para Amazonas	23
8	Comparação entre os modelos	25
9	Previsão de demanda do produto MO0091 para São Paulo	26
10	Comparação entre os modelos	28
11	Previsão de demanda do produto MO0091 para Tocantins	29
12	Comparação entre os modelos	31
13	Previsão de demanda do produto MO0091 para Amazonas	32
14	Comparação entre os modelos	34
15	Previsão de demanda do produto MO1401 para São Paulo	35
16	Comparação entre os modelos	37
17	Previsão de demanda do produto MO1401 para Tocantins	38
18	Comparação entre os modelos	40
19	Previsão de demanda do produto MO1401 para Amazonas	41
20	Previsão de demanda final para o produto MO0021	42
21	Previsão de demanda final para o produto MO0091	43
22	Previsão de demanda final para o produto MO1401	43
23	Dados Utilizados para Definição do Centro de Distribuição	44
24	Resultado do Centro de Gravidade	44
25	Proximidade dos Centros de Distribuição ao Centro de Gravidade	45
26	Resultados para o Método P-Centro	45
27	Resultados para o Método P-Mediana	46
28	Pesos	46
29	Notas dos critérios	46
30	Ranking das Notas	47
31	Ranking Dos Lead Times - Rodoviário	47
32	Ranking Dos Lead Times - Cabotagem	48
33	Pesos para os critérios	48
34	Ranking dos CDs - Geral	49
35	Dimensionamento de Carga - Toco	50

36	Dimensionamento de Carga - Truck	51
37	Dimensionamento de Carga - Dry Box 20 pés	51
38	Dimensionamento de Carga - Dry Box 40 pés	51
39	Quantidade média necessária de cada modal	52
40	Custos para Cenário 1	52
41	Custos para Cenário 2	53
42	Custos para Cenário 3	53
43	Custos para Cenário 4	53
44	Custos para Cenário 5	53
45	Custos para cenário 6	53
46	Custos para Cenário 1 para os mercados	54
47	Custos para Cenário 2 para os mercados	54
48	Custos Rotas	54
49	Lead Times	55
50	Demandas	56
51	Nível de Serviço	57
52	Cálculos para o Amazonas	58
53	Quantidade de Ressuprimento para São Paulo	58
54	Cálculos para Tocantins	58
55	Parâmetros para o Centro de Distribuição	59

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
2.3	Nível de Serviço e Estoques	11
3	Metodologia	13
4	Previsão de Demanda	15
4.1	Produto MO0021	15
4.2	Produto MO0091	24
4.3	Produto MO1401	33
4.4	Resultado Final	42
5	Centro de Distribuição	44
6	Dimensionamento de Carga e Roteirização	50
6.1	Dimensionamento de Carga	50
6.2	Roteirização	51
7	Nível de Serviço e Estoques	56
7.1	Nível de Serviço	56
7.2	Estoques	57
8	Custos Logísticos	61
9	Conclusão	62
	Referências	63

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; (3) Definição da Roteirização e Modais; e (4) Definição de Nível de Serviço e Parâmetros de Estoque.

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 (JACOBS, 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, α 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 (VERÍSSIMO *et al.*, 2013).

Modelos Autoregressivos Integrados e de Médias Móveis (ARIMA)

De acordo com HYNDMAN; ATHANASOPOULOS (2018), 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.

Modelos Autorregressivos (AR) De acordo com HYNDMAN; ATHANASOPOULOS (2018), 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 $VAR(\epsilon_t) = \sigma^2$.

Modelos de médias móveis (MA) De acordo com HYNDMAN; ATHANASOPOULOS (2018), este 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 (KHASHEI; BIJARI, 2010). 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. Para o sucesso da previsão é necessário dividir as amostras em pares de treinamento e teste e assim avaliar a camada oculta (HYNDMAN; ATHANASOPOULOS, 2018).

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.

2.3 Nível de Serviço e Estoques

Nessa seção será apresentada a literatura referente ao nível de serviço e gerenciamento de estoques.

Nível de Serviço

De acordo com MARCHESINI; ALCÂNTARA (2012) pode-se de forma geral utilizar a definição de nível de serviço de CHRISTOPHER (1997). Em seus estudos, CHRISTOPHER (1997) afirma que o serviço ao cliente é determinado pelos elementos de disponibilidade, frequência e confiabilidade de entrega, níveis de estoque e tempo consumido no ciclo dos pedidos, que juntos resultam tornar disponíveis ao comprador o processo de fabricação dos produtos e a prestação de serviços.

Segundo CHRISTOPHER (1997), os elementos críticos de serviço ao cliente são: ciclo do pedido, disponibilidade de estoque, restrições do tamanho do pedido (flexibilidade para atender entregas JIT), facilidade na colocação do pedido, frequência de entrega, confiabilidade de entrega, qualidade da documentação (faturas, notas fiscais e outras comunicações com os clientes), procedimentos para reclamações, pedidos entregues completos, suporte técnico, informação sobre a posição dos pedidos. A confiabilidade de entrega e pedidos entregues completos são os elementos cruciais à conquista e manutenção dos clientes.

Portanto, é possível afirmar que dentro de um estudo logístico a variável de nível de serviço deve ser considerada de extrema importância dado o seu impacto na cadeia global de suprimentos.

Estoques

WATERS (2019) e BOWERSOX; CLOSS; COOPER (2005) definem as seguintes equações como as principais equações para determinação e controle de estoque.

Quantidade de Suprimento:

$$Q = \sqrt{\frac{2C_o D}{iU}} \quad (5)$$

Estoque de Segurança:

$$E_s = (Z)(\sigma_D)(\sqrt{T_A}) \quad (6)$$

Estoque Máximo:

$$E_{máx} = E_s + Q \quad (7)$$

Estoque Médio:

$$E_{méd} = E_s + \frac{Q}{2} \quad (8)$$

Ponto de Pedido:

$$PP = (D)(T_a) + E_s \quad (9)$$

Onde

Parâmetro	Descrição
D	Demanda Anual
C_o	Custo por Pedido
i	Taxa para Manter Estoque
U	Custo por Unidade
T_a	Tempo de Atendimento
σ_D	Desvio Padrão da Demanda

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.

Nível de Serviço e Estoques

Para a definição de Nível de Serviço foram considerados os *lead times* e a representatividade das demandas em cada um dos mercados consumidores. A definição dos parâmetros de estoque foi feita utilizando as equações (5)-(9), os dados fornecidos pelo problema proposto e um valor de taxa para manter estoque “ $i = 0.2$.”

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.

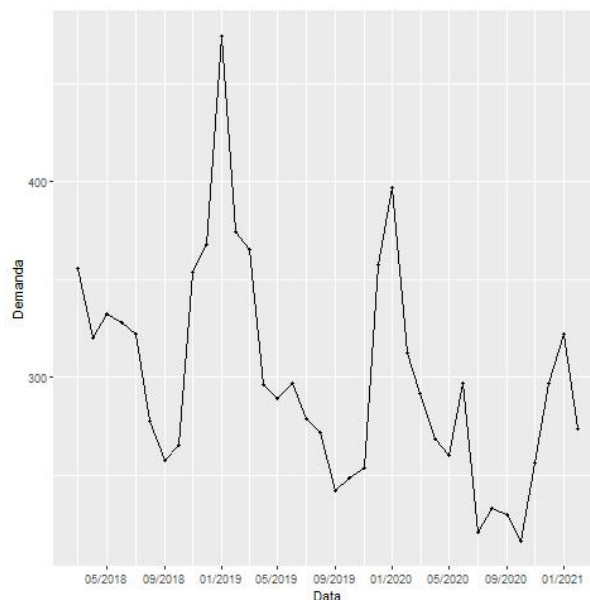


Figura 1: Histórico do produto MO0021 em São Paulo

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.

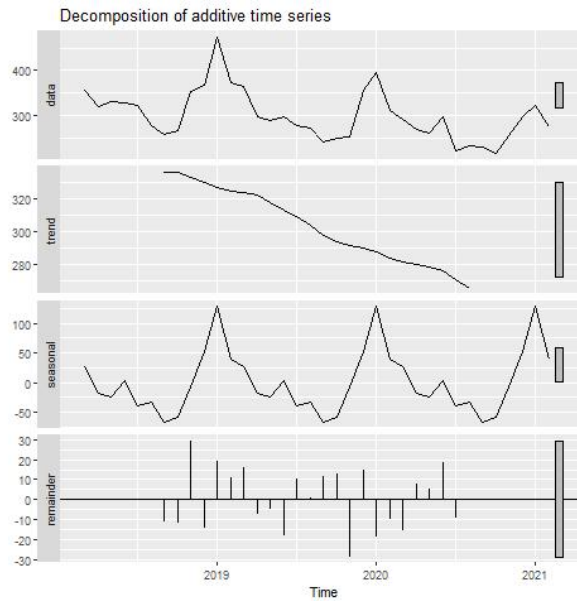


Figura 2: Série decomposta do produto MO0021 em São Paulo

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	4.25

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.

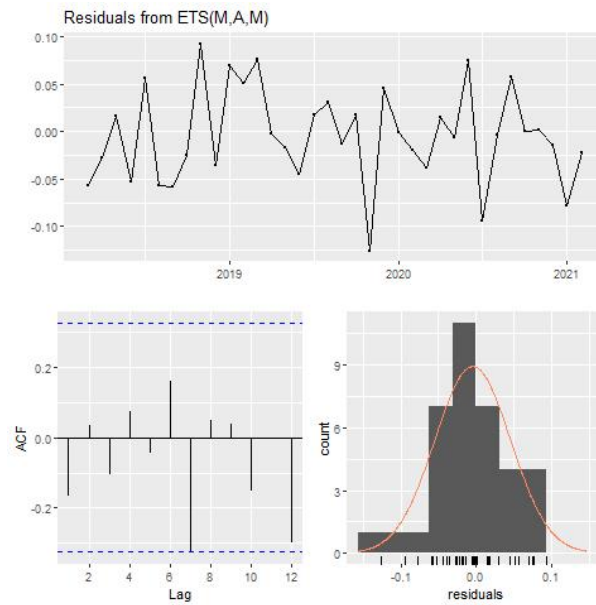


Figura 3: Resíduos da previsão para o produto MO0021 em São Paulo

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.

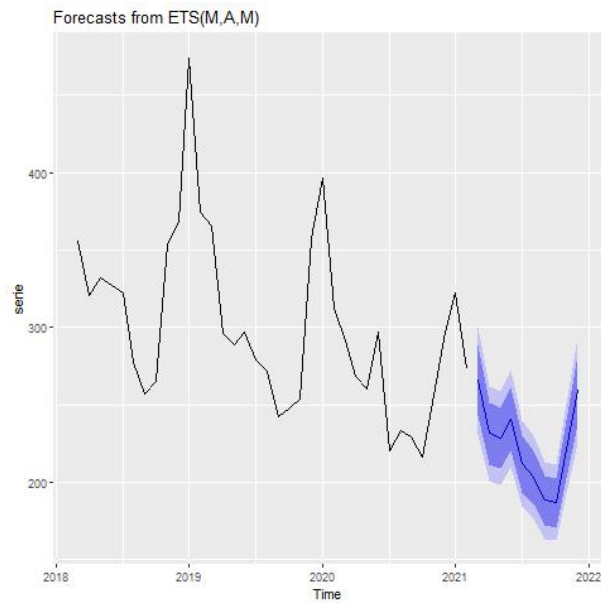


Figura 4: Previsão para o produto MO0021 em São Paulo

Centro de Tocantins

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

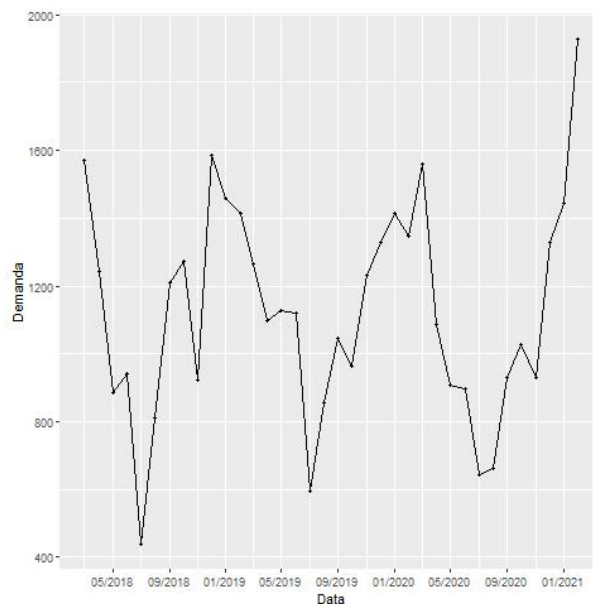


Figura 5: Histórico do produto MO0021 em Tocantins

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.

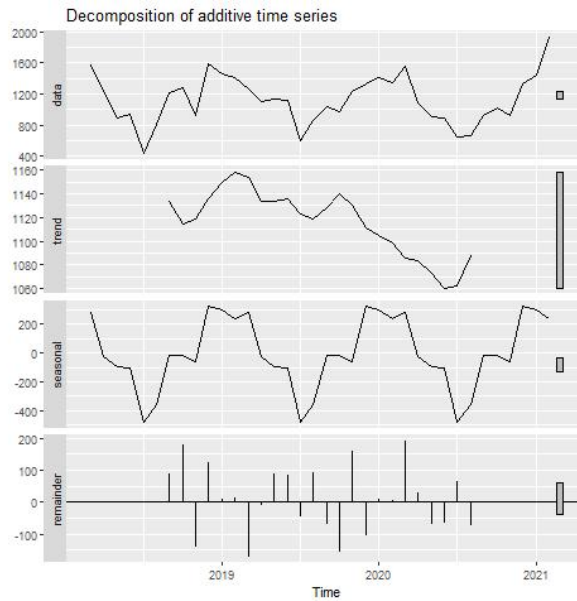


Figura 6: Série decomposta do produto MO0021 em Tocantins

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	7.78

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.

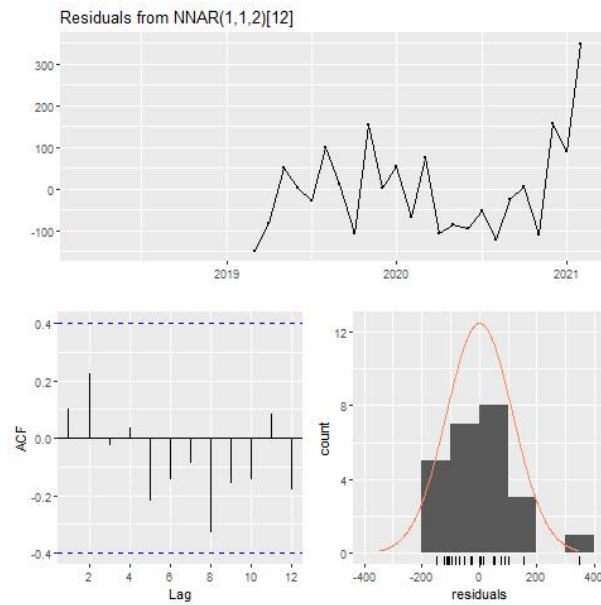


Figura 7: Resíduos da previsão para o produto MO0021 em Tocantins

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
1514.73	1060.15	1089.11	1085.58	659.96	814.5	902.81	964.27	1081.4	1196.55

O gráfico da previsão está apresentado na Figura 8.

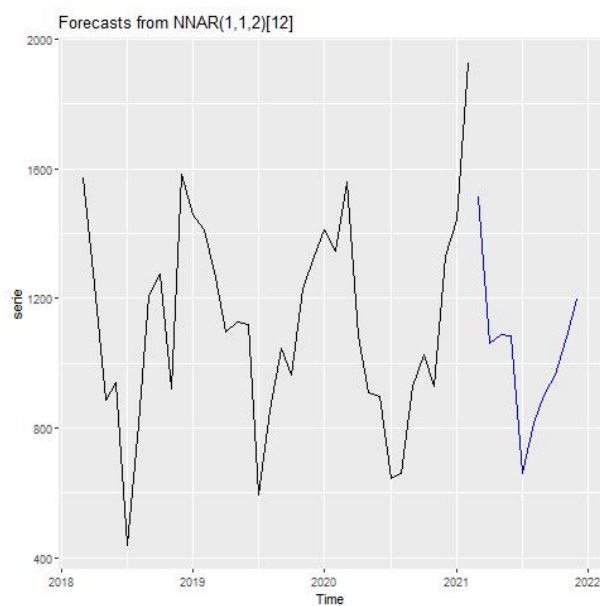


Figura 8: Previsão para o produto MO0021 em Tocantins

Centro do Amazonas

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

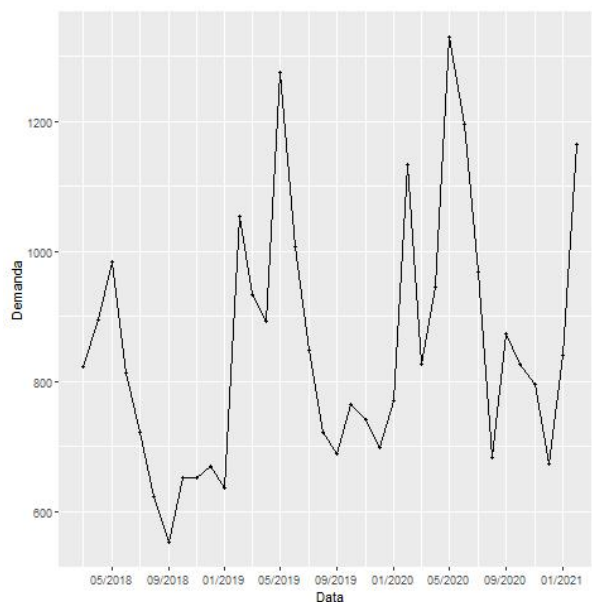


Figura 9: Histórico do produto MO0021 no Amazonas

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.

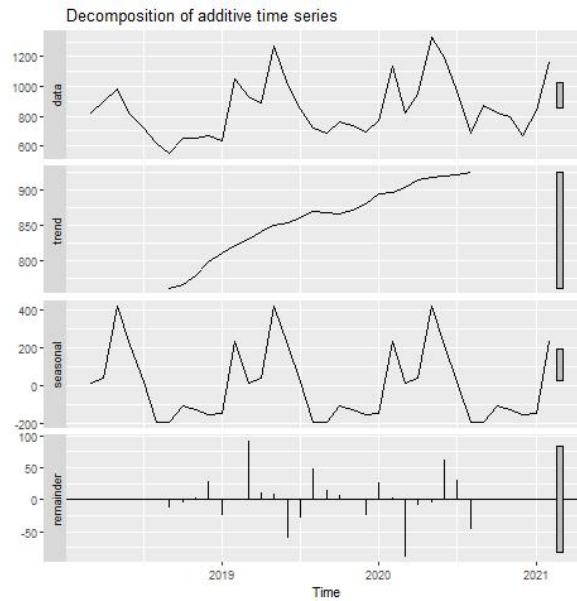


Figura 10: Série decomposta do produto MO0021 no Amazonas

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	5.03

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.

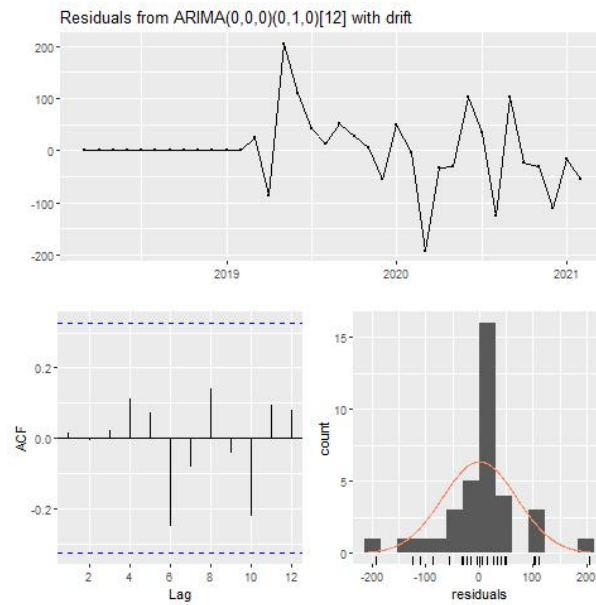


Figura 11: Resíduos da previsão para o produto MO0021 no Amazonas

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.

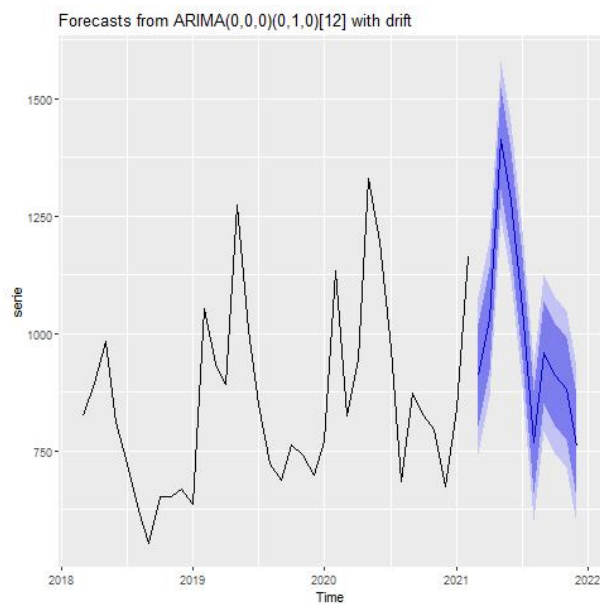


Figura 12: Previsão para o produto MO0021 no Amazonas

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.

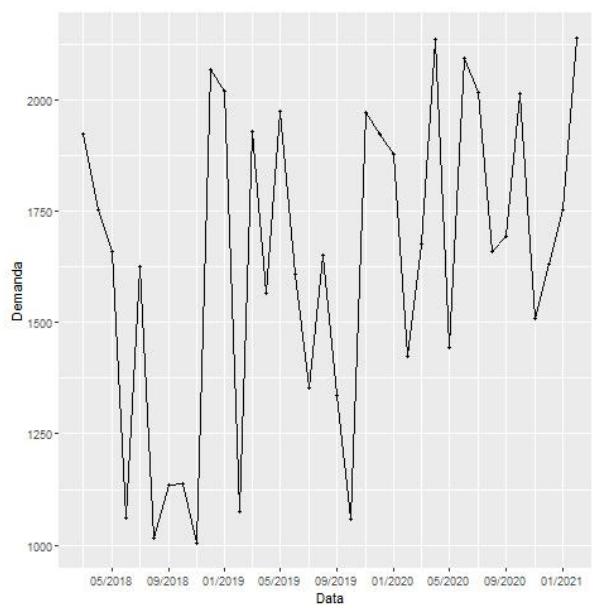


Figura 13: Histórico do produto MO0091 em São Paulo

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.

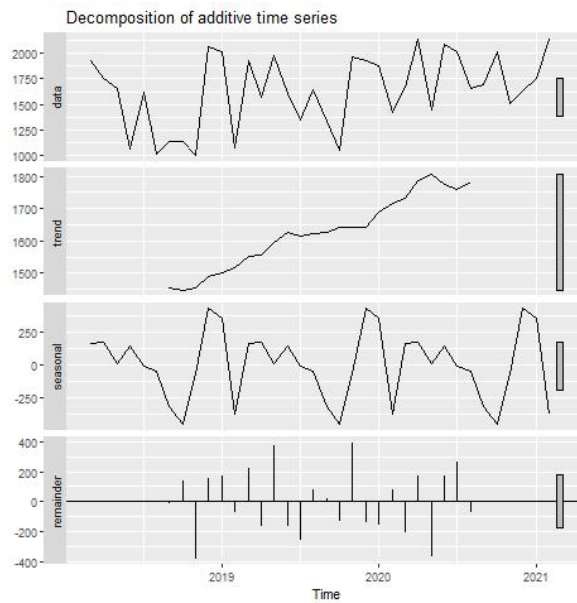


Figura 14: Série decomposta do produto MO0091 em São Paulo

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	10.32

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.

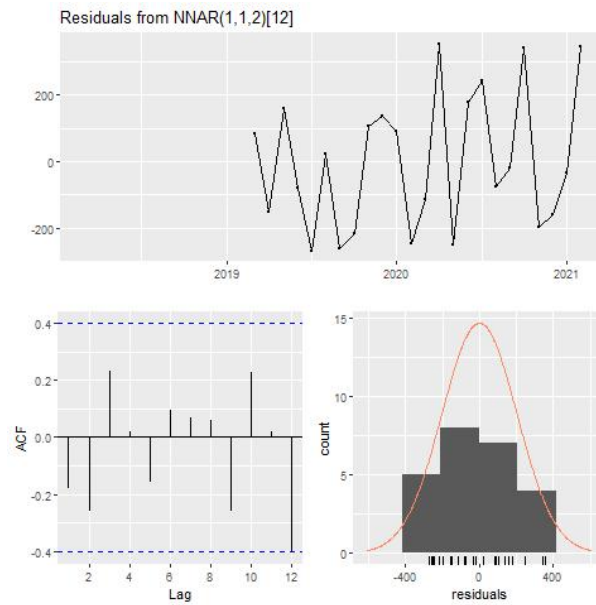


Figura 15: Resíduos da previsão para o produto MO0091 em São Paulo

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
1731.01	1813	1791.64	1821.76	1908.88	1732.25	1755.65	1823.1	1758.75	1736.45

O gráfico da previsão está apresentado na Figura 16.

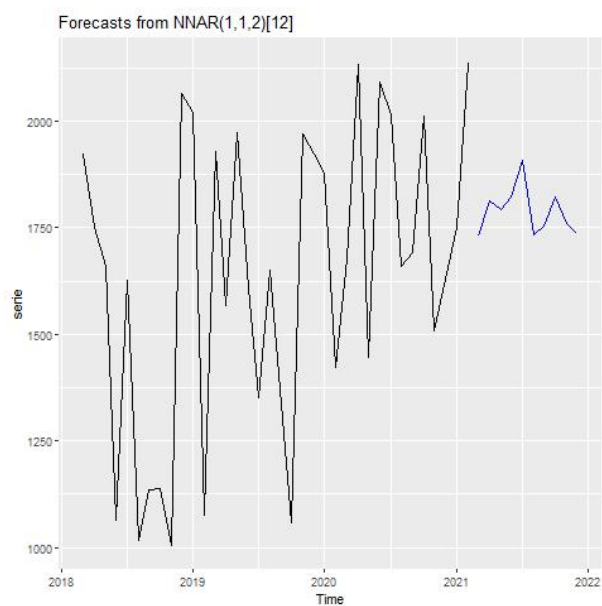


Figura 16: Previsão para o produto MO0091 em São Paulo

Centro de Tocantins

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

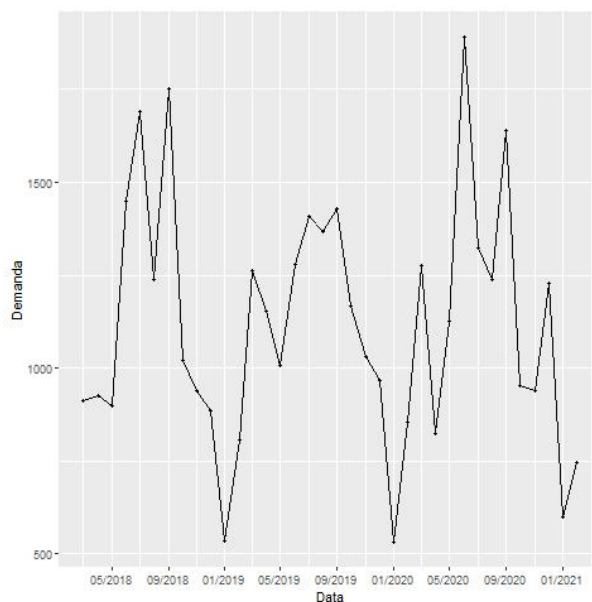


Figura 17: Histórico do produto MO0091 em Tocantins

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.

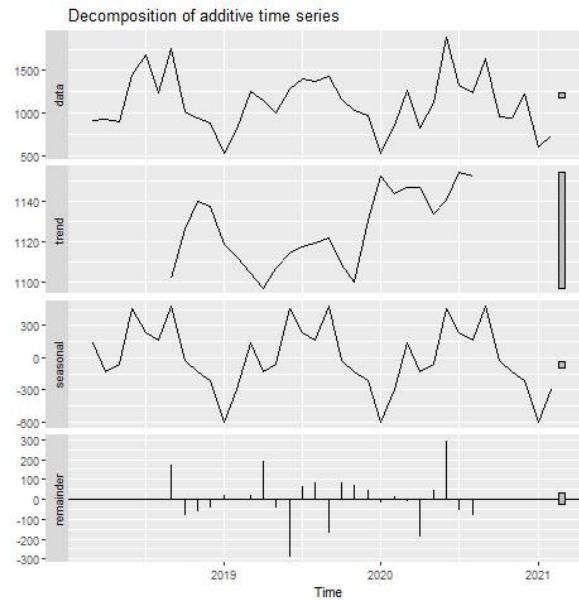


Figura 18: Série decomposta do produto MO0091 em Tocantins

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	9.45

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.

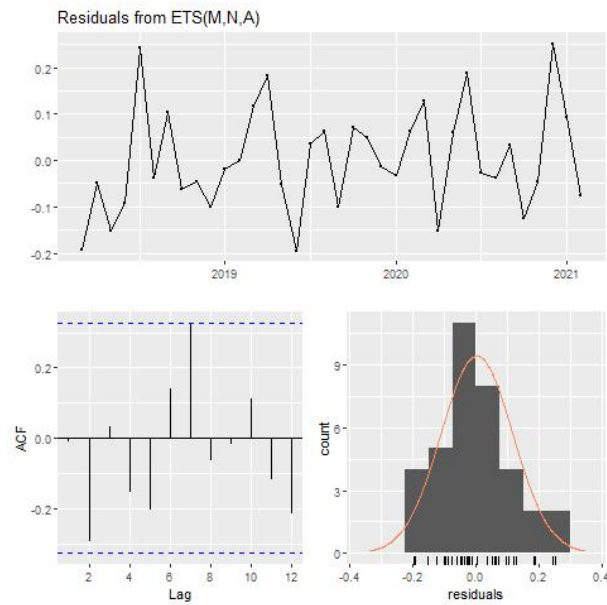


Figura 19: Resíduos da previsão para o produto MO0091 em Tocantins

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.

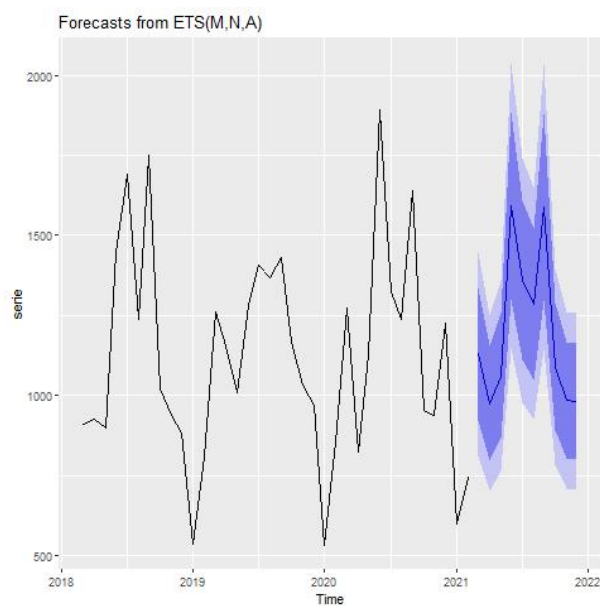


Figura 20: Previsão para o produto MO0091 em Tocantins

Centro do Amazonas

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

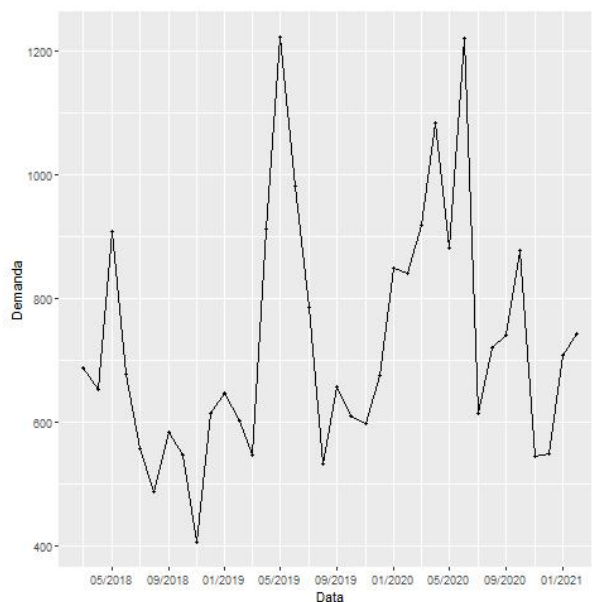


Figura 21: Histórico do produto MO0091 no Amazonas

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.

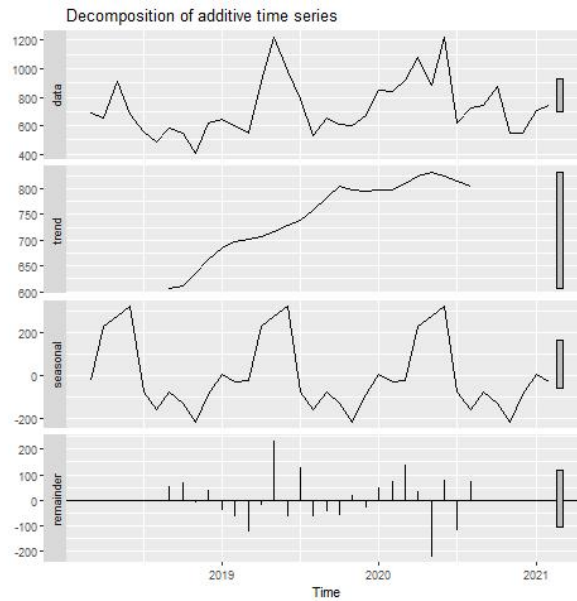


Figura 22: Série decomposta do produto MO0091 no Amazonas

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	11.2

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.

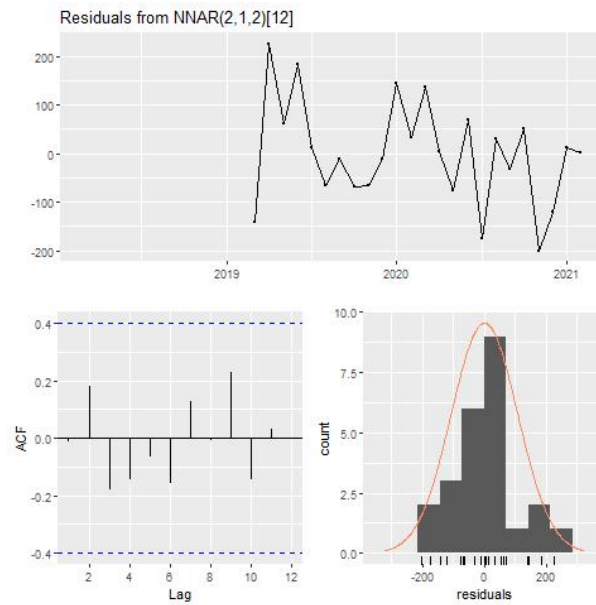


Figura 23: Resíduos da previsão para o produto MO0091 no Amazonas

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
957.24	1137.16	825.62	1082.96	805.87	874.55	914.22	989.27	777.69	583.15

O gráfico da previsão está apresentado na Figura 24.

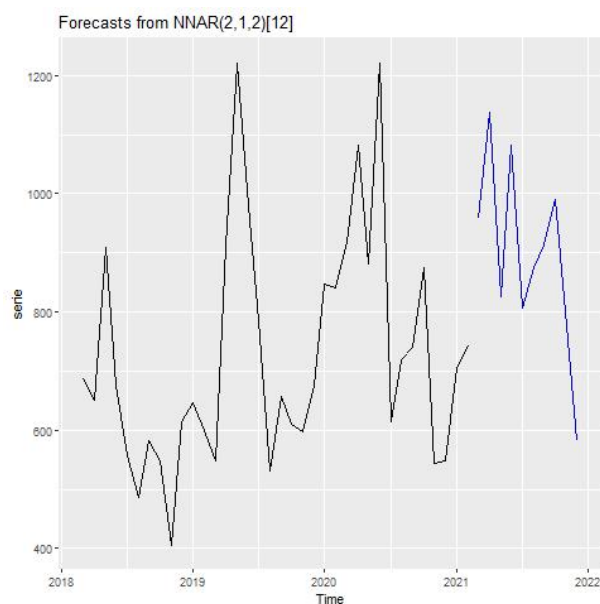


Figura 24: Previsão para o produto MO0091 no Amazonas

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.

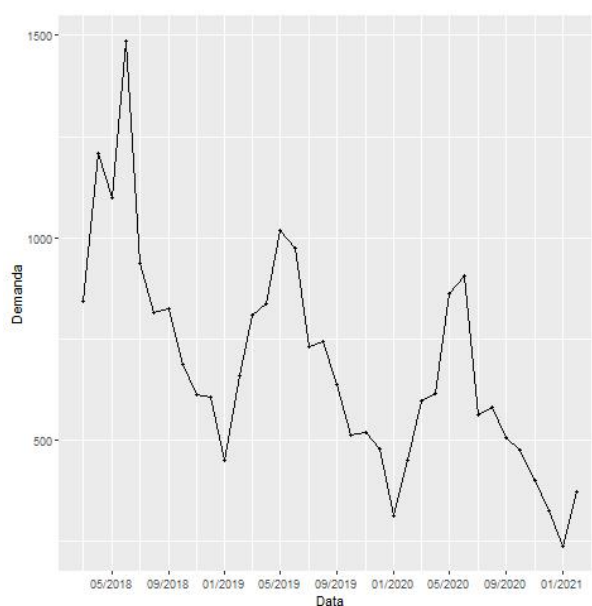


Figura 25: Histórico do produto MO1401 em São Paulo

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.

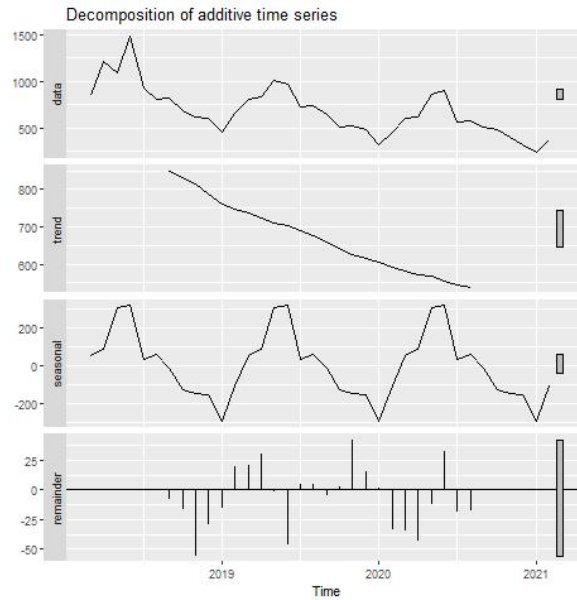


Figura 26: Série decomposta do produto MO1401 em São Paulo

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	6.28

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.

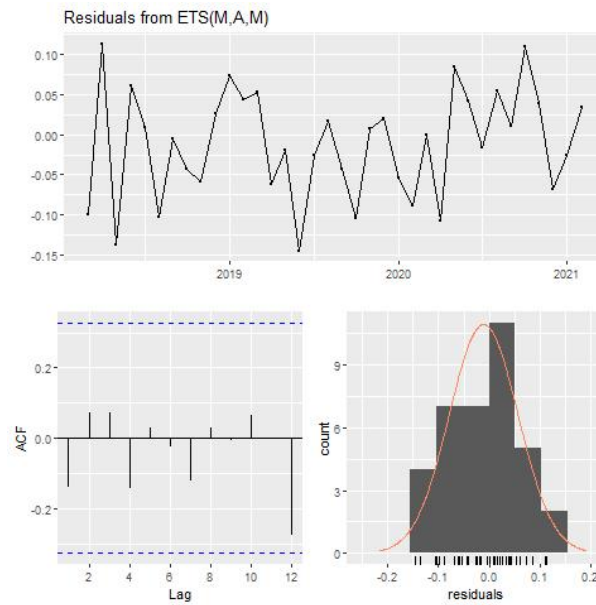


Figura 27: Resíduos da previsão para o produto MO1401 em São Paulo

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.

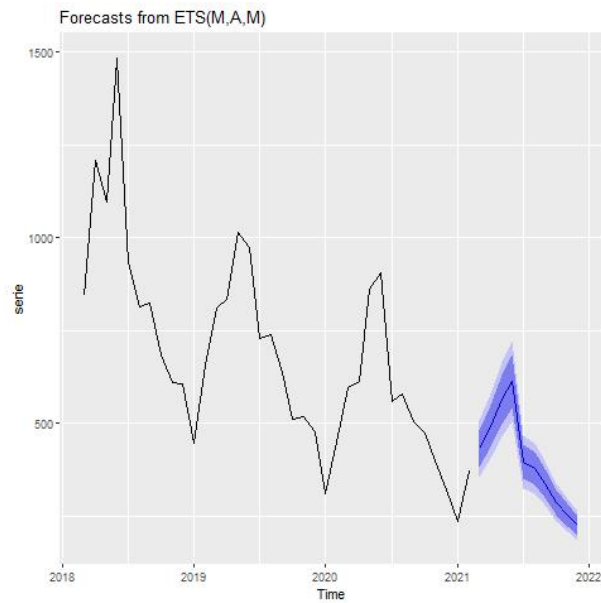


Figura 28: Previsão para o produto MO1401 em São Paulo

Centro de Tocantins

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

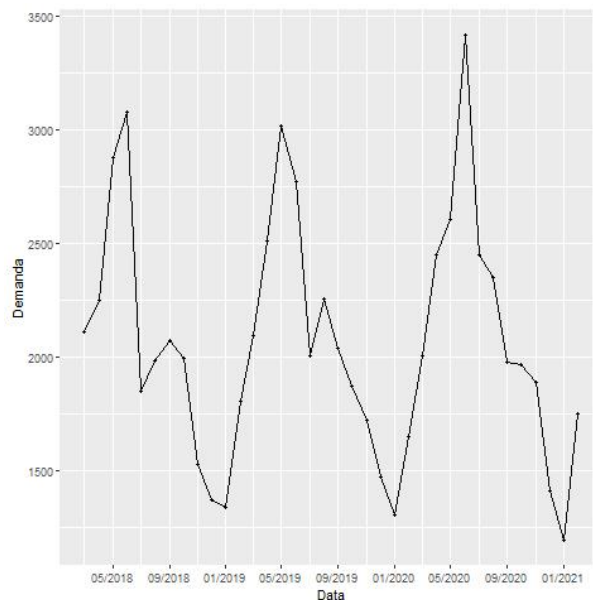


Figura 29: Histórico do produto MO1401 em Tocantins

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.

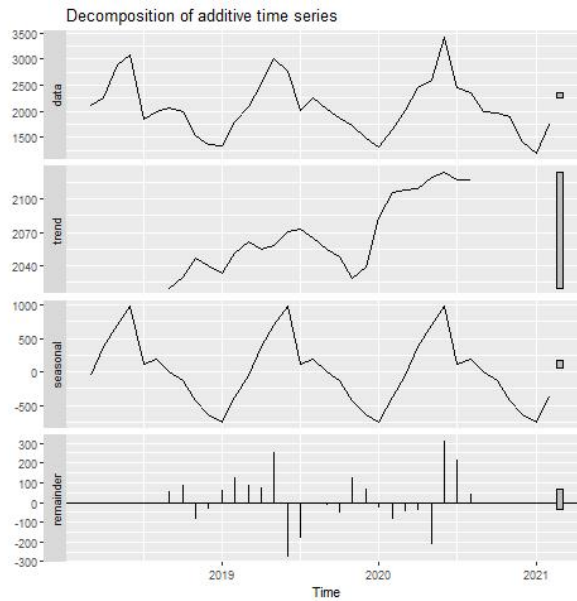


Figura 30: Série decomposta do produto MO1401 em Tocantins

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	5.37

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.

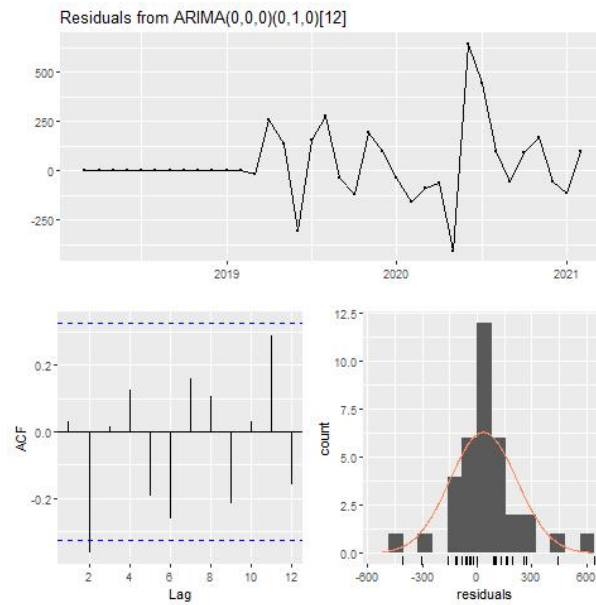


Figura 31: Resíduos da previsão para o produto MO1401 em Tocantins

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.

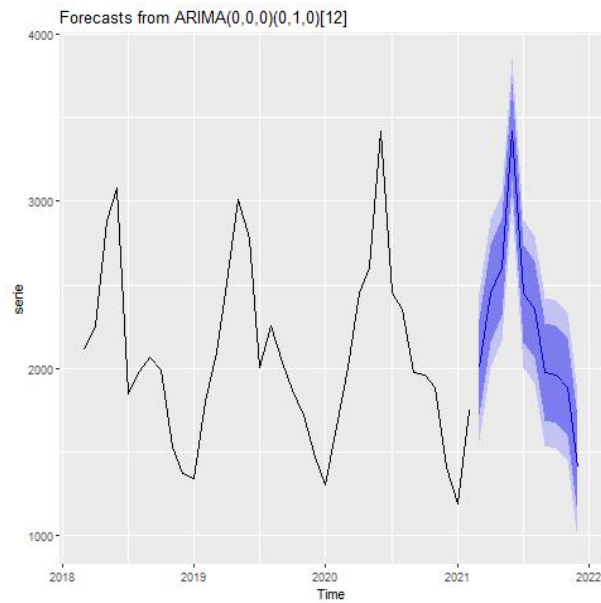


Figura 32: Previsão para o produto MO1401 em Tocantins

Centro do Amazonas

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

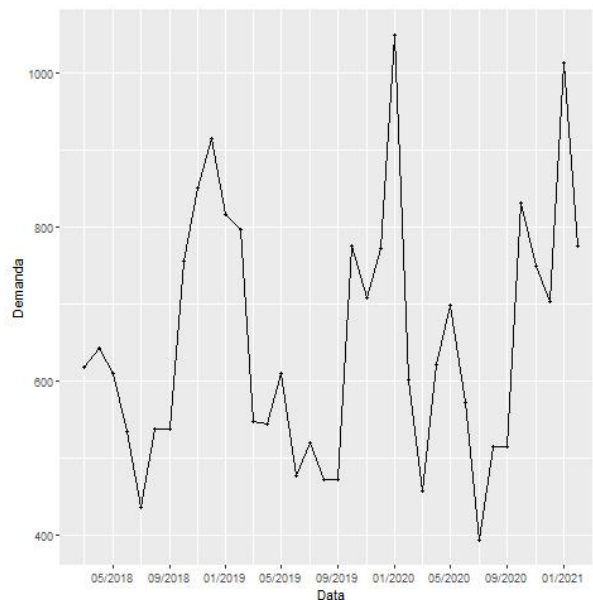


Figura 33: Histórico do produto MO1401 no Amazonas

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.

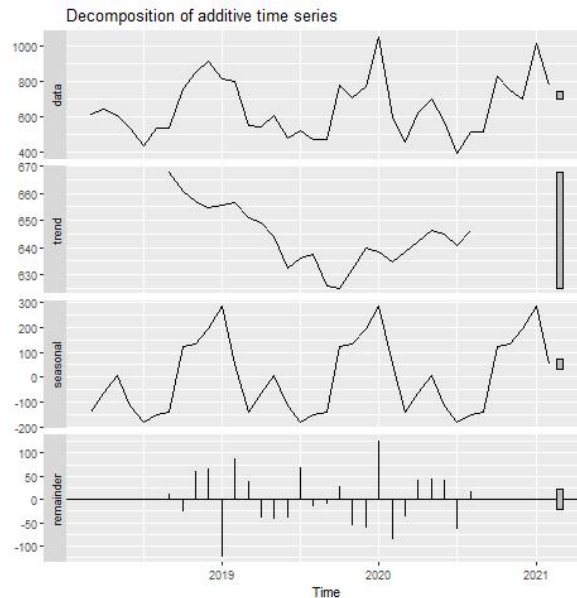


Figura 34: Série decomposta do produto MO1401 no Amazonas

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	5.57

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.

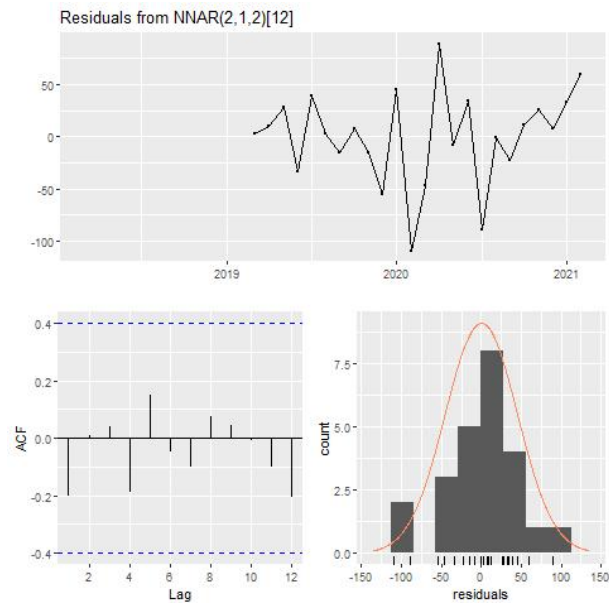


Figura 35: Resíduos da previsão para o produto MO1401 no Amazonas

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
471.22	537.16	880.09	713.24	403.88	538.05	606.42	1120.63	675.87	538

O gráfico da previsão está apresentado na Figura 36.

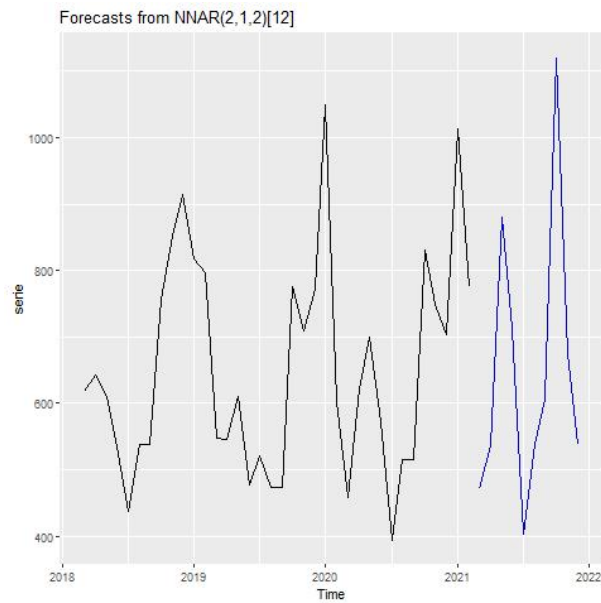


Figura 36: Previsão para o produto MO1401 no Amazonas

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	1514.73	910.99
04/21	231.47	1060.15	1030.59
05/21	228.68	1089.11	1414.69
06/21	240.97	1085.58	1281.29
07/21	211.92	659.96	1053.59
08/21	203.22	814.50	768.39
09/21	188.37	902.81	959.29
10/21	186.82	964.27	910.99
11/21	221.32	1081.40	881.09
12/21	259.74	1196.55	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	1731.01	1129.11	957.24
04/21	1813.00	974.03	1137.16
05/21	1791.64	1061.11	825.62
06/21	1821.76	1592.61	1082.96
07/21	1908.88	1359.40	805.87
08/21	1732.25	1285.07	874.55
09/21	1755.65	1587.77	914.22
10/21	1823.10	1088.80	989.27
11/21	1758.75	984.45	777.69
12/21	1736.45	980.72	583.15

Tabela 22: Previsão de demanda final para o produto MO1401

Data	São Paulo	Tocantins	Amazonas
03/21	431.94	2006.4	471.22
04/21	493.07	2448.0	537.16
05/21	565.47	2606.4	880.09
06/21	612.52	3417.6	713.24
07/21	396.51	2448.0	403.88
08/21	379.52	2352.0	538.05
09/21	339.67	1977.6	606.42
10/21	286.75	1963.2	1120.63
11/21	253.18	1886.4	675.87
12/21	224.73	1411.2	538.00

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	24094.21	-46.646	-23.548
Tocantins	44928.93	-48.328	-10.167
Amazonas	25402.40	-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	-51.0455
y	-11.6807
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	54993008	69391314	77451925	201836247	5
Goiânia	38683807	21684786	82532405	142900998	2
Itajaí	107514925	14601089	108265039	230381053	6
Manaus	174863389	93292767	0	268156156	8
Palmas	0	43755079	98942357	142697436	1
Porto Belo	109042509	15420292	109128721	233591522	7
Porto de Santos	84735959	1879348	100263282	186878589	4
São Paulo	81501076	0	98434309	179935385	3
Suape	94755110	63464140	119797730	278016979	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 ranquear 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

A roteirização e consequente escolha dos modais será feita em duas partes: Estabelecida a rota até o Centro de Distribuição com base nos seguintes cenários:

1. Porto Belo \rightarrow Palmas;
2. Porto Belo \rightarrow Itajaí \rightarrow Belém \rightarrow Palmas;
3. Porto Belo \rightarrow Itajaí \rightarrow Santos \rightarrow Palmas;
4. Porto Belo \rightarrow Itajaí \rightarrow Suape \rightarrow Palmas;
5. Porto Belo \rightarrow Itajaí \rightarrow Santos \rightarrow São Paulo \rightarrow Palmas.
6. Porto Belo \rightarrow Itajaí \rightarrow Santos \rightarrow Palmas (Manaus e Palmas) e Porto Belo \rightarrow São Paulo

E estabelecida a rota até os mercados com base nos seguintes cenários:

1. Palmas \rightarrow Manaus e São Paulo (para cenários 1-4)
2. Palmas \rightarrow Manaus (para cenário 5)

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

Tabela 40: Custos para Cenário 1

Modal	QuantidadeUtilizada	Frete	Valor Total
Toco	61	4910	299510
Truck	29	7995	231855
Dry Box 20 pés	17	6620	112540
Dry Box 40 pés	14	9885	138390

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

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

Tabela 41: Custos para Cenário 2

Modal	QuantidadeUtilizada	Frete	Valor Total
Dry Box 20 pés	17	11780	200260
Dry Box 40 pés	14	15620	218680

Tabela 42: Custos para Cenário 3

Modal	QuantidadeUtilizada	Frete	Valor Total
Dry Box 20 pés	17	5345	90865
Dry Box 40 pés	14	9250	129500

A Tabela 43 apresenta os resultados para o quarto cenário, considerando os diferentes modais.

Tabela 43: Custos para Cenário 4

Modal	QuantidadeUtilizada	Frete	Valor Total
Dry Box 20 pés	17	12970	220490
Dry Box 40 pés	14	18610	260540

A tabela 44 apresenta os resultados para o quinto cenário, considerando os diferentes modais.

Tabela 44: Custos para Cenário 5

Modal	QuantidadeUtilizada	Frete	Valor Total
Dry Box 20 pés	17	8570	145690
Dry Box 40 pés	14	12470	174580

Por fim, a tabela 45 apresenta os resultados para o sexto cenário, considerando os diferentes modais.

Tabela 45: Custos para cenário 6

Modal	QuantidadeUtilizada	Frete	Valor Total
Dry Box 20 pés	18	6545	75485
Dry Box 40 pés	15	12245	107475

A tabela 46 apresenta os resultados para o primeiro cenário até os mercados, considerando os diferentes modais.

Tabela 46: Custos para Cenário 1 para os mercados

Modal	QuantidadeUtilizada	Frete	Valor Total
Toco	35	13370	467950
Truck	17	19805	336685
Dry Box 20 pés	11	18800	206800
Dry Box 40 pés	10	23235	232350

Finalmente, a tabela 47 apresenta os resultados para o segundo cenário até os mercados, considerando os diferentes modais.

Tabela 47: Custos para Cenário 2 para os mercados

Modal	QuantidadeUtilizada	Frete	Valor Total
Toco	18	9310	167580
Truck	8	13340	106720
Dry Box 20 pés	6	13135	78810
Dry Box 40 pés	5	16150	80750

a tabela 48 apresenta os custos para todos os cenários, escolhendo os melhores modais

Tabela 48: Custos Rotas

Cenário	Modal	Custo
1	Dry Box 20 pés	319340
2	Dry Box 20 pés	407060
3	Dry Box 20 pés	297665
4	Dry Box 20 pés	427290
5	Dry Box 20 pés	224500
6	Dry Box 20 pés	154295

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\$154,295 opta-se então pela rota **Porto Belo** → **Itajaí** → **Santos** → **Palmas** com os carregamentos de São Paulo e Manaus e **Porto Belo** → **São Paulo** com o carregamento de São Paulo, utilizando o *container Dry Box 20 Pés*, nos modais: cabotagem de Itajaí até Santos e rodoviário

nos demais. Para tanto, serão utilizados 5 Dry Box 20 Pés de Porto Belo até São Paulo, 13 Dry Box 20 Pés de Porto Belo até Palmas e 6 Dry Box 20 Pés de Palmas Até Manaus. As rotas são apresentadas na Figura 37

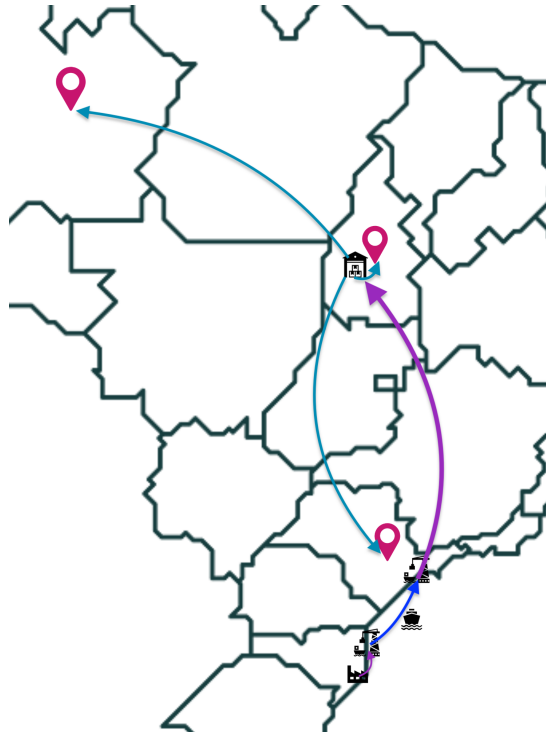


Figura 37: Rotas Definidas

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 49.

Tabela 49: Lead Times

Destino	Lead Time (dias)
Palmas	16
Manaus	31
São Paulo	2

7 Nível de Serviço e Estoques

Nessa seção serão apresentados o Nível de Serviço e Estoques para o caso estudado.

7.1 Nível de Serviço

Para a escolha do nível de serviço ou também chamado Nível de Atendimento é importante considerar o trade-off logístico existente entre Custos Totais, Custos de Não serviço, Custos de Transporte, Processamento de pedidos e estoques. Dentro do estudo, 3 localidades diferentes puxam a demanda dos produtos da empresa, são eles: Tocantis, São Paulo e Amazonas. Para cada uma dessas localidades há uma demanda específica e isto impacta diretamente no cálculo de nível de serviço e na decisão do mesmo, pois estão atreladas diretamente com as variáveis de custo. As demandas totais destas localidades e as suas representatividades para os próximos períodos estipulados podem ser vistos na Tabela 50.

Tabela 50: Demandas

Localidade	Demanda Total	Representatividade (%)
SP	25893.81	23.73
TO	52581.63	48.19
AM	30643.30	28.08

Para o mercado localizado em Manaus é importante levar em consideração o lead time médio exigido para que as mercadorias cheguem até o seu destino. A média de tempo gasto para tal é de 15 dias saindo de Palmas, o que representa um tempo muito maior em comparação com os demais destinos. Essa métrica inviabiliza a manutenção de um nível de serviço superior à 95% porque exigiria um gasto com transportes muito acima do necessário para suprir de maneira adequada a região. Além deste ponto é importante salientar que o Amazonas representa 28.08% da demanda total de produtos, o que viabiliza o trabalho com um nível de serviço de 95%.

O mercado localizado em Tocantis é o mais representativo em termos de demanda (48.19% da demanda total) e também é o mais próximo do CD escolhido. Por ser um grande consumidor e possuir uma distância muito próxima ao consumidor final é possível exigir um nível de serviço maior para esta região. Isso porque o trade-off logístico entre os custos de transporte, estoque, emissão de pedidos e custo de não serviço são compensados pela facilidade no transporte e pela alta demanda, uma vez que o não serviço de Tocantis é o mais representativo e o custo de transporte para o mesmo tende a ser o mais barato. Além dos pontos anteriores elencados é significativo entender que o mercado com a maior

demanda é o responsável pela maior parte das receitas, sendo considerável a interpretação do princípio de Pareto onde 20% da energia alocada deve ser responsável por 80% dos resultados que dentro deste caso é representado por manter um alto nível de serviço. Essas características permeiam a decisão de optar por um nível de serviço de 99%.

Para São Paulo, mesmo sendo o mercado com a menor demanda dentro das análises preditivas (23.73%), ainda é possível exigir um nível de serviço relativamente alto. Essa justificativa é plausível por conta do lead time exigido para a entrega na localidade, 6 dias em média, o que permite maior transitabilidade e facilidade de escoar o produto para esta região em comparação com o estado do Amazonas. Por ser um importante polo e o maior mercado consumidor brasileiro é de suma importância considerar o potencial de expansão que a empresa pode ter em São Paulo se for capaz de manter um bom nível de serviço para a região. Por conta destas variáveis o nível de serviço escolhido é de 98%. Na Tabela 51 é possível identificar os níveis de serviço escolhidos para cada um dos mercados consumidores

Tabela 51: Nível de Serviço

Localidade	Nível de Serviço
TO	99%
SP	98%
AM	95%

O tempo de atendimento médio pode ser obtido através da análise de rotas e os seus respectivos lead times que estão dispostos no banco de dados. Dentro do estudo existem 3 rotas distintas, que ligam as 3 regiões a serem atendidas pela empresa, sendo algumas etapas do transporte logísticos compartilhadas (todas englobadas no caminho entre Porto Belo e o CD). A Tabela 44 apresenta os *lead times*.

7.2 Estoques

Nessa seção será dimensionado o estoque necessário para alimentar os três estados. Para tanto, será analisada a necessidade de cada estado individualmente, determinando assim a quantidade de suprimento (Q), estoque de segurança (E_s) e ponto de pedido (PP) para cada um. Posteriormente será calculado Q , $E_{máx}$, $E_{méd}$ e E_s para o centro de distribuição.

Amazonas

A análise para o estado do Amazonas será dividida entre os produtos MO0021, MO0091 e MO1401. Os dados individuais para cada um dos produtos estão apresentados na Tabela 52.

Tabela 52: Cálculos para o Amazonas

Parâmetro	MO0021	MO0091	MO1401
Q	912	1084	853
E_s	1854	1462	2030
PP	2871	2346	2733

São Paulo

A análise para o estado de São Paulo será dividida entre os produtos MO0021, MO0091 e MO1401. Como para São Paulo não será utilizado o Centro de Distribuição, será considerado apenas a quantidade de ressuprimento a ser enviada para o mercado, uma vez que não é necessário estoque de segurança e ponto de pedido para o centro de distribuição. Os dados individuais para cada um dos produtos estão apresentados na Tabela 53.

Tabela 53: Quantidade de Ressuprimento para São Paulo

Parametro	MO0021	MO0091	MO1401
Q	444	1445	635

Tocantins

A análise para o estado do Tocantins será dividida entre os produtos MO0021, MO0091 e MO1401. Os dados individuais para cada um dos produtos estão apresentados na Tabela 54.

Tabela 54: Cálculos para Tocantins

Parâmetro	MO0021	MO0091	MO1401
Q	977	1230	1495
E_s	3195	2811	5475
PP	3798	3398	6591

Parâmetros para o Centro de Distribuição

Tendo todos os parâmetros de Quantidade de Suprimento, Estoque de Segurança e Ponto de Pedido definidos para as três regiões, pode-se determinar os valores necessários para o Centro de Distribuição pela soma simples de todos os parâmetros. Dessa forma, tem-se os valores de estoque apresentados na Tabela 55.

Tabela 55: Parâmetros para o Centro de Distribuição

Parâmetro	MO0021	MO0091	MO1401
Q	1889	2314	2348
E_s	5049	4273	7505
PP	6669	5744	9324
$E_{máx}$	6938	6587	9853
$E_{méd}$	5994	5430	8679

O gráfico que apresenta os parâmetros de estoque para o produto MO0021 está apresentado na Figura 38

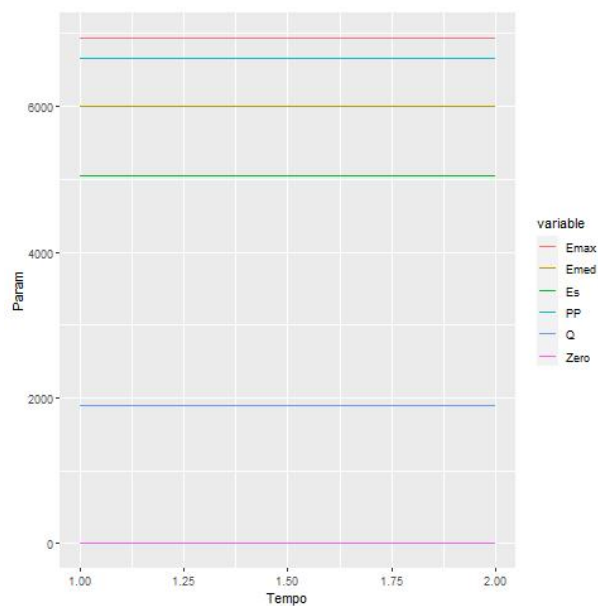


Figura 38: Parâmetros de Inventário do Produto MO0021

O gráfico que apresenta os parâmetros de estoque para o produto MO0091 está apresentado na Figura 39

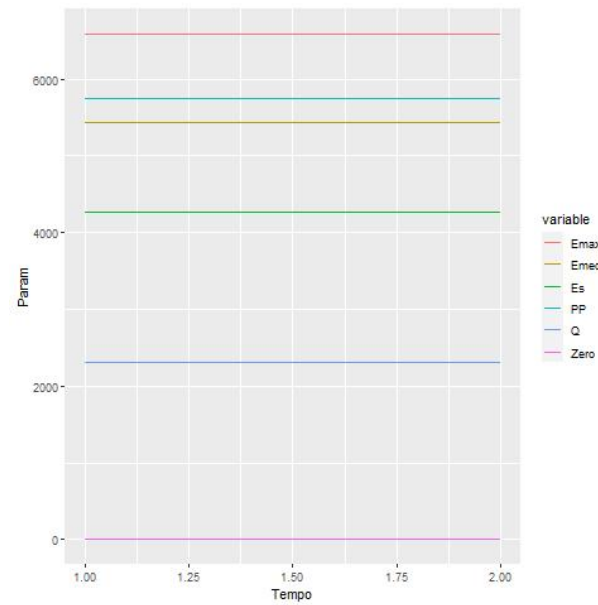


Figura 39: Parâmetros de Inventário do Produto MO0091

O gráfico que apresenta os parâmetros de estoque para o produto MO1401 está apresentado na Figura 40

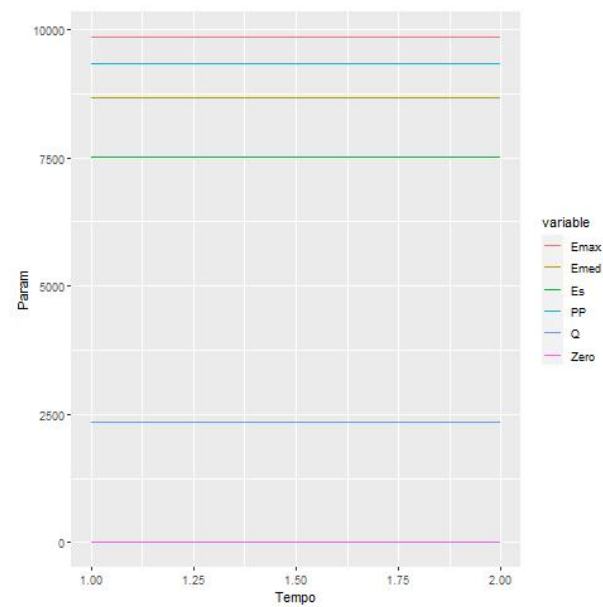


Figura 40: Parâmetros de Inventário do Produto MO1401

8 Custos Logísticos

Aqui serão apresentados os custos logísticos: (1) de frete; (2) de estoque; (3) de estoque em trânsito; e (4) de armazenagem. Juntamente, será calculado o faturamento previsto e, por fim, quanto o custo logístico representa deste total.

Custo de Frete

O custo de frete foi previamente calculado para determinar a rota utilizada para as entregas. Desse modo, o valor do custo de frete é de R\$154,295 ao mês.

Custo de Estoque

Working on it :)

Custo de Estoque em Trânsito

Working on it :)

Custo de Armazenagem

Working on it :)

9 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, além de definir o melhor nível de serviço e parâmetros de estoques.

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.

Também foram encontrados os níveis de serviço e parâmetros de estoque de forma independente para cada mercado consumidor e de forma unificada para o Centro de Distribuição. Os resultados obtidos se mostram coerentes para atender a demanda necessária com o nível de serviço exigido.

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

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; COOPER, M. B. **Administración y logística en la cadena de suministros**. [S. l.]: McGraw Hill, 2005.

CHRISTOPHER, M. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: Estratégias para a redução de custos e melhoria dos serviços**. [S. l.]: Pioneira, 1997.

HYNDMAN, R. J.; ATHANASOPOULOS, G. **Forecasting: Principles and practice**. [S. l.]: Melbourne, Australia, 2018.

JACOBS, W. **Modelos de suavização exponencial, arima e redes neurais artificiais: Um estudo comparativo para a previsão de demanda de produtos**. 2011. Master's thesis – UNIVATES, Lajeado, 2011.

KHASHEI, M.; BIJARI, M. An artificial neural network (p, d, q) model for timeseries forecasting. **Expert Systems with Applications**, vol. 37, no. 1, p. 479-789-86, 2010.

MARCHESINI, M. M. P.; ALCÂNTARA, R. L. C. Conceituando o serviço logístico e seus elementos. **Revista Ciência & Tecnologia**, vol. 17, no. 33, p. 65–86, 2012.

TEIXEIRA, J. A. J. **Metodologia para implementação de um sistema de gestão de estoques baseado em previsão de demanda**. 2004. Master's thesis – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

VERÍSSIMO, A. J.; ALVES, C. C.; HENNING, E.; AMARAL, C. E. do; CRUZ, A. C. da. Métodos estatísticos de suavização exponencial holt-winters para previsão de demanda em uma empresa do setor metal mecânico. **Revista Gestão Industrial**, vol. 8, no. 4, p. 154–171, 2013.

WATERS, C. D. J. **Logistics: An introduction to supply chain management**. [S. l.]: Red Globe Press, 2019.