

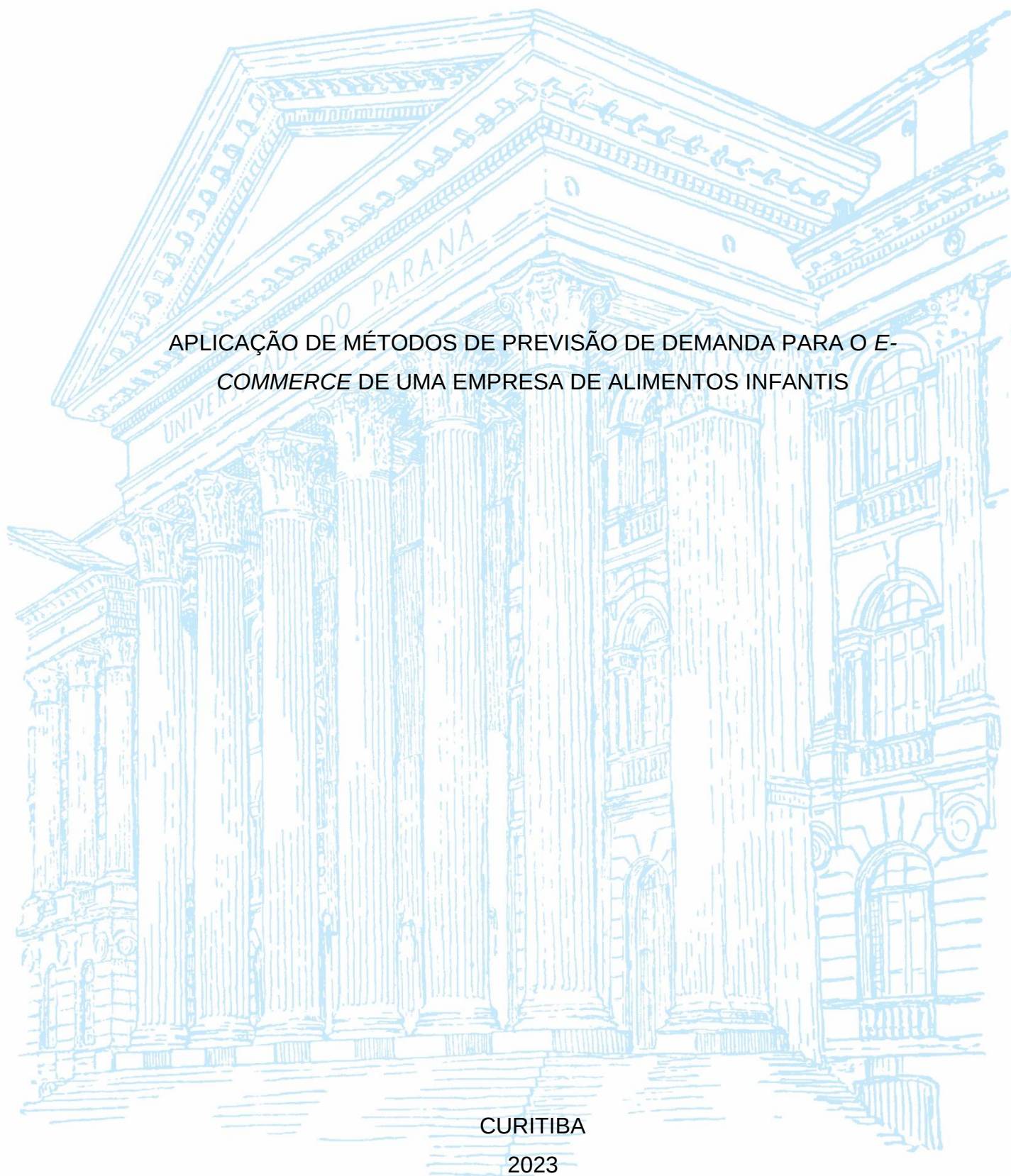
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MICHEL TANIGUCHI ABAGGE

APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE PREVISÃO DE DEMANDA PARA O E-COMMERCE DE UMA EMPRESA DE ALIMENTOS INFANTIS

CURITIBA

2023



MICHEL TANIGUCHI ABAGGE

APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE PREVISÃO DE DEMANDA PARA O E-
COMMERCE DE UMA EMPRESA DE ALIMENTOS INFANTIS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia de Produção, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientadora: Profa. Dra. Mariana Kleina

CURITIBA

2023

Dedico este trabalho a todos que estiveram ao meu lado até aqui e ao esforço e dedicação despendidos para o meu crescimento pessoal e profissional ao longo desse caminho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que me proporcionaram a oportunidade de me tornar alguém melhor, especialmente à minha família, que não mediu esforços para me propiciar tudo ao seu alcance, à minha namorada, Júlia, pela paciência, dedicação e apoio em todos os momentos, aos meus amigos, pelo companheirismo durante todo esse tempo e aos meus companheiros de trabalho, em especial meu supervisor, Leonardo, por proporcionar conhecimentos e experiência inestimável.

Agradeço à professora Dra. Mariana Kleina pela atenção, dedicação e respeito em sua orientação e no desenvolvimento de suas atividades docentes.

Por fim, agradeço a todos que, acima de tudo, trouxeram desde as mais valiosas até as mais simples lições que serviram à construção da pessoa que sou hoje.

“Você não está empurrando com mais força do que durante a primeira rotação, mas o volante gira cada vez mais rápido. Cada volta do volante se baseia no trabalho feito anteriormente, multiplicando o esforço investido”. (JIM COLLINS)

RESUMO

O mercado de produtos alimentícios vem sofrendo grandes mudanças nos últimos anos, desde a busca por alimentos mais saudáveis e de marcas mais ligadas a seus consumidores até os diferentes meios pelos quais os alimentos chegam até eles. Dentro desse contexto inclui-se a ascensão do varejo virtual e, com isso, o desafio de entregar ao cliente sempre uma experiência perfeita. Por essa razão, a previsão de demanda é essencial para manter o cliente satisfeito e a empresa em boas condições financeiras e com uma boa reputação. Esse trabalho avalia os resultados da aplicação dos modelos de média móvel simples, Holt e Holt-Winters para a previsão de demanda do setor de *e-commerce* de uma recém-chegada empresa de alimentos infantis brasileira. Os métodos foram implementados e comparados no ambiente do software MS-Excel® em função da raiz quadrada do erro quadrático médio em um conjunto de dados de vendas. O modelo de Holt-Winters obteve o menor erro, com um valor percentual próximo dos 7%, porém discutiu-se também o erro da previsão e a aplicabilidade dos métodos no contexto e dia a dia da empresa.

Palavras-chave: Previsão de demanda, séries temporais, *e-commerce*, Holt, Holt-Winters, média móvel.

ABSTRACT

The food industry has undergone major changes in recent years, from the search for healthier foods and brands more connected to their consumers to the different means by which foods reach them. Within this context, the growth of virtual retail brings along the challenge of consistently delivering an ideal experience to the customer. For this reason, demand forecasting is essential for keeping the customer satisfied and the company in good financial condition and reputation. This study evaluates the results of the application of the simple moving average, Holt, and Holt-Winters models for demand forecasting in the e-commerce sector of a newly arrived Brazilian baby food company. The methods were implemented and compared in the MS-Excel® software environment based on the root mean square error in a sales data set. The Holt-Winters model had the lowest error, with a percentage value close to 7%, but the prediction error and the applicability of the methods in the context and daily life of the company were also discussed.

Keywords: Demand forecasting, time series, *e-commerce*, Holt, Holt-Winters, moving average.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ESTACIONARIEDADE	13
FIGURA 2 - TENDÊNCIA E SAZONALIDADE	14
FIGURA 3 – PLANILHA BASE	22
FIGURA 4 – OTIMIZAÇÃO DOS PARÂMETROS PARA O MÉTODO DE SUAVIZAÇÃO EXPONENCIAL DUPLA.....	23
FIGURA 5 – FLUXOGRAMA DO MÉTODO.....	23
FIGURA 6 – DADOS HISTÓRICOS DE VENDAS POR SEMANA	24
FIGURA 7 – MODELO DE PREVISÃO DE DEMANDA PARA O MÉTODO DE MÉDIA MÓVEL SIMPLES.....	26
FIGURA 8 – MODELO DE PREVISÃO DE DEMANDA PARA O MÉTODO DE SUAVIZAÇÃO EXPONENCIAL DUPLA (HOLT).....	27
FIGURA 9– MODELO DE PREVISÃO DE DEMANDA PARA O MÉTODO DE SUAVIZAÇÃO EXPONENCIAL TRIPLA (HOLT-WINTERS) PARA 3 PERÍODOS	28
FIGURA 10 – MODELO DE PREVISÃO DE DEMANDA PARA O MÉTODO DE SUAVIZAÇÃO EXPONENCIAL TRIPLA (HOLT-WINTERS) PARA 4 PERÍODOS	28
FIGURA 11 – GRÁFICO COMPARATIVO DOS RESULTADOS OBTIDOS, SEMANA 1 A SEMANA 92.....	29
FIGURA 12 - COMPARATIVO RMSE.....	30

LISTA DE TABELAS

TABELA 1– RMSE CALCULADO PARA O MÉTODO DE MÉDIA MÓVEL SIMPLES	26
TABELA 2 – PARÂMETROS PARA O MÉTODO DE HOLT	26
TABELA 3 - PARÂMETROS PARA O MÉTODO DE HOLT-WINTERS PARA 3 PERÍODOS	27
TABELA 4 - PARÂMETROS PARA O MÉTODO DE HOLT-WINTERS PARA 4 PERÍODOS	28
TABELA 5 – RMSE CALCULADO PARA O MÉTODO DE SUAVIZAÇÃO EXPONENCIAL TRIPLA (HOLT-WINTERS).....	29

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	8
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 JUSTIFICATIVA	11
1.2 OBJETIVOS	12
1.2.1 Objetivo geral	12
1.2.2 Objetivos específicos.....	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 SÉRIES TEMPORAIS	13
2.2 PREVISÃO DE DEMANDA	14
2.2.1 MÉTODOS DE PREVISÃO UTILIZANDO SÉRIES TEMPORAIS.....	14
2.2.2 MÉDIAS MÓVEIS.....	15
2.2.3 MÉTODO DE SUAVIZAÇÃO SIMPLES	16
2.2.4 MÉTODO DE SUAVIZAÇÃO EXPONENCIAL DUPLA (HOLT)	16
2.2.5 MÉTODO DE SUAVIZAÇÃO EXPONENCIAL TRIPLA (HOLT-WINTERS)	17
2.3 MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO	18
3 METODOLOGIA	21
4 RESULTADOS.....	24
4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	25
4.2 MÉDIA MÓVEL SIMPLES	25
4.3 SUAVIZAÇÃO EXPONENCIAL DUPLA (HOLT)	26
4.4 SUAVIZAÇÃO EXPONENCIAL TRIPLA (HOLT-WINTERS).....	27
4.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	29
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
REFERÊNCIAS.....	32

1 INTRODUÇÃO

O setor de produtos alimentícios é bastante extenso no Brasil, porém no ramo de alimentos infantis o mercado é limitado à uma oligarquia de grandes *players* multinacionais que dominam o mercado e ditam as regras há muito tempo. Os novos participantes do mercado têm o objetivo de se fortalecerem como soluções saudáveis e práticas para os consumidores, trazendo inovação para um setor que viu poucas mudanças nos últimos anos no contexto nacional. Desta forma, tem se destacado muito o varejo virtual, onde as marcas podem estabelecer um vínculo mais próximo ao seu consumidor, gerar recorrência, confiança e ainda obter preciosos dados sobre seu comportamento.

A empresa objeto deste estudo se encontra exatamente neste contexto, buscando seu espaço entre os grandes *players* no mercado, ao mesmo tempo que cria sua identidade e dirige grande parte de seus esforços para tornar seu *e-commerce* o principal canal de vendas.

Para que a empresa tenha condições de se planejar e crescer nos próximos semestres, um dos grandes desafios está justamente na gestão de estoques, já que os produtos alimentícios possuem prazos de validade e a maior parte do portfólio provem de importações, incorrendo em grandes períodos de espera entre a solicitação de produção aos fornecedores e a chegada dos produtos nos depósitos.

Por isso, pretende-se realizar a previsão de demanda do *e-commerce* da empresa, para que esta possa obter o melhor planejamento de estoques possível para atender a crescente demanda por seus produtos.

1.1 JUSTIFICATIVA

O varejo virtual atrai cada vez mais consumidores e com a pandemia do Covid-19 as vendas por este canal se tornaram ainda mais fortes. Segundo Beserra (2021), o *e-commerce* no Brasil cresceu mais de 40% e cerca de 7 milhões de brasileiros efetuaram compras online pela primeira vez. Em muitos setores o principal meio de comercialização de produtos é o canal digital e, no ramo alimentício, isso não é diferente.

Por outro lado, a urgência e exigência dos consumidores aumentam no contexto digital quando comparado ao físico, demandando que a cadeia de suprimentos seja eficiente desde o recebimento do pedido até a entrega.

Dessa forma, observa-se a necessidade de proporcionar a melhor experiência possível ao cliente, depositando na empresa a importante tarefa de buscar soluções ágeis e eficazes para sua cadeia de suprimentos, a qual passa principalmente pela assertividade e eficiência na gestão de seus estoques. Para isso a previsão de demanda é um dos instrumentos mais cruciais para apoiar o planejamento dos estoques.

1.2 OBJETIVOS

Visto o contexto delineado, aqui são apresentados os objetivos deste trabalho.

1.2.1 Objetivo geral

Fornecer uma previsão de demanda semanal por meio dos métodos de média móvel, Holt e Holt-Winters no intervalo de janeiro de 2021 a julho de 2022, de modo que a empresa tenha uma melhor visibilidade e planejamento a respeito do comportamento de suas vendas no futuro.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar a previsão de demanda semanal utilizando os métodos de média móvel, Holt e Holt- Winters com a ajuda do software MS-Excel® e suas ferramentas de análise.
- Comparar a utilização dos métodos a fim de determinar qual melhor se adapta a situação proposta por meio do cálculo do erro.
- Prover uma metodologia de fácil implementação e acompanhamento para auxílio na rotina de planejamento e previsão de demanda.

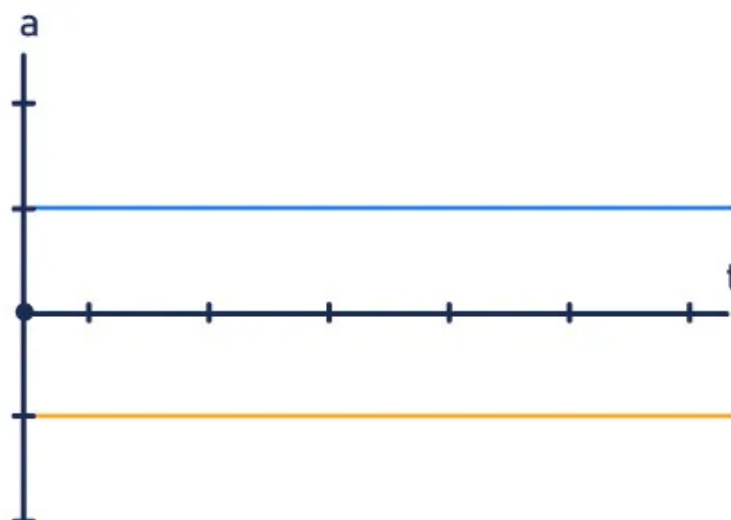
2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo serão abordadas as ferramentas utilizadas no desenvolvimento do trabalho: primeiramente a apresentação de algumas técnicas de previsão de demanda e posteriormente as métricas para avaliá-las.

2.1 SÉRIES TEMPORAIS

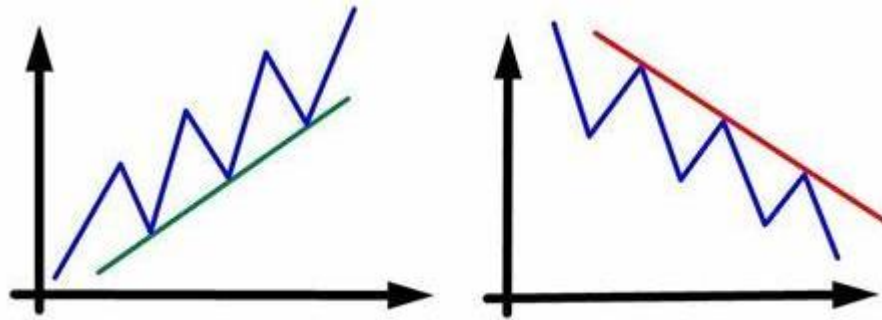
Uma série temporal é uma coleção de observações feitas sequencialmente ao longo do tempo, a qual pode ser analisada para extrair informações e características que nortearão os métodos de previsão, são elas: estacionariedade, tendência e sazonalidade. A tendência ocorre quando a série apresenta um comportamento ascendente ou descendente por um período de tempo (PELLEGRINI e FOLIATTO, 2001). A característica sazonal ocorre quando ciclos de variação se repetem em intervalos relativamente constantes de tempo, formando padrões. Por fim, a estacionariedade se refere à quando a série não apresenta variações, tendências ou padrões, ou seja, a série permanece estacionária (PELLEGRINI e FOLIATTO, 2001). A estacionariedade pode ser observada na FIGURA 1, já a tendência é demonstrada pela linha vermelha e verde, assim como a sazonalidade é demonstrada pela linha azul na FIGURA 2.

FIGURA 1 - ESTACIONARIEDADE



Fonte: Autor (2023)

FIGURA 2 - TENDÊNCIA E SAZONALIDADE



Fonte: Autor (2023)

2.2 PREVISÃO DE DEMANDA

Os modelos de previsão são métodos que nos permitem estimar valores futuros, por meios de procedimentos qualitativos ou quantitativos (SAMOHYL, SOUZA, MIRANDA, 2008). A previsão de demanda é um instrumento extremamente poderoso na gestão de estoques e controle de custos nas empresas, pois com o uso deste instrumento consegue-se, segundo Furtado (2007), antecipar cenários futuros para planejar, alocar e dimensionar recursos de modo a tentar reduzir gastos desnecessários com decisões equivocadas.

Muitas vezes os gestores julgam-se capazes de realizar previsões precisas utilizando-se da experiência e conhecimentos adquiridos ao longo da carreira. Porém, a escolha de um método já delineado, testado e comprovado se mostra muito mais assertivo e confiável. Entretanto, além de possuir uma metodologia em mãos, é de suma importância escolher o método que melhor se alinha com o propósito esperado de sua aplicação.

2.2.1 MÉTODOS DE PREVISÃO UTILIZANDO SÉRIES TEMPORAIS

De acordo com Ehlers (2005), uma série temporal consiste na coleção de observações feitas sequencialmente ao longo do tempo. As séries temporais podem providenciar informações e *insights* relevantes para as empresas, pois ao serem estruturalmente analisadas é possível identificar padrões, tendências, ciclos, comportamentos e discrepâncias.

2.2.2 MÉDIAS MÓVEIS

Segundo Morettin e Toloí (2004) a denominação de média móvel simples é dada pelo princípio de que a cada espaço de tempo a última observação será utilizada para substituir sua antecessora. O método das médias móveis é considerado um método simples de ser aplicado e, de acordo com Ragsdale (2010), um dos mais simples, dessa forma, pode-se obter um método comparativo de fácil compreensão que auxilie no processo de entendimento e desenvolvimento dos métodos de Holt e Holt-Winters.

A média móvel consiste basicamente em filtrar uma série de dados e retirar a sua média aritmética. O processo de filtragem se baseia em escolher uma amplitude para os períodos que serão analisados e assim poder estimar o próximo componente desta série. À medida que a amplitude se movimenta, os dados mais antigos são substituídos pelos mais recentes e, eventualmente, pelas próprias previsões realizadas.

Para calcular a média móvel simples utiliza-se a equação (1):

$$P_{t+1} = \frac{\sum R_t}{n} \quad (1)$$

Onde $P_t + 1$ representa a média móvel no período que vai de t até n e a previsão para o próximo período; R_t é o valor observado no período t ; e n é o número de períodos considerados na média móvel. Morettin e Toloí (2004) observaram que o tamanho escolhido para n será influenciador do comportamento do método, sendo inversamente proporcional à velocidade das variações durante o intervalo de tempo estudado. Porém, como menciona Moreira (2011), dependendo do valor atribuído para n , a média móvel simples pode ocultar sazonalidades na série de dados.

A falta de precisão quando se trata de sazonalidades e tendências nas séries é o principal problema na utilização do método das médias móveis, sendo recomendado para séries de dados estacionárias, onde a complexidade em definir o n é menor. Apesar desta notória desvantagem, o método é muito flexível para pequenas amostras e, devido à sua simplicidade e fácil compreensão, se torna um forte aliado por sua aplicabilidade no dia a dia e para séries de dados menos complexas.

2.2.3 MÉTODO DE SUAVIZAÇÃO SIMPLES

A suavização exponencial simples proposta por (BROWN, 1959) pode ser usada para a previsão de valores futuros da série que possuem um comportamento estacionário, ou seja, aquele em que os valores da série flutuam aleatoriamente em torno de um valor fixo, sem apresentar qualquer tendência. Sua representação matemática vem dada por (MAKRIDAKIS, WHEELWRIGHT e HYNDMAN, 1998).

$$Y_{t+1} = \alpha Y_t + (1 - \alpha)Y_t \quad (2)$$

Onde:

Y_{t+n} : a previsão para o período de tempo $t + n$

α : parâmetro de suavização

$(0 \leq \alpha \leq 1)$

2.2.4 MÉTODO DE SUAVIZAÇÃO EXPONENCIAL DUPLA (HOLT)

O método de suavização exponencial dupla (também conhecido como método de Holt) é, em geral, uma ferramenta eficaz de previsão para dados por série temporal que exibem uma tendência linear. Foi desenvolvido por Holt, em 1957, que ampliou a suavização exponencial simples para dados de séries temporais que apresentam tendência linear. Este método oferece refinamentos adicionais na modelagem, à medida que introduz uma constante de suavização que afeta a tendência da série. A função de previsão do método de Holt é representada pela equação (3).

$$Y_{t+n} = L_t + nT_t \quad (3)$$

Onde:

Y_{t+n} : a previsão para o período de tempo $t + n$

L_t : nível no tempo t

T_t : tendência no tempo t

O método desenvolvido por Holt recorre à utilização dos parâmetros α e β denominadas constantes de suavização. Nesse método, além da equação (2) que calcula a previsão, duas outras funções são utilizadas para estimar o nível e a tendência da série temporal, conforme equações (4) e (5), respectivamente.

$$L_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (4)$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (5)$$

Onde:

α : parâmetro de suavização para o nível

β : parâmetro de suavização para o crescimento

$(0 \leq \alpha, \beta \leq 1)$

2.2.5 MÉTODO DE SUAUIZAÇÃO EXPONENCIAL TRIPLA (HOLT-WINTERS)

Conhecido também como alisamento exponencial ou suavização exponencial tripla, o método de Holt- Winters deriva de uma expansão desenvolvida por Winters em 1960 do método de Holt de 1957. Sua aplicação às séries temporais é amplamente utilizada devido, principalmente, à capacidade do método em considerar tendências e sazonalidades nas séries de dados, mas também pela sua simplicidade, baixo custo de operacionalização, precisão e ajustamento rápido e automático às mudanças nas séries de dados.

Existem dois tipos de sazonalidades abrangidas pelo método, a sazonalidade aditiva e a multiplicativa. Samohyl, Souza e Miranda (2008) demonstram que se pode obter as previsões para sazonalidades aditivas por meio das equações (6), (7) e (8), e para sazonalidade multiplicativa com as equações (9), (10), (11) e (12).

$$L_t = \alpha(O_t - S_t - m) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (6)$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (7)$$

$$s_t = \gamma(O_t - L_{t-1} - T_{t-1}) + (1 - \gamma)s_{t-m} \quad (8)$$

$$L_t = \alpha \left(\frac{O_t}{s_{t-m}} \right) + (1 + \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (9)$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (10)$$

$$s_t = \gamma \left(\frac{O_t}{L_{t-1} + T_{t-1}} \right) + (1 + \gamma)s_{t-m} \quad (11)$$

$$P_{t+k} = (L_t + kT_t)s_{t-m+k} \quad (12)$$

Onde:

L_t : nível no tempo t

T_t : crescimento no tempo t

s_t : sazonalidade no tempo t

O_t : Valor observado no tempo t

α : parâmetro de suavização para o nível

β : parâmetro de suavização para o crescimento

γ : parâmetro de suavização para a sazonalidade

P_{t+k} : previsão para o período $t + k$

m : ciclo sazonal

$(0 \leq \alpha, \beta, \gamma \leq 1)$

2.3 MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

As empresas têm, cada vez mais, adotado a prática de construir previsões de demanda para seus produtos, constituindo uma ação de extrema importância na formação de seus estoques, planejamento de compras, controle de caixa, decisões de investimentos, entre outros processos decisórios cruciais para o negócio. Por isso, a utilização de métodos estatísticos de previsão de demanda deve estar aliada a um método efetivo de monitoramento e avaliação do desempenho da sua aplicação, a fim de comprovar a real eficácia do método, evitando que os dados avaliados levem a decisões equivocadas.

Existem inúmeras medidas quantitativas que monitoram o desempenho e otimização de uma série de dados, mas as mais formais consistem na medição do erro médio (ME) e do erro médio absoluto, também conhecido como desvio médio absoluto (MAE). Estas duas medidas se baseiam na avaliação da diferença entre o valor previsto e o valor real observado na série de dados.

Para um período de tempo que vai de 1 até n , o erro de previsão se dá pela equação (13).

$$e_t = y_t - y_{t-1} \quad (13)$$

Onde t é o instante de tempo observado e y_{t-1} é a previsão de y_t estabelecida em um período anterior.

Tendo em vista o cálculo do erro tem-se então o cálculo do erro médio, dado pela equação (14).

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t \quad (14)$$

E do erro médio absoluto, dado pela equação (15).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |e_t| \quad (15)$$

As duas medidas são muito utilizadas, porém ainda há uma medida de erro mais assertiva. O RMSE, ou, Raiz do Erro Quadrático Médio (da sigla em inglês *Root Mean Squared Error*), é uma equação mais sensível à erros maiores, portanto sendo mais precisa na medida do erro geral do modelo. O cálculo deste erro é dado pela equação (16).

$$RMSE = \sqrt{\sum_{t=1}^n \frac{(e_t)^2}{n}} \quad (16)$$

A adoção do cálculo da Raiz do Erro Quadrático Médio, proporcionará não só uma validação do método estatístico escolhido, como também seu desempenho e assertividade, além de demonstrar qual método melhor se aplica à determinada série de dados.

Outra etapa fundamental na avaliação dos resultados é a otimização dos parâmetros dos métodos. Os parâmetros são constantes que norteiam as equações dos métodos de suavização, ou seja, o valor destas constantes altera significativamente o comportamento e os resultados de todos os métodos de suavização exponencial propostos, sendo assim, o ajuste dos parâmetros é o que possibilita que o método de previsão tenha um comportamento mais próximo ao comportamento dos dados a serem analisados, assim como, que suas previsões estejam alinhadas com o modelo proposto. Dessa forma, entende-se como imprescindível a análise destes parâmetros, de modo que estes adequem-se a previsão da melhor maneira possível.

3 METODOLOGIA

Para o objeto deste trabalho, a aplicação dos métodos de previsão de demanda de média móvel simples, Holt e Holt-Winters, propõem-se a utilização de fórmulas e planilhas construídas no *software* MS-Excel® com a finalidade de avaliar dados diários referentes às vendas realizadas no *e-commerce* da empresa estudada no período compreendido de janeiro de 2021 a julho de 2022.

A coleta dos dados considerou a relação da empresa com investidores externos e, devido à natureza confidencial e sensível dos dados, foi feita a descaracterização destes dados para que fossem utilizados no presente estudo. Como a aplicação do processo estatístico pode ser adaptada facilmente à série de dados desejada, não haverá prejuízos quanto a aplicabilidade do método.

A primeira etapa da pesquisa consistiu na busca e compilação dos dados extraídos do sistema da companhia. Após este processo, iniciou-se o pré-tratamento dos dados, facilitando a visualização e manipulação da base de dados para as etapas seguintes.

A segunda etapa objetivou a organização e construção da planilha base, demonstrada pela FIGURA 3 para a aplicação do método, priorizando o entendimento de como e quais os elementos e informações deveriam constar para que a aplicação do método fosse realizada.

A terceira etapa da pesquisa teve seu foco voltado para o tratamento e organização dos dados, simplificando as informações provenientes do sistema e agrupando-as com a finalidade de providenciarem apenas os dados necessários para a inclusão deles no processo de previsão.

FIGURA 3 – PLANILHA BASE

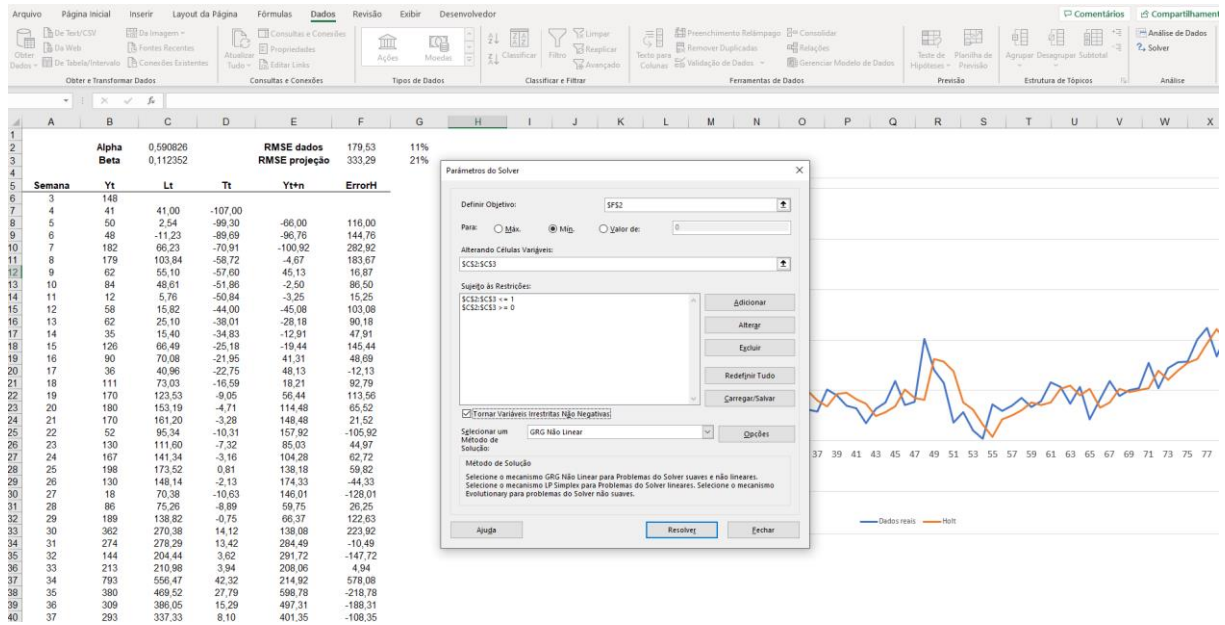
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	Data	Semana	Vendas			Rótulos de Linha	Soma de Vendas														
2	01/01/2021	1	0,00	1		1	0														
3	02/01/2021	1	0,00	1		2	5														
4	03/01/2021	2	0,00	2		3	148														
5	04/01/2021	2	0,00	2		4	41														
6	05/01/2021	2	0,00	2		5	50														
7	06/01/2021	2	0,00	2		6	48														
8	07/01/2021	2	0,00	2		7	182														
9	08/01/2021	2	5,00	2		8	179														
10	09/01/2021	2	0,00	2		9	62														
11	10/01/2021	3	0,00	3		10	84														
12	11/01/2021	3	0,00	3		11	12														
13	12/01/2021	3	0,00	3		12	58														
14	13/01/2021	3	8,00	3		13	62														
15	14/01/2021	3	100,00	3		14	35														
16	15/01/2021	3	28,00	3		15	126														
17	16/01/2021	3	12,00	3		16	90														
18	17/01/2021	4	0,00	4		17	36														
19	18/01/2021	4	0,00	4		18	111														
20	19/01/2021	4	5,00	4		19	170														
21	20/01/2021	4	36,00	4		20	180														
22	21/01/2021	4	0,00	4		21	170														
23	22/01/2021	4	0,00	4		22	52														
24	23/01/2021	4	0,00	4		23	130														
25	24/01/2021	5	0,00	5		24	167														
26	25/01/2021	5	20,00	5		25	198														
27	26/01/2021	5	0,00	5		26	130														
28	27/01/2021	5	5,00	5		27	18														
29	28/01/2021	5	5,00	5		28	86														
30	29/01/2021	5	20,00	5		29	189														
31	30/01/2021	5	0,00	5		30	362														
32	31/01/2021	6	0,00	6		31	274														
33	01/02/2021	6	24,00	6		32	144														
34	02/02/2021	6	24,00	6		33	213														
35	03/02/2021	6	0,00	6		34	793														
36	04/02/2021	6	0,00	6		35	380														
37	05/02/2021	6	0,00	6		36	309														
38	06/02/2021	6	0,00	6		37	293														
39	07/02/2021	7	35,00	7		38	510														
40	08/02/2021	7	15,00	7		39	452														

Fonte: Autor (2023)

Na quarta etapa, utilizando as diretamente as ferramentas e fórmulas na planilha do *software* MS-Excel®, os métodos de média móvel simples, suavização exponencial dupla e suavização exponencial tripla foram devidamente aplicados, monitorando os indicadores sugeridos.

Na quinta etapa, ajustou-se os parâmetros α , β e γ utilizando-se o *solver* para minimizar o erro quadrático médio, sob as restrições de que os parâmetros devem estar entre 0 e 1, conforme mostra a FIGURA 4 no exemplo para o método de Holt.

FIGURA 4 – OTIMIZAÇÃO DOS PARÂMETROS PARA O MÉTODO DE SUAVIZAÇÃO EXPONENCIAL DUPLA

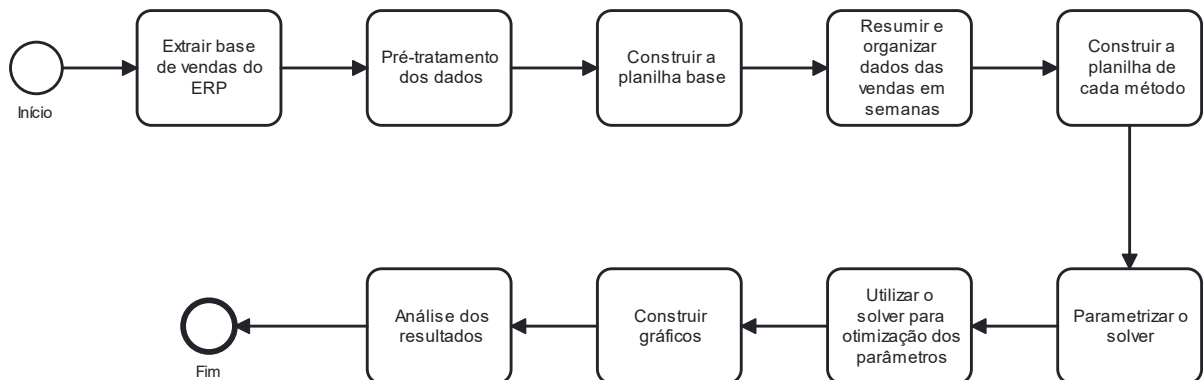


Fonte: Autor (2023)

Por fim, na sexta etapa, foram avaliados os resultados da aplicação dos métodos estatísticos, tendo como referência as métricas de desempenho selecionadas.

Afim de exemplificar a etapa metodológica, a FIGURA 5 traz um fluxograma das etapas a serem seguidas para aplicação do método proposto.

FIGURA 5 – FLUXOGRAMA DO MÉTODO

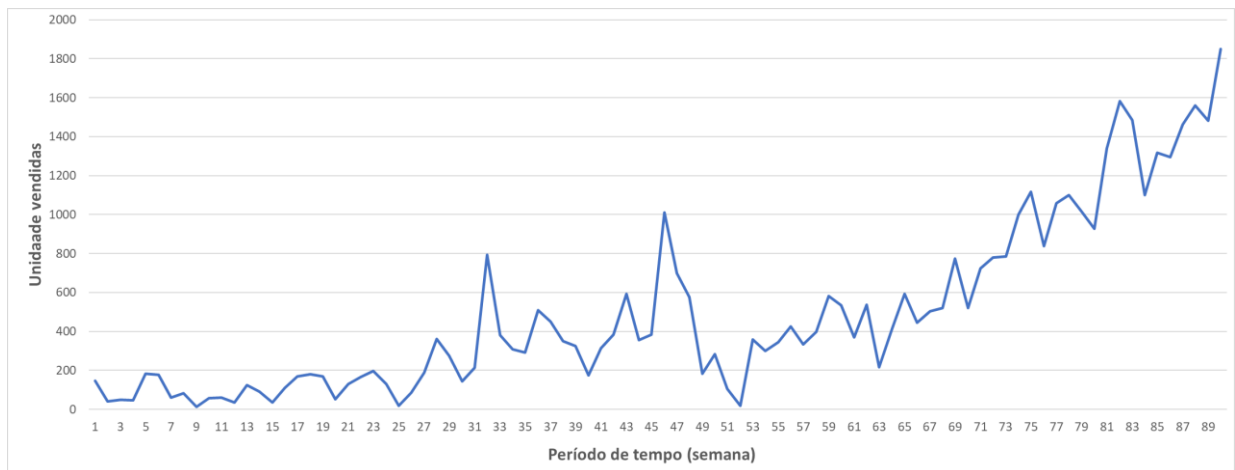


Fonte: Autor (2023)

4 RESULTADOS

O trabalho se desenvolveu com a utilização dos dados de vendas, em unidades, de um determinado produto durante o período de janeiro de 2021 a julho de 2022. Os dados foram organizados de forma semanal conforme o gráfico da FIGURA 6.

FIGURA 6 – DADOS HISTÓRICOS DE VENDAS POR SEMANA



Fonte: Autor (2023)

Observa-se que a série possui uma tendência crescente nas vendas ao longo do período, por isso, o estudo da suavização exponencial nesta base de dados tem mais chances de se adaptar e apresentar resultados positivos.

A análise da série previu a medição do RMSE com o objetivo de identificar qual método detinha o menor erro estatístico e, portanto, possuía o melhor ajuste aos dados históricos. A sistemática de modelagem para estabelecer as previsões de demanda neste trabalho envolveu a utilização de planilhas eletrônicas em ambiente MS-Excel® com o objetivo de selecionar o método de previsão mais apropriado, ou seja, o método capaz de prever acontecimentos futuros, tendo como propósito a redução de riscos na tomada de decisão.

Para isso, foi determinado o uso da cor azul para representar graficamente o conjunto de dados reais, a linha vertical amarela para demarcar o início do período de previsão e outras cores para representar os modelos preditivos, construindo-se 3 modelos de análise, um para cada método estatístico analisado.

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A primeira ressalva quanto ao conjunto de dados escolhido se refere a uma questão já pontuada anteriormente, mas que deve ser lembrada por ser de suma importância para a compreensão dos resultados.

O conjunto representa dados reais de venda de uma empresa ainda muito jovem e que apresenta crescimento acelerado principalmente no *e-commerce*, sendo assim, existem, sim, fatores externos que influenciam no comportamento dos dados e que não podem ser contabilizados por um modelo matemático. Portanto, durante a discussão dos resultados serão apresentados alguns destes fatores e como eles influenciaram nas decisões do trabalho e nos seus resultados.

Para os métodos descritos, foi escolhido um período de previsão de 8 períodos pois considerando o parâmetro de sazonalidade escolhido do segundo método, o agrupamento dos dados em semanas e um evento adverso ocorrido na 92 semana, este seria o período que teria o melhor retorno para observar a eficácia das previsões.

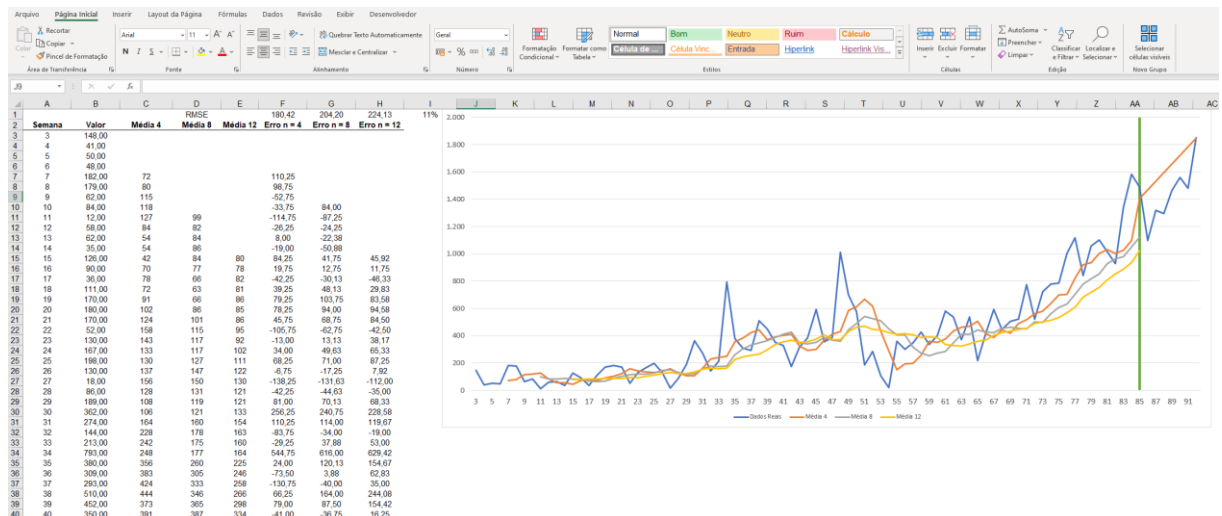
Finalmente, dado que o objetivo do trabalho era também avaliar a aplicabilidade dos métodos à realidade e ao dia a dia da empresa, as previsões foram também avaliadas contra os dados reais dos períodos previstos, a fim de avaliar sua eficácia também neste âmbito, porém a medida do erro da previsão, não influenciou na parametrização dos métodos e na otimização do modelo.

4.2 MÉDIA MÓVEL SIMPLES

O método de média móvel simples é o modelo de menor complexidade, necessitando apenas uma coluna para os dados históricos e outra para o cálculo da média. Foram comparadas as médias para 4, 8 e 12 períodos, definindo-se a de 4 períodos como a melhor opção dado que esta era a que registrava o menor RMSE.

Na FIGURA 7 consta o modelo construído para análise e na tabela 1, os resultados obtidos para o RMSE para os diferentes períodos testados.

FIGURA 7 – MODELO DE PREVISÃO DE DEMANDA PARA O MÉTODO DE MÉDIA MÓVEL SIMPLES



Fonte: Autor (2023)

TABELA 1– RMSE CALCULADO PARA O MÉTODO DE MÉDIA MÓVEL SIMPLES

Número de períodos	RMSE
4	180,42
8	204,20
12	224,13

Fonte: Autor (2023)

4.3 SUAVIZAÇÃO EXPONENCIAL DUPLA (HOLT)

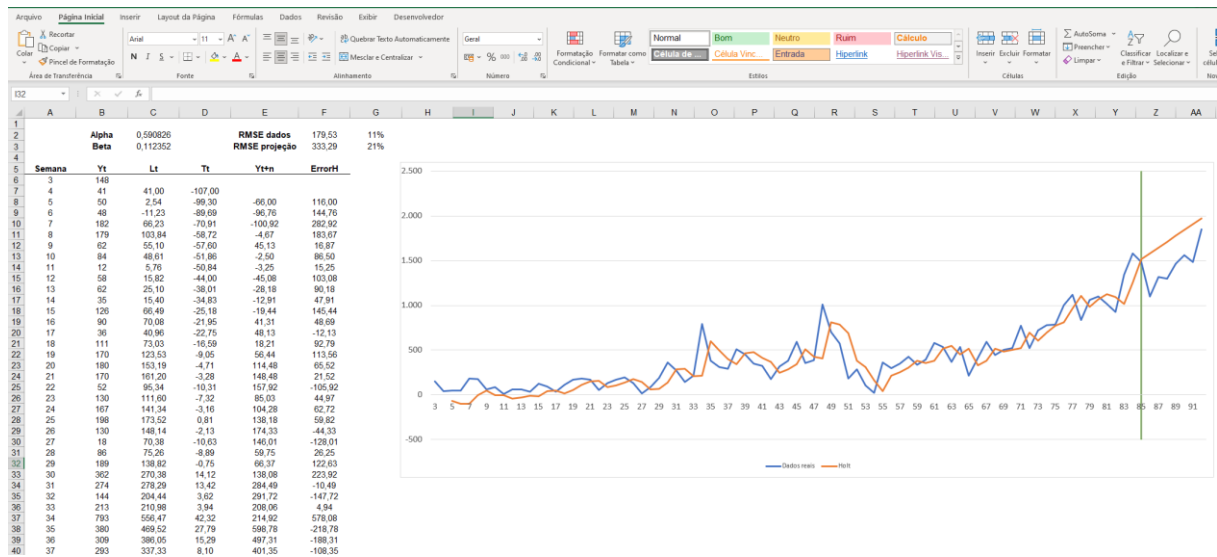
Para o método de Holt, as equações de nível, tendência e previsão foram construídas nas colunas “C”, “D” e “E”, respectivamente, e para otimização do modelo, os parâmetros α e β foram otimizados a fim de minimizar o RMSE, como mostra a tabela 2. Na FIGURA 8 consta o modelo construído para análise e o resultado para o RMSE obtido foi de 179,53.

TABELA 2 – PARÂMETROS PARA O MÉTODO DE HOLT

Parâmetros	Valor
α	0,590825595648266
β	0,112352369310016

Fonte: Autor (2023)

FIGURA 8 – MODELO DE PREVISÃO DE DEMANDA PARA O MÉTODO DE SUAVIZAÇÃO EXPONENCIAL DUPLA (HOLT)



Fonte: Autor (2023)

4.4 SUAVIZAÇÃO EXPONENCIAL TRIPLA (HOLT-WINTERS)

Para o método de Holt-Winters, as equações de nível, tendência, sazonalidade e previsão foram construídas nas colunas “D”, “E”, “F” e “G”, respectivamente. Para o método citado foram testadas duas sazonalidades diferentes, a de 3 períodos, demonstrada pela FIGURA 9, e a de 4 períodos, demonstrada na FIGURA 10. Seguiu-se o mesmo método de otimização dos parâmetros do caso anterior agora para os parâmetros α , β e γ , como mostram as tabelas 3 e 4, sendo que a que melhor se adaptou ao modelo e apresentou o menor RMSE foi a de 4 períodos, conforme a tabela 5.

TABELA 3 - PARÂMETROS PARA O MÉTODO DE HOLT-WINTERS PARA 3 PERÍODOS

Parâmetros	Valor
α	0,646351556773861
β	0,143193496326625
γ	0,0386666347947021

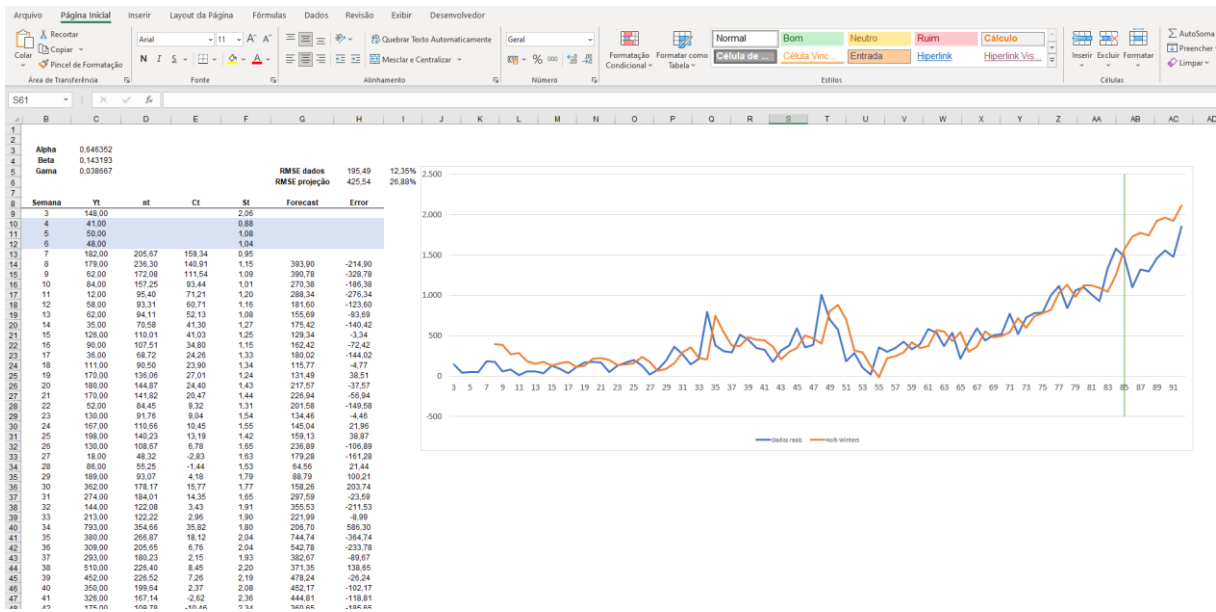
Fonte: Autor (2023)

TABELA 4 - PARÂMETROS PARA O MÉTODO DE HOLT-WINTERS PARA 4 PERÍODOS

Parâmetros	Valor
α	0,927923874649127
β	0,26710166803826
γ	0,374354634784301

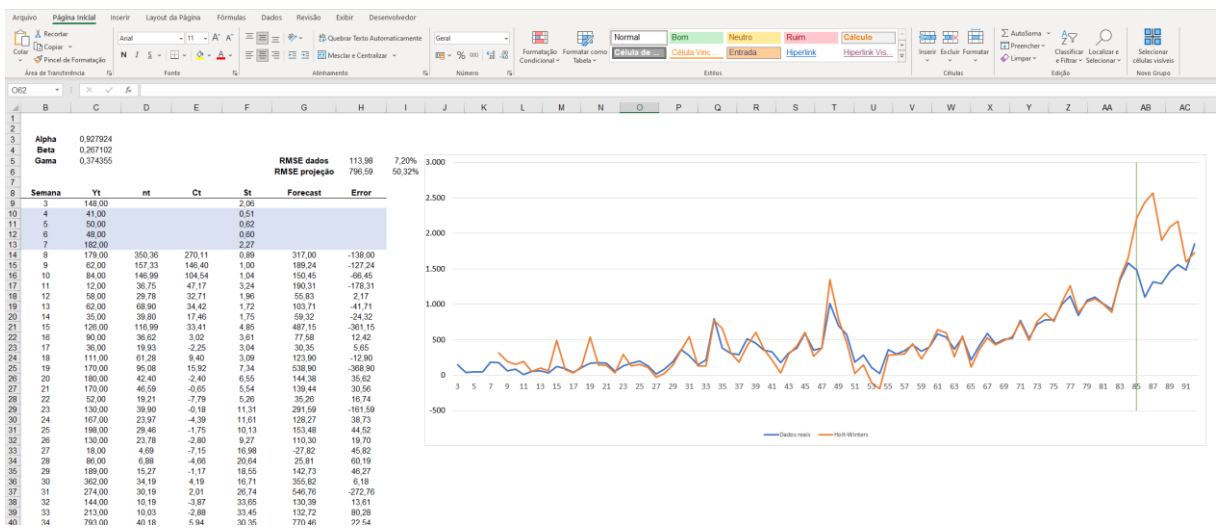
Fonte: Autor (2023)

FIGURA 9– MODELO DE PREVISÃO DE DEMANDA PARA O MÉTODO DE SUAUIZAÇÃO EXPONENCIAL TRIPLA (HOLT-WINTERS) PARA 3 PERÍODOS



Fonte: Autor (2023)

FIGURA 10 – MODELO DE PREVISÃO DE DEMANDA PARA O MÉTODO DE SUAUIZAÇÃO EXPONENCIAL TRIPLA (HOLT-WINTERS) PARA 4 PERÍODOS



Fonte: Autor (2023)

TABELA 5 – RMSE CALCULADO PARA O MÉTODO DE SUAVIZAÇÃO EXPONENCIAL TRIPLA (HOLT-WINTERS)

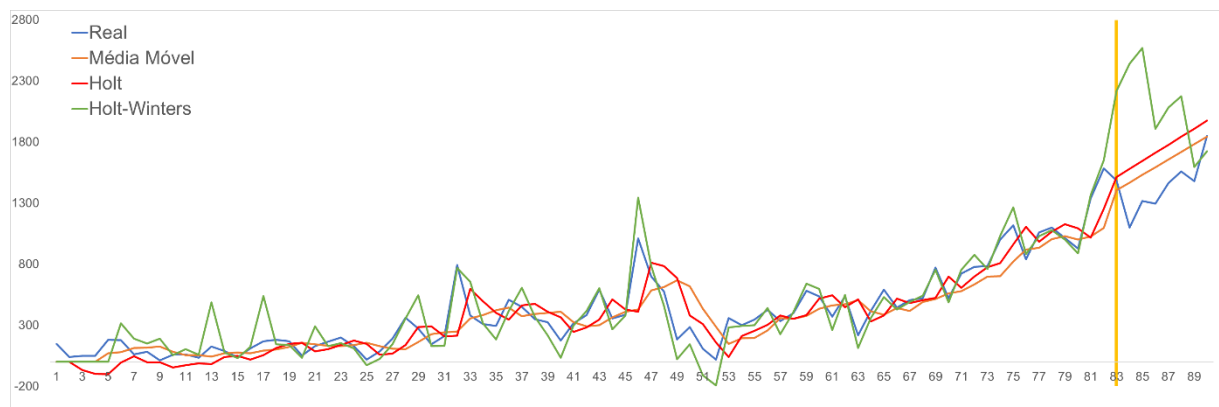
Número de períodos	RMSE
3	195,49
4	113,98

Fonte: Autor (2023)

4.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A FIGURA 11 apresenta graficamente, e de maneira comparativa, os resultados da aplicação dos métodos escolhidos: média móvel, Holt e Holt-Winters.

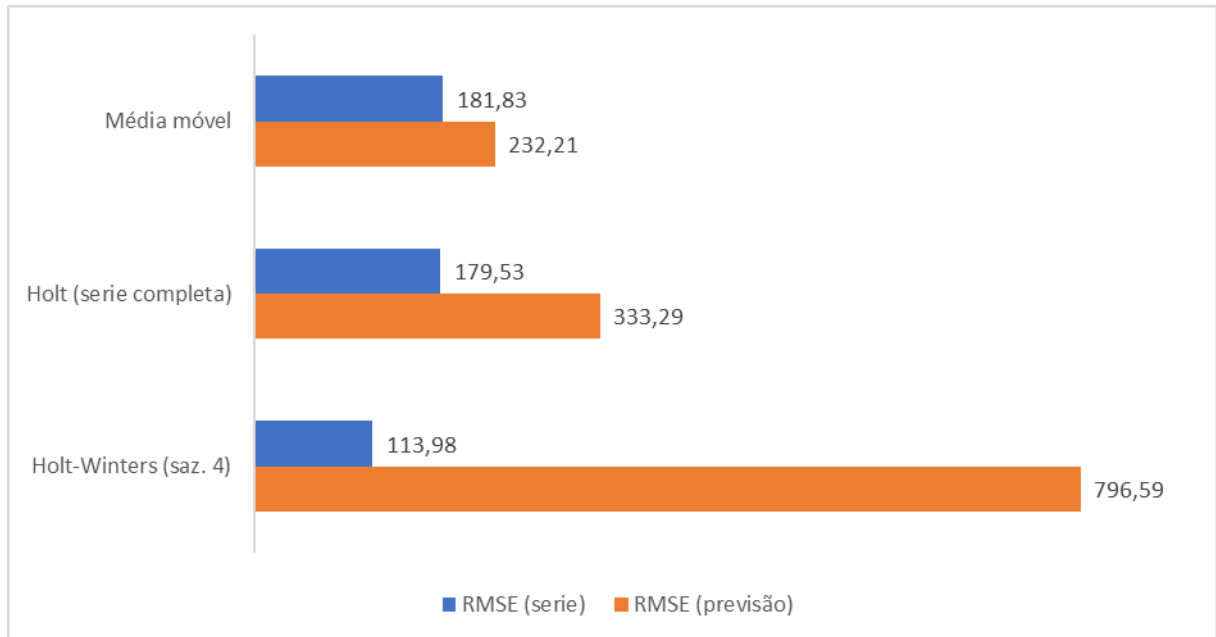
FIGURA 11 – GRÁFICO COMPARATIVO DOS RESULTADOS OBTIDOS, SEMANA 1 A SEMANA 92



Fonte: Autor (2023)

Tratando-se exclusivamente de resultados, a FIGURA 12 traz um comparativo entre as medidas de erro calculadas na aplicação dos 3 métodos escolhidos:

FIGURA 12 - COMPARATIVO RMSE



Fonte: Autor (2023)

Observa-se primeiramente que o modelo que melhor se ajustou ao conjunto de dados foi o método de Holt-Winters, possuindo o menor RMSE entre os 3 métodos. Ressalta-se que os erros obtidos são, à primeira vista, significativos, principalmente se avaliarmos os dados iniciais do conjunto, porém à medida que o final do período se aproxima, entende-se que o erro percentual não é suficientemente alto para invalidar a aplicabilidade do modelo.

Destaca-se também que apesar do RMSE do modelo ser menor, não significa que o modelo tenha maior capacidade de previsão, dado que o RMSE da previsão foi inversamente proporcional ao RMSE do método quando se comparam as situações, levando-se à conclusão de que um ajuste eficiente do modelo não necessariamente leva a uma previsão de demanda mais fidedigna.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal deste trabalho consistia em testar a aplicabilidade de métodos de previsão de demanda em um contexto real e verificar o potencial de utilização no dia a dia de uma empresa.

Os resultados demonstraram que o método de Holt-Winters teve uma performance significativamente superior à dos métodos de média móvel e Holt, possuindo um erro médio quase 60% menor. Apesar disso, mesmo possuindo o menor erro em relação aos demais, o método não apresentou resultados que poderiam ser utilizados com segurança pela empresa a fim de maximizar sua eficiência e eficácia na construção de suas previsões de demanda, pelo fato de o erro médio não ser suficientemente pequeno, mas principalmente pela análise da previsão, que apresentou um RMSE não satisfatório e uma tendência oposta aos outros métodos e aos dados reais.

Entende-se que os métodos não são capazes de superar a complexidade e as nuances do contexto em que as vendas da empresa estão inseridas. Outro fator complicador está na questão do pequeno horizonte de tempo que a empresa está inserida no mercado, limitando o histórico e fazendo com que estes dados apresentassem comportamentos não explicáveis por modelos puramente matemáticos.

Como sugestão para futuros trabalhos, nota-se a possibilidade de expandir o conceito de venda e aplicar métodos semelhantes, mas às componentes mais específicos que compõem o contexto de uma venda, ou seja, buscando aplicar modelos matemáticos a componentes da venda que tenham menos influência de fatores subjetivos e/ou não estatísticos. Outras ideias passíveis de serem exploradas são o estudo de variáveis correlacionadas às vendas, para então aplicar métodos de previsões à estas variáveis, e a utilização de algoritmos de inteligência artificial e *Machine Learning* a fim de identificar e ajustar os modelos ao comportamento dos dados.

REFERÊNCIAS

- BESERRA, A. L. E-commerce no ramo alimentício em tempos de pandemia da covid-19: perspectiva e reflexões. **XII FATECLOG-GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS NO AGRONEGÓCIO: DESAFIOS E OPORTUNIDADES NO CONTEXTO ATUAL**, Mogi das Cruzes, 2021.
- BROWN, R. G. **Statistical Forecasting for Inventory Control**. New York: McGraw-Hill, 1959.
- EHLERS, S. R. Análise de séries temporais, Curitiba, Novembro 2005.
- FURTADO, R. M. Aplicação de um modelo de previsão da demanda total nos credenciados Belgo Pronto, Juiz de Fora, Janeiro 2007. 32.
- MAKRIDAKIS, S.; WHEELWRIGHT, S.; HYNDMAN, R. J. **Forecasting Methods and Applications**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1998.
- MOREIRA, D. A. **Administração da Produção e Operações**. 2ª. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.
- MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. **Análise de Séries Temporais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2004.
- PELLEGRINI, F. R.; FOLIATTO, F. S. Passos para Implantação de Sistemas de Previsão de Demanda - Técnicas e Estudo de Caso. **Revista Produção**, 2001. v. 11, n. 1, p. 43-64.
- RAGSDALE, C. **Modelagem e Análise de Decisão**. [S.l.]: Cengage do Brasi, 2010.
- SAMOHYL, R. W.; SOUZA, G.; MIRANDA, R. **Métodos Simplificados de Previsão Empresarial**. Rio de janeiro: Ciência moderna, 2008.