

ABORDAGENS QUANTITATIVAS DE PREVISÃO DE DEMANDA APLICADAS A SISTEMAS EMERGENCIAIS NA ETAPA AGRÍCOLA DE USINAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

¹ Carolina Reis Gualberto; ¹ carolinareisgualberto@gmail.com; ¹ Universidade Federal de Ouro Preto;
² Beatriz Ferreira Gomes; ² beatrizgomesufop@gmail.com; ² Universidade Federal de Ouro Preto;
³ João Pedro Semedo; ³ semedo.joaopedro@outlook.com; ³ Universidade Federal de Ouro Preto.

RESUMO: A agroindústria canavieira constitui um importante ramo da agroindústria brasileira, tanto considerando a experiência histórica do Brasil no cultivo da cana-de-açúcar, quanto à posição de destaque que essa indústria ocupa atualmente no cenário mundial. Essa indústria vem enfrentando, nos últimos anos, grandes mudanças e desafios, tornando cada vez mais necessário utilizar métodos efetivos que apoiem a tomada de decisão dentro dessas empresas. O presente artigo aplica os modelos de previsão de demanda Média Móvel e Arima (utilizando a respectiva biblioteca do *software R*) na logística de atendimento emergencial nos serviços de Borracharia na etapa agrícola da indústria canavieira. Foi avaliada a acuracidade do método da Média Móvel com a demanda real e a aderência do método Arima (utilizando a biblioteca do *software R*) para situações em que se possui poucos dados. O estudo foi aplicado em uma empresa sucroalcooleira localizada no interior de Minas Gerais. Contudo, a utilização dos modelos de previsão de demanda não se mostrou satisfatório para planejamentos mais robustos. Mas, para auxiliar nas etapas iniciais de planejamento, os Modelos de Médias Moveis é uma boa opção de auxílio.

PALAVRAS-CHAVE: Previsão de demanda; Agroindústria; Média móvel; Arima; Software R; Acuracidade de modelos de previsão de demanda.

ABSTRACT: The sugarcane agroindustry is an important branch of the Brazilian agroindustry, considering both the historical experience in the cultivation of sugarcane and the prominent current position of this industry on the world stage. This industry has faced, in recent years, major changes and challenges, becoming increasingly necessary to use effective methods to support decision making within these companies. This paper applies the demand forecasting models of Moving Average and Arima (using the respective library of software R) in the emergency logistics of tire repair services in the agricultural stage of the sugar cane industry. The accuracy of the Moving Average method with the real demand and the adherence of the Arima method (using the R software library) in situations with a small number of available data were evaluated. The study was applied to a sugar and alcohol company located in Minas Gerais. However, the use of demand forecasting models was not satisfactory for more robust planning. But, to assist in the initial planning stages, the Moving Medium Models is a good aid option.

KEYWORDS: Demand forecasting; Agroindustry; Moving Average; Arima; Software R; Accuracy of demand forecasting models.

1. Introdução

Nos últimos anos, mudanças intensas vêm acontecendo nos diversos segmentos produtivos ligados à agricultura como consequência de alterações nas economias brasileira e internacional, resultando em uma nova fase de crescimento da agroindústria canavieira brasileira, impulsionada por perspectivas de aumento da demanda, tanto por açúcar quanto por etanol. Nesse mercado, o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de açúcar e etanol,

alcançando uma produção de cana estimada de 622,3 milhões de toneladas em 2019/2020 (CONAB, 2019).

O processo produtivo sucroalcooleiro pode ser descrito como uma sequência de operações agrícolas e industriais, caracterizado pela sazonalidade da cana-de-açúcar. No período da safra acontece toda a colheita e transporte da cana-de-açúcar até a usina. A etapa industrial utiliza essa matéria-prima e um sistema complexo de processos industriais para obter os produtos finais, que podem ser: açúcar, álcool, energia natural, bebidas, cosméticos, etc.

Na etapa agrícola, uma das alternativas encontradas para a redução de custos é a mecanização, contudo, o aumento da mecanização da agricultura leva à necessidade de gerenciamento desses equipamentos, envolvendo a seleção de equipamentos mais adequados e garantindo um bom uso desses. Vários equipamentos, como colhedoras, plantadoras e caminhões, ao necessitarem de manutenção em pneus, acionam uma equipe de borracheiros, que se desloca até o local da chamada em um caminhão borracheiro, para que a manutenção seja realizada. Assim que a manutenção é concluída, o caminhão borracheiro retorna até a sua base (borracharia). Os serviços prestados por essas equipes precisam responder imediatamente aos chamados em campo, minimizando o tempo que os equipamentos não estão produzindo.

Assim, é necessário entender a logística de atendimento emergencial nos serviços de Borracharia na etapa agrícola da indústria canavieira. A previsão de demanda permite que os gestores das organizações antecipem o futuro e planejem de forma mais conveniente suas ações (TUBINO, 2000).

O presente trabalho tem como objetivo estudar os modelos de previsão de demanda Média Móvel e Arima (utilizando a respectiva biblioteca do *software* R), testando a acuracidade do método da Média Móvel com a demanda real e aderência do método Arima, em estudo de caso de uma empresa sucroalcooleira localizada no interior de Minas Gerais. Espera-se que a empresa utilize de métodos de previsão de demanda para planejar suas ações de alocação de recursos, planejamento prévio de manutenções, apoio a tomada de decisões e outros.

2. Os métodos de previsão de demanda

Para Montgomery *et al.* (1990) os métodos que geram as previsões de demanda podem ser classificados de uma maneira geral em métodos quantitativos e qualitativos.

Spedding e Chan (2000) caracteriza os métodos quantitativos como modelos baseados na estrutura de séries temporais históricas e na previsão de eventos futuros.

2.1 Método da Média Móvel

O método da média móvel é um modelo muito utilizado nas empresas em geral, por ser extremamente simples e necessitar de poucos dados históricos. Leva em consideração a média aritmética de n períodos anteriores, de modo a suavizar a previsão. Conforme um novo valor é incorporado à série, o valor mais antigo é descartado.

De acordo com Tubino (2009) os métodos que utilizam a média móvel como ferramenta são importantes para remover influências de variações randômicas dos dados históricos, combinando os valores extremamente baixos e altos, gerando uma previsão com menor variabilidade. Segundo o autor, para a média móvel, utilizam-se dados de um conjunto de períodos, geralmente mais recentes e com um número definido anteriormente para gerar uma previsão e, para cada período novo incluído nesse conjunto um período mais antigo é retirado.

2.2 Método Box-Jenkins (ARIMA)

Também conhecido como ARIMA, o método Box-Jenkins é muito aplicado para a descrição das séries temporais, e pode ser obtido somando ou integrando processos. Conforme Morretin e Toloí (1987), uma série temporal é qualquer conjunto de observações ordenadas no tempo. Séries temporais são compostas por quatro elementos:

- 1. Tendência:** verifica o sentido de deslocamento da série ao longo de vários anos.
- 2. Ciclo:** movimento ondulatório que ao longo de vários anos tende a ser periódico.
- 3. Sazonalidade:** movimento ondulatório de curta duração, em geral, inferior a um ano; associada, na maioria dos casos, a mudanças climáticas.

4. Ruído aleatório ou erro: compreende a variabilidade intrínseca aos dados e não pode ser modelado.

A metodologia refere-se ao método sistemático de identificação, ajuste, checagem e uso de modelos autorregressivos integrados de média móvel ou, simplesmente, modelos ARIMA. O uso de modelos ARIMA é uma abordagem poderosa na solução de muitos problemas de previsão, pois pode proporcionar previsões extremamente acuradas, de séries temporais (BOX E JENKINS, 1970).

O *software* R contém pacotes muito utilizados para trabalhar com estatística – em particular para elaborar os modelos ARIMA. As bibliotecas e funções comumente usadas juntamente com a biblioteca Arima são explicadas abaixo.

- *library()* - carrega os pacotes e bibliotecas que serão utilizados no programa.
- *forecast()* - é uma biblioteca utilizada para previsão de demanda com o modelo ARIMA. A função associada a biblioteca utiliza os valores passados de uma série histórica para prever valores futuros.
- *igraph()* - é uma biblioteca utilizada para plotar redes e gráficos, além de cálculo de métricas.
- *read.table()* – utilizado para leitura de arquivo para serem utilizados como dados de entrada no programa.
- *ts()* - é uma função usada pra criar objetos de séries temporais, podendo ser vetores ou matrizes. A função considera a série temporal com os dados igualmente espaçados, a variável tempo não precisa ser dada explicitamente.
- *auto.arima()* – retorna o melhor ajuste ao modelo ARIMA. O procedimento de identificação para determinar os valores de p , d e q do modelo ARIMA (p , d , q) envolve: verificar se precisa de transformação não linear (como a transformação Box-Cox, que muda a série exponencial para linear), eventualmente tomar diferenças para deixar a série estacionária (valor d) e encontrar o ARIMA (valores p e q). Os ajustes retornados por esta função são os parâmetros de $order=c(p, d, q)$.
- *arima()* - função utilizada para o cálculo da previsão de demanda segundo o modelo ARIMA

2.3 Acuracidade do método

Quando se trata da utilização de métodos quantitativos de previsão, deve-se mensurar o desempenho das modelagens, com o intuito de identificar quão acurada é esta previsão. A precisão da previsão refere-se a quão perto as previsões chegam da realidade dos dados. Os indicadores de acuracidade são utilizados para verificar o nível de precisão que o modelo de previsão possui. Previsões muito próximas dos dados reais representam erros de precisão baixos. Quando os erros de precisão são maiores é sinal que o modelo de previsão deve ser alterado ou ajustado.

3. Procedimentos metodológicos

Utilizaram-se três temáticas metodológicas:

I. Revisão teórica: foi realizada objetivando fundamentar os conceitos e técnicas de previsão de demanda.

II. Escolha do local para estudo de caso e coleta de dados: para a realização desse estudo, optou-se por analisar o sistema estudado por Rodrigues (2014). Rodrigues (2014) coletou dados do período de janeiro a agosto de 2012.

III. Mapeamento e análise da demanda da empresa através do Estudo de Caso: aplicou-se metodologias de previsão de demanda, verificando características da empresa, para, enfim, concluir qual metodologia se adequa às suas disposições.

4. Estudo de caso

Rodrigues (2014) realizou uma análise dos serviços emergenciais de manutenção agrícola e borracharia na agroindústria canavieira utilizando teoria de filas. Para facilitar a análise, optou-se por agrupar algumas fazendas. A área da empresa foi agrupada em 10 átomos geográficos. O agrupamento levou em consideração a localização das fazendas e suas condições de acesso, pois, em muitos casos, notou-se áreas próximas com acesso distante devido à escassez de estradas e existência de rios. Este agrupamento, que apresenta apenas as

áreas onde a empresa é responsável pela manutenção e serviço de borracharia, pode ser visualizado na Figura 1. O átomo 1 é formado por áreas de uma parceria de longo prazo, onde a usina está localizada. Os átomos 2, 3 e 4 possuem apenas fazendas próprias. Os outros átomos são formados por áreas alugadas ou arrendadas e algumas fazendas foram agrupadas para se formar um átomo.

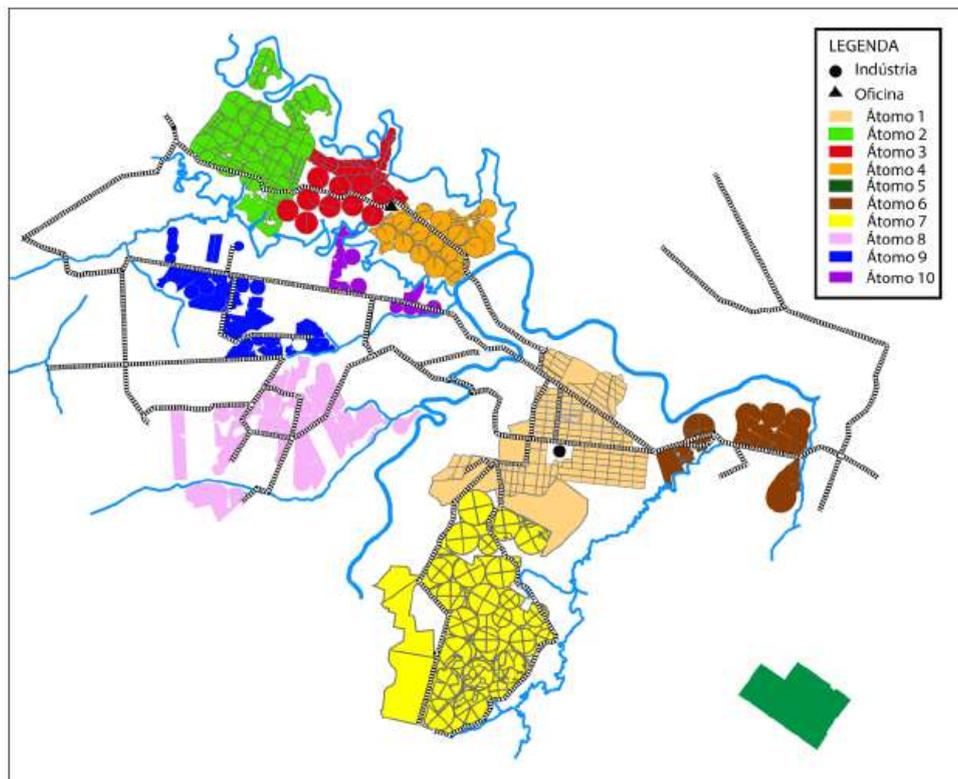


FIGURA 1 - Regiões (átomos geográficos) para o sistema da borracharia. **Fonte:** Rodrigues (2014).

A taxa de chegada de chamados do sistema (λ) é de 0,55 por dia. Mas, é importante salientar que se trata de um sistema não estacionário, pois as taxas de chegada de chamados mudam de acordo com o tempo nos átomos, devido à mudança na localização das frentes de colheita e plantio.

A Figura 2 mostra o gráfico com as taxas de chegada de chamados por átomo.

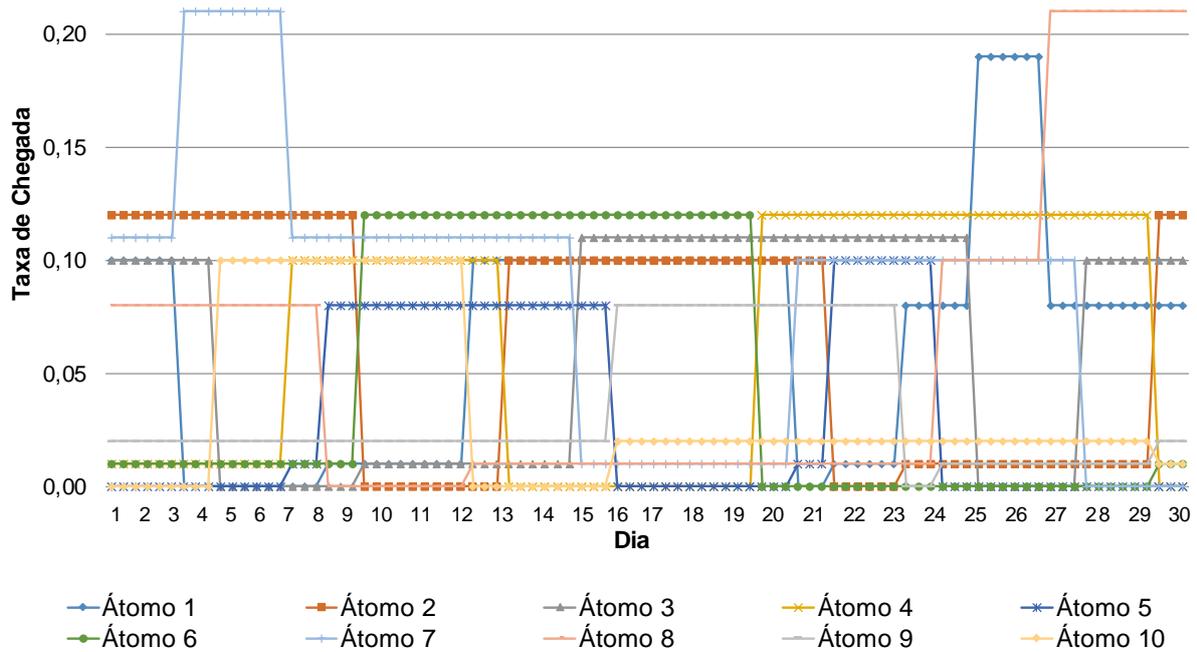


FIGURA 2 – Taxa de chegada de chamados por átomo. **Fonte:** Elaborado pelos autores.

Considerando o sistema como estacionário, verifica-se que as maiores demandas de chamados de emergência, em ordem crescente, provêm dos átomos 4 ($\lambda=0,065667$), 1 ($\lambda=0,067333$) e 7 ($\lambda=0,086333$), justificando a escolha destes átomos para a aplicação dos métodos.

5. Resultados e discussões

Nesta seção estão os resultados da aplicação dos métodos Média Móvel e Arima, testando a acuracidade com a demanda real de uma empresa e a aderência do método para situações de poucos dados, respectivamente, de uma sucroalcooleira localizada no interior de Minas Gerais.

5.1 Média Móvel

O método da média móvel avalia a média aritmética de n períodos anteriores, neste caso sendo considerado $n = 3$. Os resultados para os átomos 1, 4 e 7 são apresentados nas figuras 3, 4 e 5, respectivamente.

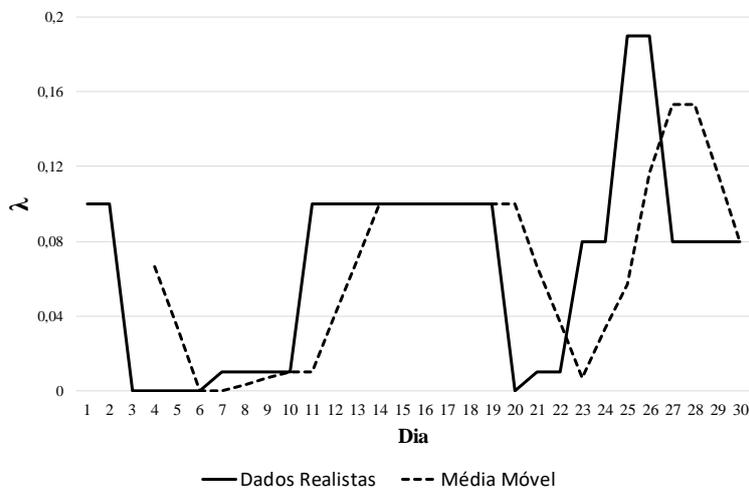


FIGURA 3 – Teste de acuracidade para o Átomo 1. **Fonte:** Elaborado pelos autores.

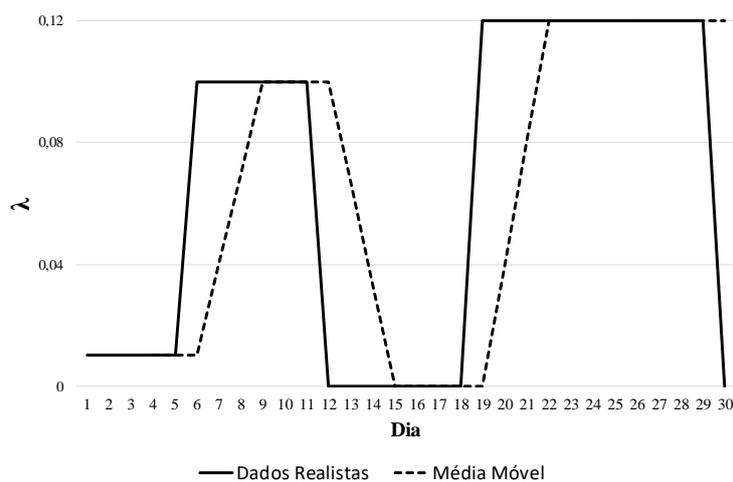


FIGURA 4 – Teste de acuracidade para o Átomo 4. **Fonte:** Elaborado pelos autores.

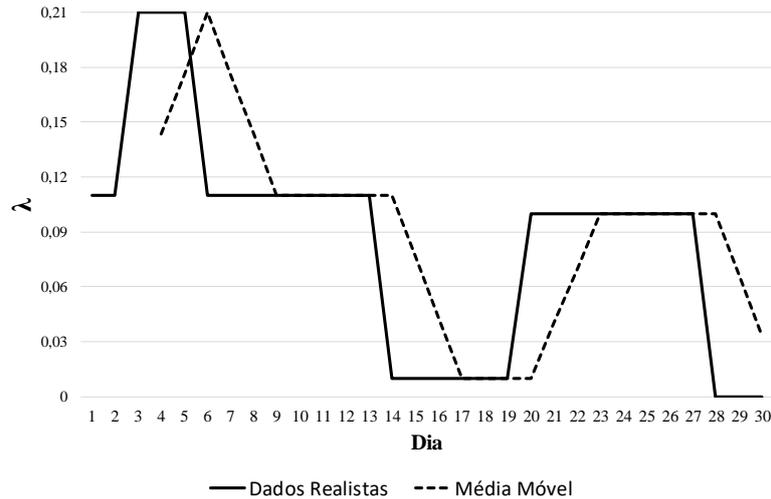


FIGURA 5 – Teste de acuracidade para o Átomo 7. Fonte: Elaborado pelos autores.

É possível observar nas figuras que as curvas de demanda obtidas com a previsão de média móvel se iniciam no dia 4, conforme intuição, pois, como $n = 3$, o método necessita de 3 dados para obter valor.

Considerada uma ferramenta de baixa complexidade e fácil aplicação, tanto em questão de dados necessários e gasto de tempo, observa-se que os resultados são satisfatórios, pois fornecem uma perspectiva satisfatória de como é o funcionamento do sistema para um planejamento inicial. Dessa forma, os gestores têm a percepção de que o sistema, de fato, não é estacionário, requerendo atenção para a alocação da equipe de manutenção de borracharia, bem como o estudo de alternativas para evitar o desabastecimento da usina por falha nos equipamentos mecânicos. Em outras palavras, a metodologia Média Móvel, por ser rápida e prática é uma opção para fornecer o *insight* necessário para um planejamento mais robusto.

5.2 Arima (software R)

A escolha do número de dias para previsão foi baseada em *feeling* e *know-how* do professor orientador Davi das Chagas Neves. Para os parâmetros do argumento da função $order=c(p, d, q)$ foram utilizados os ajustes retornados pela função *auto.arima*. As figuras 6, 7 e 8 apresentam os resultados obtidos com o método para os átomos 1, 4 e 7, em que a linha em azul nas áreas hachuradas de cinza representa a previsão de demanda.

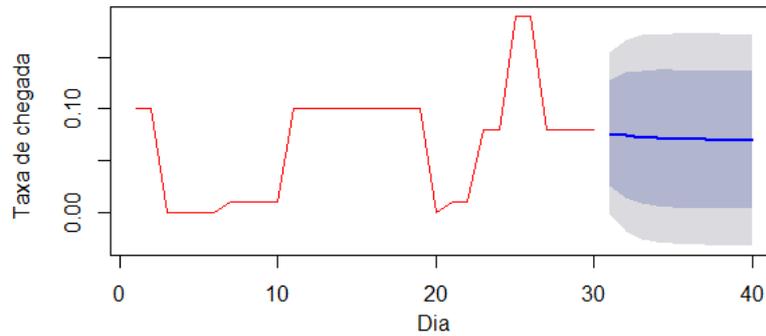


FIGURA 6 – Teste de aderência de método para o Átomo 1. **Fonte:** Elaborado pelos autores.

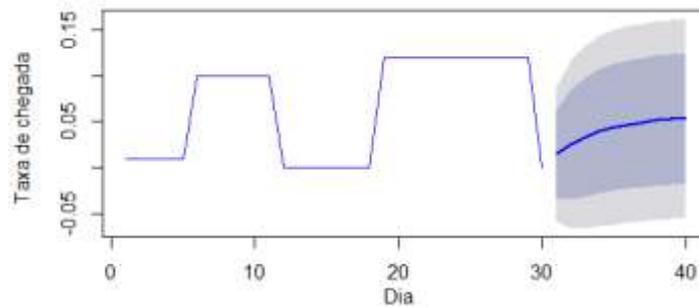


FIGURA 7 – Teste de aderência de método para o Átomo 4. **Fonte:** Elaborado pelos autores.

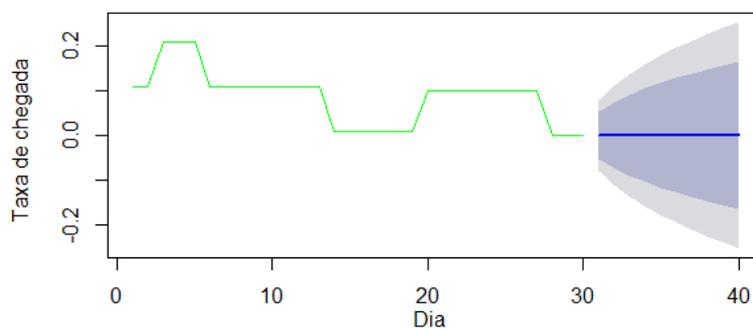


FIGURA 8 – Teste de aderência de método para o Átomo 7. **Fonte:** Elaborado pelos autores.

Observa-se que não ocorreu a aderência do método ARIMA (software R), pela quantidade de dados disponibilizados do sistema em estudo, pois as previsões tiveram como resultado

curvas que se assemelham a uma reta constante que se difere muito da realidade do sistema. O método ainda limitou a sua aplicação para previsão de poucos dias, pois, para previsão de mais de 3 dias os resultados se tornaram ainda mais distantes da realidade, pois o resultado foi literalmente uma reta.

Diante do exposto, pesquisando sobre outras metodologias para previsão de demanda utilizando o software R, obteve-se como resultados a biblioteca RGARCH, que possibilita o uso do método para estudos de sistemas em que se possuem poucos dados. A classe de modelos GARCH (*Generalized Autoregressive Conditional Heterokedastic* ou Autorregressivo de Heterocedasticidade Condicional Generalizado) é um método que tem como objetivo calcular a variância condicional. Para esse propósito, o modelo das funções GARCH oferece funções para simular, estimar e prever vários modelos univariados (possuem apenas uma variável) de séries temporais. Estudos que utilizaram essa classe de modelos podem ser vistos em Lundbergh e Teräsvirta (2002) e Bauwens *et al.* (2006).

6. Conclusão

A utilização dos modelos de Médias Moveis e ARIMA (*software R*) para a previsão de demanda para manutenção na agroindústria não se mostrou satisfatório para planejamentos mais robustos. Contudo, para auxiliar nas etapas iniciais destes planejamentos, os Modelos de Médias Moveis é uma boa opção de auxílio. Contudo, especificamente no modelo de Médias Móveis, verifica-se que há necessidade de atenção na alocação de equipes para que não ocorram desabastecimentos da usina por falta de agilidade no atendimento emergencial para correção de falhas nos equipamentos mecânicos. De forma geral, o modelo, apresentou de forma simples e rápida, indicadores que podem auxiliar em um planejamento mais robusto, integrado a um banco de dados sobre as chamadas emergenciais na etapa agrícola da usina sucroalcooleira.

Já pelo método ARIMA, utilizado pelo *software R*, verifica-se que este método não é adequado para situações em que há poucos dados disponíveis no sistema em estudo, necessitando de um prazo maior para coleta de dados ou a utilização de outros métodos, como a biblioteca RGARCH, também do *software R*.

REFERÊNCIAS

BAUWENS, L.; LAURENT, S.; ROMBOUTS, J. VK.. Multivariate Garch Models: A Survey. **Journal Of Applied Econometrics**, v. 21, p. 79–109, 2006.

BOX, G. E. P.; JENKINS, G.M. **Time Series Analysis, forecasting and control**. San Francisco. Holden Day, 1970.

CONAB - **Companhia Nacional de Abastecimento (2019)**. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acessado em 10 setembro 2019.

GAUDER, M.; GRAEFF-HÖNNINGER, S.; CLAUPEIN, W. **The impact of a growing bioethanol industry on food production in Brazil**. **Applied Energy**, v. 88, n. 3, p. 672-679, 2011.

HIGUCHI, A. K. A previsão de demanda de produtos alimentícios perecíveis: três estudos de caso. **Revista Eletrônica de Administração**, v. 5, n. 2, 2006.

LUNDBERGH, S.; TERÄSVIRTA, T.. Evaluating GARCH models. **Journal of Econometrics**, v. 110, n. 2, p. 417-435, 2002.

MONTGOMERY, D.; JOHNSON, L.; GARDINER, J. **Forecasting and Time Series Analysis**. New York: McGraw-Hill, 1990.

MORRETIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Previsão de séries temporais**. 2. ed. São Paulo: Atual Editora, 1987.

RODRIGUES, L.F. **Análise dos serviços emergenciais de manutenção agrícola e borracharia na agroindústria canavieira utilizando teoria de filas**. Tese de Doutorado, UFSCar, São Carlos, 2014.

SPEEDING, T. A.; CHAN, K. K. Forecasting Demand and Inventory Management Using Bayesian Time Series. **Integrated Manufacturing Systems**. v. 11, n. 5, p. 303–314, 2000.

TUBINO, D. F. **Manual de Planejamento e Controle da Produção**. São Paulo: Atlas, 2000.

TUBINO, D. F. **Planejamento e Controle da Produção: Teoria e Prática**. São Paulo: Atlas, 2009.