

Análise de Séries Temporais da Área Plantada de Eucalipto no Brasil e dos Preços do Crédito de Carbono Europeu: Uma Abordagem com Modelos ARIMA, Cointegração de Johansen e Causalidade de Granger

Time Series Analysis of Eucalyptus Planted Area in Brazil and European Carbon Credit Prices: An Approach Using ARIMA Models, Johansen Cointegration, and Granger Causality

Ana Paula da Silva Bossolani¹

UFGD—Universidade Federal da Grande Dourados
Dourados, Mato Grosso do Sul (MS) - Brasil

Grupos de Trabalho (GT1) Mercados agrícolas e comércio exterior

RESUMO

O estudo analisou a evolução da área plantada de eucalipto no Brasil e dos preços dos créditos de carbono europeus entre 2005 e 2025, utilizando modelos estatísticos como ARIMA, cointegração de Johansen e causalidade de Granger. Os resultados mostraram que o modelo ARIMA (1,1,1) foi o mais adequado para ambas as séries, com alto nível de ajuste (R^2 de 83% para preços e 99% para área plantada) e bons critérios de seleção (menores AIC e BIC). A análise de cointegração indicou que não há relação de longo prazo entre as variáveis. Porém, o teste de causalidade de Granger revelou uma relação bidirecional, ou seja, a área plantada e os preços dos créditos de carbono influenciam-se mutuamente no curto prazo.

Palavras-chave: Eucalipto, Créditos de carbono, Causalidade.

ABSTRACT

This study analyzed the evolution of eucalyptus planted area in Brazil and European carbon credit prices between 2005 and 2025, using statistical models such as ARIMA, Johansen cointegration, and Granger causality. The results showed that the ARIMA (1,1,1) model was the most suitable for both series, with a high level of fit (R^2 of 83% for prices and 99% for planted area) and good selection criteria (lower AIC and BIC). Cointegration analysis indicated no long-term relationship between the variables. However, the Granger causality test revealed a bidirectional relationship, i.e., planted area and carbon credit prices mutually influence each other in the short term.

Keywords: Eucalyptus, Carbon credits, Causality.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por sustentabilidade tem reforçado o papel das florestas na mitigação das mudanças climáticas, especialmente por meio da captura de carbono, incentivando a integração entre floresta, indústria e mercado. Nesse contexto, os créditos de carbono se consolidaram como instrumentos essenciais desde o Protocolo de Kyoto, que estruturou sua comercialização em âmbito internacional.

Apesar da estagnação do mercado global em 2024, há perspectivas de crescimento impulsionadas por metas climáticas mais rigorosas e novas políticas ambientais. Nesse cenário,

surge o interesse em compreender a relação entre os preços dos créditos de carbono e a expansão das áreas plantadas de eucalipto, uma vez que esses preços podem influenciar decisões produtivas no setor florestal.

O estudo tem como objetivo investigar a existência de relações de integração e causalidade entre os preços dos créditos de carbono no mercado europeu e a área plantada de eucalipto no Brasil, no período de 2005 a 2025. Para isso, utiliza modelos econométricos como ARIMA, cointegração e causalidade de Granger.

A pesquisa se fundamenta em estudos anteriores que aplicaram essas metodologias na previsão de preços e na análise de mercados florestais, destacando-se por integrar, de forma inédita, a análise entre o mercado de carbono europeu e a expansão do cultivo de eucalipto no Brasil.

2. METODOLOGIA

A metodologia do estudo delimita a análise ao Brasil e ao mercado europeu de créditos de carbono, adotando uma abordagem quantitativa baseada em séries temporais. Foram utilizadas diversas etapas analíticas, incluindo estatísticas descritivas, testes de raiz unitária, autocorrelação, heterocedasticidade, modelos VAR e ARIMA, além de testes de cointegração de Johansen e causalidade de Granger.

Os dados foram obtidos de instituições como IBÁ, IBRAF e do mercado europeu de carbono (EUA), abrangendo o período de maio de 2005 a maio de 2025, com foco nos preços dos créditos de carbono e na área plantada de eucalipto no Brasil.

Para garantir maior precisão, os preços foram ajustados pela inflação por meio do índice PPI, convertendo valores nominais em reais. Além disso, aplicou-se transformação logarítmica (LN) para normalizar as séries. As análises econométricas foram realizadas no software EViews 12, permitindo a estimação, previsão e interpretação dos resultados.

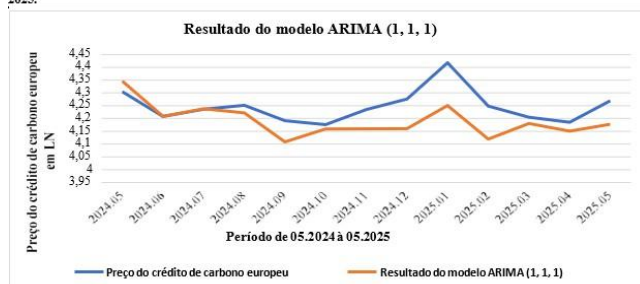
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Embora a análise de VAR tenha sugerido 2 lags, o melhor ajuste para o modelo autoregressivo de médias móveis com 1 diferença na série LNPCCE foi o ARIMA (1, 1, 1), conforme indicado pelo correlograma. O R^2 ajustado na série de preço do crédito de carbono

européu, indicou que, aproximadamente, 83% da variação na série é explicada por esse modelo, o que é um ótimo resultado.

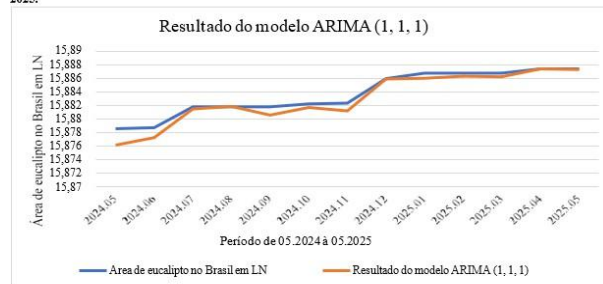
Além disso, os valores de AIC (-6,90) e BIC (-6,84) demonstram que o modelo possui uma excelente qualidade de ajuste, equilibrando precisão e simplicidade, o que o torna uma escolha bastante eficiente para representar essa série temporal. O p-valor (Prob.) em todos os modelos analisados mostra que, no geral, eles são estatisticamente significativos, ou seja, apresentam uma boa validade estatística. No Gráfico 1, é possível observar os resultados deste modelo para o período de 12 meses mais recentes da pesquisa, de maio de 2024 a maio de 2025, referente à LNPCCE. O monitoramento dos preços indica que o modelo foi concluído com sucesso e pode ser utilizado em outros períodos de análise.

Gráfico 1. Resultado do modelo ARIMA (1, 1, 1) para a LNPCCE, no período mensal de Maio de 2024 à Maio de 2025.



Fonte: Elaboração própria, conforme resultados do sistema EVIEWS 12.

Gráfico 2. Resultado do modelo ARIMA (1, 1, 1) para LNAPEB, no período mensal de Maio de 2024 à Maio de 2025.



Fonte: Elaboração própria, conforme resultados do sistema EVIEWS 12.

Assim como no Gráfico 1, pode-se observar no Gráfico 2 os resultados do modelo ARIMA aplicado ao período mais recente de 12 meses da pesquisa, de maio de 2024 a maio de 2025, referente a LNAPEB. O acompanhamento dos preços demonstra que o modelo foi concluído com sucesso e pode ser utilizado em outros períodos de análise. Conforme já definido, o número de defasagens do modelo VAR foi de 2 Lags.

Para realizar o teste de cointegração proposto por Johansen (1995), optou-se por usar 1 defasagem a menos do que o valor obtido no VAR. Essa decisão foi tomada para evitar o excesso de defasagens, o que pode reduzir a potência do teste e facilitar a identificação de uma possível relação de longo prazo entre as variáveis. O resultado do teste do traço, para $r = 0$ (ou seja, sem

relação de longo prazo), mostrou um valor de 14,02. Esse valor é menor que o valor crítico de 15,49, e a probabilidade associada é de 8% (0,08). Como o valor do traço é menor que o valor crítico, não rejeita-se a hipótese de que não há cointegração nesse nível. Para (pelo menos uma relação de longo prazo), o valor do traço é 1,23, que é menor que o valor crítico de 3,84, e a probabilidade é 0,26 (26%). Novamente, como o valor do traço é menor que o crítico, não se rejeita a hipótese de pelo menos uma relação de cointegração.

O resultado do teste máximo, mostra que a estatística (12,78) é menor que o valor crítico (14,26), não se rejeita a hipótese de que não há cointegração nesse nível. A probabilidade de 8% também indica que há uma chance moderada de não haver relação de longo prazo. A estatística (1,23) também é menor que o valor crítico (3,84), então não se rejeita a hipótese de pelo menos uma relação de longo prazo. Os resultados indicam que há uma causalidade de Granger bidirecional entre a LNPCCE e LNAPEB. Ou seja, cada uma delas ajuda a prever a outra, sugerindo uma relação de influência mútua entre esses dois fatores.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo indicam que o modelo ARIMA (1,1,1) foi o mais adequado para representar as séries temporais dos preços dos créditos de carbono europeus e da área plantada de eucalipto no Brasil, no período de maio de 2005 a maio de 2025, evidenciando bom desempenho na modelagem e previsão dessas variáveis.

A ausência de cointegração entre as séries pode ser atribuída, em parte, às *gãñbbgãgantes* dinâmicas e volatilidades observadas entre os preços dos créditos de carbono e a expansão da área plantada. Tal resultado sugere que não existe uma relação de equilíbrio de longo prazo entre as variáveis, indicando que ambas evoluem de forma independente ao longo do tempo, sem compartilhar uma tendência comum.

Por outro lado, os resultados do teste de causalidade de Granger apontam para a existência de uma relação bidirecional entre as variáveis. Esse achado pode ser explicado pela interdependência entre o mercado internacional de carbono e as decisões de investimento no setor florestal brasileiro. De um lado, a elevação dos preços dos créditos de carbono tende a estimular a expansão das áreas plantadas com eucalipto, devido ao potencial de geração de receita adicional

por meio do sequestro de carbono. De outro, o aumento da área plantada pode influenciar as expectativas do mercado quanto à oferta futura de créditos, impactando seus preços. Essa dinâmica evidencia a presença de um mecanismo de retroalimentação entre as variáveis.

Dessa forma, conclui-se que, embora não haja evidência de relação de longo prazo, existe uma interação significativa no curto prazo, o que reforça a importância dos preços internacionais de carbono na definição de estratégias de uso da terra e investimentos no setor florestal brasileiro.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a incorporação de variáveis adicionais, como políticas ambientais, custos de produção, taxas de câmbio e demanda internacional por produtos florestais, a fim de ampliar a compreensão dos fatores que influenciam essa relação. Além disso, a aplicação de modelos econométricos mais robustos, como VECM ou modelos não lineares, pode contribuir para capturar dinâmicas mais complexas entre as variáveis. Estudos com maior desagregação espacial ou análise por regiões também podem oferecer insights mais detalhados sobre o comportamento do setor florestal no Brasil.

5. REFERÊNCIAS

Carbon Credits in 2024: What to Expect in 2025 and Beyond (\$250B by 2050) <https://carboncredits.com/carbon-credits-in-2024-what-to-expect-in-2025-and-beyond-250b-by-2050/> Acesso em maio de 2025.

ECCAPLAN, 2024 - **Precificação do Carbono, uma ferramenta no combate as Mudanças Climáticas**

<https://eccaplan.com.br/precificacaodecarbonoeasmudancasclimaticas/> Acesso em junho de 2025.

ENGLE, R. F.; GRANGER, C. W. J. **Cointegration and error correction: representation, estimation and testing**. *Econometrica*, Chicago, v. 55, n. 2, p. 251-76, Mar. 1987.

EUA. **European Union Allowance**. 2025. Disponível em: <https://br.investing.com/commodities/carbon-emissions-historical-data> Acesso em junho de 2025.

FUHRMANN, M.; DIBAUER, C. E. SCHMID, S.E. **Analysing price cointegration of sawmill by-products in the forest-based sector in Austria**. 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/353309047_Analysing_price_cointegration_of_sawmill_by-products_in_the_forest-based_sector_in_Austria

Acesso em junho de 2025.

HILL, R. Carter; GRIFFITHS, William E.; JUDGE, George G. **Econometria**. 2a. Ed. São Paulo: Saraiva, 2003. Acesso em junho de 2025.

IBÁ. **Indústria Brasileira de Árvores**. 2025. Disponível em: <https://iba.org/publicacoes> Acesso em junho de 2025.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2024. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/42574-producao-industrial-varia-0-3-em-dezembro-e-fecha-2024-com-crescimento-de-3-1>

Acesso em maio de 2025.

IBRAF. **Instituto Brasileiro de Florestas**. 2025. Disponível em:

<https://www.ibraf.org.br/modelos/relatorios/> Acesso em junho de 2025.

KIZZIER, K.; LEVIN, K.; RAMBHAROS, M. **What you need to know about article 6 of the paris agreement**. 2019.

Disponível em: <https://www.wri.org/insights/what-you-need-know-about-article-6-paris-agreement>

Acesso em Abril de 2025.

KUMAR, N; KAYAL, P E MAITI, M. **A study on the carbon emission futures price prediction**.

2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652624037582> Acesso em junho de 2025.

MDIC. **Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços**. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br> Acesso em junho de 2025.

SOARES, N.S.; SILVA, M.L.; REZENDE, J.L.P.; LIMA, J.E. E CARVALHO, K.H.A. **Elaboração de modelo de previsão de preço da madeira de Eucalyptus spp**. 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cerne/a/CdwzK3yvpHYdtrmJNpKNwDg/>

Acesso em abril de 2025.

XU, J E YIN, R. **Identifying the inter-market relationships of forest products in the Pacific Northwest with cointegration and causality tests**. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1389934102000643>

Acesso em junho de 2025.

ZHONG, W.; ZHAI, D; XU, W; GONG, W; YAN, C; ZHANG, Y W QI, L. **Accurate and efficient**

daily carbon emission forecasting based on improved ARIMA. 2024. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261924016155>

Acesso em junho de 2025.