REVISTA ERR01 ISSN: 2595-1378

ETANOL NO BRASIL: UMA ABORDAGEM PREDITIVA DE PREÇOS

ETHANOL IN BRAZIL: A PREDICTIVE PRICING APPROACH

ETANOL EN BRASIL: UN ENFOQUE DE PRECIOS PREDICTIVOS

https://doi.org/10.56238/ERR01v10n3-024

Fabrício Bisset Silva de Brito
Mestrado em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial
Instituição: Universidade SENAI CIMATEC
E-mail: fabissetc@gmail.com
Orcid: 0009-0004-0411-6331

Leandro Brito Santos
Doutorado em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial
Instituição: Universidade SENAI CIMATEC
E-mail: lsbrito@gmail.com
Orcid: 0000-0003-0132-4712

Roberto Luiz Souza Monteiro
Doutorado em Difusão do Conhecimento
Instituição: Universidade Federal da Bahia (UFBA)
E-mail: robertolsmonteiro@gmail.com
Orcid: 0000-0002-3931-5953

Everaldo Freitas Guedes
Doutorado em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial
Instituição: Universidade SENAI CIMATEC
E-mail: efgestatistico@gmail.com
Orcid: 000-0002-2986-7367

RESUMO
A produção de biocombustíveis líquidos emergiu como alternativa ao uso de combustíveis fósseis para fins de transporte. O etanol é descrito como um combustível de energia renovável. O Brasil em 2021 produziu 27,46 % do etanol no mundo, ocupando a segunda posição entre os países produtores. A introdução no mercado brasileiro dos veículos comerciais ligeiros e de passageiros com a tecnologia Flex Fuel na qual, utiliza simultaneamente Gasolina tipo C ou Etanol hidratado. A partir de março 2003, impactou significativamente na demanda pelo etanol no mercado consumidor brasileiro. O presente trabalho propõe realizar comparação da acurácia preditiva entre os modelos matemáticos ARFIMA, ARIMA e Exponencial Suavizado dos preços do etanol brasileiro no período de 4 anos.

Palavras-chave: Etanol. Commodities. Previsão. Séries Temporais.

ISSN: 2595-1378

ABSTRACT
The production of liquid biofuels has emerged as an alternative to the use of fossil fuels for transportation purposes. Ethanol is described as a renewable energy fuel. In 2021, Brazil produced 27.46% of the world's ethanol, ranking second among producing countries. The introduction of light commercial and passenger vehicles with Flex Fuel technology, which uses both Type C gasoline and hydrous ethanol, into the Brazilian market, began in March 2003, significantly impacting ethanol demand in the Brazilian consumer market. This study aims to compare the predictive accuracy of the ARFIMA, ARIMA, and Smoothed Exponential models for Brazilian ethanol prices over a four-year period.

Keywords: Ethanol. Commodities. Forecasting. Time Series.

RESUMEN
La producción de biocombustibles líquidos ha surgido como una alternativa al uso de combustibles fósiles para el transporte. El etanol se describe como un combustible de energía renovable. En 2021, Brasil produjo el 27,46 % del etanol mundial, ocupando el segundo lugar entre los países productores. La introducción en el mercado brasileño de vehículos comerciales ligeros y de pasajeros con tecnología Flex Fuel, que utiliza tanto gasolina tipo C como etanol hidratado, comenzó en marzo de 2003, lo que impactó significativamente la demanda de etanol en el mercado brasileño. Este estudio busca comparar la precisión predictiva de los modelos ARFIMA, ARIMA y Exponencial Suavizado para los precios del etanol brasileño durante un período de cuatro años.

Palabras clave: Etanol. Materias Primas. Pronóstico. Series Temporales.

ISSN: 2595-1378

1 INTRODUÇÃO

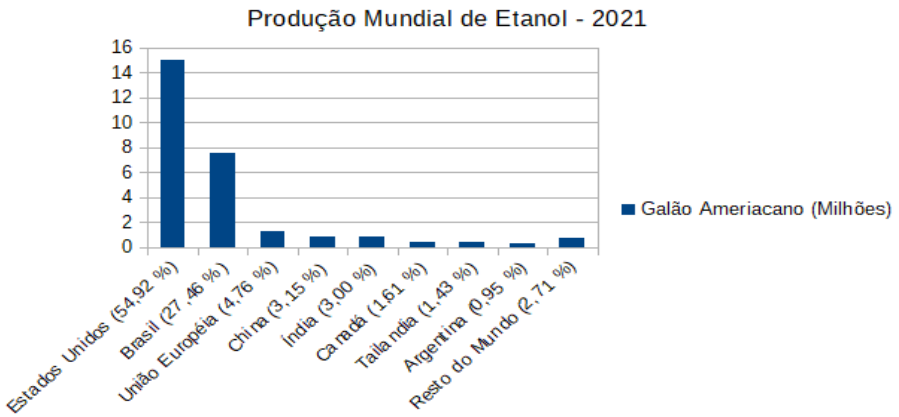
A produção de biocombustíveis líquidos emergiu como alternativa de uso de combustíveis fósseis para fins de transporte [1]. A mitigação das emissões de carbono, a segurança energética e o desenvolvimento agrícola são os principais impulsionadores deste tipo de projetos de bioenergia [1]. O etanol é descrito como um combustível de energia renovável que ajuda a mitigar as mudanças climáticas, destacando os avanços tecnológicos que poderiam permitir a produção não só de etanol tradicional, mas também do etanol celulósico de segunda geração a partir do bagaço de cana [2].

Conforme dados da Renewable Fuel Association (RFA) o Brasil em 2021 produziu 27,46 % do etanol no mundo, ocupando, portanto, a segunda posição entre os países produtores (Figura 1) [3]. No Brasil o etanol combustível é derivado da cana-de-açúcar e é usado puro ou misturado a gasolina em uma mistura chamada gasohol (25% de etanol, 75% de gasolina) [4].

A introdução e a evolução no mercado brasileiro dos veículos comerciais ligeiros e de passageiros com a tecnologia Flex Fuel, que utiliza simultaneamente Gasolina tipo C ou Etanol hidratado, a partir de março 2003, impactaram significativamente na demanda pelo etanol no mercado consumidor brasileiro e quantitativamente na variação (a maior) de seu preço frente a Gasolina tipo C [5]. Por consequência, a introdução no Brasil da tecnologia Flex Fuel, juntamente com o aumento da demanda pelo açúcar no mercado internacional, impulsionou um crescimento significativo na indústria de cana-de-açúcar nas últimas décadas [6].

Ainda, conforme dados da Associação Nacional dos Veículos Automotores (ANFAVEA), em 2021 a quantidade de emplacamentos de veículos automóveis e comerciais leves, com motor de tecnologia de combustível Flex Fuel, correspondeu a 82,20 % do total de veículos emplacados no mercado brasileiro (Figura 2) [7].

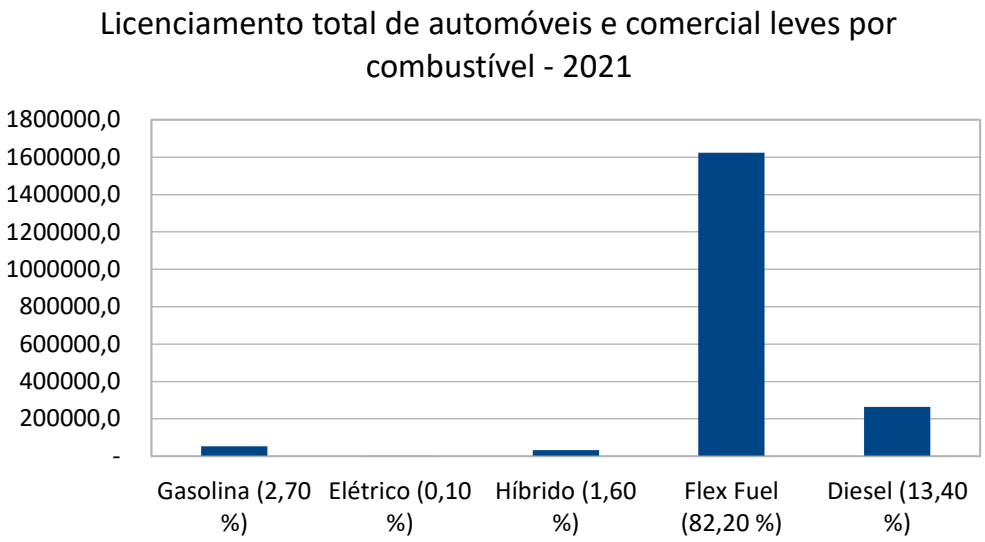
Figura 1. Produção de etanol no mundo no ano 2021.



Fonte: RFA.

ISSN: 2595-1378

Figura 2. Licenciamento total de automóveis e comerciais leves por combustível em 2021.



Fonte: ANFAVEA / RENAVAM

De acordo com os estudos de [8] a volatilidade dos preços do etanol no Brasil em anos consecutivos está associada principalmente aos seguintes fatores: (i) quantidade de produção de cana-de-açúcar; (ii) percentual de cana para a produção de etanol, ou seja, para o mix de produção; (iii) renda do consumidor; (iv) número de veículos da frota comercial leve; e (v) preço da gasolina tendo em vista a mistura compulsória de tal tipo de etanol na venda de gasolina. Para compreender melhor a problemática da volatilidade nos preços do etanol brasileiro, [8] aplicaram várias ferramentas matemáticas em seu trabalho, a saber: análise de Flutuação Destendenciada (DFA), os expoentes de Hurst (H) e Lyapunov (λ); bem como comparam a acurácia entre os modelos Média Móvel Integrada Fracionada (ARFIMA) e Média Móvel Auto-Regressiva (ARIMA) em uma previsão de 365 dias dos preços do etanol numa série temporal apresentando, como resultado, uma vantagem do modelo ARFIMA sobre o ARIMA.

Assim, o presente trabalho se propõe, especificamente, em realizar comparação similar da acurácia entre os modelos ARFIMA e o ARIMA, em uma previsão para o dia seguinte (próximo ponto), em uma série temporal dos preços do etanol no Brasil; entretanto, introduzindo um novo elemento ao experimento realizado por [8]: um modelo matemático Exponencial Suavizado.

2 METODOLOGIA

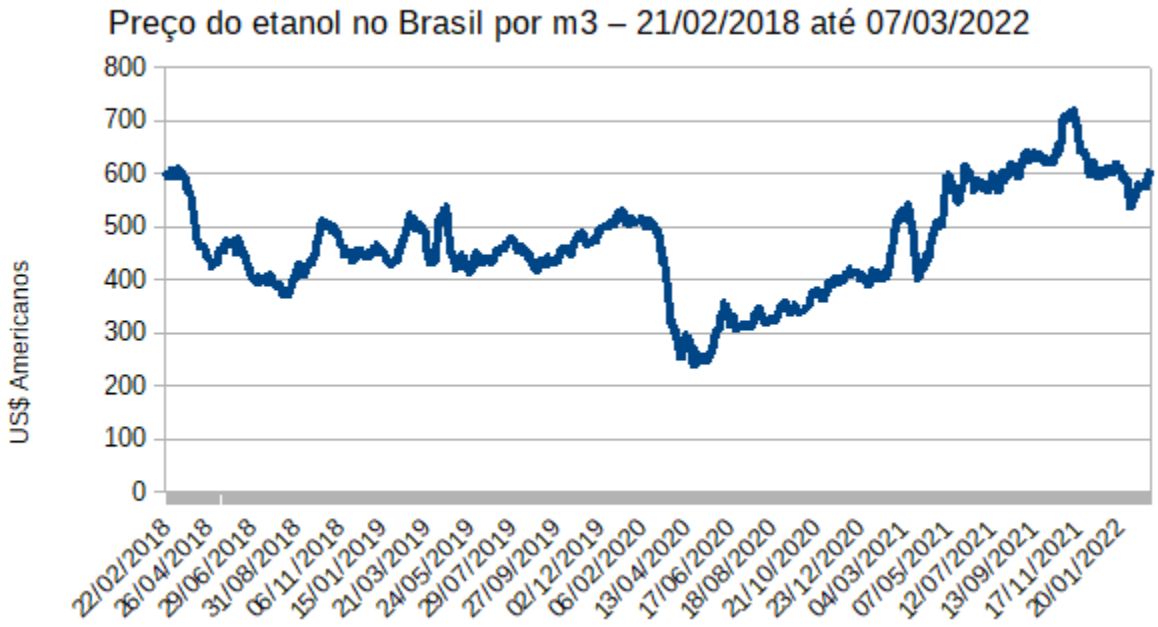
A metodologia se refere a aplicação dos modelos matemáticos elencados nos subitens seguintes na base de dados através da linguagem de programação e ambiente de desenvolvimento integrado R [9].

ISSN: 2595-1378

2.1 BASE DE DADOS

A base de dados utilizada no experimento é a série temporal dos preços diários do etanol em Dólar Americano (US$), referente ao período de 21/02/2018 até 07/03/2022 (mil pontos), fornecida pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – CEPEA-Esalq / USP e disponível em [10]

Figura 3. Preço do etanol no Brasil por m^3 – 21/02/2018 até 07/03/2022.



Fonte: CEPEA / ESALQ / USP

2.2 MODELO ARIMA

Proposto por [11], o modelo matemático ARIMA é utilizado na análise e previsão de séries temporais e possui como forma de notação ARIMA (p, d, q); onde p representa as ordens de auto-regressão, d representa a integração e q representa a ordem da média móvel.

Para aplicar o modelo matemático ARIMA na série temporal objeto de estudo foi utilizada a função *auto.arima ()* disponível na biblioteca *forecast* do linguagem R. Segundo a documentação da linguagem em questão, a função *auto.arima ()* retorna o melhor modelo ARIMA de acordo com o valor AIC, AICc ou BIC. A função conduz uma pesquisa sobre o modelo possível dentro das restrições de ordem fornecidas [9].

2.3 MODELO ARFIMA

O modelo ARFIMA é uma generalização do modelo matemático ARIMA e possui como característica a capacidade de modelagem de processos com longa dependência serial[12].

Para aplicar o modelo matemático ARFIMA na série temporal objeto de estudo foi utilizado a função *arfima()* disponível na biblioteca *forecast* da linguagem R. Segundo a documentação da linguagem em questão, um modelo ARFIMA (p, d, q) ótimo é selecionado e estimado automaticamente [9].

2.4 MODELO EXPONENCIAL SUAVIZADO

A concepção dos modelos de Suavização Exponencial abrange a anexação de pesos maiores nas observações mais recentes e as previsões são calculadas utilizando médias ponderadas onde os pesos diminuem – de maneira exponencial – nas observações mais antigas numa série temporal [13].

Para aplicar um modelo matemático Exponencial Suavizado na série temporal objeto de estudo foi utilizado a função *ets()* disponível na biblioteca *forecast* da linguagem R. Segundo a documentação da linguagem em questão, a aplicação da metodologia é totalmente automática. O único argumento requerido para a função *ets()* é a série temporal. Um modelo Exponencial Suavizado ótimo é escolhido automaticamente se não for especificado [9].

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram divididos em (1) acurácia dos modelos utilizados no experimento e (2) Previsão do 1001º ponto por modelo.

3.1 ACURÁCIA DOS MODELOS UTILIZADOS

A partir da aplicação dos modelos matemáticos ARFIMA, ARIMA e Exponencial suavizado na base de dados objeto deste trabalho, obtivemos as mediadas de acurácia de cada modelo, a saber: Erro Médio (ME), Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE), Erro Absoluto Médio (MAE), Erro Percentual Médio (MPE), Erro de Porcentual Médio Absoluto (MAPE), Erro Escalonado Médio Absoluto (MASE) e Auto Correlação de Erros no Atraso 1, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Medidas de acurácia dos modelos de previsão.

MODELO	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE	ACF1
ARFIMA	0.01956952	6.386936	4.844744	-0.01488094	1.068626	0.943953	-0.001305478
ARIMA (2,1,0)	0.0131833	6.393918	4.842453	0.001978034	1.067812	0.943519	1.43362e-05
EXP. SUAVIZADO	0.007449302	6.425317	4.868707	0.005221073	1.073333	0.948634	-0.004736487

Fonte: experimento.

ISSN: 2595-1378

3.2 PREVISÃO DO 1001º PONTO POR MODELO

A tabela 02 apresenta a previsão do 1001º ponto por modelo matemático utilizado no experimento, com intervalos de confiança de 80% e 95 %.

Tabela 02. Previsão do 1001º ponto por modelo matemático.

MODELO	PONTO	PREVISÃO	BAIXA 80	ALTA 80	BAIXA 95	ALTA 95
ARIMA (2,1,0)	1001	610.8624	602.6559	619.0688	598.3117	623.4131
EXP. SUAVIZADA	1001	611.8587	603.6036	620.1137	599.2337	624.4837
ARFIMA	1001	610.3783	602.1931	618.5635	597.8601	622.8965

Fonte: experimento.

4 CONCLUSÃO

No presente experimento, o modelo estatístico que apresentou a uma melhor acurácia preditiva para a previsão de preços do etanol – no intervalo de tempo delimitado – foi o ARFIMA, levando em consideração o menor Root Mean Squared Error (RMSE) deste modelo em relação aos demais, numa previsão de US$ 610,38 para o 1001º ponto; a inclusão de novos modelos matemáticos deve ser realizada ao experimento, objetivando uma maior acurácia na previsão diária do preço do etanol.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial do SENAI CIMATEC.

REFERÊNCIAS

TRIANA, Carlos Ariel Ramírez. Energetics of Brazilian ethanol: Comparison between assessment approaches. **Energy Policy**, v. 39, n. 8, p. 4605-4613, 2011.

BENITES-LAZARO, L. L.; MELLO-THÉRY, N. A.; LAHSEN, M. Business storytelling about energy and climate change: The case of Brazil's ethanol industry. **Energy Research & Social Science**, v. 31, p. 77-85, 2017.

Renewable Fuels Association. **Ethanolrfa. 2022**. Disponível em: <www.ethanolrfa.org/>. Acesso em: 15 mar. 2022.

DIAS DE OLIVEIRA, Marcelo E.; VAUGHAN, Burton E.; RYKIEL, Edward J. Ethanol as fuel: energy, carbon dioxide balances, and ecological footprint. **AIBS Bulletin**, v. 55, n. 7, p. 593-602, 2005.

GOMEZ, José MA; LEGEY, Luiz FL. An analysis of the impact of Flex-Fuel vehicles on fuel consumption in Brazil, applying Cointegration and the Kalman Filter. **Energy**, v. 81, p. 696-705, 2015.

EL MONTASSER, Ghassen et al. Are there multiple bubbles in the ethanol–gasoline price ratio of Brazil?. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 19-23, 2015.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (São Paulo). **ANFAVEA. 2022**. Disponível em: <http://www.anfavea.com.br/>. Acesso em: 15 mar. 2022.

DAVID, S. A. et al. Fractional dynamic behavior in ethanol prices series. **Journal of Computational and Applied Mathematics**, v. 339, p. 85-93, 2018.

R Foundation. **The Comprehensive R Archive Network.** 2018. Disponível em: <https://cran.r-project.org/>. Acesso em: 15 jul. 2018.
sso em: 19 set. 1998.

CEPEA (São Paulo). **Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada.** 2018. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br>. Acesso em: 15 mar. 2022.

Box, G.E.P. ET AL. Time Series analysis forecasting and control**. 3rd ed, New Jersey: Prentice Hall, 1994.**

MORETTIN, P. A. Econometria Financeira: um curso em Séries Temporais Financeiras**.** 1ª ed. São Paulo: **Blucher**, 2008.

MAÇAIRA, P. M. ET AL. Modelling and Forecasting the Residencial Eletricity Consumption in Brazil with Pegels Exponentials Smoothing Techniques, **Procedia Computer Science**, Volume 55, 2015.