

O preço do gás natural veicular em Mato Grosso do Sul e sua relação com os preços do Henry Hub e Brent avaliados por técnicas de “Machine Learning”

The price of natural gas for vehicles in the State of Mato Grosso do Sul and its relationship with Henry Hub and Brent prices evaluated by “Machine Learning” techniques

El precio del gas natural vehicular en Mato Grosso do Sul y su relación con los precios Henry Hub y Brent evaluados por técnicas de "Machine Learning"

Recebido: 03/11/2022 | Revisado: 13/11/2022 | Aceitado: 14/11/2022 | Publicado: 20/11/2022

Tiago Andreotti e Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2692-0609>
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil
E-mail: tiago.andreotti@ufms.br

Francisco Lledo dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7718-8203>
Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil
E-mail: franciscolledo@unemat.mt

Resumo

O setor de transportes é intenso no uso de energia, sendo a maior parte ainda obtida por meio de combustíveis fósseis. No contexto do aquecimento global e da alteração da matriz energética, o gás natural é considerado uma fonte de transição, tendo em vista ser menos poluente e já possuir uma tecnologia que pode ser prontamente utilizada. Assim, torna-se importante conhecer o seu comportamento local de preço em relação aos principais índices energéticos no mundo. O objetivo desse trabalho foi identificar a correlação entre o preço do gás natural veicular [GNV] no Estado de Mato Grosso do Sul [MS] e os índices Henry Hub [HH] e Brent, e elaborar modelos preditivos para o fenômeno. Para a análise, foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson e o modelo de regressão linear múltipla, realizados em duas etapas, sendo a primeira com o preço do GNV em MS em R\$, e a segunda com o preço do GNV em MS em US\$. Na primeira análise houve uma forte correlação positiva entre o preço em R\$ e a taxa de câmbio. Na segunda análise, ajustado o preço do GNV em MS em US\$, evidenciou-se uma forte correlação do preço do GNV em MS com o índice Brent.

Palavras-chave: Energia; Indicadores de preço; Combustível fóssil; Transporte; Mato Grosso do Sul; Transição energética.

Abstract

The transport sector is intense in the use of energy, most of which is still obtained through fossil fuels. In the context of global warming and the substitution of the energy matrix, natural gas is considered a transition source since it pollutes less than alternative sources and it has a readily usable technology. Thus, it is important to know its local price behavior in relation to the main energy indexes in the world. The objective of this work was to identify the correlation between the price of natural gas used for vehicles [VNG] in the State of Mato Grosso do Sul [MS] and the Henry Hub [HH] and Brent indices, and to develop predictive models for the phenomenon. For the analysis, the Pearson correlation coefficient and the multiple linear regression model were used, carried out in two stages, the first with the price of VNG in MS in BRL, and the second with the price of VNG in MS in US\$. In the first analysis, there was a strong positive correlation between the price in BRL and the exchange rate. In the second analysis, after adjusting the price of VNG in MS in US\$, there was a strong correlation between the price of VNG in MS and the Brent index.

Keywords: Energy; Price indexes; Fossil fuel; Transport; Mato Grosso do Sul; Energy transition.

Resumen

El sector del transporte es intensivo en el uso de energía, la mayor parte de la cual todavía se obtiene a través de combustibles fósiles. En el contexto del calentamiento global y cambio de matriz energética, el gas natural se considera una fuente de transición, con el fin de ser menos contaminante y ya contar con una tecnología que pueda ser fácilmente utilizada. Así, es importante conocer el comportamiento de su precio local en relación con los principales índices energéticos del mundo. El objetivo de este trabajo fue identificar la correlación entre el precio del gas natural vehicular [GNV] en el Estado de Mato Grosso del Sur [MS] y los índices Henry Hub [HH] y Brent, y desarrollar modelos predictivos para el fenómeno. Para el análisis se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson y el modelo de regresión lineal múltiple, realizados en dos etapas, la primera con el precio del GNV en MS en R\$, y la segunda con el precio del

GNV em MS em US\$. Em el primer análisis, hubo una fuerte correlación positiva entre el precio en R\$ y el tipo de cambio. En el segundo análisis, luego de ajustar el precio del GNV em MS em US\$, hubo una fuerte correlación entre el precio del GNV em MS y el índice Brent.

Palabras clave: Energía; Índice de precios; Combustible fósil; Transporte; Mato Grosso del Sur; Transición energética.

1. Introdução

O aquecimento global pode ser definido como o efeito sofrido pelo clima em razão de atividades humanas (Houghton, 2005), sendo a queima de combustíveis fósseis uma de suas principais causas (Messenger, 2021). As consequências deletérias do aquecimento global são variadas e complexas, compreendendo desde alterações climáticas com sérias consequências para a vida humana (IPCC, 2022) até a ampliação da desigualdade econômica entre países com climas diferentes (Differbaugh & Burke, 2019).

Segundo Gaulin e Billon (2020), há várias iniciativas que visam diminuir a oferta de combustíveis fósseis, porém a matriz energética mundial ainda apresenta uma grande dependência em relação a tais fontes. Mesmo em países com um maior desenvolvimento de fontes energéticas renováveis, os combustíveis fósseis ainda são essenciais como complemento energético em razão do caráter intermitente das fontes renováveis (Marques et al., 2018). Estima-se que, apesar dos avanços em desenvolvimento de energia renovável, a demanda global de combustíveis fósseis ainda se encontra em torno de 80% do total (Johnsson et al., 2018).

Em 2015, o setor de transportes representou 29% do total da energia consumida, sendo 65% do consumo do setor proveniente de produtos petrolíferos (Solaymani, 2019). Já no Brasil, no mesmo ano, o setor de transportes, com predominância do transporte rodoviário, foi responsável por 32,3% do consumo energético, correspondendo a queima de combustíveis fósseis a 56,3% do total (Empresa de Pesquisa Energética, 2022). Apesar do setor responder somente por 1/3 do total de energia consumida, as emissões de CO₂ decorrentes do transporte, no Brasil, giram em torno de 47% do total do consumo energético do país (SEEG, 2020), de forma que o setor é relevante na contribuição para o aquecimento global, devendo sua matriz energética ser repensada visando à diminuição do impacto ambiental.

Porém, em que pese a importância da alteração da matriz energética com o objetivo de diminuir as emissões de gases que causam aquecimento global, o processo não é rápido – há tanto questões de utilização de tecnologias disponíveis como de sua implementação em prazo razoável, além da necessidade de disponibilidade de infraestrutura que suporte as alterações propostas. Por exemplo, o uso de veículos elétricos pode sobrecarregar o sistema de geração e transmissão de energia, que, caso não haja planejamento adequado, poderia demandar a queima de combustíveis fósseis para suprir a demanda (Pereira et al., 2021).

Assim, há a necessidade de se avaliar a utilização de tecnologias alternativas que sejam menos prejudiciais que as atualmente utilizadas. Nesse contexto, o gás natural é considerado como um combustível de transição energética na mudança de fontes energéticas fósseis para fontes renováveis, já que é menos poluente que outras fontes fósseis e com tecnologia já bem desenvolvida, podendo também ser utilizado no transporte rodoviário (Szabo, 2022; Bruce e Delgado, 2017).

Para que o uso do gás natural seja viável no transporte rodoviário, especialmente considerando o investimento necessário para a renovação ou adaptação da frota, é necessário que haja uma correspondência entre o preço dos combustíveis comumente utilizados para o transporte e o gás natural, de modo a manter este combustível competitivo em relação aos demais (Yeh, 2007). Nos últimos anos o preço do gás em vários mercados sofreu alterações drásticas com a pandemia do Covid-19, decorrentes de questões geopolíticas (BBC, 2021).

No Brasil, apesar dos esforços realizados para a modernização do marco regulatório do gás natural e a abertura do mercado (Leal et al., 2019), o preço do gás natural veicular [GNV] para abastecimento em postos de combustível ainda é regulado por tarifas definidas pelas distribuidoras de gás natural, que compram o gás do fornecedor e revendem para os postos. Em que

pese a comercialização e distribuição de gás natural para veículos ser uma atividade regulada, a tarifa do serviço fornecido é impactada pelo preço do gás natural oferecido no mercado brasileiro, tendo em vista a necessidade de manutenção do equilíbrio econômico-financeiro do contrato de concessão das distribuidoras de gás natural (Lei 8987/95, art. 9º, §4º).

Nesse contexto, o objetivo do presente estudo é analisar, no âmbito do Estado de Mato Grosso do Sul [MS], utilizando a correlação de Pearson e a técnica de modelo linear de regressão múltipla, a correlação entre a tarifa de GNV e as alterações de preço dos dois principais indicadores energéticos relacionados a combustíveis fósseis, o Brent e o Henry Hub [HH], considerando também a variação da taxa de câmbio do dólar, e estabelecer um modelo preditivo para o preço do gás natural com base nos referidos índices e na taxa de câmbio R\$ US\$⁻¹.

2. Metodologia

Os dados da série histórica do preço spot do Brent e do HH foram coletados no site da U.S. Energy Information Administration [EIA], os dados referentes à tarifa de gás natural em MS foram coletados no site da Agência Nacional do Petróleo [ANP] e os dados referentes à taxa de câmbio (Série 3698) utilizados foram coletados no site do Banco Central do Brasil [BACEN].

O período considerado para a realização da análise é de jul. 2003 a dez. 2021, correspondendo ao período de disponibilidade dos preços de GNV ao consumidor em MS.

Não há dados para ago. 2003, set. 2003 e set. 2020, de forma que, para evitar erros no modelo, utilizamos o mesmo valor de preço do período anterior disponível.

A primeira parte da análise consiste na utilização do coeficiente de correlação de Pearson para verificar a relação entre a variável dependente e as variáveis explicativas (Fávero e Belfiore, 2017).

A segunda parte da análise foi a elaboração de um modelo preditivo, com base nas variáveis acima mencionadas. Para a elaboração do modelo foi utilizada a técnica de modelo linear de regressão múltipla por mínimos quadrados ordinários, tendo como variável dependente a tarifa do GNV em MS e como variáveis explicativas o preço do gás natural HH, o preço do barril de petróleo Brent e a taxa de câmbio R\$ US\$⁻¹ (ibid.). A referida técnica foi utilizada pois o objetivo é estudar a relação entre uma ou mais variáveis explicativas, que se apresentam na forma linear, e uma variável dependente quantitativa (ibid.).

Inicialmente, os dados foram tratados convertendo o poder energético do Brent e do m³ de gás natural para MMBTU, para que fosse possível realizar a análise e comparação de coisas parecidas. De acordo com a EIA (2022), um m³ de gás natural corresponde a 36.643,11 BTU, enquanto um Barril de Petróleo corresponde a 5.691.000,00 BTU. Os dados de conversão são, respectivamente, baseados na média de energia entregue para consumidores americanos de gás natural em 2020 e no valor energético do petróleo produzido nos EUA em 2020.

Considerando a influência da taxa de câmbio nos preços de commodities no Brasil, duas análises foram realizadas. A primeira análise foi realizada tendo o valor do GNV em MS como variável dependente, e o preço do gás natural HH (US\$ MMBTU⁻¹), o preço do petróleo Brent convertido para US\$ MMBTU⁻¹ e a taxa de câmbio como variáveis explicativas.

A segunda análise foi realizada após a conversão do valor do GNV em MS para dólar, sendo utilizado como variável dependente, tendo como variáveis explicativas o preço HH (US\$ MMBTU⁻¹) e o preço do petróleo Brent convertido para US\$ MMBTU⁻¹.

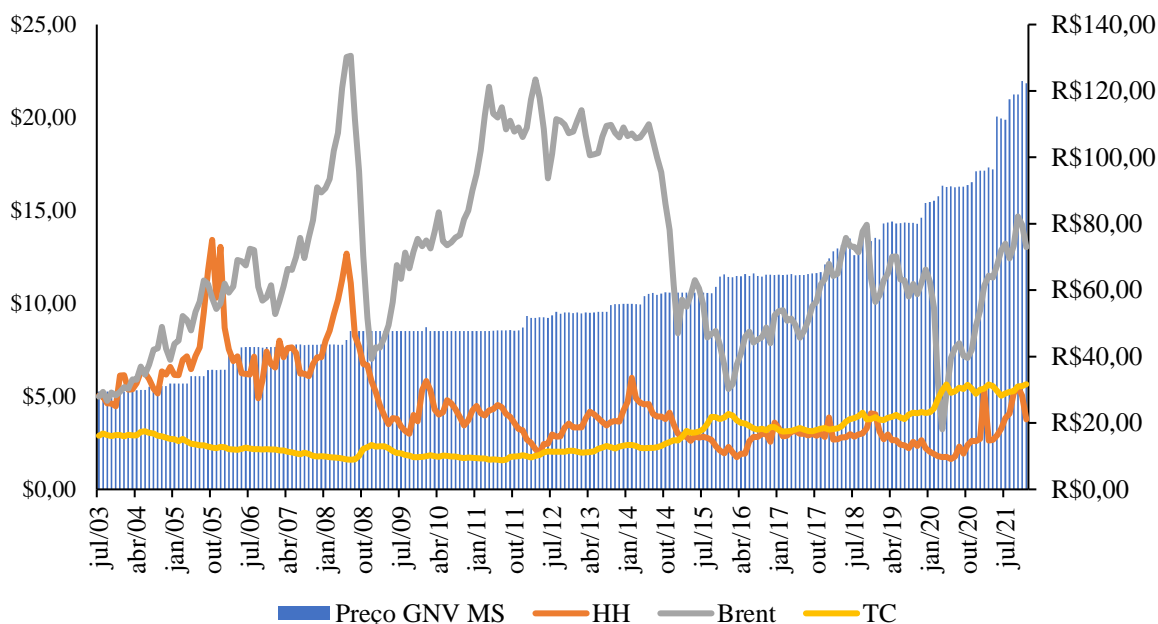
A identificação do coeficiente de Pearson foi realizada com a função PEARSON do Microsoft Excel®, enquanto as regressões foram realizadas utilizando a ferramenta Data Analysis (Regression).

3. Resultados e Discussão

3.1 Análise 1: preço GNV, em reais por MMBTU, em relação às variáveis explicativas (HH, Brent por MMBTU e Taxa de Câmbio)

De acordo com os dados obtidos, os valores das variáveis consideradas no presente estudo estão representados pelo gráfico na Figura 1, a seguir:

Figura 1. Variação do gás natural veicular [GNV] em Mato Grosso do Sul [MS] (R\$ MMBTU⁻¹), Henry Hub [HH] (US\$ MMBTU⁻¹), Brent (US\$ MMBTU⁻¹) e Taxa de Câmbio (R\$ US\$⁻¹).



Fonte: Resultados originais da pesquisa.

O primeiro modelo de regressão utiliza o preço do GNV em MS (R\$ MMBTU⁻¹) como variável dependente, tendo como variáveis explicativas o preço do gás natural HH, o preço do petróleo Brent (ambos em US\$ MMBTU⁻¹), e a taxa de câmbio (Série 3698 – Taxa de Câmbio – Livre – Dólar americano (venda) – Média de período – mensal). Não há, visualmente, uma correlação positiva com o HH ou com o Brent, o que é confirmado pela utilização da correlação de Pearson, cujos resultados estão apresentados na Tabela 1:

Tabela 1 - Coeficiente de Correlação de Pearson – gás natural veicular [GNV] em Mato Grosso do Sul [MS] em R\$.

Preço GNV R\$ x HH	-0,537798952
Preço GNV R\$ x Brent	-0,054157588
Preço GNV R\$ x TC	0,820807242

Fonte: Resultados originais da pesquisa.

Os resultados da Tabela 1 mostram que o preço do GNV em MS, em R\$, apresentou correlação positiva somente com a Taxa de Câmbio, apresentando uma leve correlação negativa com o preço do Brent em US\$ e correlação negativa com o preço do gás natural HH em US\$.

A correlação com a Taxa de Câmbio é bastante óbvia, tendo em vista que, ausente intervenção governamental, o preço de uma commodity, em reais, tende a acompanhar a variação do dólar. Porém, a falta de correlação com o preço do Brent ou do

HH indica que parece não haver um comportamento de preço do GNV em MS que esteja em linha com a variação dos preços internacionais. Outra possível explicação pode ser o efeito da Taxa de Câmbio, o que será verificado na segunda análise.

Aplicando a regressão linear, o modelo apresentou os resultados elencados na Tabela 2, a seguir:

Tabela 2 - Regressão gás natural veicular [GNV] R\$ MMBTU⁻¹, Henry Hub [HH], Brent e Taxa de Câmbio.

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,933691538
R Square	0,871779887
Adjusted R Square	0,870015391
Standard Error	7,269110421
Observations	222

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	3	78319,47	26106,49	494,0671	6,46E-97
Residual	218	11519,11	52,83997		
Total	221	89838,58			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>
Intercept	-14,2147495	3,37031	-4,21764	3,62E-05
X Variable 1	-1,32185979	0,245975	-5,37395	1,97E-07
X Variable 2	2,060504591	0,124384	16,56567	1,93E-40
X Variable 3	18,16334588	0,577167	31,4698	5,1E-83

Fonte: Resultados originais da pesquisa.

O R² da regressão, que mostra o quanto do comportamento da variável dependente é explicado pelas variáveis explicativas (Fávero e Belfiore, 2017), foi de 0,8717, ou seja, 87% do comportamento do preço do GNV em MS pode ser explicado pela variação do preço do gás natural HH, preço do petróleo Brent e taxa de câmbio.

O modelo é estatisticamente significativo a 95% de confiança, considerando o F de significação a 6,46E-97.

Analisando cada parâmetro, verifica-se que o intercepto e os demais parâmetros possuem significância estatística, sendo os respectivos *valores-P* iguais a 3,62E-05 (intercepto), 1,97E-07 (HH), 1,93E-40 (Brent) e 5,1E-83 (Taxa de Câmbio).

Assim, o modelo linear estabelecido foi o seguinte:

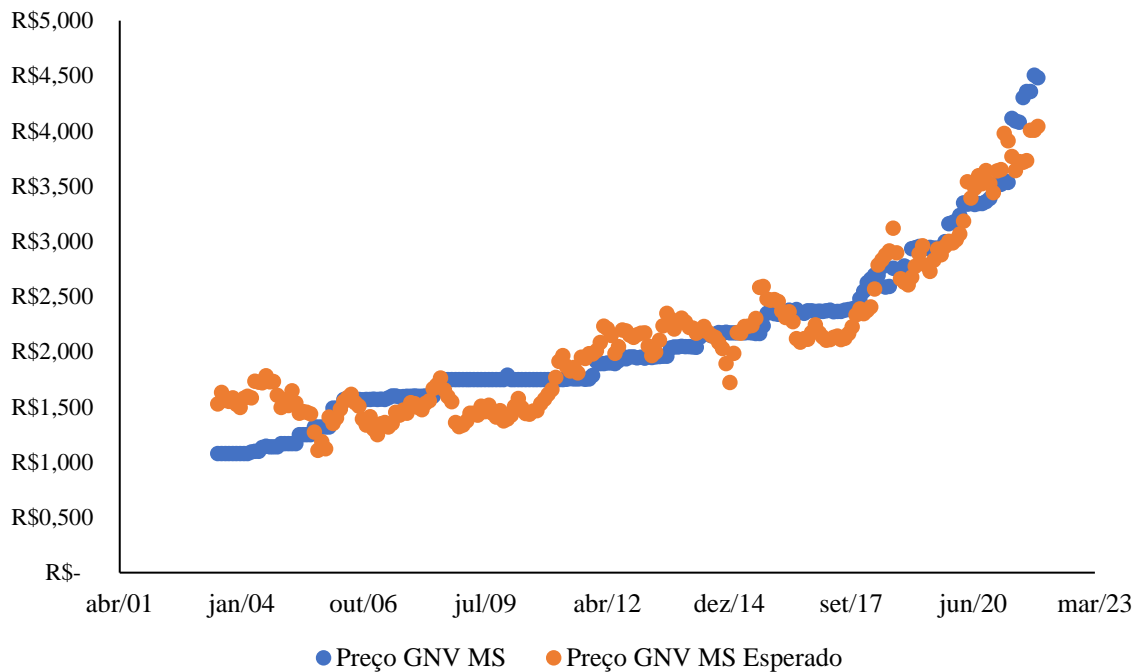
$$\text{GNVMS} \left(\frac{\text{R\$}}{\text{MMBTU}} \right) = -14,2147495 - 1,32185979 * \text{HH} + 2,060504591 * \text{Brent} + 18,16334588 * \text{TC} \quad (1)$$

Visando facilitar a utilização do modelo, a fórmula pode ser ajustada para considerar o GNV em R\$ m⁻³, e o preço do Brent em US\$ Barril⁻¹, de forma que o modelo passa a ser:

$$\text{GNVMS} \left(\frac{\text{R\$}}{\text{m}^3} \right) = \left(-14,2147495 - 1,32185979 * \text{HH} \right. \\ \left. (\text{MMBTU}) + 2,060504591 * \left(\frac{\text{Brent}}{5,691} \right) + 18,16334588 * \text{TC} \right) * 0,03664311 \quad (2)$$

Com base no modelo apresentado, chegamos à representação gráfica apresentada a seguir, na Figura 2, onde é possível comparar os valores observados com os valores esperados do preço do GNV em MS:

Figura 2 - Modelo de regressão considerando a tarifa de gás natural veicular [GNV] em Mato Grosso do Sul [MS] (RS m⁻³) em relação aos indicadores Henry Hub [HH], Brent e Taxa de Câmbio.



Fonte: Resultados originais da pesquisa.

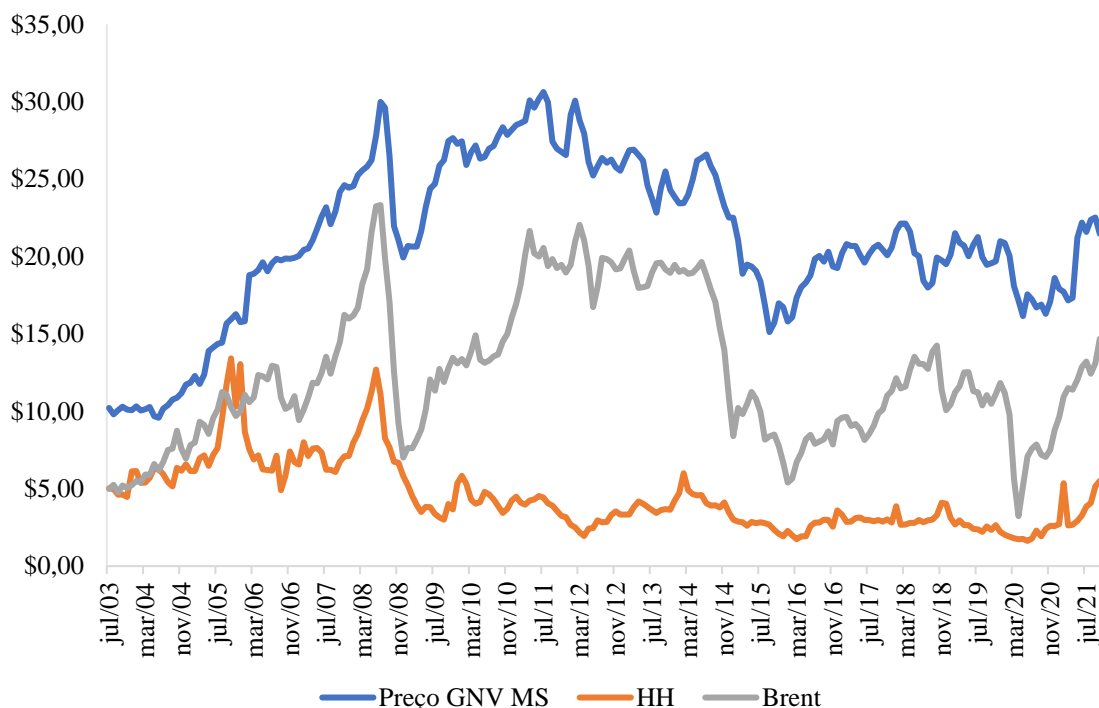
Assim, é possível verificar na Figura 2 que há uma aderência entre o preço esperado do gás natural, em RS m⁻³, conforme o modelo acima proposto, e o preço efetivo do gás natural cobrado dos consumidores.

Porém, a análise realizada, por meio do coeficiente de correlação de Pearson, não indicou relação entre o Brent e o preço da tarifa de gás em MS, em que pese o contrato para a venda de gás com a concessionária ser atrelado ao Brent (Contrato MSGÁS). Assim, passamos à segunda análise, tendo por base o preço do GNV em MS em US\$ MMBTU⁻¹, convertido pela taxa de câmbio média, conforme descrita na seção metodologia.

3.2 Análise 2: preço GNV, em dólares por MMBTU, em relação às variáveis explicativas (HH e Brent por MMBTU)

A segunda análise ajusta o valor do preço do GNV em MS para dólares, utilizando a taxa de câmbio média mensal (Série 3698 – Taxa de Câmbio – Livre – Dólar americano (venda) – Média de período – mensal). Após a transformação, o gráfico do preço do GNV em MS (US\$ MMBTU⁻¹), do HH (US\$ MMBTU⁻¹) e do Brent (US\$ MMBTU⁻¹), de jul/2003 a dez/2021, apresentado na Figura 3, fica da seguinte forma:

Figura 3 - Variação do gás natural veicular [GNV] em Mato Grosso do Sul [MS] (US\$ MMBTU⁻¹), Henry Hub [HH] (US\$ MMBTU⁻¹), Brent (US\$ MMBTU⁻¹).



Fonte: Resultados originais da pesquisa.

Diferentemente da análise 1, onde a taxa de câmbio foi utilizada como uma variável explicativa, sendo a única variável que apresentou correlação positiva com o preço do GNV em R\$, a análise considerando o preço do GNV em US\$ retornou uma forte correlação entre o preço do GNV e o preço do Brent, o que pode ser verificado visualmente na Figura 3, bem como no resultado apresentado na Tabela 3, a seguir, que traz os resultados do coeficiente de correlação de Pearson:

Tabela 3 - Coeficiente de Correlação de Pearson – Gás Natural Veicular [GNV] em Mato Grosso do Sul [MS] em US\$.

GNVMS (US\$) x HH	-0,093120927
GNVMS (US\$) x Brent	0,831393430

Fonte: Resultados originais da pesquisa.

Assim, controlando pela variação cambial, verifica-se correlação entre o preço do GNV e o Brent, mas não com o HH. Em que pese o HH ser o índice de preço do gás natural, a análise demonstra que o preço do GNV em MS é correlacionado com o preço do Brent. Tal fato está de acordo com as regras de precificação previstas no novo contrato entre a Concessionária de Gás Natural e sua Fornecedora (Contrato MSGÁS), de modo que, provavelmente, os contratos anteriores de fornecimento de gás natural também seguiam mecanismos parecidos.

Aplicando a regressão linear, o modelo apresentou os resultados elencados na Tabela 4, a seguir:

Tabela 4 - Regressão gás natural veicular [GNV] U\$ MMBTU-1, Henry Hub [HH] e Brent MMBTU-1.

<i>Regression Statistics</i>					
Multiple R		0,852901			
R Square		0,72744			
Adjusted R Square		0,724951			
Standard Error		2,700584			
Observations		222			

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	2	4262,796	2131,398	292,2463	1,52E-62
Residual	219	1597,201	7,293155		
Total	221	5859,997			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>
Intercept	11,16979	0,605587	18,44458	1,81E-46
X Variable 1	-0,43929	0,081424	-5,39504	1,77E-07
X Variable 2	0,950266	0,039542	24,03175	2,5E-63

Fonte: Resultados originais da pesquisa.

O R^2 da regressão, que mostra o quanto do comportamento da variável dependente é explicado pelas variáveis explicativas (Fávero e Belfiore, 2017), foi de 0,72744, ou seja, 73% do comportamento do preço do GNV em MS é explicado pela variação do preço do gás natural HH e pelo preço do petróleo Brent.

O modelo é estatisticamente significativo a 95% de confiança, considerando o F de significação a 1,52E-62.

Analisando cada parâmetro, verifica-se que o intercepto e os demais parâmetros possuem significância estatística, sendo os respectivos *valores-P* iguais a 1,81E-46 (intercepto), 1,77E-07 (HH) e 2,5E-63 (Brent).

Assim, o modelo linear estabelecido foi o seguinte:

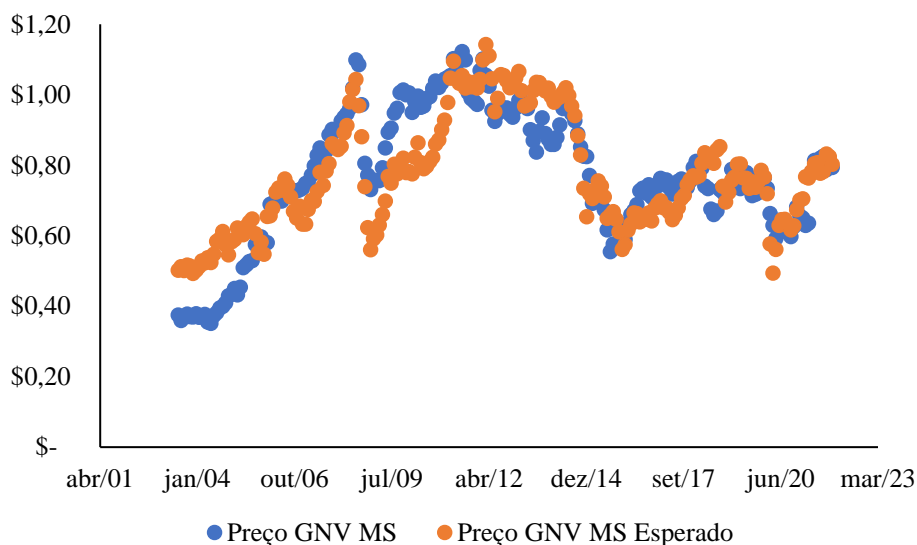
$$\text{GNVMS} \left(\frac{\text{US\$}}{\text{MMBTU}} \right) = 11,16979 - 0,43929 * \text{HH}(\text{MMBTU}) + 0,950266 * \text{Brent}(\text{MMBTU}) \quad (3)$$

Visando facilitar a utilização do modelo, a fórmula pode ser ajustada para considerar o GNV em $\text{US\$ m}^{-3}$, e o preço do Brent em $\text{US\$ Barril}^{-1}$, de forma que o modelo passa a ser:

$$\text{GNVMS} \left(\frac{\text{US\$}}{\text{m}^3} \right) = \left(11,16979 - 0,43929 * \text{HH}(\text{MMBTU}) + 0,950266 * \left(\frac{\text{Brent}}{5,691} \right) \right) * 0,03664311 \quad (4)$$

Com base no modelo apresentado, chegamos à representação gráfica da Figura 4, a seguir, onde é possível comparar os valores observados com os valores esperados do preço do GNV em MS, em $\text{US\$ m}^{-3}$:

Figura 4 - Modelo de regressão considerando a tarifa de gás natural veicular [GNV] em Mato Grosso do Sul [MS] (US\$ m⁻³) em relação aos indicadores Henry Hub [HH] e Brent.



Fonte: Resultados originais da pesquisa.

Percebe-se que o modelo obtido na análise 2, representado visualmente na Figura 4, apresenta aderência ao preço real do GNV. Assim, mantidas as condições atuais de mercado, o modelo pode servir como parâmetro de orientação para o comportamento do preço do GNV em MS em relação à mudança de preços do Brent e do HH.

4. Considerações Finais

O objetivo deste trabalho foi verificar a correlação entre o preço do GNV em MS com os índices de preços de commodities relacionados à energia, em especial o HH e o Brent, e estabelecer, com auxílio de técnicas de “machine learning”, um modelo preditivo do preço do GNV em MS. As análises foram realizadas em duas etapas. A primeira utilizou o preço em reais do GNV em MS por MMBTU e a comparou com a variação do HH, do Brent e da taxa de câmbio. Na segunda etapa, o preço do GNV em MS por MMBTU foi convertido para dólares, e então comparado com a variação do HH e do Brent. Na primeira análise identificou-se somente uma correlação positiva da variação do preço do GNV em relação ao câmbio (0,820807242), havendo uma correlação negativa em relação ao HH (-0,537798952) e uma leve correlação negativa em relação ao Brent (-0,054157588). Assim, o preço do GNV seria proporcional tão somente ao câmbio, mas inversamente proporcional ao HH e ao Brent, em que pese neste caso a correlação ser praticamente negligenciável. Em outras palavras, se a energia fica mais cara no mundo, o GNV fica mais barato no Brasil, o que não faz sentido em uma lógica de mercado. Assim, o efeito observado poderia ser em razão da própria flutuação do câmbio, que poderia estar mascarando a correlação de preço do GNV em MS em relação ao preço da energia no mundo, ou a ausência de correlação poderia ser decorrente de políticas de preço praticadas no Estado e no país. Para verificar o efeito câmbio realizou-se a segunda análise, onde o preço do GNV foi convertido para dólares antes do cálculo do coeficiente de Pearson e da realização da regressão. Observou-se uma forte correlação entre o preço do GNV em MS com o Brent (0,831393430), porém não houve correlação positiva com o HH (-0,093120927). O resultado está em linha com os mecanismos de preços do último contrato entre a Petrobras e a Concessionária de Gás Natural do MS, que prevê o índice Brent como mecanismo de reajuste. Em que pese a taxa de câmbio ter mascarado a correlação entre o preço do GNV e o Brent, o modelo preditivo obtido na primeira análise se mostrou mais ajustado do que na segunda, apresentando um R² maior.

Para um acompanhamento nacional do GNV como combustível de transição, pode ser interessante a realização da mesma análise em outros estados brasileiros. Finalmente, as alterações do mercado energético brasileiro devem ser monitoradas,

em especial em relação à sua abertura a novos entrantes, o que poderá modificar consideravelmente as premissas adotadas para o presente estudo e, conseqüentemente, demandar a necessidade de uma reavaliação do modelo proposto.

Referências

- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. (2022). *Série histórica do levantamento de preços*. [Base de dados]. <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/precos-revenda-e-de-distribuciao-combustiveis/serie-historica-do-levantamento-de-precos>.
- Banco Central do Brasil. (2022). *Consultar séries (Série 3698 Taxa de câmbio – Livre – Dólar americano (venda) – Média do período – mensal)*. [Base de dados]. <https://www3.bcb.gov.br/sgspub/consultarvalores/telaCvsSelecionarSeries.paint>.
- BBC. (17 de outubro, 2021). *Gas price rises: Russia not withholding supplies, says ambassador to UK*. <https://www.bbc.com/news/business-58945024>.
- Bruce da Silva, T., Delgado, F. (2018). *Transição energética: Califórnia Style*. FGV Energia. <https://fgvenergia.fgv.br/opinioes/transicao-energetica-california-style>.
- Companhia de Gás do Estado de Mato Grosso do Sul S.A. [MSGÁS] e Petróleo Brasileiro S.A. [Petrobras]. (2021). *Contrato de Compra e Venda de Gás Natural na Modalidade Firme Inflexível – Vigência 2022-2025*. Acessado em 04 de fevereiro de 2022, de <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/movimentacao-estocagem-e-comercializacao-de-gas-natural/acompanhamento-do-mercado-de-gas-natural/pccv/msgas-lp-202100260010101-00.zip>.
- Diffenbaugh, N. & Burke, M. (2019). Global warming has increased global economic inequality. *PNAS*, 116(20), 9808-9813. <https://doi.org/10.1073/pnas.1816020116>
- Empresa de Pesquisa Energética. (2022). *Balço energético nacional 2022: Ano base 2021*. Ministério de Minas e Energia. <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>
- Fávero, L., Belfiore, P. (2017). *Manual de análise de dados: estatística e modelagem multivariada com Excel, SPSS e Stata*. Elsevier, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Gaulin, N., Le Billon, P. (2020). Climate change and fossil fuel production cuts: assessing global supply-side constraints and policy implications. *Climate Policy* 20(8), 888-901. <https://doi.org/10.1080/14693062.2020.1725409>
- Houghton, J. (2005). Global Warming. *Reports on Progress in Physics*, 68(6), 1343-1403.
- IPCC. (2022). Impacts of 1.5°C Global Warming on Natural and Human Systems. In *Global Warming of 1.5°C: IPCC Special Report on Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-industrial Levels in Context of Strengthening Response to Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty* (pp. 175-312). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781009157940.005
- Johnsson, F., Kjærstad, J., & Rootzén, J. (2019). The threat to climate change mitigation posed by the abundance of fossil fuels. *Climate Policy*, 19(2), 258-274. <https://doi.org/10.1080/14693062.2018.1483885>
- Leal, F., Rego, E., Celma, O. R. (2019). Natural gas regulation and policy in Brazil: Prospects for the market expansion and energy integration in Mercosul. *Energy Policy*, 128(2019), 817-829. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.01.030>
- Lei n. 8.987 (1995). Diário Oficial da União, Brasília, 28 set 1998 (repblicado). Seção 1, p. 3-5. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/18987cons.htm.
- Leonard, M., Pisani-Ferry, J., Shapiro, J., Tagliapietra, S., Wolff, G. (2021). *The Geopolitics of the European Green Deal*. European Council on Foreign Relations. <https://ecfr.eu/wp-content/uploads/The-geopolitics-of-the-European-Green-Deal.pdf>
- Marques, A., Fuinhas, J., Pereira, D. (2018). Have fossil fuels been substituted by renewables? An empirical assessment for 10 European countries. *Energy Policy*, 116(2018), 257-265. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.02.021>
- Messenger, S. (01 de novembro de 2021). COP26: Sense of hope needed on climate change - Drakeford. *BBC*. <https://www.bbc.com/news/uk-wales-59112288>
- Pereira, J.S, Gadda, T.M.C., Amancio, E.C., Urbanetz Júnior, J., Corrêa, J.N.; Silveira, T.C. An energy transition analysis for a public transit bus system. *Theoretical and Empirical Researches in Urban Management*, 16(3), 53-72. <https://www.jstor.org/stable/27035546>
- SEEG. (2020). *Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas de clima do Brasil: 1970-2019*. Observatório do Clima. http://energiaambiente.org.br/wp-content/uploads/2020/11/SEEG8_DOC_ANALITICO_SINTESE_1990-2019.pdf
- Solaymani, S. (2019). CO₂ emissions patterns in 7 top carbon emitter economies: The case of transport sector. *Energy*, 168(1), 989-1001. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.11.145>
- Szabo, J. (2022). Energy transition or transformation? Power and politics in the European natural gas industry's *transformismo*. *Energy Research & Social Science*, 84(2022), 102391. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102391>
- U.S. Energy Information Administration. (2022). *Natural Gas*. [Base de dados]. https://www.eia.gov/dnav/ng/ng_pri_fut_s1_m.htm
- U.S. Energy Information Administration. (2022). *Petroleum & Other Liquids*. [Base de dados]. https://www.eia.gov/dnav/pet/pet_pri_spt_s1_m.htm
- U.S. Energy Information Administration. (6 de maio, 2022). *Units and calculators explained*. <https://www.eia.gov/energyexplained/units-and-calculators/energy-conversion-calculators.php>
- Yeh, S. (2007). An empirical analysis on the adoption of alternative fuel vehicles: The case of natural gas vehicles. *Energy Policy*, 35(2007), 5865-5875. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.06.012>