

Análise Econômica da Cadeia Produtiva do Biodiesel

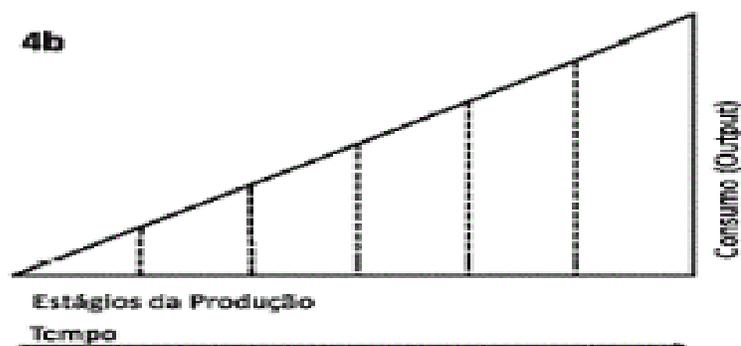
O setor de biocombustíveis adquire cada vez mais importância dentro da economia mundial. O Brasil, como um dos maiores produtores desses bens no mundo, está posicionado favoravelmente para contribuir significativamente para o crescimento do setor, já sendo um dos países que mais trabalha com energia verde em todo o globo. O biodiesel é um dos principais derivados de resíduos vegetais que funciona como biocombustível, e, segundo a Embrapa, emite quase 80% menos de CO do que o diesel feito de produtos fósseis. Globalmente, a demanda por biodiesel tem aumentado consideravelmente e a projeção é que continue aumentando nas próximas décadas. O valor de mercado global do setor foi de cerca de R\$ 167.400.000.000 e a CAGR (taxa de crescimento anual composta) projetada até 2028 é de 6,2%.

Uma característica comum da economia moderna é o impacto que a produção de um produto tem em diferentes cadeias produtivas que, juntas, formam a produção de um país, região ou setor. Portanto, é mister analisar, de maneira simples e clara, qual o impacto que a produção de biodiesel e sua cadeia produtiva tem, tanto entre os insumos e o produto final, quanto entre esse biocombustível e a economia brasileira como um todo.

Sendo assim, a análise consiste em examinar economicamente a cadeia produtiva do biodiesel e fazer uma investigação estatística do setor para conceber parâmetros de dados que mostre os impactos da produção de biodiesel.

Análise Econômica

Segundo Bawerk, a produção de bens se dá por etapas, chamadas de bens de capital, partindo da mais básica até a última, na qual se finaliza o bem de consumo. O alongamento da cadeia produtiva, dada a adição de bens de capital, tornam o valor final dessa cadeia maior, ou seja, quantos mais etapas produtivas necessárias para chegar ao bem de consumo final, maior valor essa cadeia produzirá.



É possível ver, na figura acima, chamada triângulo hayekiano, uma representação das etapas produtivas de uma indústria X, que termina com o bem de consumo final. O eixo horizontal representa as diversas etapas de produção e o eixo vertical representa o valor produzido. A cada etapa, o valor adicionado aumenta.

Dada a longa cadeia produtiva do biodiesel, já que o mesmo está conectado à cadeia da agropecuária, é notável a importância socioeconômica do mesmo. Para produzir biodiesel, por exemplo, é necessário óleo de soja, que é derivado da produção de soja em grãos. Ao mesmo tempo, produzir soja em grãos também resulta em farelo, que, por sua vez, é usado como alimento para bovinos. Essa rede produtiva interligada é benéfica para a economia e, quanto maior ela for, maior valor é gerado, mais emprego são abertos, mais renda é circulada e maior a produção econômica como um todo.

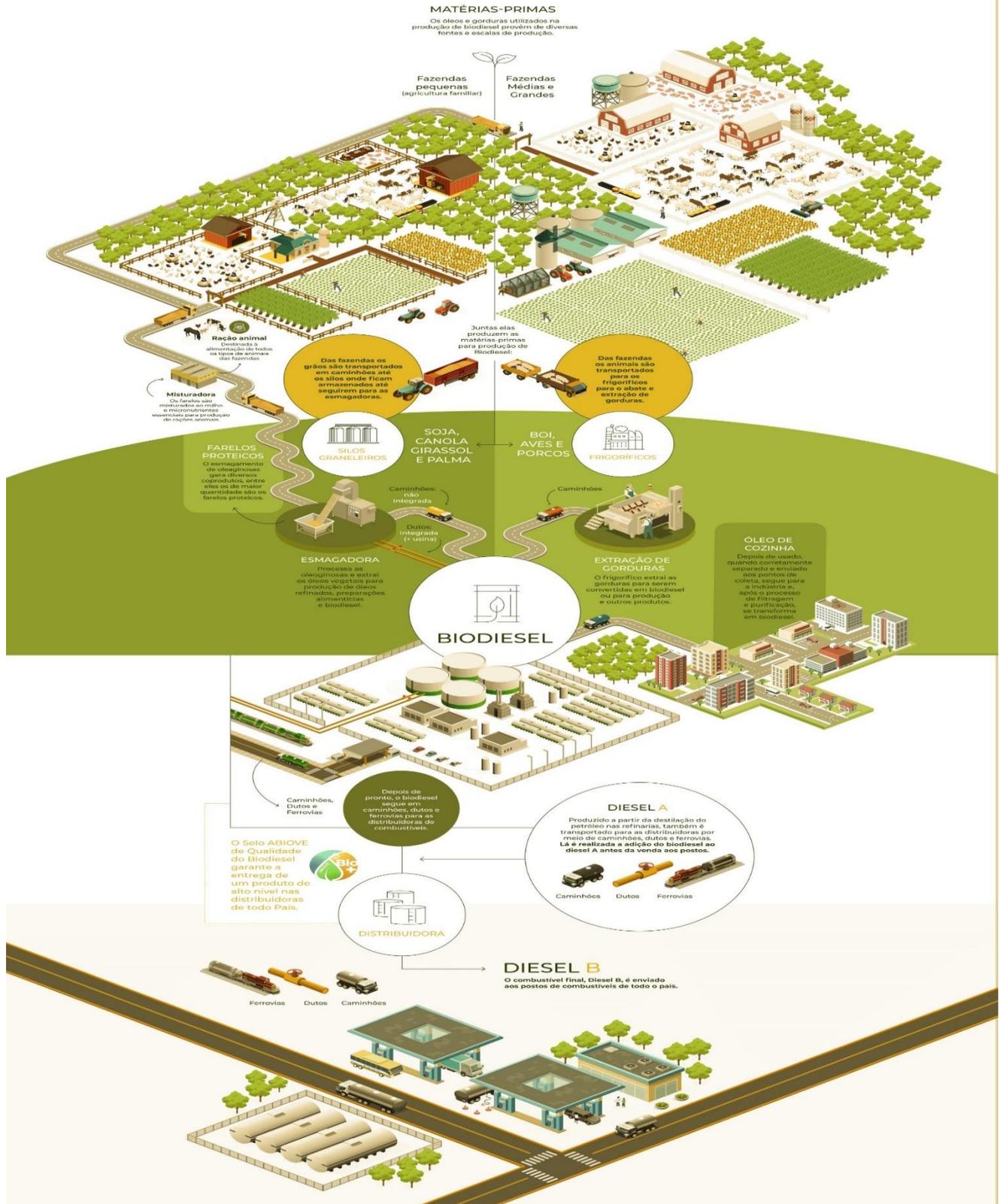
Sendo assim, podemos ver que políticas que incentivam o alongamento da cadeia produtiva são as que beneficiariam todos os setores envolvidos na mesma, principalmente o biodiesel. E, dado que as etapas da cadeia são os bens de capital utilizados consecutivamente, políticas que incentivem os bens de capital são importantes para o crescimento sustentável da cadeia.

Na imagem abaixo, podemos ver uma representação da cadeia produtiva do biodiesel. Tudo se inicia nas fazendas, sejam pequenas (agricultura familiar) ou médias e grandes (produção industrial). Nelas, são produzidas matérias-primas da produção do biodiesel: grãos e resíduos animais. Os grãos são levados às esmagadoras, gerando farelo, que depois vão para as misturadoras, nas quais se tornam ração animal, alimentando todos os tipos de animais de fazendas. Os resíduos animais, como sebo e gorduras, vão aos frigoríficos, onde são processados e se tornam gorduras que servem de insumo ao biodiesel.

Após todas essas etapas, as matérias-primas chegam às usinas de biodiesel, onde são processadas e daí surge o combustível em si, que, por sua vez, é levado às distribuidoras, que fazem a mistura com o combustível fóssil, dando origem ao produto final, pronto para ser transportado e vendido nos postos de combustíveis de todo o país.

Segundo a ABIOVE, em 2023, 2.319.004 pessoas estavam empregadas na cadeia da soja e do biodiesel, com um rendimento médio mensal de R\$3.138, e PIB-renda de cerca R\$ 635.889.000,00. Desde 2012, o total de empregos nessa cadeia aumentou aproximadamente 104%.

Portanto, a importância da cadeia do biodiesel se faz evidente. Além disso, também é evidente que, para o contínuo crescimento desse setor, se expanda a cadeia produtiva, aumentando os estágios de produção com mais bens de capital, tornando a cadeia mais capital-intensiva, para que cresça a produtividade e o produto final.



Resultados da Análise Econométrica

Primeiramente, vejamos como a produção de um insumo de extrema importância para a cadeia do biodiesel afeta o PIB do Brasil.

Regressão linear simples – Modelo ARIMA usando observações entre 2007 e 2022 da produção de soja em 1.000 toneladas e o PIB total do Brasil.

	coefficient	std. error	z	p-value	
const	7646.89	624.943	12.24	1.99e-034	***
phi_1	0.683177	0.222886	3.065	0.0022	***
theta_1	0.332994	0.256062	1.300	0.1934	
Produçã~	0.0154146	0.00619671	2.488	0.0129	**
Mean dependent var	9165.820	S.D. dependent var	580.6491		
Mean of innovations	39.85669	S.D. of innovations	266.7940		
R-squared	0.781740	Adjusted R-squared	0.748161		
Log-likelihood	-112.6647	Akaike criterion	235.3295		
Schwarz criterion	239.1924	Hannan-Quinn	235.5273		

Dado o modelo proposto, é possível concluir que, se a produção de soja variasse em 0, o valor base do PIB seria R\$ 7.646,89 bilhões de reais, com alta significância estatística, dado o *p-valor* extremamente baixo ($p < 0,01$). Se a produção variasse em 1 unidade, aqui medida em 1.000 toneladas, o PIB do Brasil aumenta em 0,0154 bilhões de reais, ou seja, em aproximadamente R\$ 15,4 milhões, também com significância estatística (à 5%), pois o *p-valor* é 0,0129. Tanto o R^2 (0,7817 ou 78,17%) quanto o R^2 ajustado (0,7481 ou 74,81%), que mostram o quanto a variação do PIB é explicada pela produção de soja, nos dizem que o modelo tem um bom ajuste nesse quesito, assim como o Critério de Akaike (235.3295) e o Critério de Schwarz (239.1924).

Portanto, a produção de soja possui impacto positivo e estatisticamente significativo no PIB do Brasil. A economia desse produto se mostra importante para o crescimento do país.

Já num modelo focado na cadeia produtiva do biodiesel, entre as variáveis do PIB da pecuária brasileira e a produção de biodiesel, com observações anuais dos últimos 10 anos, os resultados mostram que, se a produção de biodiesel variasse em 0, o PIB da pecuária seria igual à R\$ 546.899 bilhões, com *p-valor* altamente significativo (à 1%), ou seja, $p < 0,01$. Se a produção de biodiesel variasse em 1 unidade, ou seja, 1 m³, o PIB da pecuária aumentaria em R\$ 0,000600936 bilhões, ou seja, cerca de R\$ 60.093. Esse número não é o preço de venda, i.e, quanto compradores e vendedores acordam no momento da troca, mas o valor potencial que a produção de 1m³ adiciona ao PIB da pecuária. Nesse caso, também há altíssima significância estatística. O R^2 e o R^2 ajustado possuem respectivamente valores de

0,6996 (ou 69,96%) e 0,6137 (61,37%), indicando novamente um bom ajuste, no qual a variação da produção de biodiesel explica, pelo R^2 ajustado (uma medida mais precisa), 61,37% da variação do PIB da pecuária brasileira. Os três critérios avaliativos de Akaike (117.8965), Schwarz (119.4094) e de Hannan-Quinn (116.2368), indicam um bom ajuste do modelo, o que o torna ainda mais credível.

Regressão linear simples – Modelo ARIMA usando observações entre 2013-2022 da produção de biodiesel e o PIB da pecuária brasileira

	coefficient	std. error	z	p-value	
const	546.899	51.6400	10.59	3.29e-026	***
phi_1	0.333888	0.441065	0.7570	0.4490	
theta_1	0.278385	0.345519	0.8057	0.4204	
ProduAAoBiodiesel	6.00936e-05	1.05555e-05	5.693	1.25e-08	***
Mean dependent var	836.4170	S.D. dependent var	99.52955		
Mean of innovations	1.543030	S.D. of innovations	52.30311		
R-squared	0.699602	Adjusted R-squared	0.613774		
Log-likelihood	-53.94826	Akaike criterion	117.8965		
Schwarz criterion	119.4094	Hannan-Quinn	116.2368		

Sendo assim, é possível concluir que a produção de biodiesel tem impacto significativo de caráter positivo no PIB da pecuária, evidenciado como a cadeia produtiva dos biocombustíveis, especificamente do biodiesel, pode contribuir para o desenvolvimento da pecuária do país.

Vendo essas duas regressões, podemos ver o impacto positivo da cadeia produtiva do biodiesel na economia brasileira, demonstrando o que foi dito acima: o valor da produção aumenta com o alongamento, ou seja, com mais estágios de produção. Como a cadeia produtiva do biodiesel abarca diversos outros setores, como a soja e pecuária examinadas acima, então o valor que o biodiesel adiciona à economia é positivo.

Regressão linear simples – Modelo ARIMA usando observações entre 2013-2022 da produção de biodiesel e o PIB do Agro

	coefficient	std. error	z	p-value	
const	1676.48	94.6954	17.70	3.91e-070	***
phi_1	0.275678	0.355272	0.7760	0.4378	
theta_1	0.541347	0.356585	1.518	0.1290	
ProduAAoBiodiesel	0.000102965	2.57921e-05	3.992	6.55e-05	***
Mean dependent var	1976.576	S.D. dependent var	251.2464		
Mean of innovations	-1.114762	S.D. of innovations	108.8953		
R-squared	0.799748	Adjusted R-squared	0.768940		
Log-likelihood	-98.10123	Akaike criterion	206.2025		
Schwarz criterion	210.0654	Hannan-Quinn	206.4003		

Nesse modelo ARIMA acima, vemos a relação entre a produção de biodiesel e o PIB do agronegócio. Os resultados mostram que, se a produção de biodiesel variasse em 0 unidades, o PIB do agronegócio seria equivalente à R\$ 1.676,48 bilhões, com *p-valor* extremamente significativo, menor que 0,01. Dado isso, se a produção do biodiesel variar em 1.000 unidades, ou seja, em 1.000 metros cúbicos, o PIB do agro potencialmente varia em R\$ 102.965.000,00, também com significância estatística ao nível de significância de 1%, pois o *p-valor* é menor que 0,01. O modelo é bem ajustado, com um R^2 de 0,79 (ou 79%) e um R^2 -ajustado de 0,76 (ou 76%). Os outros critérios informativos, de Akaike (206.2025), Schwarz (210.0654) e Hannan-Quinn (206.4003) também mostram o bom ajuste do modelo.

Destinchando ainda mais o impacto do biodiesel em diversos indicadores econômicos brasileiros, podemos analisar por setor de proteína animal. Primeiramente, vejamos como a produção de biodiesel impacta o PIB do setor bovino brasileiro.

Regressão linear simples – Modelo ARIMA usando observações de 2000-2023 da produção de biodiesel e o PIB do setor bovino

	coefficient	std. error	z	p-value	
const	82.8853	3.86503	21.44	5.09e-102	***
phi_1	0.391681	0.302136	1.296	0.1948	
theta_1	0.494287	0.322086	1.535	0.1249	
ProduAAoBiodiesel	8.33496e-06	1.61431e-06	5.163	2.43e-07	***
Mean dependent var	114.2121	S.D. dependent var	24.98475		
Mean of innovations	0.270244	S.D. of innovations	6.883377		
R-squared	0.920379	Adjusted R-squared	0.910427		
Log-likelihood	-64.01323	Akaike criterion	138.0265		
Schwarz criterion	142.7486	Hannan-Quinn	138.8256		

O impacto da produção de biodiesel no PIB do setor bovino é positivo e estatisticamente significativo. Para cada 1.000 metros cúbicos de biodiesel produzidos, a PIB do setor bovino varia em R\$ 8.33496 milhões, com *p*-valor menor que 0,01 e R^2 -ajustado de 0.910427, o que mostra o ótimo ajuste do modelo.

Regressão linear simples – Modelo ARIMA usando observações de 2000-2023 da produção de biodiesel e o PIB do setor de frango

	coefficient	std. error	z	p-value	
const	53.1646	1.44549	36.78	3.92e-296	***
phi_1	-0.252812	0.412894	-0.6123	0.5403	
theta_1	0.586059	0.317610	1.845	0.0650	*
ProduAAoBiodiesel	5.43958e-06	1.22011e-06	4.458	8.26e-06	***
Mean dependent var	72.54737	S.D. dependent var	13.99072		
Mean of innovations	-0.005412	S.D. of innovations	5.001783		
R-squared	0.865162	Adjusted R-squared	0.848307		
Log-likelihood	-57.62898	Akaike criterion	125.2580		
Schwarz criterion	129.9802	Hannan-Quinn	126.0571		

Também é observado o impacto positivo do biodiesel no setor de frango, com alta significância estatística. Mil metros cúbicos de biodiesel variam o PIB do setor em R\$ 5.43958 milhões, com um ótimo ajuste do modelo, dado o R^2 -ajustado de 0.848307.

Para o PIB do setor suíno, o modelo a seguir nos diz que, assim como o PIB do setor bovino e do de frango, o impacto do biodiesel é positivo em R\$ 2.280195 milhões por 1.000 metros cúbicos de biodiesel, também com um ótimo ajuste (R^2 -ajustado = 0.906193).

É notável, portanto o impacto que a produção de biodiesel tem no setor de proteína animal, o que está de acordo com o impacto positivo no PIB da pecuária e do agronegócio em geral.

Regressão linear simples – Modelo ARIMA usando observações de 2000-2023 da produção de biodiesel e o PIB do setor suíno

	coefficient	std. error	z	p-value	
const	16.9284	0.103064	164.3	0.0000	***
phi_1	0.451251	0.221617	2.036	0.0417	**
theta_1	-1.00000	0.138527	-7.219	5.25e-013	***
ProduAAoBiodiesel	2.28195e-06	8.21728e-07	2.777	0.0055	***
Mean dependent var	25.10368	S.D. dependent var	5.803493		
Mean of innovations	0.005110	S.D. of innovations	1.631644		
R-squared	0.916616	Adjusted R-squared	0.906193		
Log-likelihood	-37.31312	Akaike criterion	84.62624		
Schwarz criterion	89.34843	Hannan-Quinn	85.42542		

Análises de correlação

Em uma análise pela correlação de Pearson, examinando a relação entre a produção biodiesel, o PIB total do Brasil, o PIB do agro e o PIB da pecuária, com dados de 2013-2022, temos os seguintes resultados:

Correlação de Pearson - Produção Biodiesel e PIB Brasil Total	Correlação de Pearson - Produção Biodiesel e PIB Agro Total	Correlação de Pearson - Produção Biodiesel e PIB Pecuária
0.069485395	0.812393421	0.76

Nota-se que existe uma correlação positiva em todos os casos. Isso significa que, quando uma das variáveis cresce, a outra também cresce. Entretanto, a correlação entre o PIB total e a produção biodiesel é muito baixa, cerca de 0.06, o que indica que não há uma relação significativa entre as duas variáveis. Por outro lado, existe forte correlação positiva entre a produção do biocombustível e o PIB do agro total, de 0.81, possivelmente porque o biodiesel é produzido por matérias-primas advindas da produção agropecuária, especialmente soja. Da mesma maneira, existe forte correlação positiva entre a produção do biodiesel e o PIB da pecuária, de 0.76, o que sugere que a produção de biodiesel está relacionada de forma significativa com o setor pecuário. É possível que isso se deva ao fato de que subprodutos da pecuária podem ser utilizados na produção de biodiesel, ou que a economia das regiões produtoras de biodiesel seja altamente influenciada pela pecuária, o que se confirma em análise geográfica.

Os impactos da produção de biocombustíveis em diversos indicadores

Jebli e Youssef (2019), em estudo publicado na revista *Carbon Management*, analisaram as relações entre o consumo de biocombustíveis e resíduos, valor adicionado na agricultura emissão de dióxido de carbono e o Produto Interno Bruto do Brasil. Os resultados mostraram o seguinte:

- Aumentar o consumo de biocombustíveis e resíduos reduz as emissões de dióxido de carbono, dado que biocombustíveis são menos poluentes;
- Aumentar o valor agregado da agricultura reduz emissões de CO², possivelmente pelo uso mais eficiente de energia e/ou uso em maior quantidade de energias limpas;
- Aumentar o consumo de biocombustíveis e o valor agregado da agricultura aumentam o PIB;

- Aumentar o consumo de biocombustíveis reduz o valor agregado da agricultura e vice-versa, ou seja, produção agrícola e consumo de biocombustíveis parecem ser bens substitutos no Brasil.

Portanto, concluem os autores, o consumo de biocombustíveis e resíduos tem impacto positivo tanto no crescimento econômico quanto no meio-ambiente. Eles recomendam que o Brasil continue a encorajar produção agrícola e de biocombustíveis, e que a característica de substituição entre a produção agrícola e a de biocombustíveis pode ser reduzida ou até revertida, tornando esses dois bens complementares.

Uma das maneiras de realizar isso seria encorajar biocombustíveis de segunda-geração, que utilizam biomassa de resíduos não-alimentares, pois tais produtos parecem ser complementares e não substitutos. Para tal, eles recomendam investimento em pesquisa e desenvolvimento para a produção de biocombustíveis de segunda-geração, dizendo que o Brasil já alcançou resultados expressivos nas últimas três décadas, e, se o país adotar medidas para incentivar biocombustíveis de segunda-geração, é plausível esperar maior crescimento econômico e melhor proteção ambiental.

Já Cavalcante Filho, Buainain e Pereira da Cunha (2021) analisaram os impactos socioeconômicos da cadeia produtiva do biodiesel, especialmente na agricultura familiar, no ano de 2015. Os resultados mostraram que a produção da cadeia do biodiesel, em geral, gerou R\$ 10,3 bilhões para a economia brasileira e manteve cerca de 193 mil empregos. O impacto no PIB brasileiro foi de 9%, basicamente, segundo os autores, devido ao aumento da mistura obrigatória do biodiesel ao óleo diesel mineral.

Correlações entre a produção de biodiesel e suas principais matérias-primas

O exame da produção de biodiesel e os principais produtos que estão atrelados à produção do mesmo revelou os seguintes coeficientes de correlação:

- Biodiesel x Grãos de soja

Coefficiente de correlação = **0.973**. Existe uma fortíssima correlação positiva entre o biodiesel e a produção de grãos de soja, ou seja, quando a produção de grãos aumenta, a produção de biodiesel também aumenta.

- Biodiesel x Farelo de soja

Coefficiente de correlação = **0.944**. Existe uma correlação positiva altamente significativa entre o biodiesel e a produção de farelo de soja, ou seja, quando a produção de farelo aumenta, a produção de biodiesel também aumenta.

- Biodiesel x Abates suínos

Coefficiente de correlação = **0.949**. Existe uma correlação positiva altamente significativa entre o biodiesel e o número de cabeças de suínos abatidas, ou seja, quando os abates suínos aumentam, a produção de biodiesel também aumenta.

- Biodiesel x Abates bovinos

Coefficiente de correlação = **-0.246**. Não existe uma correlação significativa entre produção de biodiesel e abates bovinos, apenas uma fraca correlação negativa. Ou seja, aumentar os abates de cabeças bovinas não necessariamente aumenta a produção de biodiesel.

- Biodiesel x Óleo de palma

Coefficiente de correlação = **0.989**. Essa é a correlação mais forte encontrada na análise. Existe uma correlação positiva extremamente forte entre produzir óleo de palma e produzir biodiesel, i.e., quando uma sobe, a outra também sobe.

- Biodiesel x Óleo de soja

Coefficiente de correlação = **0.983**. Também existe correlação positiva altamente significativa entre produção de biodiesel e de óleo de soja.

- Biodiesel x Sebo e gorduras

Coefficiente de correlação = **0.788**. Existe uma forte correlação positiva entre as duas variáveis, mesmo que não ao mesmo nível de outras matérias-primas. Mas ainda é uma correlação significativa, que nos mostra o crescimento conjunto da produção.

Projeções para o setor

Segundo a *Markets and Markets*, o Mercado global de biocombustíveis está cotado hoje em quase 170 bilhões de dólares. A projeção é que o mesmo cresça para 225 bilhões de dólares em 2028, ou seja, uma taxa de crescimento anual composto de 6,2%. Existe um aumento na demanda por energias limpas, a grande oferta de biomassa usada para gerar biocombustíveis e as políticas favoráveis implementadas por governos.

O grande obstáculo é o custo inicial de investimento. Construir uma refinaria de biocombustíveis, por exemplo, requer um valor de investimento em capital alto. Ainda assim, projeta-se contínuo crescimento do setor, também por causa da exaustão das fontes de combustíveis fósseis. O Brasil, porém, possui uma vantagem: o custo das matérias-primas no país é relativamente baixo, enquanto nos EUA é relativamente alto. Portanto, o Brasil possui uma vantagem comparativa nesse segmento. Porém, espera-se que a América do Norte continue sendo o maior mercado de biocombustíveis.

Também se destaca o mercado de biojatos: o combustível sustentável para aviação deve ser o segmento que mais cresce nos próximos anos no setor, dado que órgãos internacionais têm incentivado a utilização desse combustível em suas regulações.

Conclusão

Os biocombustíveis representam uma combinação entre oportunidade econômica e preservação do ambiente. O setor vem crescendo de maneira robusta nos últimos anos, e tal crescimento deve continuar até o final dessa década. O Brasil está estrategicamente posicionado para competir nesse mercado, sendo já um dos maiores produtores de biocombustíveis no mundo e um dos países que mais preserva o meio ambiente em geral.

A abundância de matérias-primas no país, e o custo relativamente barato das mesmas, dão ao Brasil uma vantagem comparativa no setor. Existem fortes correlações positivas entre quase todos os produtos da cadeia produtiva do biodiesel e a produção desse combustível, como farelo, óleo de soja, óleo de palma e sebos bovinos, assim como há correlações positivas significativas entre a produção de biodiesel e o PIB da pecuária e do agronegócio.

A produção de biodiesel produz um efeito multiplicador positivo na produção econômica do país e, dada a longa cadeia produtiva do biodiesel, pelas várias etapas de bens de capital, o valor do *output* do setor é significativo e tem potencial para crescer ainda mais.

Portanto, facilitar e incentivar o setor pode ajudar o Brasil tanto economicamente quanto na questão da sustentabilidade.

Elaborada por Felipe G. Neves, economista do IBRIESBIO