

Raquel Oliveria Gomes¹

ORCID: [0000-0003-0176-9850](https://orcid.org/0000-0003-0176-9850)

Hilder André Bezerra Farias²

ORCID: [0000-0003-3953-3042](https://orcid.org/0000-0003-3953-3042)

Waldemiro A. da Silva Neto³

ORCID: [0000-0001-8837-7889](https://orcid.org/0000-0001-8837-7889)

¹ Mestrado em Economia pela
Universidade Federal do Pará
(UFPA)

Doutoranda em Economia
(UFPA)

raquel.gomes@icsa.ufpa.br

² Doutorado em Economia
(UFPA)

Professor Adjunto
(UFPA)

hilder@ufpa.br

³ Doutorado em Economia pela
Universidade de São Paulo
(USP)

Professor Associado na
Universidade Federal de Goiás
(UFG)

netoalcantara@ufg.br

TRANSIÇÃO PARA UMA BOVINOCULTURA DE CORTE SUSTENTÁVEL NO BRASIL: UMA ANÁLISE SVAR

RESUMO

O objetivo do artigo foi identificar se a pecuária bovina de corte brasileira está conseguindo realizar a transição para um modelo mais sustentável. A análise consistiu em observar o comportamento das emissões de gases de efeito estufa (GEE), em resposta a choques na oferta e na demanda deste setor. Foi empregada a modelagem de Vetor Autorregressivo Estrutural (SVAR). O trabalho contribui para um maior entendimento da relação entre o crescimento das emissões de GEE e a pecuária de corte no Brasil. Os resultados apontam para um contexto de dualidade na transição sustentável da bovinocultura de corte, com a coexistência de pressões para o rápido aumento da produção e da necessidade de planejar o aumento dos estoques animais, a fim de aumentar o controle das emissões de GEE produzidas pelo setor.

Palavras-Chave: Desenvolvimento sustentável; Pecuária bovina; Correção de Erros.

ABSTRACT

The article aimed to identify whether Brazilian beef cattle farming is managing to transition to a more sustainable model. The analysis involved observing the behavior of greenhouse gas (GHG) emissions in response to supply and demand shocks in this sector. Structural Vector Autoregressive (SVAR) modeling was employed. The work contributes to a greater understanding of the relationship between GHG emissions growth and the Brazilian beef cattle farming. The results indicate a duality in the sustainable transition of beef cattle farming, with the coexistence of pressures for rapid production increases and the need to plan for increased livestock inventories to achieve greater control over GHG emissions from the sector.

Keywords: Sustainability; Beef Cattle Farming; Error correction model.

Código JEL: Q01, Q02, Q11

INTRODUÇÃO

No início do século XXI, a produção da pecuária de corte brasileira apresenta um forte ritmo de crescimento. Nesse contexto, Malafaia et al. (2021) demonstram a relevância desse setor por meio de sua análise de matriz-insumo produto, evidenciando um expressivo aumento da cadeia produtiva do setor entre o período de 2010 a 2017, com destaque na geração de valor agregado dentro do agronegócio, um dos pilares da economia nacional, com participação próxima a 27% no PIB brasileiro.

Oliveira et al. (2022) argumentam, entretanto, que a bovinocultura destaca-se no PIB nacional e enfrenta o desafio de aumentar a produção de forma sustentável para atender às crescentes exigências do mercado internacional, em quantidade e qualidade. Isso decorre, em parte, do aumento da população e da renda média global, que impulsionam o consumo de alimentos, incluindo carne bovina (D'Aurea et al., 2021).

O desafio da sustentabilidade imposto ao crescimento da bovinocultura de corte no Brasil se justifica pela característica da digestão desses ruminantes, na qual ocorre a quebra das moléculas de carboidrato pela fermentação microbiana, levando à produção de gás metano, posteriormente eliminado pelos animais (Lynch, 2019; Ridoutt et al., 2022), a chamada fermentação entérica. Apesar de ter um tempo de vida menor em relação ao gás carbônico, o metano possui um efeito potencializado no aquecimento global, acelerando as mudanças climáticas (Ridoutt et al., 2022).

Lynch (2019) destaca que a bovinocultura de corte acarreta impactos ambientais adversos devido ao aumento de metano na atmosfera, porém desempenha um papel importante na economia por meio da formação de uma cadeia produtiva que promove, entre outras vantagens, o emprego rural e o aumento da renda no campo. Nesse sentido, reforça-se a necessidade de estudos que considerem uma transição sustentável da bovinocultura de corte, alinhando os aspectos ambientais e econômicos (Casagrande et al., 2023).

A inclusão da dimensão ambiental no debate em que se insere o presente artigo mostra-se necessária, dado o contraste vivenciado pela bovinocultura de corte, no contexto dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ONU, 2015), o setor desempenha um papel importante para avançar no objetivo 2, de acabar com a fome, especialmente considerando o Brasil como fornecedor global de carne bovina. Entretanto, também é fonte de pressões negativas e de desafios aos avanços nos objetivos 13, de combate às mudanças climáticas, e 15, de vida terrestre, com perda de biodiversidade, desmatamento e degradação do solo (Barretto et al., 2013; Margulis, 2004; Steinfeld, 2006).

O enfoque ambiental do presente estudo passa pela compreensão de que os sistemas ambientais são mutáveis ao longo do tempo (May, Lustosa e Vinha, 2010). Baeten (2000) argumenta que, desde antes do surgimento de uma civilização industrial, a humanidade já compreendia a relação entre a exploração de recursos e o meio ambiente, em que o uso prudente dos recursos naturais deve ser feito para evitar o esgotamento ambiental.

A partir do século passado, passou-se a discutir amplamente sobre o desenvolvimento sustentável, que se traduziria em uma relação conciliatória entre as interações econômicas e o meio ambiente. Com o Relatório Brundtland (1991), consolida-se o entendimento de que o desenvolvimento sustentável implica que as gerações atuais devem ser capazes de suprir suas necessidades de produção sem comprometer a capacidade de produção das gerações futuras. O presente trabalho aborda o desenvolvimento sustentável por meio da concepção medidas de mitigação dos efeitos que as atividades humanas podem causar no meio ambiente. Entende-se que produzir de forma sustentável na atividade pecuária está relacionado a uma produção

voltada à mitigação dos impactos da bovinocultura sobre o meio ambiente, com ênfase na preservação das condições naturais para a existência dessa atividade a longo prazo.

Trata-se da constatação de que o debate sobre a bovinocultura no Brasil está diretamente ligado ao impacto que essa atividade teria sobre os limites planetários propostos por Rockström et al. (2009), a partir dos quais seria possível relacionar a atividade, sem os esforços necessários para uma transição de baixa emissão, com a ruptura dos limites de mudanças climáticas, perda de biodiversidade, mudanças nos ciclos do fósforo e nitrogênio, disponibilidade de água potável e mudança de uso do solo (Herrero et al., 2009; Margulis, 2004; Steinfeld, 2006).

Casagrande et al. (2023), em uma revisão sobre o tema, mostram a emergência de uma abordagem que propõe estratégias para uma transição sustentável por meio de uma combinação de viabilidade econômica, responsabilidade ambiental e social, que são dependentes dos aspectos científicos, técnicos e sociais.

Perante essa perspectiva, busca-se entender como seria possível responder ao seguinte questionamento: Quais são as principais interações entre as emissões diretas de gases de efeito estufa e a cadeia produtiva da bovinocultura de corte no Brasil?

Nesse ponto, é importante ressaltar que, ao serem consideradas as emissões diretas de gases de efeito estufa (GEE), deixa-se de considerar o papel do desmatamento como um movimento de expansão das áreas de pastagem na Amazônia. Ou seja, o presente estudo não trata das pressões da atividade sobre a mudança de uso do solo nessa região, apesar de seus reconhecidos impactos ambientais negativos (Abramovay, 2010; Palermo, 2011; Peniago e Hellmeister Filho, 2012; Cordeiro et al., 2015; Santos, 2018).

Nesse sentido, a principal contribuição do presente estudo está no avanço da literatura sobre o estudo de choques de demanda e oferta, cuja discussão está incorporada no trabalho de Blanchard e Quah (1989), com avanços posteriores para mercados agropecuários no Brasil (Barros, Spolador e Bacchi, 2009; Alves, Barros e Bacchi, 2008; Silva Neto e Bacchi, 2012; Caldarelli e Bacchi, 2012; Satolo e Bacchi, 2009).

Dessa forma, o avanço proposto pelo presente artigo estaria na inclusão da temática da sustentabilidade ambiental no contexto da discussão desses modelos de crescimento de curto prazo, especificamente na questão relacionada à emissão de gases de efeito estufa pelo setor. Trata-se de uma abordagem que objetiva incluir a perspectiva ambiental na modelagem das trajetórias de crescimento da bovinocultura de corte em âmbito nacional, buscando maior entendimento de como os choques de oferta e de demanda afetam o meio ambiente.

O principal objetivo do estudo foi estimar, por meio de um modelo estrutural, os impactos das variáveis do setor da bovinocultura de corte no Brasil sobre o meio ambiente, especificamente buscando-se avançar sobre o modelo de Silva Neto e Bacchi (2014).

O presente estudo é composto pelas seguintes partes: esta introdução, na qual se apresentam o problema e o tratamento teórico; a apresentação metodológica, incluindo o modelo proposto e os materiais e métodos empregados; os resultados da pesquisa; e, finalmente, suas conclusões, onde são elencados os principais resultados com indicações para trabalhos futuros e contribuições voltadas para os principais stakeholders do setor.

METODOLOGIA

Modelos de Choques de Oferta e Demanda

O estudo de Blanchard e Quah (1989) trouxe uma contribuição significativa para o entendimento da dinâmica de crescimento de curto prazo da economia, ao analisar os efeitos de choques exógenos de oferta e de demanda sobre o produto econômico. Os autores supuseram que os choques de oferta teriam efeitos permanentes, enquanto os de demanda seriam de curto prazo. Esses autores não descartam que a demanda possa provocar choques no produto, mas afirmam que os choques de oferta têm maior magnitude e são mais impactantes. Seus resultados evidenciaram que os choques de demanda não possuíam efeitos permanentes no produto, diferente do que ocorre com choques de oferta capazes de alterar a trajetória do produto, estabilizando-se com o tempo.

No contexto internacional, Olakojo e Onanuga (2020) estimaram um modelo VAR estrutural, incluindo a mudança climática como fator "tecnológico" para compreender os impactos de longo prazo dessa variável nas lavouras temporárias da Nigéria. Em relação à pecuária, Rossini et al. (2018) elaboraram um VEC estrutural para entender os determinantes da oferta e demanda de carne bovina na Argentina. Os resultados indicaram que as principais variáveis que impactaram a produção foram a produtividade e o tamanho do rebanho.

O trabalho de Skare, Streimikiene e Shake (2021) investigou a relação entre choques econômicos e emissões de carbono por meio de um VAR estrutural, usando dados em painel. Os autores encontraram uma forte relação entre emissões e crescimento do produto. Os resultados demonstraram que um choque de incerteza na produção seria o mais duradouro. No seu modelo apenas os choques das emissões podem ter efeito de longo prazo sobre o CO₂, enquanto o PIB está restrito no longo prazo, ou seja, existe um efeito, mas ele está limitado e varia de acordo com o tipo de choque econômico.

O estudo de Declerk (2022) aborda a dinâmica de preços de óleos vegetais para biocombustíveis, considerando os impactos na produção de alimentos, na percepção dos consumidores e nos efeitos de políticas. Com a crescente demanda por terras para biocombustíveis, ocorre a substituição de áreas de produção alimentícia, potencialmente elevando os preços. Os resultados destacam um equilíbrio de longo prazo entre os preços do óleo vegetal e as políticas de biocombustíveis, impactando as dinâmicas de oferta e custos de produção em plantações de óleo e alimentos.

Elguellab e Ezzahid (2023) utilizaram um modelo SVAR (Vetor Autorregressivo Estrutural) para analisar os choques de oferta agrícola no Marrocos. Os resultados indicam que o setor agrícola desempenha um papel significativo, responsável por um terço das flutuações no produto, contribuindo para a volatilidade econômica. Os autores alertam para a importância da robustez e resiliência do setor agrícola diante de choques climáticos, destacando a preocupação com economias fortemente baseadas na agricultura, suscetíveis a esses efeitos.

Entre os trabalhos aplicados ao caso brasileiro, especificamente à agropecuária e agronegócios, Spolador (2006) mediu o impacto dos choques de oferta e demanda na agricultura brasileira. Na mesma linha, Satolo e Bacchi (2009) estimaram um VEC – Vetor de Correção de Erros para avaliar choques de oferta e demanda na produção de cana-de-açúcar. Alguns modelos que estudaram o agronegócio brasileiro por meio da abordagem de Blanchard e Quah (1989) foram Alves, Barros e Bacchi (2008) e Barros e Silva (2008).

Na temática da pecuária brasileira, Silva Neto e Bacchi (2014) construíram um modelo teórico para entender os determinantes do crescimento da produção bovina no Brasil, a partir de um vetor autorregressivo estrutural com a identificação de Bernanke, com correção de erros

decorrentes da cointegração das variáveis. Os autores verificaram um impacto significativo do estoque animal sobre as exportações e a produtividade. Continuando no eixo da bovinocultura de corte no Brasil, Lima (2018) estudou o setor pecuário de corte por meio de um VEC estrutural, para identificar os determinantes do crescimento das exportações de carne bovina.

O estudo realizado por Lauro e Silva Neto (2014) apresentou uma análise regional ao examinar os determinantes econômicos do crescimento da pecuária de corte em Goiás. Diante da detecção de dois vetores de cointegração, o modelo estimado foi um VEC estrutural. Os resultados identificados pelos autores demonstraram que os choques de oferta apresentaram impacto positivo e prevaleceram sobre os choques de demanda (negativos).

Considerando as relações entre economia e meio ambiente, Ozturk e Uddin (2012) estimaram um modelo VEC para a Índia com o objetivo de captar os efeitos do consumo de energia sobre as emissões de CO₂. O modelo utilizou dados anuais de emissões de CO₂ em toneladas per capita, consumo energético equivalente a kg de petróleo per capita e PIB real per capita. O modelo permitiu identificar uma relação causal entre consumo energético e emissões na Índia, um indicativo de que o país ainda precisa avançar no sentido de superar uma base não renovável de geração de energia. Alam *et al.* (2016) realizaram uma extensão desse modelo para avaliar o impacto do crescimento econômico, do consumo de energia, do crescimento populacional sobre as emissões de carbono. Como principal resultado, identificaram relações de curto e longo prazo entre emissões e crescimento econômico, indicando que o Brasil seria capaz de passar por uma transição verde.

A seguir, dá-se a apresentação do modelo formal que embasa o presente estudo, construído a partir da literatura nacional sobre choques de oferta e demanda para produtos agropecuários com a inclusão da dimensão ambiental na análise.

Modelo Proposto

Com o intuito de fornecer uma estimativa dos impactos da bovinocultura de corte sobre as emissões de gases do efeito estufa, foi realizada uma modificação nos modelos desenvolvidos por Silva Neto e Bacchi (2014) e Lauro e Silva Neto (2018), com a inclusão de uma equação para medir as emissões de CO₂ equivalente dos gases da bovinocultura de corte segundo seu potencial de mudanças climáticas. O modelo que baseou a equação proposta foi o desenvolvido por Ozturk e Uddin (2012).

A equação de emissões proposta por Ozturk e Uddin (2012) no modelo foi:

$$LC_t = \alpha_0 + \alpha_t + \beta_1 LE_t + \beta_2 LY_t + \epsilon_t \quad (1)$$

Onde LC representa o log natural das emissões, LE representa o log natural do consumo energético, LY representa o log natural do PIB, a inclusão de α_0 indica uma constante e de α_t uma tendência. As variáveis LC, LE e LY foram modificadas (substituídas) para que se chegasse ao modelo proposto. Na seção seguinte, apresentam-se os modelos originais de Silva Neto e Bacchi (2014) e de Lauro e Silva Neto (2018), com a adaptação do modelo de Ozturk e Uddin (2012) para a inclusão da equação de emissões.

O Modelo proposto parte de Silva Neto e Bacchi (2014) com a inclusão de uma versão modificada da equação (1), para inclusão da perspectiva ambiental à discussão.

No presente modelo, a demanda (Y_t^d) é dada em função da renda defasada (m_{t-1}) e dos preços do varejo (p_t^v):

$$Y_t^d = m_{t-1} - p_t^v \quad (2)$$

A oferta (Y_t^s), impactada pelo estoque de animais (η_t), pela produtividade (θ_t) e pelos preços recebidos pelos produtores (p_t^p):

$$Y_t^s = \eta_t + \theta_t + p_t^p \quad (3)$$

Exportações (X_t):

$$X_t = Y_t^s - Y_t^d \quad (4)$$

Emissões (C_t), explicadas pelo tamanho do rebanho e pela produção, em uma adaptação de Ozturk e Uddin (2012), substituindo o consumo de energia pelo estoque bovino, considerando a fermentação entérica como o fato gerador de emissões de GEE pela bovinocultura de corte, preocupação importante na literatura que estuda os impactos ambientais da bovinocultura de corte (Ayarza et al., 1997; Del Curto, 2005; Lobato et al., 2014; Palermo, 2011; Santos et al., 2018; Santos et al., 2022). Por sua vez, o PIB per capita pelo volume da produção, considerando o produto pela ótica da oferta e na tentativa de capturar o efeito isolado da bovinocultura de corte, uma vez que Y_t^s é medida pelo peso total das carcaças dos animais abatidos.

$$C_t = \eta_t + Y_t^s \quad (5)$$

Choques:

Renda interna (e_t^m):

$$m_t = m_{t-1} + e_t^m \quad (6)$$

Preços pagos ao produtor (e_t^p):

$$p_t^p = p_{t-1}^p + e_t^p \quad (7)$$

Preços pagos pelo consumidor (e_t^v):

$$p_t^v = p_{t-1}^v + e_t^v \quad (8)$$

Produtividade (e_t^θ):

$$\theta_t = \theta_{t-1} + e_t^\theta \quad (9)$$

Estoque animal (e_t^η):

$$\eta_t = E(p_t^p) + e_t^\eta \quad (10)$$

$$e_t^\eta - e_{t-1}^\eta = \mu_t \quad (11)$$

Com:

$$E(p_t^p) = p_{t-1}^p \quad (12)$$

Logo:

$$\eta_t = p_{t-1}^p + e_t^\eta \quad (13)$$

Conforme observado em Silva Neto e Bacchi (2014), pela substituição das equações para o cálculo das taxas de crescimento das exportações, oferta e demanda temos:

Crescimento das exportações:

$$\Delta X_t = e_{t-1}^p + e_t^\theta - e_t^m + e_t^v + e_t^p + \mu_t \quad (14)$$

Crescimento da oferta:

$$\Delta Y_t^s = e_{t-1}^p + e_t^\theta + p_t^p + \mu_t \quad (15)$$

Crescimento da Demanda:

$$\Delta Y_t^d = e_t^m - e_t^v \quad (16)$$

Crescimento das emissões:

$$\Delta C_t = 2e_{t-1}^p + e_t^\theta + p_t^p + 2\mu_t \quad (17)$$

De forma similar à equação de crescimento da oferta, com o potencializador dos preços defasados ao produtor e da aceleração do tamanho do rebanho, ou ainda, dos movimentos do tamanho do rebanho de modo geral.

Com isso, chega-se à matriz de relações contemporâneas usadas no presente trabalho:

Tabela 1: Matriz de relações contemporâneas do modelo proposto

	X	Y	C	m	η	θ	p^p	p^v
X	1	0	0	0	1(+)	1(+)	1(+)	1(+)
Y	0	1	0	0	1(+)	1(+)	1(+)	0
C	0	0	1	0	1(+)	1(+)	1(+)	0
m	0	0	0	1	0	0	0	0
η	0	0	0	0	1	0	0	0
θ	0	0	0	0	0	1	0	0
p^p	0	0	0	0	0	0	1	0
p^v	0	0	0	0	0	0	0	1

Fonte: Elaboração dos autores.

Informações utilizadas

Considerando as variáveis do modelo, as seguintes fontes foram empregadas no modelo, a fim de que se fossem obtidas versões reais de variáveis que representem os movimentos propostos nas equações do modelo teórico:

- Produção: considerou-se o volume de produção, calculado a partir do peso total das carcaças de animais abatidos, disponível na pesquisa trimestral de abate de animais do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).
- Deflator: como forma de transformar as variáveis nominais em reais foi utilizado como deflator o IGP-DI (Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna), disponível na base do Ipeadata, o primeiro trimestre de 1997 foi usado como base para deflacionar as variáveis nominais do modelo.
- Renda Interna: foi considerado o PIB a preços correntes, deflacionado pelo IGP-DI, disponível na base “Ipeadata” do IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada)
- Exportações: utilizou-se o total de toneladas exportadas de carne bovina refrigerada e congelada, disponível na base “Comexstat” do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços.
- Produtividade: calculada pela razão entre o peso total das carcaças e o número de animais abatidos, a partir dos dados disponíveis da Pesquisa Trimestral do Abate de Animais.
- Preços ao Produtor: foram utilizados os dados referentes ao indicador do preço do Boi Gordo, com sua média a prazo para o estado de São Paulo obtida junto ao CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada;
- Preços ao Consumidor: como aproximação aos preços do consumidor na mesma esfera geográfica dos preços ao produtor, foram utilizados os dados do IPCA para o item Alcatra Bovina¹.

¹ A escolha da variação mensal do subitem alcatra bovina do IPCA foi motivada pela correlação elevada (0,978) dessa variável com os valores de preços da carne bovina do DIEESE (Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos), base de dados que não está disponível para o público.

Como os preços para itens específicos da cesta estão disponíveis apenas para variação mensal, os preços foram convertidos para índice e, em seguida, deflacionados pelo IGP-DI, de forma que se obteve um índice real de preços para a alcatra bovina.

As seguintes variáveis apresentaram periodicidade anual, sendo transformadas para dados trimestrais com uso de interpolação linear.

- Estoque animal: utilizou-se o tamanho do rebanho (número de cabeças), disponibilizado pela Pesquisa Pecuária Municipal.
- Emissões: foi utilizado o total de emissões por fermentação entérica e manejo de dejetos animais como aproximação às emissões da bovinocultura de corte, calculadas em valores de CO₂e (t) GWP-AR5, medida de carbono equivalente para as emissões considerando seu potencial de mudanças climáticas. A partir da quinta revisão do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2014), disponibilizada pelo SEEG, Sistema de Estimativas de Emissões de Gases do Efeito Estufa.

Com base nas informações obtidas, foi possível montar uma base trimestral para o Brasil, com 102 observações, entre o primeiro e o terceiro trimestre de 1997 e o quarto trimestre de 2022.

Especificação do modelo econométrico

Conforme apresentado em Bueno (2011), a modelagem de vetor autorregressivo (VAR) em sua forma estrutural é dada por:

$$AX_t = B_0 + \sum_{i=1}^p B_i X_{t-i} + B\epsilon_t \quad (18)$$

em que: A é uma matriz quadrada de tamanho n que define as relações contemporâneas entre as variáveis. X_t e B_0 são vetores coluna com n linhas, sendo X_t o valor corrente das n variáveis do modelo, e B_0 o vetor correspondente de suas constantes. B_i são as p (número de defasagens) matrizes quadradas de tamanho n , B é uma matriz diagonal de tamanho n de desvios-padrão e, finalmente ϵ_t é o vetor de perturbações aleatórias não correlacionadas entre si.

Para que seja possível realizar a estimação do VAR, entretanto, parte-se primeiro para a sua forma reduzida, a partir da qual é possível recuperar as informações contidas na forma estrutural. A forma reduzida de um modelo simplificado composto por 1 defasagem (indicada por Φ_1) e uma defasagem seria composta pelos seguintes elementos:

$$\begin{aligned} X_t &= \Phi_0 + \Phi_1 X_{t-1} + e_t, \\ \Phi_0 &\equiv A^{-1}B_0, \\ \Phi_1 &\equiv A^{-1}B_1, \\ Ae_t &\equiv B\epsilon_t. \end{aligned} \quad (19)$$

Entretanto, conforme aponta Bueno (2011), a modelagem VAR será útil para fins de análise dos reais impactos econômicos das variáveis utilizadas caso sejam corretamente identificadas, o que é feito em modelos estruturais, como o proposto nesse trabalho. No caso do presente

artigo, é importante observar que o modelo SVAR foi estimado usando a minimização da razão de verossimilhança negativa.

Hamilton (2020) argumenta que o uso de modelos do tipo SVAR tem dois tipos potenciais que, à primeira vista, são atrativos. O primeiro seria a estimação da equação estrutural, visando ao caminho temporal que, historicamente, representaria a relação desejada pelo modelo de equações de interesse. O segundo diria respeito a resumir as dinâmicas do vetor observado impondo o menor número possível de restrições, com o potencial de análise dos choques a partir da análise de impulso-resposta do vetor.

Hamilton (2020) faz uma importante ressalva quanto ao uso de modelos do tipo SVAR, que estaria na invisibilização da origem do choque na análise de impulso-resposta, uma vez que a natureza dos choques, e não apenas seu valor, deve ser de interesse na interpretação das relações econômicas e sociais que o modelo carrega, isto é, existe uma hipótese de ortogonalidade entre os choques dados para uma mesma variável, o que nem sempre é factível, ainda mais no contexto de modelos produtivos, onde a possibilidade de mudanças tecnológicas diversas podem criar caminhos práticos distintos, embora semelhantes do ponto de vista estatístico de suas variáveis agregadas.

A proposta seguida no trabalho é a indicada por Blanchard e Quah (1989), de que a identificação do modelo deve ser feita a partir da teoria subjacente.

Outra consideração importante, em termos práticos, é a de que para se trabalhar com um modelo VAR com variáveis em nível, $I(0)$, é necessário que todas apresentem estacionariedade segundo a especificação do VAR. Caso contrário, é preciso substituir o conjunto de variáveis por sua forma estacionária, o que geralmente é feito com um modelo especificado a partir das variáveis em primeira diferença, $I(1)$. Entretanto, essa alternativa não é suficiente para o caso das séries tratadas no modelo VAR serem cointegradas, isto é, quando as variáveis contidas em X_t possuem relações de longo prazo que podem ser afetadas por choques transitórios. Nesse caso, a modelagem proposta é a do Modelo de Vetor de Correção de Erros (ou VECM, na sigla em inglês).

A modelagem em VECM é capaz de fornecer os vetores de cointegração do erro do modelo VAR inicialmente proposto, reescrevendo-o como:

$$\Delta X_t = \Phi X_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \Lambda \Delta X_{t-i} + \delta d_t + e_t \quad (20)$$

em que: d_t corresponde ao vetor de variáveis exógenas, inclusive *dummies* sazonais. Finalmente, ΦX_{t-1} passa a ser o elemento necessário para encontrar os vetores de cointegração, a partir da especificação dada para o modelo e da identificação do seu traço ou posto (Bueno, 2011). A identificação desse vetor é importante para verificar como as relações de longo prazo identificadas pela formulação original do modelo VAR proposto são perturbadas por choques no curto prazo (Bueno, 2011).

Testes Estatísticos

Os testes de raiz unitária verificam a estacionariedade das séries ao longo do tempo. Por definição, séries estacionárias são aquelas que possuem média e variância constantes, e a sua

covariância é vinculada às defasagens entre os períodos temporais. Nesse sentido, as séries não estacionárias possuem tendência estocástica, de modo que apresentam raiz unitária (Bueno, 2011).

Dickey e Fuller (1979, 1981) elaboraram um teste com objetivo de verificar se existe uma tendência estocástica ou determinística na série. Entretanto, Elliot, Rothermber e Stock (1996) afirmam que o poder do teste proposto é reduzido quando a presença de tendência temporal. Assim, esses autores propõem uma modificação no teste e o chamam de DF-GLS, a proposta do novo teste se baseia na minimização dos efeitos da tendência com relação a y_t , gerando a série y_t^d que passará pelo teste proposto por Dickey-Fuller.

A cointegração trata da existência de uma relação entre duas ou mais variáveis que se tornam estacionárias a longo prazo. Para compreender a relação de cointegração entre as variáveis, é aplicado o procedimento de Johansen (1988), que verifica a existência e, caso exista, a quantidade de vetores de cointegração do modelo proposto. A estimação dos vetores de cointegração é realizada simultaneamente com o Modelo Vetorial de correção de Erros.

O funcionamento do teste parte de um VAR reparametrizado que conta com o termo ΦX_{t-1} , que representa k combinações lineares de coeficientes, como descrito na equação 2.20. Assim, são testadas essas combinações e o sistema apresentará cointegração quando as variáveis não se apresentarem linearmente independentes. A hipótese nula, para cada quantidade de vetores de cointegração será dada por:

- $H_0: r = r^*$ (exemplo: $r = 0, r = 1, r = 2, \dots$).

De forma que se existirem r^* vetores de cointegração, se testará a quantidade de vetores até que a hipótese nula não seja rejeitada, determinando-se assim a quantidade de vetores de cointegração existentes no modelo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2, a seguir, traz os resultados do teste de raiz unitária descrito na seção anterior para as séries deste estudo. Verificou-se que as variáveis em nível testadas possuem raiz unitária. Observou-se que, ao nível de 5% de significância, os resultados das séries diferenciadas em ordem 1 (I(1)) as classificam como estacionárias no modelo Tipo 1 (constante), sendo este o modelo considerado para análise.

Pelo teste de Johansen (1988), resultados da Tabela 2, o modelo escolhido para a realização do teste foi o modelo Tipo 1 (constante). De acordo com a Tabela 3, verifica-se a existência de 3 vetores de cointegração. Dessa forma, para prosseguimento dos modelos propostos, é recomendável a utilização dos vetores de cointegração obtidos, isto é, o uso do Modelo de Vetorial de Correção de Erros (VECM).

As estimativas da matriz de relações contemporâneas, representada pela Tabela 1, estão dispostas na Tabela 4. A análise da matriz de relações contemporâneas estimada para o Brasil não permite um conjunto amplo de conclusões em relação ao conjunto de relações investigadas, uma vez que somente três relações mostraram-se estatisticamente significativas, o impacto do rebanho e dos preços ao produtor sobre as emissões e dos preços ao produtor sobre a produção.

Tabela 2: Estatísticas do Teste de Raíz Unitária DF-GLS (ERS) no Brasil

Variável I(d)	Brasil (n=102; 1997Q3:2022Q4)		
	P	TIPO 1*	TIPO 2**
Renda Interna* I(0)	9	-0,610	-1,384
Exportações I(0)	7	0,465	-1,006
Estoque I(0)	2	0,317	-2,391
Produção I(0)	4	0,145	-1,404
Produtividade I(0)	10	1,178	-1,264
Preços ao produtor I(0)	10	-0,446	-2,116
Preços ao consumidor I(0)	6	-0,722	-1,534
Emissões I(0)	2	0,533	-1,906
Renda Interna* I(1)	1	-7,912	-8,537
Exportações I(1)	1	-7,682	-9,519
Estoque I(1)	1	-1,988	-2,013
Produção I(1)	1	-10,745	-11,652
Produtividade I(1)	1	-13,764	-17,572
Preços ao produtor I(1)	1	-7,943	-7,759
Preços ao consumidor I(1)	1	-11,864	-12,609
Emissões I(1)	1	-3,069	-3,085

Fonte: Resultados da Pesquisa. O Tipo 1 diz respeito ao modelo com constante e o Tipo 2 diz respeito ao modelo com constante e tendência. *No Tipo 1 (constante), os valores críticos são os elaborados por Elliot, Tothenberg e Stock (1996): 1% = -2,58; 5% = -1,95 e; 10% = -1,62. **No Tipo 2 (constante e tendência), os valores críticos são os elaborados em Elliot, Tothenberg e Stock (1996): 1% = -3,48; 5% = -2,98 e; 10% = -2,57.

Tabela 3: Teste de Cointegração de Johansen pela estatística do Traço para o Brasil.

Teste (H0)	Brasil - Traço	10%	5%	1%
$r \leq 7$	4,50	7,52	9,24	12,97
$r \leq 6$	16,83	17,85	19,96	24,6
$r \leq 5$	36,02	32	34,91	41,07
$r \leq 4$	59,08	49,65	53,12	60,16
$r \leq 3$	88,95	71,86	76,07	84,45
$r \leq 2$	129,20	97,18	102,14	111,01
$r \leq 1$	178,58	126,58	131,7	143,09
$r = 0$	258,51	159,48	165,58	177,2

Fonte: Resultados da Pesquisa. Foram considerados os valores de 1% de significância.

Tabela 4: Estimativas para as matrizes de relações contemporâneas para o Brasil.

Efeito de	Sobre	Coeficiente
Produtividade	Exportações	0,025
Produtividade	Produção	-0,114
Produtividade	Emissões	-0,0004
Estoque Animal	Exportações	0,0007
Estoque Animal	Produção	-0,002
Estoque Animal	Emissões	** -0,203
Preços ao Produtor	Exportações	-0,002
Preços ao Produtor	Produção	** 0,278
Preços ao Produtor	Emissões	*** 1,160
Preços do Varejo	Exportações	0,064

Fonte: Resultados da pesquisa. Níveis de Significância: * 10%; ** 5%; *** 1%. Nível de significância adaptado à estatística t, tal qual em Silva Neto e Bacchi (2014) e Lauro e Silva Neto (2018).

Ou seja, somente variáveis relativas à oferta se mostraram significativas contemporaneamente para o caso Brasil, entendendo que parte a diferenciação entre os preços aos produtores e aos consumidores se dá pela estrutura intermediária no fornecimento de carne bovina ao consumidor final.

Em comparação com o modelo de Silva Neto e Bacchi (2014), o modelo proposto apresentou comportamento diferente, com menos efeitos significativos, provavelmente devido à inclusão de efeitos sobre as emissões. Tais efeitos sobre a variável que denota a questão da sustentabilidade foram significativos. Comparativamente ao estudo de Silva Neto e Bacchi (2014), o estoque animal mostrou-se positivo e significativo sobre a produção, coeficiente que não tinha apresentado significância estatística no modelo dos autores.

Apesar de modelos diferentes, os resultados de Ribeiro e Silva Neto (2020) para a bovinocultura de corte foram semelhantes aos do presente trabalho. Em ambos os estudos, nota-se que o mercado tende a se estabilizar a longo prazo. Os autores afirmam que o mercado de carne brasileiro é robusto, com uma cadeia produtiva desenvolvida, tornando-se resistente aos choques exógenos.

É possível observar que o aumento dos preços aos produtores tem impacto significativo e positivo, quanto o do rebanho tem efeito significativo e negativo sobre as emissões, indicando que é possível que pressões para aumentos repentinos na produção (caso dos preços ao produtor, com coeficiente de elasticidade maior) podem incentivar o uso de tecnologias mais danosas ao meio ambiente para produção pecuária, mas que a expansão do rebanho, quando ocorre de modo inesperado, tem se mostrado uma fonte de redução das emissões. Esse resultado pode estar associado a uma maior produtividade concomitante ao aumento do rebanho, que representa o padrão mais recente de expansão da atividade pecuarista no país (Martha Jr., Alves e Contini, 2012), ou ainda à pressões institucionais, seja dos órgãos norteadores da política agrícola no país, seja devido às exigências nos mercados consumidores internacionais (Rodrigues et al, 2024).

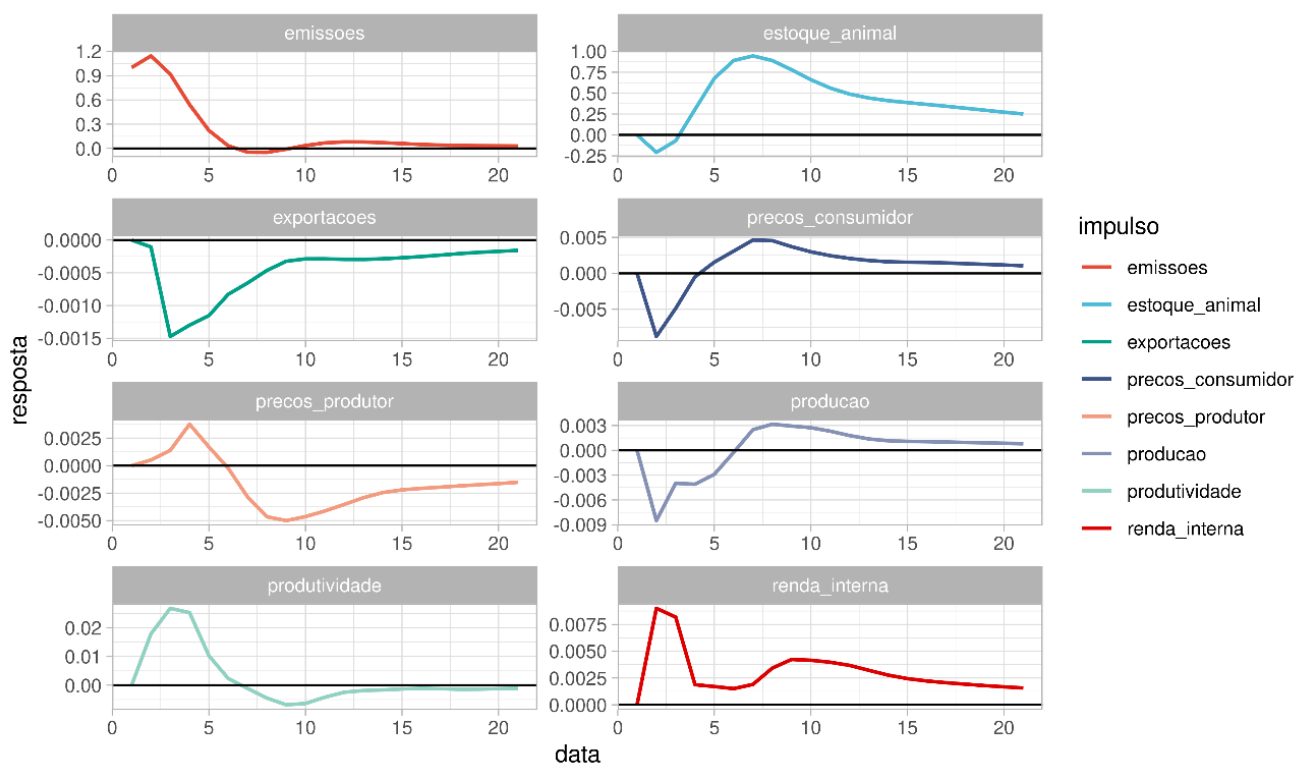
Uma inferência possível a partir desse resultado é que a nível nacional, para aumento da sustentabilidade, é preciso de uma estratégia para que a atratividade econômica do setor não faça com que o mesmo represente um risco ambiental para o país, isto é, torna-se necessária uma estratégia ativa de expansão do setor a partir de bases sustentáveis, uma vez que as pressões para o aumento da produção para fazer frentes a maiores ganhos esperados pelos

produtores, em geral, estão relacionadas ao aumento das emissões, como também observaram D'Aurea et al. (2021).

Na Figura 1, estão representadas as funções impulso-resposta do modelo estrutural estimado, todas as séries são da variável de emissões, respondendo a um choque vindo de alguma variável do modelo. O choque de maior impacto são as próprias emissões, no período inicial se observa as emissões aumentam 1,2 desvio-padrão e entra em queda até que seja praticamente absorvido, a partir do sexto trimestre.

Um choque exógeno positivo no estoque animal, embora tenha um efeito inicial negativo, acaba por elevar o nível de emissões, demonstrando que existe a proporcionalidade entre emissões (medidas pela fermentação entérica e manejo de dejetos) e estoque (rebanho), conforme explicitado sobre o impacto do aumento do rebanho bovino sobre as demais variáveis, esse resultado reforça a possibilidade e coerência do uso dessa forma de mensuração dos impactos ambientais do setor na modelagem econométrica, esse resultado mostra que o efeito negativo anteriormente observado é transitório, persistindo a relação que associa rebanho à emissões, já presente na literatura (Bustamante et al., 2012; Rodrigues et al., 2024), especialmente quando não se considera o potencial de captura de carbono pelo solo em cenários de aumento de produtividade por intensificação da atividade (Stocco, Ferreira Filho e Horridge, 2020).

Figura 1: Função Impulso-Resposta, impacto de um choque nas demais variáveis do modelo sobre as emissões, Brasil



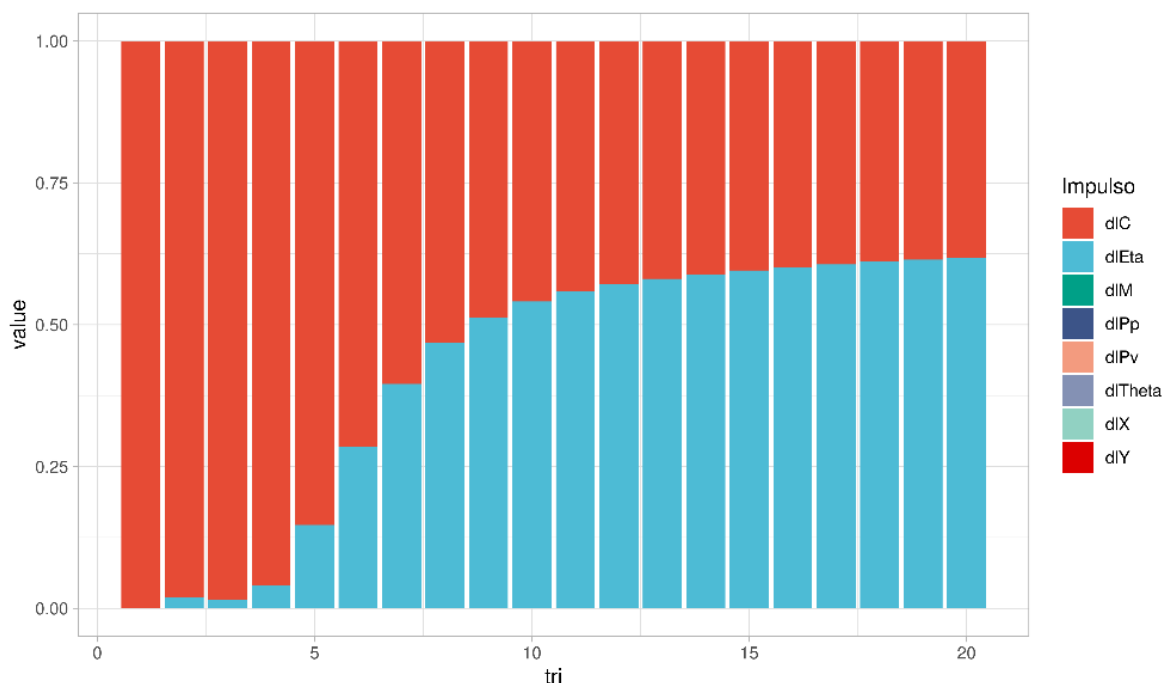
Fonte: Resultado de Pesquisa.

Por outro lado, a variável de produtividade apresenta um impacto em escala mais reduzida, na ordem de 0.02 desvio-padrão de emissões, entretanto, é possível observar que seu aumento tende a se espelhar nas emissões, com uma posterior redução de emissões, tal resultado pode

estar relacionado à necessidade de dar uma resposta rápida aos aumentos de demanda, com uma engorda acelerada (no primeiro momento), entretanto, também pode estar relacionada à mudanças no manejo que reduzam as emissões (no segundo momento). Esse resultado é coerente com o que foi observado em D'Aurea et al. (2021), que associada, além das produtividades de área e ganho de peso, a idade do rebanho no momento do abate às emissões.

A Figura 2, por sua vez, apresenta os valores de decomposição da variância do erro de previsão para a variável de emissões. Nela, cada barra colorida no conjunto empilhado representa uma variável de análise.

Figura 2: Decomposição da variância para a variável de emissões



Fonte: Resultado de Pesquisa. DlC se refere às emissões, dlEta, ao estoque animal, dlIM à Renda Interna, dlPp aos preços aos produtores, dlPv aos preços aos consumidores, dlTheta à produtividade, dlX às exportações e dlY à produção de carne.

Esse resultado sugere que embora as emissões sejam, inicialmente, a maior fonte de variação nos resultados das próprias emissões do setor, com o passar do tempo a maior parte da variância das emissões passa a ser explicada pelo tamanho do rebanho, esse é um dado especialmente interessante porque, em oposição à análise de impulso e resposta, apresenta um impacto de longo prazo mais elevado dos estoques, e revela que a estrutura do setor ainda é pouco sustentável quando consideradas somente as emissões diretas, uma vez que para se produzir mais², os aumentos dos rebanhos mostram-se necessários, e com eles, dada a estrutura da bovinocultura de corte no Brasil, aumentam-se as emissões do setor.

² Mantida constante a produtividade, ou mesmo com seu aumento, uma vez que não possui grandes efeitos sobre as emissões mesmo quando sofre choques segundo o modelo estimado.

CONCLUSÕES

Este artigo se destaca por incluir a dimensão ambiental na análise dos efeitos de demanda e oferta na bovinocultura de corte. Embora a literatura tenha abordado extensamente o tema da pecuária de corte, este estudo busca preencher uma lacuna nos estudos recentes sobre choques específicos no setor.

O objetivo foi compreender como essa inclusão pode fornecer indicativos que favoreçam uma transição no setor para a redução dos impactos sobre o meio ambiente. Uma importante contribuição foi o indicativo de que as melhores alternativas para promover o desenvolvimento socioeconômico a nível nacional estão ligadas ao aumento dos rebanhos com redução das emissões, o que pode ser um desafio, dadas as pressões de demanda por carne bovina.

Nesse sentido, o presente trabalho foi capaz de estimar o comportamento das emissões a partir das trajetórias das variáveis relacionadas à produção da bovinocultura de corte no Brasil. Considerando os resultados do modelo, é possível observar que a matriz de relações contemporâneas captura também os efeitos observados nos primeiros períodos da função de impulso-resposta, isto é, num primeiro momento os aumentos dos estoques animais e a redução dos preços aos produtores são capazes de reduzir as emissões de GEE, entretanto, ambos os movimentos passam por uma reversão nos períodos subsequentes. Esse resultado indica que existem mecanismos que permitem reduzir o impacto ambiental da atividade, que podem ser institucionais e/ou ligados à forma como se dá o aumento da produtividade no país, sob pressão dos mercados consumidores. Entretanto, a trajetória de longo prazo da bovinocultura de corte no país, sua estrutura, é a do aumento de sua pegada de carbono conforme as condições produtivas se tornam mais favoráveis e a atividade cresce no Brasil.

Esse resultado também reforça o papel da compreensão das variáveis de oferta no impacto das atividades e como efeitos de longo prazo, em oposição ao que é observado a partir de choques não antevistos, são os que efetivamente devem ser avaliados para compreensão dos impactos da atividade sobre o meio ambiente e sobre a estrutura que esse setor possui no país, indicando os reais desafios que devem ser superados para que suas emissões possam ser mitigadas.

O que foi possível observar, a partir do conjunto de resultados, é que o Brasil apresenta elementos duais ligados à produção da bovinocultura de corte, isto é, tendências que levam a produção tanto para um aspecto mais sustentável quanto para um menos sustentável (preponderantes a longo prazo). No entanto, essas tendências podem não ser suficientes para expandir a produção com elevadas emissões de gases de efeito estufa, a fim de atender à demanda externa e interna.

É importante reforçar que o modelo proposto está no contexto dos demais trabalhos que contribuíram para compor o arcabouço teórico no qual o estudo se insere. Revelou-se que são principalmente as condições de oferta que têm impacto de longo prazo sobre o setor, especialmente o estoque animal e o padrão produtivo em termos de emissões de GEE. Isso é importante e ressalta a necessidade de pensar, inclusive politicamente, o planejamento das trajetórias de expansão da bovinocultura de corte para atender ao crescimento da demanda.

Para os agentes do mercado, é possível perceber, com base nos resultados apresentados, que, para que a carne produzida seja percebida como um bem superior, principalmente para exportação (única variável de efeito predominantemente negativo sobre as emissões), os produtores devem seguir medidas rigorosas voltadas para suplementação e qualidade de vida animal.

No caso dos formuladores de políticas, os resultados apontam para a necessidade de incentivar a produção com confinamento e suplementação, especialmente de alimentos que melhoram o ganho de massa com digestibilidade adequada (redução das emissões de metano). É interessante aumentar os esforços para a implementação de sistemas integrados, principalmente com o uso do componente florestal, para que o setor ganhe um viés de captura de carbono.

É de suma importância uma política nacional de combate ao perfil extensivo de produção pecuária bovina, de baixa produtividade e sem preocupação com as emissões, que podem, inclusive, estar ligadas à mudança do uso do solo na Amazônia. Nesse sentido, é imperativa uma política nacional de planejamento dos rebanhos, para que as pressões externas de demanda não impulsionem a produção de carne, a partir de práticas que aceleram o ganho de massa ou o tamanho do rebanho, sem compromisso com a redução das emissões.

Sobre esse ponto, ressalta-se que a escolha das emissões para o estudo se baseia na literatura sobre o tema, que aponta o papel da mudança de manejo dos bovinos para corte, especialmente sua alimentação, como tendo potencial de mitigação das emissões. Entretanto, para uma perspectiva mais robusta, é importante que pesquisas futuras considerem também o movimento das áreas ocupadas pela bovinocultura de corte, combinando e contrastando essas duas fontes de emissões, assim como o papel de captura de carbono que diferentes técnicas de adensamento produtivo e de formação de pastagem podem conferir ao setor. Quanto a esse último ponto, é importante destacar que o trabalho não considerou o potencial de captura de carbono das áreas de pastagem, o que pode ter efeitos líquidos sobre as emissões, a depender da forma como as propriedades são manejadas.

Diante da necessidade de estudos voltados para a compreensão da questão ambiental no contexto da bovinocultura de corte, pesquisas futuras poderão ser realizadas incluindo mais variáveis ambientais ou ainda novas formas de entender os processos de emissão e captura de carbono, em busca de maior entendimento dessa relação, bem como explorar métodos que decomponham as fontes de emissões do setor e suas causas, em perspectivas históricas e espaciais. Além disso, a inclusão de variáveis do setor externo permitiria inferências mais robustas entre produção, meio ambiente e exportações, visando auxiliar a tomada de decisões dos formuladores de políticas e contribuir para o debate sobre a transição sustentável do setor no país.

REFERÊNCIAS

ABRAMOVAY, Ricardo. Desenvolvimento sustentável: qual a estratégia para o Brasil?. **Novos Estudos CEBRAP**, p. 97-113, 2010.

ALAM, Md Mahmudul et al. Relationships among carbon emissions, economic growth, energy consumption and population growth: Testing Environmental Kuznets Curve hypothesis for Brazil, China, India and Indonesia. **Ecological Indicators**, v. 70, p. 466-479, 2016.

ALVES, L. R. A.; BARROS, G. S. A. D. C.; BACCHI, M. R. P. Produção e exportação de algodão: efeitos de choques de oferta e de demanda. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 62, n. 4, p. 381-405, out./dez. 2008.

AYARZA, M. A.; VILELA, L.; ALVES, B. J. R.; OLIVEIRA, O. C. de; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. **Introdução de *Stylosanthes guianensis* Cv. mineirão em pastagem de**

***Brachiaria ruziziensis*: Influência na produção animal e vegetal.** Seropédica: EMBRAPA-CNPAB, 1997. 16 p. (Boletim Técnico, 1).

BAETEN, Guy. The tragedy of the highway: Empowerment, disempowerment and the politics of sustainability discourses and practices. **European Planning Studies**, v. 8, n. 1, p. 69-86, 2000.

BARRETTO, Alberto GOP et al. Agricultural intensification in Brazil and its effects on land-use patterns: an analysis of the 1975–2006 period. **Global Change Biology**, v. 19, n. 6, p. 1804-1815, 2013.

BARROS, G. S. A. D. C.; SILVA, S. F. A balança comercial do agronegócio brasileiro de 1989 a 2005. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, DF, v. 46, n. 4, p. 905-935, out./dez. 2008.

BLANCHARD, Olivier; QUAH, Danny. The dynamic effects of aggregate demand and supply disturbances. **American Economic Review**, v. 79, n. 4, p. 655–673, 1989.

BRUNDTLAND, Gro Harlem. Our common future – Call for action. **Environmental Conservation**, v. 14, n. 4, p. 291-294, 1987.

BUENO, Rodrigo De Losso da Silveira. **Econometria de séries temporais**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2018.

CARBONARI, Thiago; DA SILVA, César Roberto Leite. Estimativa da elasticidade-renda do consumo de carnes no Brasil empregando dados em painel. **Pesquisa & Debate**, v. 23, n. 1 (41), 2012.

CASAGRANDA, Yasmin Gomes et al. Emergent research themes on sustainability in the beef cattle industry in Brazil: an integrative literature review. **Sustainability**, v. 15, n. 5, p. 4670, 2023.

CORDEIRO, Luiz Adriano Maia et al. **Integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta**: estratégias para intensificação sustentável do uso do solo. Brasília, DF: Embrapa, 2015.

D'AUREA, André Pastori et al. Mitigating greenhouse gas emissions from beef cattle production in Brazil through animal management. **Sustainability**, v. 13, n. 13, p. 7207, 2021.

DECLERCK, Francis et al. Biofuel policies and their ripple effects: An analysis of vegetable oil price dynamics and global consumer responses. **Energy Economics**, v. 128, p. 107127, 2023.

DEL CURTO, Timothy et al. Management strategies for sustainable beef cattle grazing on forested rangelands in the Pacific Northwest. **Rangeland Ecology & Management**, v. 58, n. 2, p. 119-127, 2005.

DICKEY, David A.; FULLER, Wayne A. Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. **Journal of the American Statistical Association**, v. 74, n. 366a, p. 427-431, 1979.

DICKEY, David A.; FULLER, Wayne A. Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. **Econometrica**, p. 1057-1072, 1981.

ELGUELLAB, Ali; EZZAHID, Elhadj. Dissecting the Moroccan business cycle: A trade-based identification of agricultural supply shocks. **Economic Modelling**, v. 129, p. 106529, 2023.

- ELLIOTT, Graham; ROTHENBERG, Thomas J.; STOCK, James H. Efficient tests for an autoregressive unit root. **Econometrica**, v. 64, n. 4, p. 813-836, 1996.
- HAMILTON, James D. **Time series analysis**. Princeton university press, 2020.
- HERRERO, Mario et al. Livestock, livelihoods and the environment: understanding the trade-offs. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 1, n. 2, p. 111-120, 2009.
- IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2014.
- JOHANSEN, Søren. Statistical analysis of cointegration vectors. **Journal of Economic Dynamics and Control**, v. 12, n. 2-3, p. 231-254, 1988.
- LAURO, Marcos Eduardo et al. Crescimento Econômico da Pecuária de Corte: Evidências para Goiás (1997-2012). **Revista de Economia do Centro-Oeste**, v. 4, n. 2, p. 2-20, 2018.
- LIMA, Raylla Pereira de. **Crescimento das exportações de carne bovina brasileira entre 2005 e 2015: fatores econômicos**. 2018. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Goiás, Goiânia, 2018.
- LOBATO, J. F. P. et al. Brazilian beef produced on pastures: Sustainable and healthy. **Meat Science**, v. 98, n. 3, p. 336-345, 2014.
- LYNCH, John. Availability of disaggregated greenhouse gas emissions from beef cattle production: A systematic review. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 76, p. 69-78, 2019.
- MALAFIA, Guilherme Cunha et al. A mensuração do produto interno bruto do complexo da bovinocultura de corte no Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 38, n. 2, p. 26777, 2021.
- MARGULIS, Sergio. **Causes of deforestation of the Brazilian Amazon**. World Bank Publications, 2004.
- MARTHA JR, G. B.; ALVES, E.; CONTINI, E. Land-saving approaches and beef production growth in Brazil. **Agricultural Systems**, v. 110, p. 173-177, 2012.
- MAY, Peter; LUSTOSA, Maria Cecília; VINHA, Valéria. **Economia do meio ambiente**. Elsevier Brasil, 2010.
- OLAKOJO, Solomon Abayomi; ONANUGA, Olaronke Toyin. Effects of climate change on the long-run crops' yields in Nigeria. **International Journal on Food System Dynamics**, v. 11, n. 3, p. 270-296, 2020.
- OLIVEIRA, Elis Regina de et al. Tecnologia e degradação de pastagens na pecuária no Cerrado brasileiro. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 585-596, 2022.
- ONU, Organização das Nações Unidas. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. United Nations: New York, NY, USA, 2015.
- OZTURK, Ilhan; SALAH UDDIN, Gazi. Causality among carbon emissions, energy consumption and growth in India. **Economic research-Ekonomska istraživanja**, v. 25, n. 3, p. 752-775, 2012.
- PANIAGO, Rodrigo; HELLMEISTER FILHO, Paulo. Pecuária sustentável: novo ou antigo paradigma da produção animal? **Revista UFG**, Goiânia, v. 13, n. 13, 2017.

- PALERMO, Giuseppe Cernicchiaro. **Emissões de gases de efeito estufa (GEE) e medidas mitigatórias da pecuária**: potencialidades da intensificação e do confinamento do gado bovino de corte brasileiro. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.
- RIBEIRO, Viviane P.; NETO, Waldemiro A. Silva. Brazilian beef exports to the main destinations: a persistence to shocks analysis. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 43, n. spe1, p. 86-94, 2020.
- RIDOUTT, Bradley et al. Potential GHG emission benefits of *Asparagopsis taxiformis* feed supplement in Australian beef cattle feedlots. **Journal of Cleaner Production**, v. 337, p. 130499, 2022.
- ROCKSTRÖM, Johan et al. A safe operating space for humanity. **Nature**, v. 461, n. 7263, p. 472-475, 2009.
- RODRIGUES, Marcos, et al. Determinants of greenhouse gas emissions by Brazilian agricultural sector. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 2024, 96.
- ROSSINI, Gustavo Eduardo; VICENTIN MASARO, Jimena. Factores que inciden en el crecimiento de la oferta de carne vacuna: ¿qué podemos esperar en el corto y mediano plazo? In: REUNIÓN ANUAL DE LA ASOCIACIÓN ARGENTINA DE ECONOMÍA AGRARIA, 49., 2018. **Anais [...]**. Santa Fe: AAEA, 2018.
- SANTOS, Paula da Silva et al. Cenários futuros para a produção de bovinos de corte no Brasil. **COLÓQUIO-Revista do Desenvolvimento Regional**, v. 19, n. 1, jan/mar, p. 148-168, 2022.
- SANTOS, Rodrigo Malta dos. **A intensificação da bovinocultura de corte como um instrumento na redução do desmatamento nos diferentes biomas brasileiros**. 2018. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018.
- SATOLO, Luiz Fernando; BACCHI, Mirian Rumenos Piedade. Dinâmica econômica das flutuações na produção de cana-de-açúcar. **Economia Aplicada**, v. 13, p. 377-397, 2009.
- SILVA NETO, Waldemiro Alcantara da. **Crescimento da pecuária de corte no Brasil**: fatores econômicos e políticas setoriais. 2011. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.
- SILVA NETO, Waldemiro Alcântara da; BACCHI, Mirian Rumenos Piedade. Growth of Brazilian beef production: effect of shocks of supply and demand. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 52, p. 209-228, 2014.
- SKARE, Marinko; STREIMIKIENE, Dalia; SKARE, Damian. Measuring carbon emission sensitivity to economic shocks: a panel structural vector autoregression 1870–2016. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 32, p. 44505-44521, 2021.
- SPOLADOR, Humberto Francisco Silva. **Impactos dinâmicos dos choques de oferta e demanda sobre a agricultura brasileira**. 2006. Tese (Doutorado em Economia Aplicada), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.]
- STEINFELD, Henning et al. **Livestock's long shadow**: environmental issues and options. Rome: FAO, 2006.
- STOCCO, Leandro; FERREIRA FILHO, Joaquim Bento de Souza; HORRIDGE, Mark. Closing the yield gap in livestock production in Brazil: new results and emissions insights. In: **Environmental Economics and Computable General Equilibrium Analysis: Essays in Memory of Yuzuru Miyata**. Singapore: Springer Singapore, 2020. p. 153-170.