



BOVINOCULTURA DE CORTE BRASILEIRA: DESAFIOS PARA UMA TRANSIÇÃO SUSTENTÁVEL

BRAZILIAN BEEF FARMING: CHALLENGES FOR A SUSTAINABLE TRANSITION

Raquel Oliveira Gomes¹

Programa de Pós-Graduação em Economia – PPGE/UFPA

raqueloliveirg@gmail.com

Waldemiro Alcantara da Silva Neto

Programa de Pós-Graduação em Economia – PPGECON/UFG

netoalcantara@ufg.br

Grupo de Trabalho (GT): 04 - Questão ambiental, agroecologia e sustentabilidade

Resumo

O presente artigo analisou a bovinocultura de corte no Brasil com a inclusão do componente ambiental. Os dados utilizados foram para as seguintes variáveis: Renda Interna, Exportações, Estoque Animal, Produção de Carne, Produtividade e Emissões de Gases do Efeito Estufa, com dados entre 1996 e 2019. A metodologia empregada é a do uso de modelagem com Vetor Autorregressivo Estrutural Cointegrado. O trabalho cooperou no entendimento dos determinantes do crescimento da pecuária de corte no Brasil, com destaque ao comportamento da variável ambiental. Os resultados apontaram para um contexto de dualidade na transição sustentável da bovinocultura de corte, com a coexistência de pressões para o rápido aumento da produção e a necessidade de planejamento do aumento dos estoques animais para que exista um maior controle das emissões de GEE produzidas pelo setor.

Palavras-chave: Pecuária de Corte, Modelo SVEC, Gases de Efeito Estufa, Sustentabilidade.

Abstract

This article analyzes beef cattle farming in Brazil, including the environmental component. The data used include the following variables: Internal Income, Exports, Animal Stock, Meat Production, Productivity, and Greenhouse Gas Emissions, with data from 1996 to 2019. The methodology used was modeling with Cointegrated Structural Autoregressive Vector. The work helps to understand the determinants of the growth of beef cattle in Brazil, with an emphasis on the behavior of environmental variables. The results point to a context of duality in the sustainable transition of beef cattle, with pressures for a rapid increase in production coexisting with the need for planning to increase animal stocks in order to gain greater control of GHG emissions produced by the sector.

Key words: Beef Cattle, SVEC Model, Greenhouse Gases, Sustainability.

1. Introdução

A pecuária bovina brasileira é reconhecimento mundial, tendo em vista a sua relevância e o seu protagonismo no cenário global. Em 2020, o Brasil foi o maior exportador de carne bovina do mundo, e apresentou o maior rebanho comercial do planeta, com aproximadamente 187,5 milhões de cabeças, segundo dados da ABIEC (2021).

Considerando a demanda global por proteína de origem animal e o potencial de crescimento do setor por meio do modelo atual de produção de carne bovina, que está vinculado à expansão da pastagem, o Brasil apresenta perspectivas promissoras para o desenvolvimento da pecuária de corte. Esse potencial é reforçado pela disponibilidade de terras e pelos baixos custos de produção bovina que o país ostenta, conforme destacado por Carvalho e Zen (2017).

¹ Os autores agradecem ao apoio Financeiro da Capes e Fapeg, Edital 18/2020.

Entretanto, é imprescindível que o modo de produção da pecuária esteja em consonância com uma trajetória de crescimento sustentável, a qual deve incorporar elementos de natureza econômica, em especial o binômio: viabilidade financeira e atratividade econômica da pecuária de corte, bem como elementos relacionados ao meio ambiente. Conforme salientado por Santos et al. (2022), é fundamental que sejam evitadas a demanda por novas áreas, a degradação do solo e o aumento das emissões de gases de efeito estufa, a fim de garantir a sustentabilidade dessa atividade no longo prazo.

Dentro deste contexto, o este trabalho tem como tema de estudo a bovinocultura de corte no Brasil e visa contribuir com a literatura do estudo de choques exógenos na demanda e na oferta, cuja discussão se inicia em Blanchard e Quah (1989) e avança para mercados agropecuários com Barros, Spolador e Bacchi (2009), Alves, Barros e Bacchi (2008), Silva Neto e Bacchi (2012) e Satolo e Bacchi (2009).

A contribuição deste artigo, em comparação aos acima citados, está na inclusão no modelo da temática da sustentabilidade ambiental, especificamente da questão ligada à emissão de gases do efeito estufa pelo setor. Trata-se de uma abordagem que visa incluir a perspectiva ambiental na modelagem das trajetórias de crescimento para bovinocultura de corte, buscando maior entendimento de como os choques de oferta e de demanda se propagam ao longo do tempo e como isso afeta o meio ambiente.

A partir dessa inclusão busca-se entender como seria possível responder ao seguinte questionamento: "Quais as principais interações entre a cadeia produtiva da bovinocultura de corte no Brasil com o meio ambiente? Responder à pergunta-problema ajudaria a entender como o país estaria posicionado quanto a uma transição sustentável no setor da bovinocultura de corte, uma exigência do mercado internacional

A hipótese que se apresenta mais ajustada à pergunta-problema seria a de que há uma relação direta entre o tamanho do rebanho e as emissões de gases de efeito estufa por conta das emissões entéricas, de modo que a melhor forma de produzir com menores impactos seria a adoção de tecnologias que mitigam essas emissões.

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 buscou-se adaptar o modelo de Silva Neto e Bacchi (2014), para o Brasil com a inclusão da dimensão ambiental presente em Ozturk e Uddin (2012).

Além dessa introdução este artigo ainda tem mais quatro seções, a saber: revisão de literatura na dois, seguida pela metodologia, resultados e na quinta pelas considerações finais.

2. Revisão de Literatura

2.1 Pecuária e Meio Ambiente

Com relação à inclusão da dimensão ambiental no modelo, entende-se que os sistemas são mutáveis e estão em constante modificações ao longo do tempo dado que no meio ambiente existem diversas espécies interagindo (além dos seres humanos) (MAY et al., 2010).

A sustentabilidade, dentro do contexto econômico, está relacionada ao conceito de desenvolvimento sustentável. Jabareen (2008) expõe a existência de um paradoxo entre desenvolvimento e sustentabilidade onde o desenvolvimento, traduzido em expansão de produção, utiliza os insumos naturais até o limite, onde provoca escassez e desequilíbrio ambiental.

Baeten (2000) argumenta que desde antes do surgimento de uma civilização industrial, a humanidade já compreendia a relação da exploração de recursos com o meio ambiente, e que o uso dos recursos naturais deveria ser realizado de forma prudente com o objetivo de evitar o



esgotamento ambiental. O autor explana a existência de uma relação conflituosa entre as questões ecológicas e a produção, e para promover uma mudança na forma de produção para uma trajetória sustentável, é necessário que as decisões sejam tomadas de forma coletiva, visando o bem-estar social e a maximização do bem-estar social intergeracional.

Na revisão de Jabareen (2008) afirma-se que a popularização do termo desenvolvimento sustentável ocorreu através do Relatório de Brundtland, publicado em 1987. A concepção do documento é que o desenvolvimento sustentável está baseado no entendimento que as gerações atuais ao suprirem suas necessidades de produção não podem comprometer a capacidade de produção das gerações futuras (BRUNDTLAND, 1991).

Nesse sentido, o presente trabalho aborda o desenvolvimento sustentável por meio da concepção de mitigação dos efeitos que as atividades humanas podem causar no meio ambiente. Assim, entende-se que produzir de forma sustentável na atividade pecuária está relacionado com uma produção voltada para a mitigação dos impactos da bovinocultura sobre o meio ambiente, com ênfase na preservação das condições naturais para a existência dessa atividade a longo prazo, com o menor prejuízo possível aos demais sistemas econômicos e naturais.

Um importante caminho para a sustentabilidade considerado no presente trabalho é o papel que o progresso tecnológico possui. Isto é, por meio da introdução de tecnologias no setor da bovinocultura é possível encontrar soluções para minimizar ou mitigar (sem chegar a excluir) os impactos negativos que essa atividade possui sobre meio ambiente.

Durante a digestão dos animais bovinos ocorre a fermentação entérica, ao longo deste processo esses animais produzem e liberam na atmosfera gás metano (CH_4), que tem impacto quatro vezes maior que o dióxido de carbono (CO_2) em potencial de mudanças climáticas, sendo um importante GEE – Gás do Efeito Estufa (PALERMO, 2011).

O aumento do número de animais na pecuária bovina pode resultar em uma elevação na emissão de metano. É importante destacar que a emissão de metano pelos ruminantes é diretamente proporcional à quantidade de alimento ingerido e varia de acordo com a qualidade do alimento. Alimentos de maior digestibilidade promovem um ganho de peso mais rápido, reduzem o tempo de ruminação e, conseqüentemente, diminuem a emissão de metano (ABRÃO et al., 2016; ALMEIDA E MEDEIROS, 2013).

A produção bovina é um dos principais agentes na emissão de GEE emitidos pelo Brasil, dados do Dados do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases do Efeito Estufa (SEEG) mostram que em 2020 cerca de 64% das emissões brasileiras de Gases do Efeito Estufa (GEE) foram geradas pela fermentação entérica. A forma de produção pecuária tradicional pode representar um risco ao meio ambiente, pois se torna um fator significativo para o aumento da temperatura global média, contribuindo assim para o desequilíbrio dos ecossistemas (DEL CURTO et al., 2005; PALERMO, 2010).

Diante do potencial de emissão de GEE da produção bovina, há uma preocupação quanto à forma de produção destes animais. Além das emissões diretas causadas pela digestão bovina, a produção animal atualmente utilizada no país é baseada na extensão de terras, acarretando problemas ambientais na mudança do uso da terra e degradação dos solos.

É importante destacar, nesse contexto, que o presente estudo considera como impacto de análise as emissões gases do efeito estufa (GEE) da pecuária, deixa-se de considerar o papel do desmatamento como movimento para expansão das áreas de pastagem na Amazônia, que tem impacto importante na relação entre a questão ambiental, entretanto está menos ligado à produção de carne bovina que a processos de especulação fundiária (PENIAGO e HELLMEISTER FILHO, 2012, CORDEIRO et al., 2015; PALERMO, 2011, SANTOS, 2018, ABRAMOVAY, 2010).

Outra justificativa para a escolha das emissões estaria no fato de que a literatura sobre o tema aponta que a mudança de manejo dos bovinos para corte, especialmente sua alimentação,

tem potencial de mitigação das emissões de GEE (ALVES et al., 2017; LOBATO et al., 2014; DEL CURTO, 2005; AYARZA et al. 1997, SANTOS, 2022; SANTOS, 2018).

2.2 Modelos de Choques de Curto e Longo Prazos

O estudo de Blanchard e Quah (1989) trouxe uma significativa contribuição para o entendimento da dinâmica de crescimento de curto prazo da economia com os efeitos observados e buscou entender o efeito dos choques exógenos de oferta e de demanda sobre o produto da economia econômicos no produto, em curto e longo prazo.

Os autores supuseram que os choques de oferta seriam os de efeitos permanentes enquanto os choques de demanda seriam de curto prazo. Essa interpretação de oferta permanente e demanda com efeitos de curto prazo é derivada da teoria Keynesiana de flutuações, denominada Ciclo real de Negócios. Os autores não descartam que a demanda pode provocar choques no produto, porém afirmam que os choques de oferta têm magnitude maior sendo mais impactantes. Assim, os choques de demanda apresentam características transitórias.

No contexto internacional, Olakojo e Onanuga (2020) estimam um modelo VAR - Vetor Autorregressivo estrutural com a inclusão da mudança climática como fator “tecnológico” para compreender os impactos de longo prazo dessa variável nas lavouras temporárias da Nigéria. Acerca da pecuária, Rossini et al. (2018) elaboraram um VEC – Vetor de Correção de Erros estrutural buscando entender os determinantes da oferta e demanda de carne bovina na Argentina, diante dos resultados, as principais variáveis que apresentaram impacto na produção foram produtividade e tamanho do rebanho.

Na literatura brasileira, no campo da agricultura, dentre os trabalhos aplicados ao caso brasileiro, em específico 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 para avaliação de choques de oferta e demanda na produção da cana-de-açúcar. Alguns modelos que estudaram o agronegócio brasileiro por meio da abordagem de Blanchard e Quah (1988) foram Alves (2006), Alves et al (2008) e Barros e Silva (2008).

Na temática da pecuária brasileira, Silva Neto e Bacchi (2014) construíram um modelo teórico buscando entender os determinantes do crescimento da produção bovina no Brasil. Lima (2018) estudou o setor pecuário de corte através de um VEC estrutural para identificação dos determinantes do crescimento das exportações da carne bovina.

O estudo realizado por Lauro e Silva Neto (2014) mostrou uma análise regional ao analisar os determinantes econômicos do crescimento da pecuária de corte em Goiás. Os resultados identificados pelos autores demonstraram que os choques de oferta apresentaram impacto positivo e prevaleceram sob os choques de demanda (negativos).

Em perspectiva mais ampla, Ozturk e Uddin (2012) estimaram um modelo VAR 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, de consumo energético equivalente a kg de petróleo per capita, e do PIB real per capita. Considerando os resultados dos testes de raiz unitária e cointegração chegou-se a um modelo VEC, uma vez que, pelo teste de Johansen, admitiu-se pelo menos um vetor de cointegração. O modelo permitiu identificar uma relação causal entre consumo energético e emissões na Índia, um indicativo de que o país ainda precisa caminhar no sentido de superar uma base não renovável de geração de energia.

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).

3. Metodologia

O Modelo proposto contém as mesmas equações e variáveis do modelo apresentado em Silva Neto e Bacchi (2014) e Lauro e Silva Neto (2018), entretanto, inclui uma importante modificação: a inclusão da perspectiva ambiental.

A dimensão ambiental foi incluída a partir das Emissões de Gases do Efeito Estufa, explicadas pelo tamanho do rebanho (conforme descrito a seguir, na seção de dados utilizados no modelo), em uma adaptação de Ozturk e Uddin (2012), 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., 2022; SANTOS, 2018, SUELA et al., 2021). Com isso, a matriz de relações contemporâneas usadas no presente trabalho será:

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 própria.

As representações das letras são dadas por: X - Exportações; Y - Produto; C - Emissões; m - renda; η : Estoque; θ - Produtividade; p^p - Preços ao Produtor; e p^v - Preços ao varejo.

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. Os dados foram organizados numa base trimestral com 92 observações entre o primeiro trimestre de 1997 e o último trimestre de 2019:

- Produção: Foi considerado o volume da 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), na Tabela 1092 do SIDRA (Sistema IBGE de Recuperação Automática).
- 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 mês base utilizado foi agosto de 1994, de modo que todas as variáveis nominais compartilham essa referência.
- 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: o total de toneladas exportadas de carne refrigerada e congelada, disponível na base “Comex Stat” do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços.
- Produtividade: calculada pela razão entre peso total das carcaças e o número de animais abatidos, a partir dos dados disponíveis da Pesquisa Trimestral do Abate de Animais, tabela 1092 do SIDRA/IBGE.
- Preços ao Produtor: Para o Brasil, seguindo a proposta original de Silva Neto e Bacchi (2014), foram utilizados os dados referentes ao indicador do preço do Boi Gordo, com sua média a prazo para o estado de São Paulo. Já para o estado de Goiás, foi utilizado o preço do boi gordo no município de Goiânia. Ambas as informações foram obtidas junto ao CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada;
- Preços ao Consumidor: como aproximação para os preços do consumidor na mesma esfera geográfica dos preços ao produtor, foram utilizados os dados do IPCA para o item Alcatara Bovino. Para o Brasil foram utilizados os dados referentes à região metropolitana de São Paulo e para o estado de Goiás foi considerado o nível geográfico do município de Goiânia-GO. Os dados estão disponíveis ao longo das seguintes tabelas do SIDRA-IBGE, em ordem cronológica: 58, 655, 2938, 1419 e 7060.

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

- Estoque animal: foi utilizado o tamanho do rebanho (número de cabeças), disponibilizado pela Pesquisa Pecuária Municipal, Tabela 3939 do SIDRA/IBGE.
- Emissões: foi utilizado o total de emissões da pecuária 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 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), disponibilizados pelo SEEG, Sistema de Estimativas de Emissões de Gases do Efeito Estufa.

Para análise dos resultados, utilizou-se a abordagem de econometria de séries temporais, especificamente, na modelagem VAR-VEC. Conforme demonstrado em Bueno (2011), a modelagem de vetor autorregressivo (VAR) em sua forma estrutural é dada por:

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

Com:

$$\epsilon_t \text{ i.i.d } (0; I_n) .$$

Onde 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.

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

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 sejam estacionárias. 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 possam ser afetadas por choques transitórios. Nesse caso, a modelagem proposta é a do Modelo de Vetor de Correção de Erros-VECM).

Quanto aos testes estatísticos realizados, 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, gerando uma série nova, sem seus efeitos, que então passará pelo teste proposto por Dickey-Fuller.

A cointegração trata da existência entre 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.

4. Resultados

A partir dos resultados do teste de raiz unitária (Tabela 2) para as séries deste estudo, verifica-se que as variáveis em nível testadas possuem raiz unitária, a partir desse resultado, foram obtidas as primeiras diferenças das séries e realizado o teste novamente. Observou-se que os resultados das séries diferenciadas em ordem 1 ($I(1)$) foram classificadas como estacionárias.

Para verificação de cointegração entre as séries temporais empregadas no trabalho se fez necessário o uso do teste elaborado por Johansen (1988). De acordo com os resultados desse teste (Tabela 3), verifica-se que a necessidade de utilizar um vetor de cointegração.

Tabela 2: Estatísticas do Teste de Raiz Unitária DF-GLS (ERS).

Variável $I(d)$	Defasagens	Modelo Tipo 1	Modelo Tipo 2
Renda Interna* $I(0)$	9	-0,05	-1,574
Exportações $I(0)$	2	1,022	-0,55
Estoque $I(0)$	2	-0,368	-1,847
Produção $I(0)$	4	0,002	-1,228
Produtividade $I(0)$	6	1,137	-1,829
Preços ao produtor $I(0)$	10	-0,598	-2,082
Preços ao consumidor $I(0)$	7	-0,684	-1,393
Emissões $I(0)$	2	-0,039	-1,748
Renda Interna* $I(1)$	1	-5,613	-7,284
Exportações $I(1)$	1	-5,014	-8,995
Estoque $I(1)$	1	-2,157	-2,404
Produção $I(1)$	1	-6,217	-7,793
Produtividade $I(1)$	1	-11,338	-14,138

Preços ao produtor I(1)	1	-6,523	-6,51
Preços ao consumidor I(1)	1	-9,906	-9,455
Emissões I(1)	1	-3,121	-3,26

Fonte: Resultados da Pesquisa. O Modelo Tipo 1 diz respeito ao modelo com constante e o Modelo 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.

Teste (H0)	Traço	Valor Crítico (1%)
$r \leq 3$	88,24	84,45
$r \leq 2$	139,47	111,01
$r \leq 1$	193,91	143,09
$r = 0$	257,64	177,20

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

Para verificação de cointegração entre as séries temporais empregadas no trabalho se fez necessário o uso do teste elaborado por Johansen (1988), diante dos resultados da tabela 2, o modelo escolhido para realização do teste foi o modelo Tipo 1 (constante). De acordo com a tabela 3, verifica-se que há 3 vetores de cointegração. Dessa forma, para prosseguimento dos modelos propostos é recomendável a utilização dos vetores de cointegração através do Modelo de Vetorial de Correção de Erros (VECM) o que foi realizado no presente trabalho (Tabela 4).

Tabela 4: Matriz de Relações Contemporâneas

Efeito de:	Sobre:	Coefficientes
Produtividade	Exportações	-0,00931366
Produtividade	Produção	0,04928419
Produtividade	Emissões	**0,21138266
Estoque Animal	Exportações	-0,02150942
Estoque Animal	Produção	***0,082
Estoque Animal	Emissões	0,12293707
Preços ao Produtor	Exportações	-0,08997489
Preços ao Produtor	Produção	0,36858075
Preços ao Produtor	Emissões	***0,32925732
Preços do Varejo	Exportações	0,01197888

Fonte: Resultados da pesquisa. Níveis de Significância: * 10%; ** 5%; *** 1%.

A análise da matriz de relações contemporâneas estimada observada na Tabela 4 não permite um conjunto amplo de conclusões em relação ao caso brasileiro, uma vez que somente três relações mostraram-se estatisticamente significativas, o impacto do rebanho e dos preços ao produtor sobre as emissões e da produtividade sobre a produção, ou seja, somente variáveis relativas à oferta se mostraram significativas contemporaneamente.

Em comparação ao modelo de Silva Neto e Bacchi (2014), o aqui proposto se comportou diferente, com menos efeitos significativos, provavelmente, devido à inclusão dos efeitos sobre as emissões. Tais efeitos, sobre a variável que denota a questão da sustentabilidade foram significativos.

É possível observar que o aumento dos preços tem impacto significativo e positivo sobre as emissões, indicando que é possível que pressões para aumentos repentinos na produção (caso dos preços ao produtor) podem incentivar o uso de tecnologias mais danosas ao meio ambiente para produção pecuária.

Uma inferência possível a partir desse resultado é que 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 do mesmo, em geral, estão relacionadas ao aumento das emissões.

É possível observar que ganhos de produtividade são uma característica do sistema produtivo de carne bovina nacional, de modo que a trajetória atual, se mantida, tem o potencial de incrementar ainda mais a produção nacional, e que uma estratégia contínua de melhorias produtivas pode ter benefícios econômicos importantes para os agentes que atuam no setor.

Comparativamente ao estudo de Silva Neto e Bacchi (2014), o estoque animal se mostrou positivo e significativo sobre a produção, coeficiente que não tinha apresentado significância estatística no modelo dos autores.

Na Figura 1 é possível observar como as demais variáveis do modelo reagem a um aumento das emissões. Colocadas em suas próprias escalas, o impulso das emissões sobre as demais é, em geral, rapidamente absorvido, de volta ao estágio anterior, isso não acontece somente, no caso do estoque animal e da produção. Esse pode ser um indicativo que a expansão do rebanho ocorre, em geral, em virtude do aumento de técnicas menos preocupadas com a redução das emissões de GEE, por exemplo, com práticas extensivas.

Ainda nas emissões nacionais, representada na Figura 2, 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 desvio padrão e entra em queda atingindo valores negativos. Um choque exógeno positivo no estoque animal eleva o nível de emissões, pois existe a proporcionalidade entre emissões e estoque, conforme explicitado sobre o impacto do aumento do rebanho bovino sobre as demais variáveis.

Nota-se que os impactos dos choques nas exportações, preços ao consumidor, preços aos produtores e produção não afetam de forma relevante as emissões. A produtividade apresenta um impacto em escala mais reduzida, entretanto, é possível observar que seu aumento tende a provocar uma diminuição nas emissões entre o primeiro e sexto trimestre até se estabilizar, tal acontecimento pode estar relacionado com uma melhoria na alimentação ocasionando diminuição da ruminação e, conseqüentemente, das emissões realizadas pelos animais.

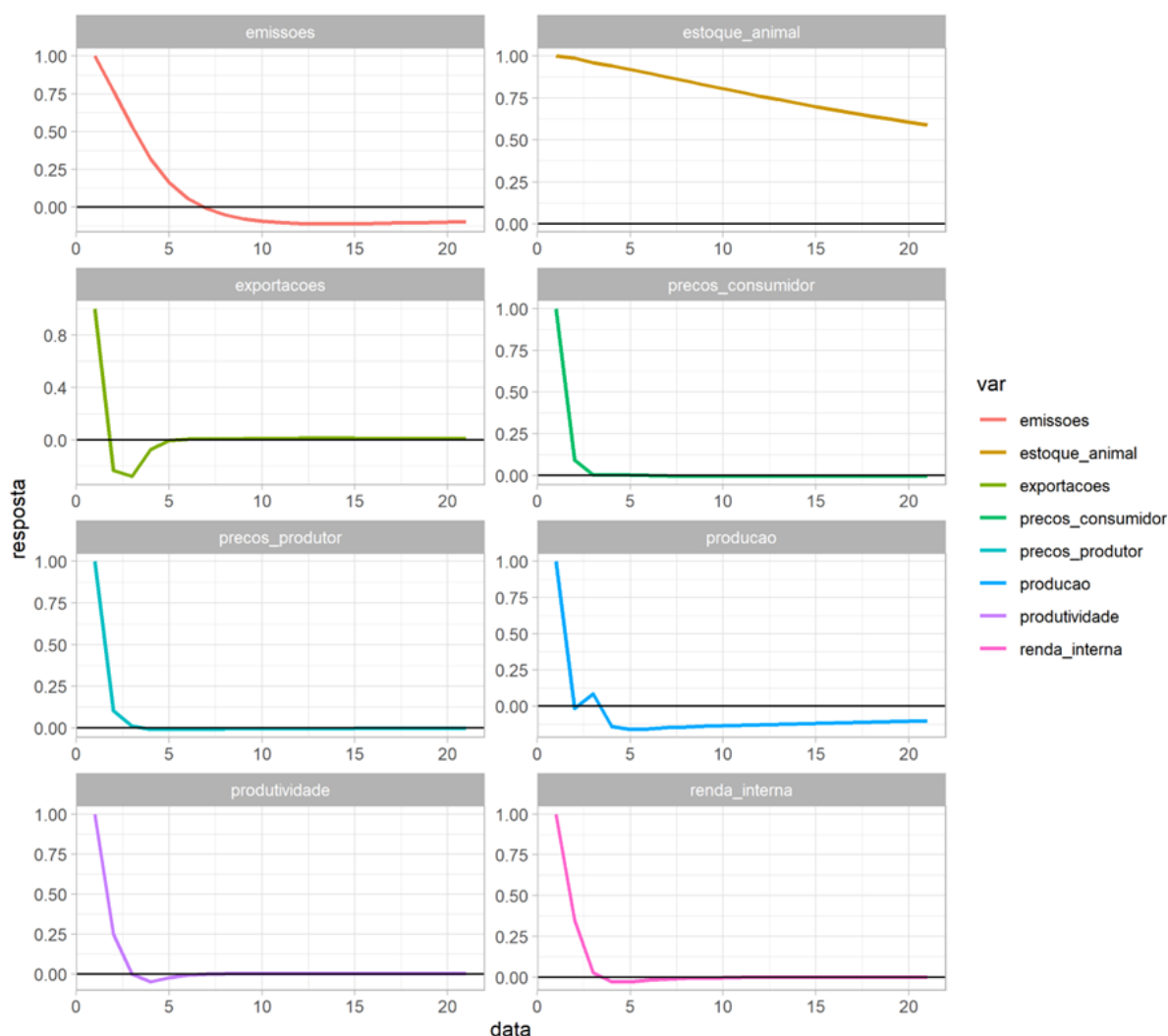


Figura 1: Função Impulso-Resposta, impacto de um choque nas emissões sobre as demais variáveis do modelo

Fonte: Resultados da pesquisa.

Observa-se uma forte relação do estoque com as emissões, indicando que quando se faz necessário aumentar o rebanho, esse aumento ainda se dá com a piora dos impactos ambientais da atividade.

A tabela 5 representa os valores de decomposição da variância para o erro de previsão. Cada coluna representa a variável de análise, e cada linha representa a contribuição das variáveis na decomposição da variância da coluna analisada.

Quando se observa a decomposição da variância de previsão para as variáveis do modelo é possível perceber que algumas dessas são fortemente concentradas em um único fator, a exemplo das exportações, da produção, e do rebanho, todos com mais de 85% da variância sendo explicada pelas variações no tamanho do rebanho.

A seguir, as variáveis de renda interna, produtividade e preços, têm variações maiores a serem observadas na decomposição de sua variância. A renda interna, além de ser fortemente impactada pelo rebanho (65,56% da variância), também sofre efeitos importantes por conta das emissões (21,9%).

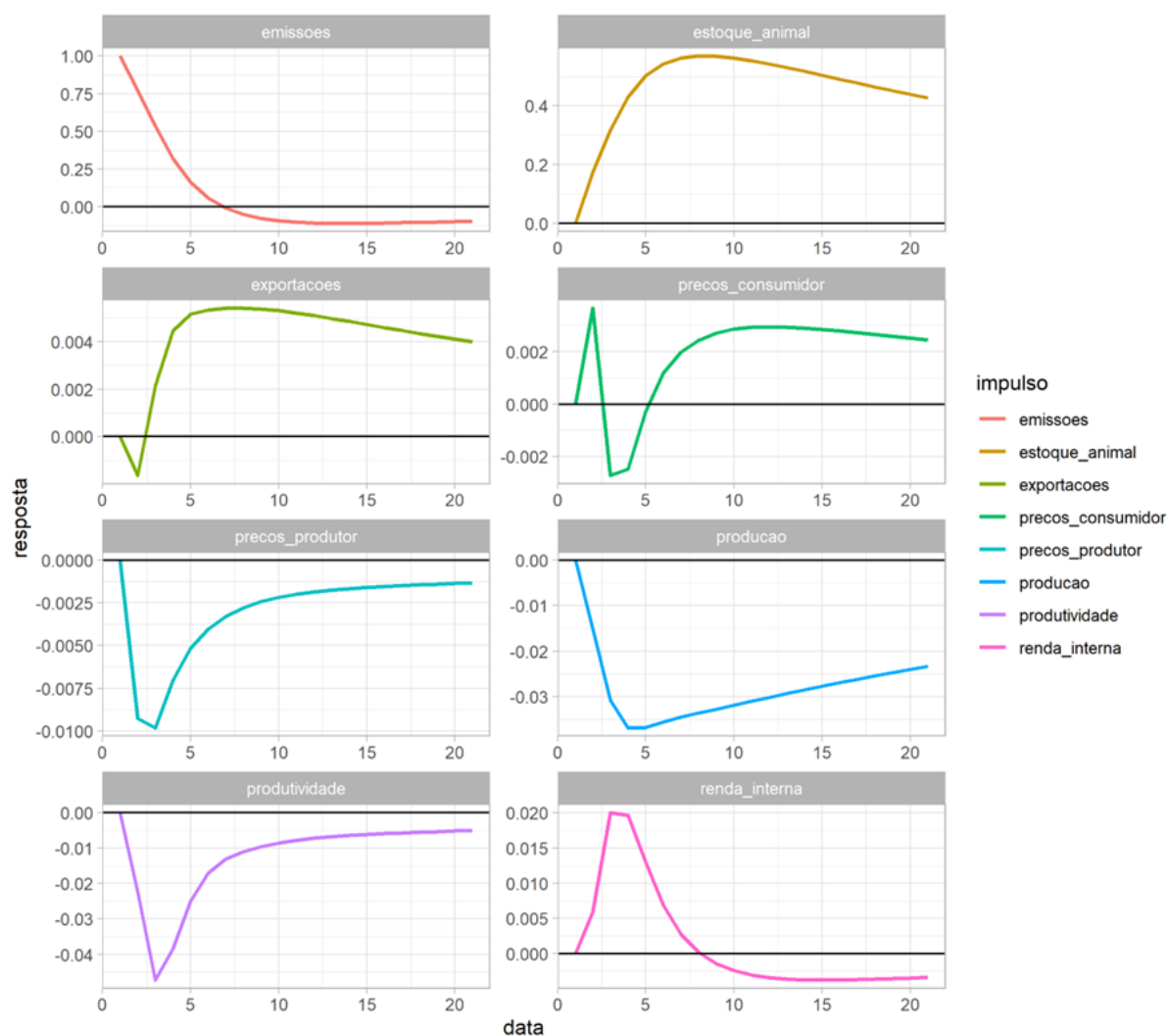


Figura 2: Função Impulso-Resposta, impacto de um choque nas demais variáveis do modelo sobre as emissões.

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela 5: Decomposição da Variância do Erro de Previsão em 50 Períodos.

Efeitos	Exportações	Produção	Emissões	Renda Interna	Estoque Animal	Produtividade	Preços ao Produtor	Preços ao Consumidor
Estoque Animal	88,75	88,29	53,39	65,56	94,86	64,73	70,19	77,78
Emissões	10,75	11,11	46,46	21,9	4,9	13,05	11,89	20,2
Produção	0,21	0,35	0,13	1,66	0,22	0,25	0,47	0,21
Produtividade	0,2	0,16	0	1,86	0	21,21	0,6	0,01
Exportações	0,07	0,01	0,01	0,2	0,01	0,03	0,03	0,01
Preços ao Consumidor	0,02	0,01	0	0,47	0	0,61	1,38	1,73
Renda Interna	0	0	0	7,52	0	0,03	0,05	0
Preços ao Produtor	0	0,07	0,01	0,83	0	0,1	15,39	0,06

Fonte: Resultados da pesquisa.

A produtividade, além do tamanho do rebanho (64,73%) e das emissões (13,05%) também tem efeitos importantes advindos da própria produtividade (21,21%) indicando que pode ser possível observar trajetórias de crescimento tecnológico ligado à engorda bovina na bovinocultura de corte nacional.

Os preços ao consumidor e ao produtor também são fortemente influenciados pelo tamanho do rebanho, entretanto também surgem como fatores de impacto as emissões. No caso dos preços ao produtor, o próprio preço ao produtor surge como variável de explicação da variância (15,39% dessa), o que pode indicar um sutil efeito inercial na trajetória desse preço, refletindo a absorção dos ganhos de aumento da produtividade pelos produtores, uma vez que esse cenário não é observado no caso dos preços ao consumidor.

5. Considerações Finais

Este trabalho procurou contribuir para a literatura dedicada à bovinocultura de corte ao proporcionar uma compreensão mais aprofundada do componente ambiental nos estudos dos determinantes da atividade por meio de um vetor autorregressivo. Nesse sentido, o estudo busca preencher uma lacuna na literatura que é a ausência de trabalhos que mensurem de forma sistemática o impacto das emissões de gases do efeito estufa na pecuária de corte brasileira, por meio da aplicação de modelagens econométricas.

Assim, buscou-se compreender o papel da inclusão da variável ambiental e investigar indicativos que favoreçam uma transição no setor para redução dos seus impactos sobre o meio ambiente. Dessa forma, o trabalho apresentou como importante contribuição o indicativo de que as melhores alternativas para promover o desenvolvimento socioeconômico a nível nacional são aquelas ligadas ao aumento dos rebanhos com redução das emissões, o que pode ser um desafio dadas as pressões de demanda externas pela carne bovina brasileira.

Com base nos resultados, é possível inferir que a expansão do rebanho bovino no Brasil representa um aspecto fundamental para o planejamento produtivo desse setor, bem como para o estabelecimento de estratégias eficazes de mitigação dos impactos ambientais decorrentes das emissões de gases de efeito estufa associados à atividade.

Essa discussão demonstra a importância de uma abordagem mais sustentável para a pecuária de corte no Brasil, que leve em consideração não só a produtividade e rentabilidade, mas também a redução do impacto ambiental. Assim, são necessárias estratégias integradas que abranjam o manejo do rebanho, o gerenciamento de suplementação animal com enfoque em ações de mitigação das emissões.

É importante reforçar que o modelo proposto está no contexto nos demais trabalhos que ajudaram a compor o arcabouço teórico e da literatura no qual o estudo se encontra inserido, e revelou 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, com vistas a fazer frente ao crescimento da demanda interna e externa sem que isso se dê às custas do meio ambiente.

É possível avançar essa discussão em direção à formulação de políticas de planejamento territorial, com o objetivo de coibir a expansão da pecuária extensiva e a conversão do uso do solo para atividade pecuária, que frequentemente está associada ao desmatamento na região amazônica. Tais políticas devem considerar a importância de uma abordagem mais sustentável e equilibrada, que valorize a conservação ambiental e a preservação dos ecossistemas naturais, além de incentivar práticas mais eficientes e sustentáveis na produção pecuária.

Em frente a 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 em busca de maior entendimento dessa relação. Além disso, a inclusão de variáveis do setor externo permite maiores inferências entre produção - meio ambiente - exportações a vista de auxiliar a tomada de decisões dos policy makers.

Diante do contexto pandêmico de 2020, se optou por não realizar uma previsão das séries históricas visto que a economia mundial estava passando por um momento atípico. Nesse sentido, é importante que pesquisas futuras empreenda esforços para analisar a dinâmica da bovinocultura de corte incluindo o período da pandemia de Covid-19, acrescentando variáveis, se necessário, e uma discussão voltada para a temática bovinocultura, sustentabilidade e a pandemia.

Referências

- ABRAMOVAY, Ricardo. Desenvolvimento sustentável: qual a estratégia para o Brasil?. **Novos estudos CEBRAP**, p. 97-113, 2010.
- ABRÃO, Flávia Oliveira; DE CASTRO FERNANDES, Brisa; PESSOA, Moisés Sena. Produção Sustentável na Bovinocultura: Princípios e Possibilidades. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v. 6, n. 4, p. 61-73, 2016.
- ALVES, F.; ALMEIDA, R. de; LAURA, V. Carbon neutral brazilian beef: A new concept for sustainable beef production in the tropics. **Embrapa Gado de Corte-Documents (INFOTECA-E)**, Brasília, DF: Embrapa, 2017., 2017.
- ALVES, L.R.A.; BARROS, G. S.A. 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. 383-408, 2008.



- AYARZA, M. et al. Introdução de *Stylosanthes guianensis* Cv. mineirão em pastagem de *Brachiaria ruziziensis*: Influência na produção animal e vegetal. **Embrapa Agrobiologia-Séries anteriores** (INFOTECA-E), 1997.
- 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.
- BRUNDTLAND, Gro Harlem. Our common future—Call for action. **Environmental Conservation**, v. 14, n. 4, p. 291-294, 1987.
- BUENO, Rodrigo de Losso. **Econometria de séries temporais**. São Paulo: Cengage, v. 1, p. 363-386, 2011.
- CORDEIRO, L. A. M. et al. Integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta: estratégias para intensificação sustentável do uso do solo. Embrapa Cerrados-Artigo em periódico indexado (ALICE), **Cadernos de Ciências & Tecnologia**, Brasília, DF, v. 32, n. 1/2, p. 15-43, jan . . . , 2015.
- 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: journal of the Econometric Society**, p. 1057-1072, 1981.
- ELLIOT, G., ROTHENBERG, T.J. and STOCK, J.H, Efficient Tests for an Autoregressive Unit Root, **Econometrica**, Vol. 64, No. 4, 813–836. 1996.
- JABAREEN, Yosef. A new conceptual framework for sustainable development. **Environment, development and sustainability**, v. 10, n. 2, p. 179-192, 2008.
- JOHANSEN, S. (1988), Statistical Analysis of Cointegration Vectors, **Journal of Economic Dynamics and Control**, 12, 231--254
- LAURO, Marcos Eduardo de Souza; SILVA NETO, Waldemiro Alcântara da. 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, R. P. **Crescimento das exportações de carne bovina brasileira entre 2005 e 2015: fatores econômicos**. 2018. 84 f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2018.
- LOBATO, J. et al. Brazilian beef produced on pastures: Sustainable and healthy. **Meat science**, Elsevier, v. 98, n. 3, p. 336–345, 2014.
- 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.
- 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.
- PALERMO, G. C. **Emissões de gases de efeito estufa (gee) e medidas mitigatórias da pecuária: Potencialidades da intensificação e do confinamento do gado bovino de corte brasileiro**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.



- 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. **Revista Argentina de Economía Agraria**, 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.
- 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 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, n. 2, p. 209-228, 2014.
- SPOLADOR, Humberto Francisco Silva. **Impactos dinâmicos dos choques de oferta e demanda sobre a agricultura brasileira**. 2006. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006. doi:10.11606/T.11.2006.tde-09052006-170914. Acesso em: 2022-07-09.