

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM AGRONEGÓCIOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIOS

ELEN PRESOTTO

**A DIMENSÃO DO VALOR BIOECONÔMICO NO SUBSISTEMA ECONÔMICO:
APROXIMAÇÃO ENTRE O VALOR BIOFÍSICO E ECONÔMICO POR MEIO DA
PROPOSIÇÃO DO MODELO DE INSUMO-PRODUTO EMERGÉTICO (MIPEM)**

Porto Alegre (RS), Brasil

Abril de 2022

ELEN PRESOTTO

**A DIMENSÃO DO VALOR BIOECONÔMICO NO SUBSISTEMA ECONÔMICO:
APROXIMAÇÃO ENTRE O VALOR BIOFÍSICO E ECONÔMICO POR MEIO DA
PROPOSIÇÃO DO MODELO DE INSUMO-PRODUTO EMERGÉTICO (MIPEM)**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócios do Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Agronegócios.

Orientador: Prof. Dr. Edson Talamini – UFRGS

Porto Alegre (RS), Brasil

Abril de 2022

CIP - Catalogação na Publicação

Presotto, Elen
A DIMENSÃO DO VALOR BIOECONÔMICO NO SUBSISTEMA
ECONÔMICO: APROXIMAÇÃO ENTRE O VALOR BIOFÍSICO E
ECONÔMICO POR MEIO DA PROPOSIÇÃO DO MODELO DE
INSUMO-PRODUTO EMERGÉTICO (MIPEM) / Elen Presotto. --
2022.

117 f.

Orientador: Edson Talamini.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Centro de Estudos e Pesquisas em
Agronegócios, Programa de Pós-Graduação em
Agronegócios, Porto Alegre, BR-RS, 2022.

1. Bioeconomia. 2. Análise Emergética. 3. Valor
Bioeconômico. 4. Economia Biofísica. 5. Macroeconomia
Ecológica. I. Talamini, Edson, orient. II. Título.

ELEN PRESOTTO

**A DIMENSÃO DO VALOR BIOECONÔMICO NO SUBSISTEMA ECONÔMICO:
APROXIMAÇÃO ENTRE O VALOR BIOFÍSICO E ECONÔMICO POR MEIO DA
PROPOSIÇÃO DO MODELO DE INSUMO-PRODUTO EMERGÉTICO (MIPEM)**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócios do Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Agronegócios.

Data de aprovação: 24/02/2022.

Prof. Dr. Edson Talamini – UFRGS (orientador)

Profa. Dra. Gabriela Allegretti – INBBIO

Prof. Dr. Leonardo Xavier – UFRGS

Prof. Dr. Marco Antonio Montoya – UPF

AGRADECIMENTOS

Ao escrever estes agradecimentos, me vi sem palavras, pois é uma tarefa difícil agradecer, em um pequeno texto, a todas as pessoas que me ajudaram. Eu voltei no tempo... Foram anos de estudo, dedicação e muito esforço para chegar onde cheguei, e hoje me orgulho do que aprendi e evolui, tanto profissional como pessoalmente. Os resultados aqui apresentados só foram possíveis com o apoio, a compreensão, o amparo e a dedicação de muitas pessoas que me rodeiam. Gostaria de estender meus agradecimentos a todas que me ajudaram nesta jornada de estudos, em especial:

- ao meu orientador, prof. dr. Edson Talamini, por ter acreditado no meu potencial e me incentivar a ir além, assim como pela paciência e dedicação que sempre teve comigo, pelos ensinamentos e pelas considerações sempre muito valiosas para mim;
- aos professores da banca, dra. Gabriela Alegretti, prof. dr. Marco Antonio Montoya e prof. dr. Leonardo Xavier, pela disponibilidade e por terem aceitado o convite para a banca de tese. Fiquei muito feliz e honrada com a solicitude que encararam o convite, especialmente os professores Marco Antonio Montoya e Gabriela Alegretti, pelo conhecimento compartilhado desde a banca de projeto de tese;
- à minha família, por compreenderem minha ausência nos momentos que estava estudando, lendo ou construindo esta tese;
- aos(às) amigos(as) queridos(as), pelo carinho, pela amizade e paciência em entender a minha ausência e, algumas vezes, a recusa de convites. Em especial, às minhas amigas e colegas Patricia e Lauana, muito obrigada por estarem perto, mesmo longe fisicamente às vezes, por fazerem meus dias mais leves, por revisarem textos quando precisei e pelos conselhos profissionais, principalmente nestes últimos tempos. Também agradeço à minha amiga Vanessa, por sempre se importar com o andamento da minha pesquisa, por estar sempre perto, pelo incentivo e pela amizade. Ao Felipe, um grande amigo desde o mestrado e que dividiu comigo os últimos detalhes da semana de pré-banca de defesa de tese;
- aos meus colegas da turma de 2018, foi um imenso prazer conhecê-los, levarei todos comigo;

- à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, pelas oportunidades que me foram dadas, por estudar em uma instituição pública e de qualidade que é excelência em ensino, pesquisa e extensão. À profa. Claudia Barros, do Departamento de Solos da UFRGS, e a todas as demais pessoas que enviei e-mail com dúvidas e me responderam com tanta paciência e solicitude;
- à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), por ter financiado minha pesquisa desde julho de 2019, pois sem esse recurso financeiro não seria possível eu finalizar esta pesquisa;
- ao Centro de Ensino Superior Riograndense (CESURG), pela oportunidade que me foi dada.

A todos, os meus mais sinceros agradecimentos.

*“Há um limite para o que podemos fazer com os números, e também há um
para o que podemos fazer sem eles”*
(GEORGESCU-ROEGEN, 2012, p. 37).

RESUMO

A economia é um subsistema de um sistema maior: a biosfera. Por outro lado, a economia de valor monetário ou o sistema de preços vigentes não considera essa dependência da biosfera e não remunera todos os insumos que realmente são utilizados como fatores de produção. A exemplo disso, os recursos da natureza (valor biofísico), por vezes, são tidos como dados. A falha em não medir a contribuição dos recursos biofísicos ao processo produtivo do subsistema econômico implica em um *gap*, entre o valor monetário e o valor bioeconômico. Ao se admitir a lógica fundamentada nas leis da termodinâmica defendida por Georgescu-Roegen para a análise do subsistema econômico, verifica-se um limite de recursos disponíveis na biosfera que podem ser transformados em matéria e energia. Somado a isso, tem-se a irreversibilidade do processo, que é a perda em função da transformação e dos resíduos, que são parte das saídas e da degradação da energia em forma de entropia. Howard T. Odum aproxima a lógica do valor monetário e do valor biofísico ao propor a Análise Emergética de sistemas, padronizando a mensuração dos recursos econômicos, da natureza e de serviços usados em processos produtivos em uma unidade comum, o Joule de energia solar equivalente (seJ). Essa situação é ainda mais complexa em nível macroeconômico e torna-se um aspecto importante a ser orientado por políticas públicas que buscam o desenvolvimento sustentável de uma nação. Nesse sentido, o objetivo desta tese é propor o Modelo de Insumo-Produto Emergético (MIPEm) como método de avaliação do valor bioeconômico e sua apropriação entre os setores ou subsistemas da economia brasileira. Centra-se, sobretudo, na discussão do distanciamento (*gap*) entre o valor biofísico e monetário, propondo o conceito de valor bioeconômico como forma de aproximação entre o sistema econômico e o sistema biofísico. Metodologicamente, a ideia do MIPEm foi construída a partir de uma crítica à teoria neoclássica embasada nas leis da termodinâmica e no conceito teórico de valor bioeconômico. A construção da Matriz Insumo-Produto Emergética possibilitou a análise aplicada do MIPEm e sua validação para a economia brasileira. Os resultados encontrados permitem estabelecer o grau de intensidade da PEm e sua participação, os índices de encadeamento, a decomposição pelo uso da energia total (direta ou indireta) e a balança comercial. Em suma, verificou-se a existência de um *gap*, corroborado pelos resultados encontrados pelo MIPEm de grau de intensidade de apropriação do valor bioeconômico por unidade de demanda final.

Palavras-chave: Bioeconomia. Análise Emergética. Valor Bioeconômico. Economia Biofísica. Macroeconomia Ecológica.

ABSTRACT

The economy is a subsystem of a larger system: the biosphere. On the other hand, the monetary value economy or the prevailing price system does not consider this dependence on the biosphere and does not remunerate all the inputs that are actually used as factors of production. For example, nature's resources (biophysical value) are sometimes taken for granted. The failure to measure the contribution of biophysical resources to the production process of the economic subsystem implies a gap between monetary value and bioeconomic value. By admitting the logic based on the laws of thermodynamics advocated by Georgescu-Roegen to analyze the economic subsystem, there are limited resources in the biosphere that can be transformed into matter and energy. Added to this is the irreversibility of the process, implying in the losses due to the transformation and the waste as part of the outputs and the energy degraded in the form of entropy. Howard T. Odum approaches the logic of monetary value and biophysical value by proposing the Energy Analysis of systems, standardizing the measurement of economic resources, nature and services used in productive processes in a common unit, the Joule of equivalent solar energy (seJ). This situation is even more complex at the macroeconomic level and becomes an important fact to be guided by public policies that seek the sustainable development of a nation. In this sense, the objective of this thesis is to propose the Energy Input-Output Model (EmIOM) as a method to evaluate the bioeconomic value and its appropriation among the sectors or subsystems of the Brazilian economy. Above all, it focuses on the discussion of the gap between biophysical and monetary values, proposing the concept of bioeconomic value as a way to bring the economic system and the biophysical system closer together. Methodologically, the idea of the EmIOM was built by criticizing the neoclassical theory faced with the inexorability of the laws of thermodynamics and the theoretical concept of bioeconomic value. The construction of the Energy Input-Output Matrix allowed EmIOM be applied and its results validated for the Brazilian economy. The findings allow establish the degree of intensity of the EmF and its participation, chaining indexes, the decomposition by the use of total energy (direct or indirect) and the trade balance. In summary, it was verified the existence of a gap corroborated by the degree of intensity that bioeconomic value is appropriated per unit of final demand obtained from the EmIOM.

Keywords: Bioeconomics. Energy Analysis. Bioeconomic Value. Biophysical Economics. Ecological Macroeconomics.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	13
1.2 SÍNTESE METODOLÓGICA E ESTRUTURAL DA TESE	16
2 A SUSTENTABILIDADE DO SUBSISTEMA ECONÔMICO: O GAP ENTRE O VALOR BIOFÍSICO E O VALOR MONETÁRIO	18
3 INCORPORANDO O VALOR BIOECONÔMICO: DESEMPENHO DOS SUBSISTEMAS DA MATRIZ INSUMO-PRODUTO EMERGÉTICA.....	18
4 A DINÂMICA DO VALOR BIOECONÔMICO A PARTIR DO MODELO DE INSUMO-PRODUTO EMERGÉTICO	18
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	19
5.1 LIMITAÇÕES DO ESTUDO	21
5.2 SUGESTÕES DE ESTUDOS FUTUROS	21
REFERÊNCIAS.....	23

1 INTRODUÇÃO

A desproporcionalidade observada entre os preços nominais e as energias incorporadas médias não é explicada pela teoria econômica convencional (LEIVA, 2019). Nas análises puramente monetárias, passa despercebida parte dos insumos utilizados na produção, como os da natureza, que por vezes são tidos como dados. Ou seja, o valor monetário dos bens ou o preço de mercado nem sempre reflete o valor bioeconômico. Em resumo, o valor bioeconômico pode ser interpretado como a incorporação do valor biofísico ao valor monetário no processo produtivo de bens e serviços. É fundamentado nas leis da termodinâmica e na existência de um desacoplamento, no sentido de que não há correlação exata entre o preço do bem (\$) – valor monetário) no mercado e todo o valor bioeconômico utilizado no processo produtivo.

A exemplo disso, o Brasil tem em seus setores produtivos classificados como primários (o agronegócio, por exemplo) uma importância significativa na produção e exportação de alimentos (FAO, 2019), de modo que alguns insumos – como a radiação solar, a precipitação pluviométrica, a perda de solo e outros fatores que impactam a produção do setor – estão sendo reconhecidos parcialmente pelo fluxo, exclusivamente monetário, da formação dos preços dos bens pela ótica do mercado. Em resumo, parte do valor biofísico não é mensurado pelo sistema monetário.

Com isso, a preocupação com a escassez de recursos torna-se uma questão global que afeta o fornecimento de bens e serviços e a segurança alimentar. Mesmo com a ajuda da tecnologia, as leis da termodinâmica sugerem que há um “pico”, um ponto máximo marcado pela quantidade de recursos disponíveis e capacidade de carga do ecossistema. Desse modo, o uso de insumos no processo econômico sem um espaço para a ciclagem dos nutrientes implica a redução do estoque global de recursos biofísicos (BRADFORD *et al.*, 2019; MAYUMI, 2022).

Somado a isso, o processo de produção é entrópico e irreversível (ARTUZO *et al.*, 2021; GEORGESCU-ROEGEN, 2012), há uma perda de energia na geração de trabalho, embasada no conceito de entropia (GEORGESCU-ROEGEN, 1971). Ou seja, por mais eficientes que sejam as práticas utilizadas de produção, se contradiz o *mainstream* da economia neoclássica, de fluxo contínuo de recursos, por exemplo. Cabe ainda salientar a complexidade da realidade nas disparidades de acesso a necessidades básicas do ser humano entre os diferentes países do mundo, onde

políticas públicas de mitigação de degradação ambiental devem ser bem planejadas, pois podem afetar a redução de bem-estar, principalmente em populações mais pobres (HASEGAWA *et al.*, 2018; MOZ-CHRISTOFOLETTI; PEREDA, 2021).

Nesse mesmo sentido, Odum (1996) considera que as funções do ecossistema não são cumpridas caso o impacto da economia humana exceda a reposição dos ecossistemas e defende que é necessário respeitar o limite dessa proporção, ao passo que se possa chegar a um equilíbrio no ecossistema. Ao se admitir que o processo econômico é transformador de recursos e faz parte de um sistema maior, a biosfera, e sabendo que os recursos disponíveis pelo ecossistema são finitos, faz-se necessário o uso eficiente desses recursos naturais disponíveis, para prolongar o seu uso no tempo.

Algumas estratégias já são estudadas, como o *Energy Return on Investment* (EROI), definido como o mínimo a ser permitido para a sustentabilidade da sociedade (HALL; BALOGH; MURPHY, 2009), ou para o alcance da ecoeficiência, e visto como uma solução para aumentar a sustentabilidade, via desmaterialização do processo econômico com a redução da dependência energética (VEIGA, 2010). Há avanços também no campo da macroeconomia ecológica¹, base deste estudo. Por um lado, estudos defendem que a demanda (keynesiana) tem papel central, razão pela qual se preocupam com fatores que possam gerar a falta dela e, com isso, o desemprego involuntário; por outro, há economistas ecológicos que focam nos efeitos negativos do processo de crescimento econômico sobre os sistemas biofísicos.

Esta tese defende como estratégia de orientação de políticas públicas o conceito de *systemic decoupling*, que se sustenta na ideia de que o processo econômico é um subsistema da biosfera, e por isso as leis da termodinâmica são base do conceito de valor bioeconômico, que deve orientar formuladores de políticas públicas para o desenvolvimento sustentável. Com esse escopo, a problemática na qual este estudo está embasado será apresentada a seguir e dedica-se a analisar o processo econômico não somente em sua lógica monetária, uma vez que pretende mensurar e estender a análise tradicional dos processos econômicos baseados puramente no valor monetário, incorporando o valor biofísico via valor bioeconômico.

¹ É uma discussão emergente e surge da relação do sistema econômico com o ecológico, somada à perspectiva da impossibilidade de crescimento infinito da economia, o que invalida um pressuposto importante da macroeconomia convencional: a possibilidade de manter um crescimento econômico indefinido (SAES, 2013).

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

O problema a ser examinado pela presente tese está na existência de um “*gap*”, desconsiderado pelo *mainstream* da ciência econômica, entre o valor de produção monetário – mensurado em unidades monetárias – e o valor biofísico – mensurado em unidades de energia – envolvidos na produção de bens. Essa afirmação se vale da observação de que o gasto de insumos com a produção de bens, na economia tradicional, é expresso em valores monetários, ou seja, só são contabilizados os recursos que geram gastos (custos de produção). Todavia, a lógica proposta por este estudo é embasada nas leis da termodinâmica, busca mensurar o valor bioeconômico, que é expresso em unidade física, e considera o uso de recursos da natureza, da economia e dos serviços para a produção de bens. Isso porque, por vezes, na economia tradicional o recurso natural é subestimado ou não considerado, ou seja, se está incorporando o valor biofísico ao valor monetário, com a análise em uma única unidade, o Joule de energia solar equivalente (seJ), via contabilidade emergética.

O sistema monetário remunera as pessoas pelo trabalho humano prestado ou pelo investimento de capital na aquisição de um bem, mas não pelo trabalho do ecossistema ou recurso natural utilizado como insumo que contribui para a produção de bens (CAMPBELL, 1998). Os sistemas ecológicos que os produzem são como investimentos de capital e estão sujeitos à exaustão, caso não sejam tomadas as providências para a substituição ou reabilitação deles (CAMPBELL, 1998).

Essa questão é mais complexa, pois o Brasil exerce uma participação significativa no comércio mundial de *commodities* (FAO, 2019), em especial os setores que envolvem as atividades agrícolas, que são grandes provedores de energia ao mesmo tempo em que são consumidores. Há de se salientar ainda as características biofísicas bastante ricas, como a relativa abundância de água e terras, por exemplo, mas que possuem certas diferenças para cada região do país. Por possuir grandes extensões de terras, há diferentes tipos de clima que influenciam na precipitação e temperatura (ALVARES *et al.*, 2013; FERREIRA; MELLO, 2005), tipos de solo e manejos de solo (MERTEN; MINELLA, 2013), por exemplo. O desafio, portanto, está em incorporar, minimamente, na análise de uso de recursos tradicionais, todos os insumos utilizados na produção de bens e serviços.

A proposta é mensurar a produção de bens e serviços a partir do uso de recursos biofísicos, econômicos e serviços que são fontes de matéria e energia para

o processo econômico, bem como aproximar a abordagem tradicional de uma visão sistêmica que inclua, minimamente, a lógica da sustentabilidade no processo econômico subsidiada, metodologicamente, pela Análise Emergética e pelo Modelo de Insumo-Produto Ecológico.

Na literatura, foram encontradas algumas pesquisas que mensuram a utilização de recursos naturais pelo processo econômico, com diferentes temáticas e evoluções metodológicas, com destaque para Du, Wang e Li (2022), Montoya (2020), Montoya *et al.* (2021), Overbury (1973), Pang *et al.* (2019) e Sun e An (2018). Entre os estudos encontrados, há preocupação crescente com a robustez metodológica em mensurar indicadores de sustentabilidade nacionais. Por ser uma temática complexa, utiliza-se a possibilidade da combinação de duas metodologias ou abordagens conjuntamente, como um diferencial (ALIZADEH; AVAMI, 2021; GUILHOTO, 2021; LOISEAU *et al.*, 2012).

Há estudos que aplicam análises conjuntamente para a economia da China e vêm empregando esforços em mensurar o desempenho econômico e ecológico, combinando a Análise Emergética pelas emissões de carbono com a clássica análise de Insumo-Produto para a China nos anos de 2005 (CHEN; CHEN, 2010) e 2007 (CHEN, Z. *et al.*, 2010).

Ainda foram encontrados estudos que utilizam Análise Emergética e de Insumo-Produto para mensurar a sustentabilidade setorial chinesa (SUN; AN, 2018) e a relação entre as atividades econômicas e a degradação do ecossistema (PANG *et al.*, 2019). Alguns estudos empregam o Modelo de Insumo-Produto e a pegada hídrica para analisar os requerimentos de água virtual e a mudança tecnológica no tempo (MONTTOYA; TALAMINI, 2021); e outros o Modelo de Insumo-Produto Ecológico e as emissões para mensurar a influência do uso de recursos renováveis e não renováveis nas mudanças climáticas (MONTTOYA *et al.*, 2021). No entanto, o que se percebe é que cada estudo citado centra-se em agregar uma parte do valor biofísico, como uso da água, uso de energia de combustíveis, emissões e degradação do ecossistema, mas nenhum dos estudos tenta evoluir na questão de agregar ao valor monetário o total de recursos utilizados da natureza, assim com as externalidades do processo produtivo.

Até onde se sabe, ainda não se encontrou até o momento uma análise voltada para o Brasil que mensure o valor bioeconômico das atividades produtivas, ficando essa lacuna teórica e empírica como a proposição de estudo deste trabalho. Diante

desse contexto, este estudo busca responder às seguintes questões: a proposição do Modelo de Insumo-Produto Emergético é capaz de mensurar o valor bioeconômico incorporado às atividades econômicas nacionais? Se sim, quais são os setores econômicos que mais se apropriam do valor bioeconômico?

Destaca-se como objetivo geral propor o Modelo de Insumo-Produto Emergético como método de avaliação do valor bioeconômico e da sua apropriação entre os setores da economia brasileira. Os objetivos específicos são:

- I. definir o conceito de valor bioeconômico a partir da crítica à teoria neoclássica, com base no paradigma do valor biofísico sustentado pelas leis da termodinâmica;
- II. construir a Matriz Insumo-Produto Emergética brasileira e identificar a sustentabilidade emergética das atividades produtivas setoriais a partir do uso do valor bioeconômico;
- III. construir e testar o Modelo de Insumo-Produto Emergético e avaliar a Pegada Emergética setorial com base no valor bioeconômico.

As contribuições desta pesquisa estão estruturadas em dois pilares: a relevância e o ineditismo de se estudar o processo de produção pela ótica do valor bioeconômico. A relevância do estudo se justifica pela intensificação de uso de recursos da natureza, desde a Revolução Industrial, sem respeitar a capacidade de carga da biosfera. Com esse enfoque, a sustentabilidade dos recursos assola agentes e formuladores de políticas públicas e traz à tona diversas discussões relacionadas aos atuais padrões de desenvolvimento e crescimento econômico dos países, de uso de recursos naturais, qualidade de vida, em que, sem o período necessário para a manutenção do estoque de recursos naturais, estes diminuem, resultando em degradação da natureza.

O ineditismo do estudo é em função de não terem sido encontrados trabalhos anteriores que busquem esta aproximação de análise do processo econômico nacional e da utilização do valor biofísico, que é testada a partir da aplicação do Modelo de Insumo-Produto Emergético e dos Índices Emergéticos para os diferentes setores produtivos do Brasil. Somado a isso, foi agregada a análise das externalidades (perda de solo e emissões) por compensação no nível macroeconômico. Isso porque a macroeconomia ecológica é uma proposta emergente dentro da literatura, com avanços em alguns aspectos, como descrito por Saes (2013) e Saes e Romeiro (2019).

Por fim, o Brasil é um *player* na produção de *commodities* em um mercado globalizado. Assim, para se garantir qualidade de vida sustentável tanto para a geração atual como para as futuras, é fundamental estudar o impacto do uso de recursos naturais, econômicos e humanos pelas atividades desempenhadas na economia nacional.

1.2 SÍNTESE METODOLÓGICA E ESTRUTURAL DA TESE

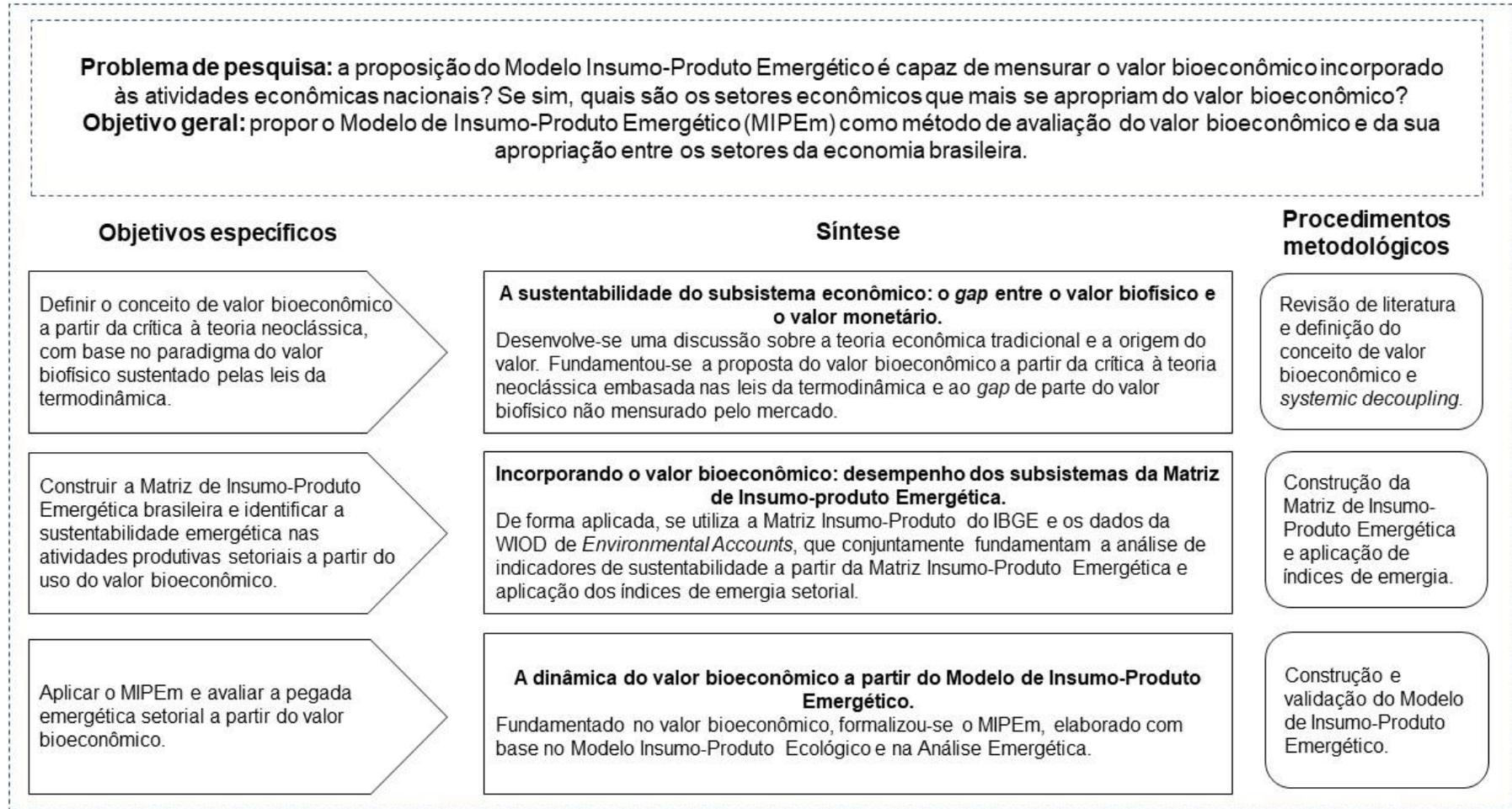
Com a problemática apresentada e os objetivos delineados, este trabalho busca atendê-los com uma proposta a ser desenvolvida por meio de três artigos completos. Na tentativa de traçar indicadores de sustentabilidade emergética dos setores analisados, mensurou-se o uso dos recursos naturais pelos setores da economia abordando a relação entre valor monetário e valor biofísico de cada atividade produtiva. Tais indicadores visam fornecer subsídios para tomadores de decisão e para formuladores de políticas públicas voltados a um desenvolvimento sustentável.

Esta tese, descrita em sua essência na Figura 1, a seguir, está dividida em cinco capítulos. O Capítulo I apresenta a introdução deste estudo, destaca o problema de pesquisa que originou a proposta de trabalho e traz as principais temáticas a serem discutidas. O artigo apresentado no Capítulo II formaliza uma revisão de literatura com uma crítica à economia neoclássica e sua ideia de valor a partir do paradigma do valor biofísico, além de fundamentar teoricamente a tese e sustentar a discussão e análise dos resultados.

No artigo que compõe o Capítulo III, apresenta-se a proposta de análise sobre os impactos das variações do uso de recursos renováveis e não renováveis a partir da aplicação da Análise Emergética, via construção da Matriz Insumo-Produto Emergética. Com base na análise dos indicadores emergéticos, busca-se mensurar a sustentabilidade da produção setorial a partir da incorporação da totalidade dos insumos utilizados.

Na sequência, o artigo apresentado no Capítulo IV fundamenta teórica e empiricamente a construção do Modelo de Insumo-Produto Emergético. Por fim, o Capítulo V desenvolve as considerações finais, frente aos resultados encontrados nos Capítulos II, III e IV, na busca de esclarecer a pergunta-problema e o objetivo geral deste estudo.

Figura 1 – Síntese da estrutura desenvolvida na presente tese



Fonte: A autora (2022).

2 A SUSTENTABILIDADE DO SUBSISTEMA ECONÔMICO: O GAP ENTRE O VALOR BIOFÍSICO E O VALOR MONETÁRIO²

A ser publicado a partir de 23/02/2023.

3 INCORPORANDO O VALOR BIOECONÔMICO: DESEMPENHO DOS SUBSISTEMAS DA MATRIZ INSUMO-PRODUTO EMERGÉTICA³

A ser publicado a partir de 23/02/2023.

4 A DINÂMICA DO VALOR BIOECONÔMICO A PARTIR DO MODELO DE INSUMO-PRODUTO EMERGÉTICO

A ser publicado a partir de 23/02/2023.

² Uma versão deste capítulo foi publicada no livro *Políticas públicas no Brasil: ferramentas essenciais ao desenvolvimento*, com o título “A proposição do Modelo de Insumo-Produto Emergético como ferramenta de planejamento de políticas públicas sustentáveis” (PRESOTTO; TALAMINI, 2022), e outra no XIV Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, com o título “A sustentabilidade do subsistema econômico e a aproximação com o valor biofísico” (PRESOTTO; TALAMINI, 2021).

³ Uma versão deste capítulo foi apresentada no XXIV Encontro de Economia da Região Sul, com o título: “O valor biofísico e o desempenho dos subsistemas da matriz insumo-produto” (PRESOTTO; TALAMINI, 2021b).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A preocupação com o desenvolvimento sustentável ainda é uma discussão em pauta na literatura, como mostram os recentes Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, o Acordo de Paris e a própria macroeconomia ecológica. Ao mesmo tempo que há esforços para alcançar vários objetivos, como mitigar as mudanças climáticas, a degradação da natureza e a perda de biodiversidade, busca-se também alcançar objetivos sociais, como a segurança alimentar e a redução da pobreza, por exemplo.

Em algumas nações ainda há uma parcela da população que não tem suas necessidades básicas atendidas (como alimentação, saúde etc.). Somado a isso, há evidências de que o processo econômico é absorvedor de recursos da natureza (biofísicos) e da economia, se revelando a clara dependência e a expansão condicionada à disponibilidade de recursos biofísicos finitos. Assim, o crescente uso de recursos, intensificado desde a Revolução Industrial, impulsiona um esforço conjunto de mudança global para o alcance do desenvolvimento sustentável.

Apesar do aumento da preocupação com a evolução de algumas vertentes da teoria econômica, como descrito no Capítulo II, ainda há fragilidades na corrente neoclássica que impera perante a lógica de mercado. Este trabalho, portanto, conseguiu atingir o objetivo que se propôs, de identificar o paradigma do valor biofísico a partir da crítica à teoria neoclássica embasada nas leis termodinâmicas e propor uma nova ótica de análise baseada no conceito de valor bioeconômico.

Diante dos resultados encontrados neste estudo, se faz necessária uma análise conjunta do desempenho bioeconômico e da sustentabilidade para determinar os setores estratégicos na busca do desenvolvimento sustentável, mais próximo da macroeconomia ecológica. Como se sabe, tudo que entra no processo econômico tem um valor, mas nem tudo terá um preço (valor de mercado/monetário). Alguns fatores da função de produção são tidos como dados, são exógenos, o que permite que se entenda teoricamente que há um *gap* entre os valores monetário e bioeconômico.

No Capítulo III, a abordagem trazida consegue minimamente “endogeneizar” uma parte desse *gap* de valor, pois mensura e incorpora a lógica do valor biofísico e o valor monetário no valor bioeconômico, apesar de serem utilizadas algumas generalizações já mencionadas na construção da Matriz Insumo-Produto Emergética. A proposta cumpre com o objetivo de mensurar e mapear os setores da MIP mais

sustentáveis, com base na Análise Emergética, que permite identificar os tipos de insumos (natureza, econômicos e serviços) utilizados nos processos produtivos em relação ao seu potencial de renovabilidade.

Isso porque os indicadores calculados permitem dizer que, no processamento de bens na economia, o uso de recursos da natureza (de baixa entropia) e as externalidades (por compensação) que resultam do processo tendem a aumentar o valor bioeconômico e reduzir o estoque biofísico. Desse modo, portanto, contrariamente ao que acontece com as análises clássicas de valor puramente monetário, em que o uso de recursos da natureza, ou as externalidades do processo produtivo, não influencia no valor dos bens no mercado (valor monetário). Isso sugere que a relação entre crescimento e desenvolvimento econômico e sustentabilidade deve ser analisada de forma sistêmica, ou seja, precisa de uma aproximação entre as análises para o alcance do desenvolvimento sustentável.

O Capítulo IV se mostrou eficiente em construir o Modelo de Insumo-Produto Emergético e avaliar a Pegada Emergética setorial. Dos resultados encontrados, os setores-chave na economia que ainda possuem maior renovabilidade são os Setores 1 e 19. Ao contrário disso, os Setores 8 e 23 são os menos sustentáveis. Isso indica que alguns processos produtivos precisam ser mais eficientes no que se refere a sua produção de bens na ótica biofísica, com destaque para os Setores 8 e 23, o que permite entender que é necessário que haja um “acoplamento” entre os insumos utilizados no processo produtivo e o preço de mercado ou valor de mercado. Há ainda uma contribuição do Setor 1 no crescimento econômico, caracterizado como um setor-chave na sua lógica bioeconômica, como também no desenvolvimento sustentável, pois possui o maior indicador de sustentabilidade e um dos melhores de renovabilidade.

Assim, fica evidente a diferença entre o valor monetário e o valor bioeconômico, comprovando a tese deste estudo com base na metodologia do MIPEm aqui desenvolvida. Os resultados encontrados em análises clássicas são diferentes dos encontrados neste estudo, que considera o valor bioeconômico. Em análises tradicionais, o valor dos bens fica em função do mercado e suas oscilações pela oferta e demanda, e não em função da sustentabilidade e da eficiência produtiva, por exemplo.

5.1 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Deve-se destacar que algumas limitações quanto à indisponibilidade de dados foi enfrentada. O estudo utilizou dados do ano de 2009 de *environmental accounts*, pois são os dados encontrados mais recentes para a aplicação da metodologia utilizada. Em função da necessidade de informações ambientais desagregadas em setores, foi necessário “combinar” em duas bases diferentes os dados setoriais econômicos do ano de 2010 e os dados ambientais de 2009 e demais dados utilizados. Deve-se salientar a grande dificuldade de dados ambientais que sejam compatíveis com as atividades setoriais econômicas e que ainda compartilhem da mesma organização de setores, visto que dados muito agregados inviabilizam a Análise Emergética.

Cabe salientar que, por se entender que cada setor é um subsistema, algumas generalizações foram necessárias, pois o Brasil é um país com dimensões continentais e não há dados, como perda de solo e radiação solar, disponíveis em médias, ou a produção em quilograma classificada por tipos de cultivo, localização da produção e tipos de solo, por exemplo.

Os indicadores analisados são convencionais na análise de Insumo-Produto, mas dados mais atuais são necessários para, por exemplo, realizar estudos de avanços tecnológicos da Pegada Emergética, ou ainda análises inter-regionais, apesar de avanços observados em Cho (2013) utilizando a Análise Emergética. Cabe salientar que pode ser evidenciada uma limitação quanto à discussão dos indicadores de energia na sua relação com o processo econômico e o custo biofísico, isto é, o valor da apropriação do valor biofísico diante de sua utilização no processo produtivo.

5.2 SUGESTÕES DE ESTUDOS FUTUROS

Por fim, a estrutura de recursos biofísicos utilizados no processo produtivo e a remuneração ou preços de mercado valorados pelo valor de mercado puramente monetário não refletem o valor bioeconômico. Esta relação de valoração do valor biofísico (seJ) incorporado ao sistema econômico via valor monetário (\$) pode ser um avanço para pesquisas futuras, assim como a valoração da apropriação do valor biofísico em unidades monetárias frente a sua utilização no processo produtivo.

Outro ponto importante é uma necessidade de padronização de dados perante a quantidade de setores e o “encaixe” entre as informações ambientais e econômicas, assim como os seus respectivos setores. Essa questão é relevante, pois para embasar políticas públicas e estudos que mensuram essa relação são necessários dados mais atuais que sejam aplicáveis para esse tipo de construção de indicadores, tal como formular estratégias de políticas públicas mais ou menos sustentáveis – por exemplo: quantificar se a instalação de uma nova unidade produtora em uma determinada região trará um aumento na Pegada Energética mais sustentável a essa região ou setor.

REFERÊNCIAS

- ALIZADEH, S.; AVAMI, A. Development of a framework for the sustainability evaluation of renewable and fossil fuel power plants using integrated LCA-emergy analysis: a case study in Iran. **Renewable Energy**, Oxford, v. 179, p. 1548-1564, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.07.140>. Acesso em: 19 jan. 2022.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso em: 18 jan. 2022.
- ARTUZO, F. D. *et al.* Science of the total environment emergy unsustainability index for agricultural systems assessment: a proposal based on the laws of thermodynamics. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 759, [art.] 143524, [p. 1-13], 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143524>. Acesso em: 20 jan. 2022.
- BRADFORD, J. *et al.* **The future is rural**: food system adaptations to the great simplification. Corvallis, Oregon: Post Carbon Institute, 2019. Disponível em: <https://www.postcarbon.org/publications/the-future-is-rural/>. Acesso em: 19 jan. 2022.
- CAMPBELL, D. E. Emergy analysis of human carrying capacity and regional sustainability: an example using the State of Maine. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 51, p. 531-569, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1006043721115>. Acesso em: 16 jan. 2022.
- CHEN, G. Q.; CHEN, Z. M. Carbon emissions and resources use by chinese economy 2007: a 135-sector inventory and input-output embodiment. **Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation**, Amsterdam, v. 15, n. 11, p. 3647-3732, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2009.12.024>. Acesso em: 18 jan. 2022.
- CHEN, Z. M. *et al.* Ecological input-output modeling for embodied resources and emissions in chinese economy 2005. **Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation**, Amsterdam, v. 15, n. 7, p. 1942-1965, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2009.08.001>. Acesso em: 18 jan. 2022.
- CHO, C. J. An exploration of reliable methods of estimating emergy requirements at the regional scale: traditional emergy analysis, regional thermodynamic input-output analysis, or the conservation rule-implicit method. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 251, p. 288-296, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.12.025>. Acesso em: 17 jan. 2022.
- DU, Y.-W.; WANG, Y.-C.; LI, W.-S. Emergy ecological footprint method considering uncertainty and its application in evaluating marine ranching resources and environmental carrying capacity. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 336, [art.] 130363, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130363>. Acesso em: 18 jan. 2022.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 15-28, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/abclima.v1i1.25215>. Acesso em: 17 jan. 2022.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). [Base de Dados FAOSTAT]. Rome: FAO, 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>. Acesso em: 18 jan. 2022.

GEORGESCU-ROEGEN, N. **O decrescimento**: entropia, ecologia, economia. São Paulo: Senac São Paulo, 2012.

GEORGESCU-ROEGEN, N. **The entropy law and the economic process**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1971.

GUILHOTO, J. J. M. **Input-output models applied to environmental analysis**. Oxford: Oxford University Press, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.573>. Acesso em: 17 jan. 2022.

HALL, C. A. S.; BALOGH, S.; MURPHY, D. J. R. What is the minimum EROI that a sustainable society must have? **Energies**, Torrance, v. 2, n. 1, p. 25-47, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en20100025>. Acesso em: 16 jan. 2022.

HASEGAWA, T. *et al.* Risk of increased food insecurity under stringent global climate change mitigation policy. **Nature Climate Change**, London, v. 8, n. 8, p. 699-703, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0230-x>. Acesso em: 18 jan. 2022.

LEIVA, B. Why are prices proportional to embodied energies? **BioPhysical Economics and Resource Quality**, Cham, v. 4, [art.] 14, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s41247-019-0062-y>. Acesso em: 19 jan. 2022.

LOISEAU, E. *et al.* Environmental assessment of a territory: an overview of existing tools and methods. **Journal of Environmental Management**, London, v. 112, p. 213-225, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.07.024>. Acesso em: 19 jan. 2022.

MAYUMI, K. T. Georgescu-Roegen's bioeconomics. *In*: RAMOS-MARTIN, J.; ROSA, E. P. (ed.). **Encyclopedia of ecological economics**. [Cheltenham: Edward Elgar Publishing], 2022. The following article is included as an entry in Encyclopedia of Ecological Economics, (Edward Elgar in 2022). Disponível em: https://www.academia.edu/59850626/Georgescu_Roegens_Bioeconomics. Acesso em: 18 jan. 2022.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. G. The expansion of brazilian agriculture: soil erosion scenarios. **International Soil and Water Conservation Research**, Beijing, v. 1, n. 3, p. 37-48, 2013. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S2095-6339\(15\)30029-0](https://doi.org/10.1016/S2095-6339(15)30029-0). Acesso em: 19 jan. 2022.

MONTOYA, M. A. **A pegada hídrica da economia brasileira e a balança comercial de água virtual**: uma análise insumo-produto. Passo Fundo: UPF, 2020. (Texto para discussão, n. 01/2020). Disponível em: https://www.upf.br/_uploads/Conteudo/cepeac/textos-discussao/01-2020.pdf. Acesso em: 17 jan. 2022.

MONTOYA, M. A. *et al.* Renewable and non-renewable in the energy-emissions-climate nexus: brazilian contributions to climate change via international trade. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 312, [art.] 127700, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127700>. Acesso em: 19 jan. 2022.

MONTOYA, M. A.; TALAMINI, E. **Mudança tecnológica no consumo de “água virtual” e a pegada hídrica na economia brasileira**: uma análise insumo-produto ecológico. Passo Fundo: UPF, 2021.

MOZ-CHRISTOFOLETTI, M. A.; PEREDA, P. C. Winners and losers: the distributional impacts of a carbon tax in Brazil. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 183, [art.] 106945, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.106945>. Acesso em: 15 jan. 2022.

ODUM, H. T. **Environmental accounting**: emergy and environmental decision making. New York: Wiley, 1996.

OVERBURY, R. E. Features of a closed-system economy. **Nature**, London, v. 242, p. 561-565, 1973.

PANG, M. *et al.* Understanding the linkages between production activities and ecosystem degradation in China: an ecological input-output model of 2012. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 218, p. 975-984, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.299>. Acesso em: 19 jan. 2022.

SAES, B. M. **Macroeconomia ecológica**: o desenvolvimento de abordagens e modelos a partir da economia ecológica. 2013. Dissertação (Mestrado em Economia) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

SAES, B. M.; ROMEIRO, A. R. Ecological macroeconomics: a methodological review. **Economia e Sociedade**, Campinas, v. 28, n. 2, p. 365-392, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1982-3533.2019v28n2art04>. Acesso em: 17 jan. 2022.

SUN, X.; AN, H. Emery network analysis of chinese sectoral ecological sustainability. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 174, p. 548-559, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.228>. Acesso em: 17 jan. 2022.

VEIGA, J. E. **Sustentabilidade**: a legitimação de um novo valor. 2. ed. São Paulo: Editora Senac, 2010.