



OS EFEITOS DE ENCADEAMENTO NA BIOECONOMIA E NA ECONOMIA DE BAIXO CARBONO DO BRASIL

Andrey Luis dos Santos Robinson

Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade de Brasília (UnB)

andreyrobinson@ymail.com

Valny Giacomelli Sobrinho

Departamento de Economia e Relações Internacionais da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

valny.sobrinho@ufsm.br

Resumo

O objetivo desse trabalho é demonstrar como a hipótese dos encadeamentos (linkages) em um modelo ampliado de insumo-produto pode ser utilizada como critério para avaliar as diretrizes bioeconômicas. Com essa finalidade, utilizam-se dados para o Brasil em 2018. Assim, quando indistintamente se consideram todos os recursos energéticos, o setor de Transportes é o mais dependente, e os Derivados de Petróleo são os insumos mais demandados pela economia. Os resultados mudam quando a ênfase recai sobre as bioenergias. Nesse caso, o setor de Papel e Celulose é o mais dependente, e a Lixívia torna-se o insumo mais consumido. Conclui-se que tais alterações afetam tanto o direcionamento dos investimentos quanto a estratégia de desenvolvimento a ser utilizada. Por exemplo, a redução do uso de combustíveis fósseis prejudicaria investimentos no setor de Transportes, ao passo que a adoção da estratégia bioeconômica de desenvolvimento favoreceria o setor de Papel e Celulose.

Palavras-chave: bioeconomia, encadeamentos, Hirschman, matriz insumo-produto ampliada, energia.

Abstract

The goal of this study is to demonstrate how the linkage hypothesis in an augmented input-output model can be used as a criterion to evaluate bioeconomic guidelines. To this end, data for 2018 in Brazil are used. Hence, when all the country's energy inputs are considered indistinctively, the Transport sector is the most dependent one, while Petroleum and Oil Products are the most demanded inputs across the economy. The results change when the emphasis is placed upon bioenergy inputs. In this case, the Paper and Pulp sector is the most dependent one, while Black Liquor turns out to be the most widely consumed input. It can be concluded that such changes drive both the investments and the development strategy to be designed. For instance, reducing the use of fossil fuels would harm investments in the Transport sector, while adoption of a bioeconomic strategy would favor the Paper and Pulp sector.

Keywords: bioeconomy, Hirschman, linkages, augmented input-output matrix, energy.

JEL Codes: Q42, Q57, C67



1. Introdução

Embora o termo Bioeconomia remeta à hipótese de Georgescu-Roegen (2012) sobre os limites biofísicos do crescimento econômico (bioeconomics), atualmente, instituições ao redor do mundo o utilizam para representar o segmento econômico, organizado em torno de atividades industriais complementares que competem pelo acesso à biomassa (bioeconomy [BE]). Por causa disso, desenvolver a BE implica uso economicamente viável da biomassa pela indústria, com a finalidade de promover o crescimento econômico, tornando-o, eventualmente, mais verde (Vivien et al. 2019).

Apesar de se questionarem os alcances e realidades de diretrizes dessa natureza (Smil 2019), o Brasil desponta como protagonista do desenvolvimento bioeconômico, devido às vantagens comparativas relacionadas: i) extensão territorial rica em biodiversidade; ii) domínio dos processos agroindustriais auxiliado pela ciência e tecnologia e; iii) custos reduzidos na produção originada da biomassa (Dias e Carvalho 2017). Contudo, muitas vezes, esses recursos enfrentam condições estruturais desfavoráveis, que criam incertezas para o investimento (Carus et al. 2014). Daí surge a necessidade de apoio político e financeiro estratégico para maximizar seu potencial (Staffas et al. 2013).

Um dos principais desafios da agenda bioeconômica é a elaboração de critérios para escolher setores e insumos compatíveis com a proposta. Por isso, questiona-se: como identificar atividades e insumos que podem se beneficiar do desenvolvimento bioeconômico? Qual critério utilizar para selecioná-las?

Na literatura, uma estratégia que permitiu identificar atividades capazes de promover o desenvolvimento econômico por meio de mecanismos de indução remete a Hirschman (1961), que propôs a hipótese dos encadeamentos (linkages). Esse argumento contrapõe-se à hipótese do “grande impulso”

(big push), segundo a qual, o desenvolvimento econômico resulta de investimentos massivos, dispersos, simultaneamente, por todos os setores da economia. Hirschman (1961) advertiu que esse padrão equilibrado de crescimento esbarraria na oferta limitada de insumos e produtos. Nessas circunstâncias, investimentos massivos (big push) seriam não apenas inúteis, mas também um desperdício de esforços e recursos.

Na realidade, o desenvolvimento econômico é, pelo contrário, um processo deflagrado por uma sequência de desequilíbrios, provocados por investimentos concentrados em alguns setores, identificados como dinâmicos, não em todos. É justamente o afastamento do equilíbrio, induzido por uma cadeia de desequilíbrios prévios nas ligações dos setores que demonstram dinamismo acima da média, que, a cada movimentação, fomenta a demanda (e a oferta) na economia (Hirschman 1961, Bianchi 2007).

Sob a ótica do desenvolvimento desequilibrado, “encadeamentos implicam interdependência (Bianchi 2007: 136)” e são de duas vias. Os “para trás” correspondem ao estímulo enviado para setores que fornecem os insumos para dada atividade. Nos encadeamentos “para frente”, o produto da atividade motriz induz o estabelecimento de novas atividades. Portanto, desde que esses mecanismos estejam relacionados à interdependência tecnológica das atividades produtivas, o desenvolvimento econômico consistiria num processo desequilibrado, em que se criam oportunidades não só para o surgimento de novas atividades, mas também para que os setores relativamente atrasados possam alcançar os mais avançados (Hirschman 1961).

De acordo com a hipótese dos encadeamentos, pode-se avaliar esse processo com base em índices de desenvolvimento. Eles são examinados nas linhas e colunas das matrizes inversas de insumo-produto (IP) e permitem destacar o setor mais dependente e o produto



mais básico da economia (Bianchi 2007). Expandindo-se a estrutura básica do modelo com recursos bio/energéticos, transformando-o num modelo insumo-produto ampliado (IPA), é possível destacar os setores mais dependentes e os (sub)produtos (bio/energia) mais utilizados (Miller e Blair 2009). Assim, ao investigar o link entre economia e seus subprodutos, é possível identificar atividades que se pretende controlar e/ou estimular, devido à sua relação com os requisitos mais básicos da Bioeconomia (BE): redução do consumo energético indesejado e estímulo ao consumo da biomassa (Guo e Song 2019).

Proveniente da matéria orgânica de origem vegetal e animal, a biomassa é a base da Bioeconomia. Portanto, a hipótese dos encadeamentos em um modelo de IPA serve como critério para selecionar atividades e insumos que podem se beneficiar do desenvolvimento bioeconômico, isto é, do desenvolvimento econômico desencadeado pela produção e consumo de recursos bioenergéticos, que geram energia a partir da biomassa.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é aplicar as hipóteses dos encadeamentos (linkages) em um modelo de insumo-produto ampliado para identificar essas relações. Por isso, utilizam-se os indicadores Backward Linkage (BL) (índice de encadeamento vertical ou para trás) e Forward Linkage (FL) (índice de encadeamento horizontal ou para frente) no modelo de IP estendido com fluxos físicos de bio/energia, a partir de dados para o Brasil em 2018. A vantagem dessa abordagem é integrar, por meio de submatrizes, tanto as unidades físicas de fontes de insumos energéticos e naturais quanto as de fossas de resíduos danosos ao meio ambiente (Daly 1968, Leontief 1970). Embora este trabalho lide somente com as

fontes de insumos energéticos e bioenergéticos, fazendo uso do modelo de IPA e dos procedimentos habituais de IP (Leontief 1936), torna-se possível converter as unidades monetárias em unidades físicas. Todavia, nessa nova medida de fluxo, não são feitas distinções entre os fatores de conversão utilizados e os preços praticados pelos setores que utilizam o insumo afim (Miller e Blair 2009, Montoya 2020).

Seja como for, diferentemente de Hirschman (1961), que perseguiu o crescimento do produto nacional, procura-se demonstrar, para além de resultados pecuniários e relações tecnológicas de expansão da produção, como identificar as atividades que se pretende controlar e/ou estimular (encadeamentos para trás) devido ao seu consumo bio/energético (encadeamentos para frente).

O modelo analítico utilizado é descrito na próxima seção (s. 2). Ali também se apresentam algumas aplicações dos encadeamentos nos modelos IPA (s. 2.2) e a base de dados utilizada para construir o modelo proposto (s. 2.3). Os resultados são apresentados na terceira seção (s. 3) e discutidos na quarta (s. 4). A quinta seção (s. 5) apresenta a conclusão do trabalho.

2. Metodologia dos Modelos de Insumo-Produto Ampliados

O modelo mais básico de IP, de que se excluem os subprodutos, está exposto na submatriz “Economia” (Y), onde o total de insumos econômicos (Y_j) depende da demanda final por bens (F) e da demanda intermediária de bens e serviços utilizados como insumos (y_{ij}) (Tabela 1).



Tabela 1 – Modelo de insumo produto

Setores					
Bioenergia X Setor	Setor 1	Setor 2	Setor 3	Vetor de insumos energéticos	Unidade medida
	(W) Bioeconomia				
Biomassa 1					
Biomassa 2		z_{hj}		Z_h	
Energia X Setor	(R) Matriz Energética				tep*
Energia de estoque					
Energia Fóssil		r_{sj}		R_s	
Energia de Fluxo					
Setor X Setor	(Y) Economia		Deman. Final (F)	Vetor de Produto	
Setor 1					
Setor 2		y_{ij}	f_i	Y_i	\$
Setor 3					
Total de insumos Econômicos		Y_j			

*Tonelada equivalente de petróleo.

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Miller e Blair (2009).

A leitura algébrica da submatriz **Y** (Tabela 1) está definida em (1).

$$Y = X + F \quad (1)$$

onde $X = y_{ij}$ representa uma matriz quadrada ($i = j$) na qual estão dispostas, em unidades monetárias (\$), as compras de insumos i pelas indústrias ou setores de atividade j . Resumidamente, o modelo básico de Leontief (1936) é derivado de (1). Formalmente:

$$L = (I - A)^{-1}F \\ = AL + F \quad (2)$$

o elemento **I** representa uma matriz identidade, enquanto **A** é a matriz de coeficientes técnicos de produção com elementos definidos por:

$$a_{ij} = y_{ij}/Y_j \quad (3)$$

em que y_{ij} são os elementos da matriz de demanda intermediária e, por hipótese, a_{ij} é constante. Isso significa que a relação entre insumos e produção é fixa, ou seja, não são

incorporadas questões de escala e substituição de insumos na produção (Miller e Blair 2009; Perman et al. 2003).

Apesar de, devido à sua utilidade prática, representarem um avanço para a teoria econômica, os modelos IP tradicionais são limitados para compreender a relação entre economia e meio ambiente. As primeiras propostas de estender os modelos de IP remetem ao final da década de 1960, com rápida proliferação durante a década de 1970 até meados 1985. Basicamente, eles procuravam contornar a limitação do modelo convencional ao incorporarem a relação econômica com o meio ambiente. Embora seus autores lhes conferissem diferentes aplicações, todos eles adotavam o mesmo pressuposto de retornos constantes de escala e funções de produção de Leontief (Ayres e Kneese 1969; Daly 1968; Leontief 1970; Perman et al. 2003). Em outras palavras, de maneira semelhante à submatriz **Y** (Tabela 1), outras submatrizes podem ser construídas para abranger os recursos bio/energéticos. Assim, cada z_{hj} e r_{sj} representam, respectivamente, a quantidade



total de biomassa (h) e recursos energéticos (s) utilizados pelos j setores da indústria, para obterem o produto setorial (Tabela 1). Dessa maneira, utilizando procedimentos habituais, a hipótese contida na Eq. (3) e as relações básicas do modelo de IP podem ser estendidas para o modelo ampliado (Miller e Blair 2009), em que o coeficiente bioenergético é representado por:

$$b_{hj} = z_{hj}/Y_j = B, \quad (4)$$

e o coeficiente de depleção (Giacomelli Sobrinho 2013, 2015), por:

$$c_{sj} = r_{sj}/Y_j = C \quad (5)$$

Como na Eq. (3), os coeficientes das Eqs. (4) e (5) também são utilizados na obtenção do produto j . E da mesma maneira que a Eq. (3) leva a AL (Eq. 2), a Eq. (4) conduz à Eq. (6), e a Eq. (5), à Eq. (7):

$$K = BL = B(I - A)^{-1} \quad (6)$$

$$V = CL = C(I - A)^{-1} \quad (7)$$

em que K e V são matrizes que informam, respectivamente, o total de recursos bioenergéticos e energéticos utilizados na economia. Conjuntamente, essas matrizes representam o custo bio/energético da produção econômica.

2.1 Efeitos de Encadeamento

Desde a formulação do modelo analítico de Hirschman (1961), as matrizes inversas dos modelos de IP são amplamente utilizadas para rastrear as ligações tecnológicas para frente (FL) e para trás (BL). Esses indicadores mostram quais produtos (linhas) e quais setores (colunas) têm efeito multiplicador acima

da média no crescimento econômico. Por conta da interdependência tecnológica das atividades, os setores acima da média são os que podem estimular os demais (Jones 1976). Enquanto os encadeamentos verticais, ou “para trás”, denotam a composição dos *inputs*, os encadeamentos horizontais, ou “para frente”, referem-se à alocação dos *outputs*. A matriz IP informa de onde os produtos e/ou insumos vêm e para onde eles vão (Temurshoev 2004). Isso significa que os encadeamentos para trás estão relacionados com a oferta intersetorial de insumos, enquanto os encadeamentos para frente, com a utilização do produto de determinada atividade como insumo por outra (Jones 1976).

O BL é mensurado a partir da matriz de compras (Eq. 2), enquanto o FL é obtido da matriz inversa de vendas (8):

$$L^* = (I - A^*)^{-1} \quad (8)$$

em que $A^* = a_{ij}^* = y_{ij}/Y_i$. O termo Y_i corresponde ao total do produto econômico (Tabela 1).

O processo para obter as novas matrizes é semelhante ao efetuado nas Eqs. (4), (5), (6) e (7). Porém, agora, as equações (4) e (5) também modulam a Eq. (8), e, tal como em (6) e (7), novas matrizes serão geradas:

$$K^* = B(I - A^*)^{-1} \quad (9)$$

$$V^* = C(I - A^*)^{-1} \quad (10)$$

É dessas quatro matrizes, duas de compras K , V , e duas de vendas K^* , V^* , que se extraem os efeitos de encadeamento desejados (Tabela 2).

**Tabela 2 – Matrizes moduladas de compras e de vendas**

Insumos X Setor		Setores		Unidade de medida
		Setor 1	Setor 2	
		Matriz de Compras	Matriz Vendas	
Bioeconomia	Biomassa 1	$K = B(I - A)^{-1}$	$K^* = B(I - A^*)^{-1}$	$\frac{tEP}{\$}$
	Biomassa 2			
Matriz Energética	Energia de Estoque	$V = C(I - A)^{-1}$	$V^* = C(I - A^*)^{-1}$	$\frac{tEP}{\$}$
	Energia Fóssil			
	Energia de Fluxo			
Economia	Setor 1	$L = (I - A)^{-1}$	$L^* = (I - A^*)^{-1}$	$\frac{\$}{\$}$
	Setor 2			

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Mille e Blair (2009).

A matriz modulada de compras rastreia os setores, ao passo que a matriz modulada de vendas, os subprodutos. Dessa forma, as médias dos somatórios das colunas de K^* e V^* e das linhas K e V são utilizadas para construir razões em relação à média total dessas mesmas matrizes (Tabela 2). São essas razões que definem os encadeamentos para trás, BL_j (11), e para frente, $FL_{i,h,s}$ (12).

$$BL_j = \frac{\frac{1}{W} T_j}{\frac{1}{W \times J} \sum_{j=1}^J T_j} \quad (11)$$

$$FL_{i,h,s} = \frac{\frac{1}{J} T_{i,h,s}^*}{\frac{1}{W \times J} \sum_{i,h,s=1}^W T_{i,h,s}^*} \quad (12)$$

onde T e T^* representam, respectivamente, matrizes genéricas para as matrizes L , K , V e L^* , K^* , V^* ; $T_{i,h,s}^*$ é o somatório da linhas e T_j o somatório das colunas, ambos da matriz genérica T ; os elementos das colunas $j = 1, \dots, J$ referem-se às indústrias; enquanto $i, h, s = 1, \dots, W$ referem-se às linhas; as condições descritas como $i = j = 1, \dots, W$ sendo que, $h \geq j$ e $s \geq j$, indicam que as matrizes L e L^* , referentes ao modelo IP mais básico, são quadradas, enquanto, no modelo estendido com recursos bio/energéticos, K, V, K^* e V^* são retangulares. Isso significa que pode haver mais ou menos produtos ou insumos bio/energéticos h, s que setores econômicos.

Quando $B_j > 1$ e $FL_{h,s} > 1$, tem-se determinada indústria disposta na coluna j , e determinado subproduto, na linha h ou s , que possuem efeitos de encadeamento acima da média. Noutras palavras, os encadeamentos para trás indicam o setor econômico mais dependente, enquanto os encadeamentos para frente apontam para o produto/recurso mais utilizado pela economia.

Considerando-se a oferta e a demanda setoriais, o BL_j e o $FL_{i,h,s}$ podem ser complementados pela razão (13):

$$BL_j / FL_{i,h,s} \quad (13)$$

que permite verificar o impacto de cada real investido no setor com maior BL_j e maior $FL_{i,h,s}$.

Também são utilizados indicadores de variabilidade das médias de cada linha e coluna. Esse indicador permite identificar se a influência de um setor nas atividades econômicas é forte ou fraca. Quando a variabilidade é alta, a influência de determinado produto ou recurso bio/energético na economia se concentra em poucas atividades. Do contrário, quando a variabilidade é baixa, a influência se espalha por toda economia. Assim, considerando mais uma vez a matriz genérica T , a Eq. (14) indica a variabilidade para os encadeamentos verticais, enquanto a



Eq. (15) registra a variabilidade para os encadeamentos para frente. Formalmente:

$$U_j = \frac{\sqrt{\frac{1}{W-1} \sum_{i,h,s=1}^W (T_{i,h,s,j} - \frac{1}{W} T_j)^2}}{\frac{1}{W} T_j} \quad (141)$$

$$U_{i,h,s} = \frac{\sqrt{\frac{1}{J-1} \sum_{j=1}^J (T_{i,h,s,j}^* - \frac{1}{J} T_{i,h,s}^*)^2}}{\frac{1}{J} T_{i,h,s}^*} \quad (15)$$

O setor com os mais fortes encadeamentos para trás é o que possui tanto $BL_j > 1$ quanto

U_j baixo. Similarmente, o recurso bio/energético com os mais fortes encadeamentos para frente é o que apresenta $FL_{h,s} > 1$ e $U_{h,s}$ baixo.

2.2 Os Índices de Encadeamento na Literatura

Na literatura econômica, os índices de encadeamento (Eqs. (11) e (12)) foram utilizados por uma série de autores para mensurar as relações com o meio ambiente. A Tabela 3 apresenta alguns.

Tabela 3 – Relação de trabalhos que utilizaram a análise de encadeamentos (para frente e para trás) na análise ambiental de insumo-produto

Autor	Proposta	Extensão	Região	Conclusões*
Lin e Chang (1997)	Verificar o impacto do consumo de petróleo na qualidade ambiental e nas relações interindustriais.	Energia e poluentes	Taiwan	Os setores de geração de energia, os transportes, outros produtos químicos, minerais não metálicos, borracha são identificados como setores importantes no que tange ao impacto ambiental. Os investimentos nessas indústrias devem ser ajustados para uma melhor eficiência energética.
Lenzen (2003)	Identificar setores-chave em termos de fatores de produção ambientalmente importantes.	Água, energia, uso da terra, poluentes.	Austrália	Indústrias de pastoreio, metais, química, têxtil, carne e laticínio, atacado e varejo apresentam encadeamentos acima da média. Também, parte considerável da pressão ambiental e de recursos é exercida ao longo dos caminhos de exportação.
Tarancón e Del Rio (2007)	Identificar as relações intersectoriais em termos de emissões de CO ₂ .	CO ₂	Espanha	As emissões dos setores de produção energética, alimentos, construção, transporte e residencial devem ser combatidas para que as emissões totais sejam reduzidas.
Firme e Perobelli (2012)	Analisar as mudanças estruturais ocorridas no setor energético brasileiro em 1997 e 2002.	Energia	Brasil	Em 1997 o setor energético possuía os maiores encadeamentos para frente. Contudo, foi ultrapassado em 2002 pelo setor de transportes. O setor energético possui encadeamentos para trás abaixo da média, tanto em 1997 quanto em 2002. Somente o setor siderúrgico apresentou características de um setor-chave, porque registrou encadeamentos para frente e para trás acima da média, em 1997 e 2002.
Montoya et al. (2013)	Avaliar intersectorialmente a importância do setor energético para a economia Brasileira.	Energia	Brasil	Encadeamentos para trás: alimentos e bebidas. Encadeamentos para frente: setor energético. Contudo, ao adicionar os índices de dispersão na análise, conclui-se que o setor energético se caracteriza por promover o crescimento de forma concentrada de alguns setores da economia (para trás) e, também, por fornecer insumos básicos que estimulam os demais setores da economia (para frente).



Zhao et al. (2015)	Investigar as relações industriais em termos de CO ₂ .	CO ₂	China	Agências como mineração, petroquímicas e minerais apresentam grande produção e são exportadoras líquidas de CO ₂ , enquanto a construção e outros serviços são importadores líquidos.
Zhao et al. (2015)	Verificar os encadeamentos e as emissões setoriais de CO ₂ .	Energia relacionada ao CO ₂	África do Sul	Os encadeamentos totais de carbono do sistema industrial são de 171,32 milhões de toneladas (Mt), o que representa 81,58 Mt de ligações para trás e 89,71 Mt de ligações para frente.
Beidari, Lin e Lewis (2017)	Analisar o consumo setorial de energia e as emissões de CO ₂ .	Energia e CO ₂	África do Sul	O setor de eletricidade é o principal consumidor de energia e emissor de CO ₂ .
He et al. (2019)	Análise do consumo de energético da Austrália	Energia	Austrália	Devido aos fortes encadeamentos, o setor de manufatura é o maior candidato à redução do consumo energético.

*Foram consideradas apenas as conclusões em termos de *linkages*;

Fonte: Elaborado pelos autores.

No geral, as análises da

Tabela 3 foram realizadas com base nos *coeficientes de requerimentos* diretos, indiretos e totais de insumos energéticos e/ou poluentes. Essa medida indica que as relações de compra e/ou venda de um insumo entre os setores (ou regiões) é feita em termos de energia ou poluentes (Miller e Blair 2009).

Seja como for, desde que a expansão da produção implique o consumo de recursos energéticos, estabelece-se uma relação íntima entre atividades produtivas e o meio ambiente. Afinal, a intensidade tecnológica que suporta a produtividade do sistema econômico no curto prazo pode traduzir-se numa intensidade ecológica insustentável no longo prazo. Logo, analisando-se o progresso bioeconômico por meio de um modelo de Insumo-Produto Ampliado (IPA), é possível verificar em que medida a interdependência tecnológica dos setores de atividade intensifica a depleção dos recursos naturais (coeficientes de depleção e bioenergéticos) (Tabela 2).

Em contraste com a análise estritamente econômica de IP, em que se avalia a expansão da atividade econômica através dos principais setores (matrizes L e L^*), a lógica do modelo ampliado pode sugerir também que elevados encadeamentos devam ser controlados, e os

investimentos, quando necessários, recair sobre setores menos dependentes (matrizes K, V, K^* e V^*). A razão disso é que o controle e a baixa interdependência tecnológica com demais setores ajudam a mitigar os efeitos negativos da atividade econômica. Afinal, o avanço para a bioeconomia não será completo sem limitar a expansão dos setores que intensificam a utilização dos recursos não bioeconômicos (Jones 1976, Giacomelli Sobrinho 2013).

Embora não seja suficiente, a interdependência tecnológica é necessária para os efeitos de encadeamento. Na verdade, elevada interdependência sugere encadeamentos potenciais cuja relação causal deve ser examinada logo depois. Por fim, ainda que inexistam vínculos causais, os encadeamentos podem reunir algum significado econômico. Por exemplo, Jones (1976) destaca que o setor elétrico possui elevados índices de encadeamentos para frente. Contudo, essa relação não é causal, porque a expansão desse setor é vista como resultado da expansão de setores usuários com fortes encadeamentos para trás. Da mesma forma, as relações de causalidade dos recursos naturais com elevados encadeamentos para frente podem ser relacionadas às atividades de indústrias usuárias com elevados encadeamentos para



trás (Jones 1976, Giacomelli Sobrinho 2013). A base de dados que permite examinar essas relações é apresentada no próximo tópico.

2.3 Base de Dados

Para aplicar as hipóteses expressas nas Eqs. 11 a 15, é necessário realizar alguns procedimentos. Primeiramente, adotou-se uma matriz IP do tipo *setor por setor*, elaborada pelo Núcleo de Economia Regional e Urbana da Universidade de São Paulo (NEREUS 2020), e uma matriz energética, publicada no BEN (Balanço Energético Nacional) (EPE 2019). As matrizes são referentes a 2018, consequência da disponibilidade da base de dados. Entretanto, a matriz IP é desagregada em 68 setores consumidores, enquanto a matriz

energética apresenta 24 fontes de energia medidas em tEP e 19 setores intermediários. As matrizes foram compatibilizadas com base no Cadastro Nacional de Atividade Econômica 2.0 (IBGE, 2006) e o grau de homogeneidade de suas atividades, conforme a literatura (Firme e Perobelli 2012, Montoya et al. 2015, Santiago et al. 2011). Como resultado, tanto a matriz energética quanto a IP tradicional foram agregadas em 14 grandes setores (Quadro 1). A partir daí, podem ser realizados os procedimentos habituais de insumo-produto, para obter as matrizes L, L^*, K, V, K^* e V^* (Tabela 2). No Anexo A, dispõe-se a alocação dos setores.

Quadro 1 – Relação de setores, insumos energéticos e bioenergéticos utilizados

14 Grandes Setores	13 Insumos Energéticos	5 Insumos Bioenergéticos
Agropecuária	Lenha	Lenha
Mineração e Pelotização	Prod. Cana	Lixívia
Produtos de Minerais não-metálicos	Gás Natural	Prod. Cana*
Metalurgia	Energia Eólica	Biodiesel
Não-Ferrosos e outros da metalurgia	Energia Solar	Álcool Etílico
Papel e Celulose	Energia Hidráulica	
Química	Carvão Vapor	
Têxtil e Vestuário	Biodiesel	
Alimentos e Bebidas	Carvão Vegetal	
Comércio e Serviços	Álcool Etílico	
Transportes	Coque Carvão Mineral	
Público	Derivados de Petróleo	
Outros Setores da Indústria	Gás Cidade	
Setor Energético		

Os produtos da cana correspondem ao caldo, melaço e bagaço da cana de açúcar.

Fonte: Elaborado pelos autores.

No Quadro 1, os insumos bioenergéticos referem-se ao consumo das fontes de energia da biomassa, disponíveis no balanço energético brasileiro e classificados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Os insumos energéticos congregam o consumo de todas as fontes de energia informadas na matriz energética. Para tentar captar o efeito do consumo energético derivado do petróleo na atividade produtiva brasileira, agregou-se, na linha “derivados de petróleo”, o consumo de óleo diesel, de óleo combustível, de gasolina, de GLP (gás liquefeito de petróleo) e de querosene. Já o consumo de energia do grupo

“eletricidade” foi desagregado em energia hidráulica (66,6%), eólica (7,5%) e solar (0,5%), totalizando 74,6%, conforme relatório da EPE (2019). Os resultados obtidos com o modelo são analisados na próxima seção.

3. Resultados

Os efeitos captados pelos BL e FL estão relacionados aos fornecimentos de insumos de uma atividade para outra (BL) e à utilização dos produtos de determinada atividade como insumos em outra (FL). Ou seja, os produtos de uma determinada atividade induzirão tentativas de utilizá-lo como insumo em algumas novas



atividades (Hirschman 1961, Temurshoev 2004). Dessa forma, na análise mais básica dos indicadores de Hirschman-Rasmussen, é possível verificar o comportamento da estrutura interna de atividades da economia e identificar setores-chave, que podem ser independentes ou dependentes da demanda e oferta interindustrial (Marconi et al. 2016). Porém, ao contrário da análise tradicional dos indicadores de Hirschman-Rasmussen, no modelo ampliado, ponderado pelos insumos energéticos consumidos na estrutura produtiva, é possível identificar o insumo bio/energético

mais utilizado ($FL_{s,h}$) e o setor que mais depende dele (BL_j).

Quando se consideram as principais fontes de recursos da matriz energética brasileira (Tabela 4), o maior BL_j corresponde ao setor de Transportes (2,992), ao passo que o maior FL_s , isto é, o insumo mais utilizado corresponde ao grupo Derivados de Petróleo (3,803). Embora o setor de transportes seja o maior responsável pela disseminação desses insumos, o consumo dessa fonte energética está relativamente concentrado em poucos setores ($U_s = 1,482$) e ($U_j = 2,509$).

Tabela 4 – Linkages e coeficientes de variação da matriz com insumos energéticos

Setores	BL_j	U_j	Insumos Energéticos	FL_s	U_s
Agropecuária	0,582	1,479	Lenha	1,536	1,238
Mineração e pelletização	0,509	1,560	Prod. cana	0,895	1,700
Fabricação de produtos de minerais mão-metálicos	1,454	1,379	Gás natural	1,669	0,700
Metalurgia	1,841	1,210	Eólica	0,199	0,715
Metais não-ferrosos e outros	1,335	1,313	Solar	0,013	0,715
Papel e celulose	1,417	1,307	Hidráulica	1,745	0,715
Química	0,553	1,354	Carvão vapor	0,630	1,180
Têxtil e vestuário	0,347	1,334	Biodiesel	0,205	1,626
Alimentos e bebidas	1,036	1,497	Carvão vegetal	0,400	1,820
Comércio e serviços	0,215	1,338	Álcool etílico	0,761	1,902
Transportes	2,992	2,509	Coque carvão mineral	0,990	1,791
Administração pública	0,135	1,450	Derivados de petróleo	3,803	1,482
Outros setores da indústria	0,559	1,062	Gás cidade	0,154	1,916
Setor energético	1,025	1,689			

Fonte: Elaborado pelos autores.

Por certo, essa relação se estabeleceu no Brasil porque houve desenvolvimento de um sistema modal rodoviário para transporte de pessoas e cargas, cujo objetivo principal era integrar o território nacional para atender as demandas do período de industrialização pesada da economia brasileira a partir da década de 1950 (Barat 1978). Apesar dos esforços empreendidos para diversificar a matriz energética após o primeiro choque do petróleo, ocorrido em meados da década de 1970, “a associação entre petróleo e transporte rodoviário constitui-se [...] em um sistema tecnológico dominante [...] na economia brasileira (Furtado 2019: 156)”. Isso se deve à expansão da oferta de insumos energéticos derivados de petróleo. No país, ela ficou

atrelada ao dinamismo do setor de transporte no que tange ao consumo de gasolina automotiva e óleo diesel. É como se o esforço de diversificar a matriz energética acabasse por aprisionar o consumo interno de derivados de petróleo a um sistema tecnológico firmado no binômio petróleo-transporte rodoviário que é pouco flexível a novos padrões de inovação (Furtado 2019, Tadeu 2010).

Desafortunadamente, o consumo de energia fóssil é o componente principal da preocupação humana e sua interferência nos ciclos globais de carbono (Smil 2019). No caso brasileiro, a redução do uso de insumos derivados de petróleo requer o controle das atividades do setor de transportes. Caso contrário, se



investimentos públicos e/ou privados recaírem nesse setor, para cada real investido em transportes, as vendas desses insumos na economia aumentariam R\$ 0,78 (Eq. (13)).

Ao considerar os encadeamentos intersetoriais de um modelo bioeconômico de desenvolvimento (Tabela 5), o setor que detém o maior BL_j é o de Papel e Celulose (4,881), enquanto o insumo bioenergético com o maior

FL_h corresponde à Lixívia (1,633). Tal como a relação entre o setor de transportes e os insumos derivados de petróleo, o consumo dessa fonte energética está relativamente concentrado em poucos setores ($U_h = 2,206$) e ($U_j = 1,515$).

Tabela 5 – Linkages e coeficientes de variação da matriz com insumos bioenergéticos

Setores	BL_j	U_j	Insumos Bioenergéticos	FL_h	U_h
Agropecuária	0,548	0,984	Lenha	1,523	1,238
Mineração e pelotização	0,287	0,941	Lixívia	1,633	2,206
Produtos de minerais não-metálicos	1,685	1,632	Prod. cana	0,887	1,700
Metalurgia	0,320	0,708	Biodiesel	0,203	1,626
Metais não-ferrosos e outros	0,257	1,024	Álcool etílico	0,754	1,902
Papel e celulose	4,881	1,515			
Química	0,342	0,616			
Têxtil e vestuário	0,261	0,399			
Alimentos e bebidas	1,547	1,326			
Comércio e serviços	0,169	0,562			
Transportes	1,988	1,466			
Público	0,083	0,675			
Outros setores da indústria	0,287	0,540			
Setor energético	1,343	1,937			

Fonte: Elaborado pelos autores.

No contexto de um mercado de alta competitividade internacional, o setor de papel e celulose é um ramo intensivo em recursos naturais e capital: 100% da produção brasileira tem origem em florestas plantadas (Sousa et al. 2018). Por conta disso, a produção de madeira e, conseqüentemente, a energia, que fazem parte da cadeia de produção de papel e celulose (Oliveira et al. 2018), tornam a sustentabilidade do processo produtivo um importante vetor de competição internacional.

Embora o setor seja considerado energo-intensivo (Bajay et al. 2009), os resultados encontrados são explicados pela autossuficiência energética dos produtores de celulose, que aproveitam a biomassa da madeira não utilizada no processo produtivo. Na verdade, o subproduto da produção de

celulose, a lixívia ou licor negro, é reprocessado na caldeira de recuperação, e parte da energia gerada no processo é transformada em energia elétrica, com o excedente destinado à venda para o sistema (Hora 2018). Isso significa que o setor Papel e Celulose é o principal responsável pela disseminação da Lixívia na economia brasileira. Logo, a expansão dessa fonte de energia depende do crescimento desse setor, onde as vendas de produtos derivados da cana aumentam em R\$ 2,99 (Eq. (13)(13)) para cada real investido.

4. Discussão

Diferentemente de trabalhos como o de Bertussi et al. (2020), que identificou nos



setores de transporte e eletricidade a capacidade de gerar efeitos multiplicadores positivos sobre a taxa de crescimento na economia brasileira – setores-chave –, e de He et al (2019), no qual a redução do consumo energético na Austrália é prevista nos encadeamentos de um modelo IPA que embute a energia nos fluxos do comércio setorial, na Tabela 4, examinaram-se os efeitos de encadeamento (para trás e para frente) de todas as fontes utilizadas na matriz energética brasileira. Na Tabela 5, a análise limitou-se apenas às fontes *bioenergéticas*, isto é, às que resultam da utilização da biomassa, como proposto pela estratégia bioeconômica de desenvolvimento (Popp et al. 2021).

Sem restringir as opções energéticas (Tabela 4), o setor *mais dependente* (maior BL) da economia brasileira é o de Transportes, ao qual se pode atribuir, por isso, a ampla disseminação e consumo de Derivados de Petróleo (maior FL). Nessas circunstâncias, a redução do uso de Derivados de Petróleo implicaria deslocar os investimentos para setores *menos dependentes*.

Limitando-se as escolhas às fontes *bioenergéticas* (biomassa) (Tabela 5), o *subproduto* mais disseminado na economia passa a ser a Lixívia (maior FL), atribuída ao maior dinamismo, agora, do setor de Papel e Celulose (maior BL), o *mais dependente* dos restantes. Portanto, o controle da difusão da Lixívia implicaria direcionar os investimentos para outros setores *menos dependentes* que o de Papel e Celulose.

A partir dos fundamentos dos modelos IPA e dos resultados da análise realizada aqui, a proposição básica deste estudo é que, quando ponderados pelos impactos ambientais, os efeitos de encadeamento apontam muito mais para o controle da dispersão dos efeitos indesejados da atividade econômica do que para o estímulo à atividade produtiva indutora. Noutras palavras, nos modelos IPA, os FLs preponderam sobre os BLs. No entanto, os

encadeamentos “para frente” são menos causais do que os encadeamentos “para trás”, e o estímulo ao desenvolvimento econômico se verifica somente se houver interdependência causal dos setores (Yotopoulos; Nugent, 1976). Logo, aumentar a demanda por insumos intermediários (encadeamentos “para trás”) é mais eficaz para estimular os investimentos e o desenvolvimento da economia do que aumentar a oferta de insumos (encadeamentos “para frente”) (Yotopoulos; Nugent, 1973, 1976).

Por isso, a proposta da BE é que os insumos em geral sejam menos intensivos em energia fóssil. À medida que esses insumos sejam reduzidos na atividade econômica, e que recursos bioenergéticos sejam aproveitados e reaproveitados (D’Amato et al. 2017), os critérios de decisão no modelo IPA se aproximam dos do modelo IP. Quer dizer, nessas circunstâncias, os BLs se sobrepõem, como critério de decisão, aos FLs. Então, em tese, o estímulo ao setor *mais dependente* (maior BL) não deve implicar FL elevado para insumos energéticos cuja utilização se quer desestimular (e.g., derivados de petróleo, na Tabela 4).

Empregando-se um modelo IPA, verifica-se que o setor mais dependente (maior BL) é o de Papel e Celulose, cujo insumo mais básico (maior FL) é, no entanto, bioenergético (lixívia) (Tabela 5) — em princípio, menos danoso que os derivados de petróleo (maior FL) (Tabela 4) associados ao setor mais dependente (maior BL) no modelo IP tradicional. Embora não existam garantias de que o resultado será ecologicamente sustentável, se for assim, as fontes de energia da biomassa, que são o núcleo central da BE (Vivien et al. 2019), seriam incentivadas pelos encadeamentos da produção industrial.

5. Considerações Finais

Como se viu, índices de encadeamento em modelos IP e IPA podem efetivamente divergir.



A razão disso é que os modelos IP tradicionais não levam em conta o uso de insumos energéticos nem a poluição (subprodutos) envolvidos na produção econômica. A interdependência, causal ou tecnológica, registrada pelos índices de encadeamento entre os setores de atividade, não se traduz apenas economicamente, mas também ambientalmente. Gargalos ambientais, causados pelo uso intensivo de recursos naturais e serviços ambientais, comprometem o funcionamento da economia tanto quanto gargalos estruturais entre os setores produtivos.

Embora o acesso à biomassa e a redução do consumo fóssil sejam requisitos fundamentais para desenvolver a BE moderna, os resultados encontrados neste artigo reforçam a ideia de que, em vez de buscar pela redução ou promoção dessas fontes energéticas à deriva, a política energética pode se beneficiar da informação gerada nos modelos IPA. Com base nela, é possível concentrar-se nos encadeamentos das atividades mais dependentes (índice de ligação para trás acima da média) como critério para alocação dos investimentos. Assim, o impulso da BE pode ser proporcionado pelo controle dos insumos fósseis e a partir de setores capazes de disseminar os insumos bioenergéticos através dos encadeamentos intersetoriais da economia. Nesse sentido, pelos resultados encontrados neste trabalho, uma estratégia de desenvolvimento bioeconômica favorecerá investimentos no setor de Papel e Celulose, ao passo que o setor de Transportes seria prejudicado, por estar diretamente ligado às fontes energéticas derivadas do petróleo.

Ainda que mantenha o componente estratégico da seleção de setores, tal proposta é relativamente diferente da política de desenvolvimento de Hirschman, que vislumbrou nos *linkages* um caminho para o aumento do produto nacional. No contexto da transição energética, nem sempre são as atividades com maiores encadeamentos que devem receber

investimento. A mitigação, controle ou prevenção dos danos ambientais pode exigir a concentração dos investimentos em setores cuja atividade minimize a disseminação de resíduos poluentes ou do uso de insumos energéticos que os gerem. Se os encadeamentos intersetoriais realmente exprimem relações de causalidade ou dependência tecnológica, então a atividade superior à média, ou seja, o setor mais dependente (maior BL), é, como sugerem as Tabelas 4 e 5, efetivamente responsável pela utilização mais extensa (maiores FLs) de certos insumos na economia. Nesse caso, o controle de certas fontes de energia, como os derivados de petróleo, por exemplo, exigiria, ao contrário do que propunha Hirschman, a alocação dos investimentos nos setores com BLs menores. Porém, à medida que a interdependência setorial se desloque para setores menos intensivos em energia fóssil e mais intensivos em bioenergia, a alocação dos investimentos pode orientar-se para os setores com BLs maiores, conforme o critério de Hirschman.

Como o presente estudo está mais voltado para os insumos bioenergéticos da atividade econômica do que para os subprodutos que resultem dela, a proposição de Hirschman se mantém. A diferença é que, agora, o setor mais dependente (maior BL no modelo IPA) está associado ao recurso bioenergético mais importante (maior FL no modelo IPA).

Por fim, convém ressaltar que este trabalho possui algumas limitações: (i) o modelo é estático, e o vetor tempo ficou à margem da análise; (ii) a agregação reduz drasticamente o número de setores analisados; e (iii) não foi considerado o potencial da biomassa, estimado com base em fatores biofísicos. De resto, essas limitações podem servir como insumo para futuras pesquisas.



Referencias

- Ayres R. U. e A. V. Kneese., 1969. Production, Consumption, and Externalities. *The American Economic Review*, v. 59, n. 3, p. 282–297.
- Bajay S. V., Gorla F. D. e O. F. J. G. Bordoni, 1978. Os Segmentos Industriais Energo-Intensivos De Maiores Potenciais Técnicos De Conservação De Energia No Brasil. *Revista Brasileira de Energia*, v. 15, p. 89–107.
- Barat J., 1978. A evolução dos transportes no Brasil. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Instituto de Planejamento Econômico e Social
- Beidari M., Lin, S. J. e C. Lewis, 2017. Multiplier effects of energy consumption and CO2 emissions by input-output analysis in South Africa. *Aerosol and Air Quality Research*, v. 17, n. 6, p. 1566–1578. DOI: 10.4209/aaqr.2017.04.0150.
- Bertussi G., Takasago M. e J. Guilhoto, 2020. Infraestrutura e econômica no Brasil: uma análise de sua relevância sob a ótica de matriz insumo-produto. *Análise Econômica*, v. 38, n. 77, p. 147-170. DOI: 10.22456/2176-5456.76395.
- Bianchi A. M., 2007. Albert Hirschman na América Latina e sua trilogia sobre desenvolvimento econômico. *Economia e Sociedade*, v. 16, n. 2, p. 131–150. DOI: 10.1590/s0104-06182007000200001.
- Carus M., Dammer L, Hermann A. e R. Essel, 2014. Proposals for a reform of the renewable energy directive to a renewable energy and materials directive. *Industrial Biotechnology*, v. 10, n. 4, p. 269–274. DOI: 10.1089/ind.2014.1528.
- CNI, 2013. Bioeconomia: uma Agenda para Brasil - Portal da Indústria - Confederação Nacional da Indústria (CNI). Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2019/4/bioeconomia-uma-agenda-para-brasil/>.
- D'Amato D., Droste N., Allen B., Kettunen M., Lähtinen K., Korhonen J., Leskinen P., Matthies B. D. e A. Toppinen, 2017. Green, circular, bio economy: A comparative analysis of sustainability avenues. *Journal of cleaner production*, v. 168, p. 716-734. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.09.053
- Daly H. E., 1968. *On Economics as a Life Science*. The University of Chicago Press, v. 76, n. 3, p. 392–406.
- Dias R. F. e C. A. A. Carvalho, 2017. Bioeconomy in Brazil and in the world: Current situation and prospects *Revista Virtual de Química*. DOI: 10.21577/1984-6835.20170023. Disponível em: <http://rvq.sbq.org.br>.
- EC, 2012. Bioeconomy policy | Bioeconomy - Research & Innovation - European Commission (EC). Disponível em: <https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/index.cfm?pg=policy&lib=strategy>.
- EPE, 2019. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Disponível em: <http://epe.gov.br/>.
- Farla J., Markard J. Raven R. e L. Coenen, 2012. Sustainability transitions in the making: A closer look at actors, strategies and resources. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 79, n. 6, p. 991–998. DOI: 10.1016/j.techfore.2012.02.001.
- Firme V. A. C. e F. S. Perobelli, 2012. O Setor Energético Brasileiro: Uma Análise Via Indicadores de Insumo-Produto e o Modelo Híbrido para os Anos de 1997 e 2002. *Planejamento e Políticas Públicas*, n. 39.
- Furtado T., 2019. Indústria do Petróleo e Gás Natural: uma vocação desperdiçada. *Cadernos do Desenvolvimento*, v. 14, p. 155–175.
- Giacomelli Sobrinho V., 2013. Before green growth goes brown: polluters, waste and the "linkage hypothesis". ISWA World Congress Vienna. Vienna, Austria. https://www.academia.edu/4885162/Before_green_growth_goes_brown_polluters_wastes_and_the_linkage_hypothesis
- Giacomelli Sobrinho V., 2015, Economia sustentável e os modelos ampliados de insumo-produto. *Ciência & Ambiente*, n. 50, p. 41-52.



GGK, 2014. South Africa The Bio-Economy Strategy | Green Growth Knowledge (GGK) Platform. Disponível em: <https://www.greengrowthknowledge.org/national-documents/south-africa-bio-economy-strategy>.

Georgescu-Roegen, N., 2012. O decrescimento: entropia, ecologia e economia. São Paulo, Brazil: Senac.

Guo M. e W. Song, 2019. The growing U.S. bioeconomy: Drivers, development and constraints New Biotechnology. Elsevier B.V. DOI: 10.1016/j.nbt.2018.08.005.

Hausknot D., Schrieffl E., Lauk C., e G. Kalt, 2017. A transition to which bioeconomy? An exploration of diverging techno-political choices. Sustainability (Switzerland), v. 9, n. 4. DOI: 10.3390/su9040669.

He H., Reynolds C. J. Li L. e J. Boland, 2019. Assessing net energy consumption of Australian economy from 2004–05 to 2014–15: Environmentally-extended input-output analysis, structural decomposition analysis, and linkage analysis. Applied Energy, v. 240, p. 766–777. DOI: 10.1016/j.apenergy.2019.02.081.

Hilgemberg E. M. e J. J. M. Guilhoto, 2006. Uso de combustíveis e emissões de CO₂ no Brasil: um modelo inter-regional de insumo-produto. Nova Economia, v. 16, n. 1, p. 49–99. DOI: 10.1590/s0103-63512006000100002.

Hirschman A. O., 1961. Estratégia do desenvolvimento econômico.

Hora A. D., Nader L. e R. Mendes, 2018. Papel e Celulose. Em: Agendas Setoriais Para o Desenvolvimento: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, p. 119–142. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/16222/1/PRCapLiv214161_papel%26celulose_compl_P.pdf.

IBGE - Instituto Brasileir de Geografia e Estatística, 2006. Classificação Nacional de Atividades Econômicas, versão 2.0 (CNAE 2.0). Disponível em: <https://concla.ibge.gov.br/documentacao/cronolo>

<gia/204-concla/classificacao/por-tema/1365-cnae-2-0.html>.

Jones L. P., 1976. The Measurement of Hirschmanian Linkages. The Quarterly Journal of Economics, v. 90(2), p. 323–333.

Lenzen M., 2003. Environmentally important paths, linkages and key sectors in the Australian economy. Structural Change and Economic Dynamics, v. 14, n. 1, p. 1–34. DOI: 10.1016/S0954-349X(02)00025-5.

Leontief W., 1970. Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach. The Review of Economics and Statistics, v. 52, n. 3, p. 262–271.

Leontief W., 1936. Quantitative Input and Output Relations in the Economic Systems of the United States. The Review of Economics and Statistics, v. 18, n. 3, p. 105. DOI: 10.2307/1927837.

Lin S. J. e Y. F. Chang, 1997. Linkage effects and environmental impacts from oil consumption industries in Taiwan. Journal of Environmental Management, v. 49, n. 4, p. 393–411. DOI: 10.1006/jema.1995.0119.

Marconi N., Rocha I. L. e G. E. Magacho, 2016. Sectoral capabilities and productive structure: An input-output analysis of the key sectors of the Brazilian economy. Revista de Economia Política, v. 36, n. 3, p. 470–492. DOI: 10.1590/0101-31572016v36n03a02.

Mccormick K. e N. Kautto, 2013. The Bioeconomy in Europe: An Overview. Sustainability (Switzerland), v. 5, n. 6, p. 2589–2608. DOI: 10.3390/su5062589.

Miller R. E. e P. D. Blair, 2009. Input–Output Analysis: Fundations and Extensions. p. 768.

Montoya M. A., 2020. A pegada hídrica da economia brasileira e a balança comercial de água virtual: uma análise de insumo-produto. Economia Aplicada, v. 24, n. 2, p. 215-24. DOI: 10.11606/1980-5330/EA167721

Montoya M. A., Bertussi L. A., Lopes R. L. e E. B. Finamore, 2019. Uma nota sobre consumo energético, emissões, renda e emprego na



cadeia de soja no Brasil. *Revista Brasileira de Economia*, v. 73, n. 3, p. 345–369. DOI: 10.5935/0034-7140.20190016.

Montoya M. A., Pasqual C. A., Lopes R. L. e J. J. M. Guilhoto, 2015. As relações intersetoriais do setor energético na economia brasileira: uma abordagem insumo-produto. *Revista Teoria e Evidência Econômica*, v. 21, n. 44. DOI: 10.5335/rtee.v21i44.5353.

Montoya, M. A., Pasqual, C. A., Lopes, R. L. e J. J. M. Guilhoto, 2016. Consumo de energia, emissões de CO₂ e a geração de renda e emprego no agronegócio Brasileiro: Uma análise insumo-produto. *Economia Aplicada*, v. 20, n. 4, p. 383–413. DOI: 10.1590/1413-8050/ea134600.

Nereus, 2020. Núcleo de Economia Regional e Urbana da Universidade de São Paulo.

OECD, 2009. The Bioeconomy to 2030: Designing a policy agenda. Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD). DOI: 10.1787/9789264056886-en.

Oliveira A. B., Pereira J. M. e A. A. Nascimento, 2018. Cadeia Produtiva de Papel e Transformações no Sudoeste Maranhense. *InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, v. 4, n. 12, p. 135. DOI: 10.18764/2446-6549.v4n12p135-154.

Perman R., Ma Y., McGlivery J. e M. Common, 2003. *Natural Resource and Environmental Economics*. 3. ed.: Pearson Addison Wesley.

Popp J., Kovács S., Oláh J., Divéki Z. e E. Balázs, 2021. Bioeconomy: Biomass and biomass-based energy supply and demand. *New Biotechnology*, v. 60, p. 76-84. DOI: 10.1016/j.nbt.2020.10.004.

Santiago F. S., Mattos R. S. e F. S. Parobelli, 2011. Um modelo integrado econométrico+insumo-produto para previsão de longo prazo da demanda de combustíveis no Brasil. *Nova Economia*, v. 21, n. 3, p. 423–455. DOI: 10.1590/S0103-63512011000300005.

Smil V. 2019. What We Need to Know about the Pace of Decarbonization. *Substantia*, p. 69–73. DOI: 10.13128/substantia-700.

Sousa P. R. P., Lopes D. P. T., Andrade S. C., e P. T. V. Resende, 2018. Terceirização das Atividades Florestais na Indústria de Celulose e Papel. *Revista de Administração IMED*, v. 8, p. 260–280.

Staffas L., Gustavsson M. e K. McCormick, 2013. Strategies and policies for the bioeconomy and bio-based economy: An analysis of official national approaches. *Sustainability (Switzerland)*, v. 5, n. 6, p. 2751–2769. DOI: 10.3390/su5062751.

Tadeu H. F. B., 2010. Cenários de Longo Prazo para o Setor de Transportes e Consumo. Pontífica Universidade Católica de Minas Gerais.

Tarancón M. Á. e P. Del Río, 2007. CO₂ emissions and intersectoral linkages. The case of Spain. *Energy Policy*, v. 35, n. 2, p. 1100–1116. DOI: 10.1016/j.enpol.2006.01.018.

Termushoev, U. 2004. Key Sectors in the Kyrgyzstan Economy. CERGE-EI Discussion Paper Series No.135. Disponível em: https://www.cerge-ei.cz/pdf/dp/DP135_2004.pdf.

USA. National Bioeconomy Blueprint Released | whitehouse.gov. 2012. Disponível em: <https://obamawhitehouse.archives.gov/blog/2012/04/26/national-bioeconomy-blueprint-released>

Vivien F.-D., Nieddu M., Befort N., Debref R. e M. Giampietro, 2019. The hijacking of the bioeconomy. *Ecological Economics*, v. 159, p. 189-197. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2019.01.027.

Yotopoulos, P. A., Nugent, J. B., 1973. A balanced-growth version of the linkage hypothesis: a test. *The Quarterly Journal of Economics*, v. 87, n. 2, p. 157–171.

Yotopoulos, P.A., Nugent, J.B., 1976. In defense of a test of the linkage hypothesis. *The Quarterly Journal of Economics*, v. 90, n. 2, p. 334–343.

Zhao Y., Liu Y., Wang S. Zhang Z. e J. Li, 2015. Inter-regional linkage analysis of industrial CO₂ emissions in China: An application of a



hypothetical extraction method. *Ecological Indicators*, v. 61, p. 428–437. DOI: 10.1016/j.ecolind.2015.09.044.

Zhao Y., Zhang Z., Wang S. Zhang Y. e Y. Liu, 2015. Linkage analysis of sectoral CO2 emissions based on the hypothetical extraction

method in South Africa. *Journal of Cleaner Production*, v. 103, p. 916–924, 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.10.061.

WHO – World Health Organization, 2004. Water, sanitation, and hygiene links to health.

**Apêndice****Apêndice 1 – Agregação setorial da matriz insumo-produto**

1	Agropecuária	12	Comércio e Serviços
1	Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e a pós-colheita	26	Telecomunicações
2	Pecuária, inclusive o apoio à pecuária	27	Atividades imobiliárias
3	Produção florestal; pesca e aquicultura	28	Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas
2	Mineração e Pelotização	29	Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores
4	Extração de carvão mineral e de minerais não-metálicos	30	Intermediação financeira, seguros e previdência complementar
5	Extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio	31	Atividades jurídicas, contábeis, consultoria e sedes de empresas
6	Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração	32	Desenvolvimento de sistemas e outros serviços de informação
7	Extração de minerais metálicos não-ferrosos, inclusive beneficiamentos	33	Serviços de arquitetura, engenharia, testes/análises técnicas e P & D
3	Produtos de minerais não-metálicos	34	Outras atividades profissionais, científicas e técnicas
8	Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	35	Aluguéis não-imobiliários e gestão de ativos de propriedade intelectual
4	Metalurgia	36	Outras atividades administrativas e serviços complementares
9	Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura	37	Atividades de vigilância, segurança e investigação
10	Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	38	Educação privada
5	Metais não-ferrosos e outros	39	Saúde privada
11	Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição de metais	40	Edição e edição integrada à impressão
6	Papel e Celulose	41	Construção
12	Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	42	Impressão e reprodução de gravações
7	Química	43	Alojamento
13	Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	44	Alimentação
14	Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros	45	Água, esgoto e gestão de resíduos
15	Fabricação de defensivos, desinfetantes, tintas e químicos diversos	46	Atividades artísticas, criativas e de espetáculos
16	Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal	47	Organizações associativas e outros serviços pessoais
17	Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	48	Atividades de televisão, rádio, cinema e gravação/edição de som e imagem
8	Têxtil e vestuário	49	Serviços domésticos
18	Fabricação de produtos têxteis	13	Outros Setores da indústria
19	Confecção de artefatos do vestuário e acessórios	57	Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos
20	Fabricação de calçados e de artefatos de couro	58	Fabricação de máquinas e equipamentos elétricos
9	Alimentos e Bebidas	59	Fabricação de máquinas e equipamentos mecânicos
21	Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca	60	Fabricação de automóveis, caminhões e ônibus, exceto peças
22	Fabricação e refino de açúcar	61	Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores



23	Outros produtos alimentares	62	Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores
24	Fabricação de bebidas	63	Fabricação de móveis e de produtos de indústrias diversas
25	Fabricação de produtos do fumo	64	Fabricação de produtos da madeira
10	Transportes	65	Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos
50	Transporte terrestre	14	Setor Energético
51	Transporte aquaviário	66	Energia elétrica, gás natural e outras utilidades
52	Transporte aéreo	67	Fabricação de biocombustíveis
53	Armazenamento, atividades auxiliares dos transportes e correio	68	Refino de petróleo e coquerias
11	Administração Pública		
54	Administração pública, defesa e seguridade social		
55	Educação pública		
56	Saúde pública		

Fonte: elaborado pelos autores.