



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ – UFC
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, ATUÁRIA E
CONTABILIDADE – FEAAC
PROGRAMA DE ECONOMIA PROFISSIONAL – PEP

KARLOS VILKER SALVIANO CAVALCANTE

**ENERGIA EÓLICA NA ECONOMIA CEARENSE: UMA ANÁLISE INSUMO-
PRODUTO**

FORTALEZA

2024

KARLOS VILKER SALVIANO CAVALCANTE

ENERGIA EÓLICA NA ECONOMIA CEARENSE: UMA ANÁLISE INSUMO-PRODUTO

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Economia Profissional – PEP, da Universidade Federal do Ceará - UFC, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Economia. Área de Concentração: Economia do Setor Público.

Orientador: Prof. Dr. Christiano Modesto Penna

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- C364e Cavalcante, Karlos Vilker Salviano.
Energia eólica na economia cearense: uma análise insumo-produto / Karlos Vilker Salviano Cavalcante. – 2024.
34 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade, Mestrado Profissional em Economia do Setor Público, Fortaleza, 2024.
Orientação: Prof. Dr. Christiano Modesto Penna.

1. Energia eólica. 2. Matriz Insumo Produto. 3. Índice de tração. I. Título.

CDD 330

KARLOS VILKER SALVIANO CAVALCANTE

ENERGIA EÓLICA NA ECONOMIA CEARENSE: UMA ANÁLISE INSUMO-PRODUTO

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Economia Profissional – PEP, da Universidade Federal do Ceará - UFC, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Economia. Área de Concentração: Economia do Setor Público.

Aprovada em: **26 de julho de 2024.**

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Christiano Modesto Penna (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Germano Carvalho Lúcio
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a. Isadora Gonçalves Costa Osterno
Universidade de Fortaleza (UNIFOR)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e pela oportunidade de mais uma etapa concluída na minha vida.

Agradeço, também, a minha família. A meus pais pelo exemplo a seguir como pessoa e profissional e a minha esposa pelo seu companheirismo.

Agradeço ao professor Christiano pela orientação, por sua disponibilidade e explicações, por sua ajuda e por me guiar para a conclusão desse trabalho. Por fim agradeço aos membros da banca pela participação.

RESUMO

A energia solar desempenha um papel fundamental em um estado com vasto potencial de ventos durante a maior parte do ano. O Ceará se destaca como um dos estados brasileiros com maior potencial eólico, o que confere à energia gerada pelos ventos um papel crucial em sua matriz energética. Além de ser uma fonte limpa e renovável, a energia eólica desempenha um papel vital na segurança energética, diversificando as fontes de abastecimento e reduzindo a dependência de combustíveis fósseis. Por meio de investimentos em infraestrutura e tecnologia eólica, o Ceará fortalece sua economia, cria empregos e impulsiona o desenvolvimento sustentável. A análise realizada nesta dissertação destaca a distinção da energia eólica do subsetor de energia geral, por meio de uma matriz insumo-produto, revelando sua importância e seu potencial para impulsionar o desenvolvimento econômico regional. A energia eólica se destaca com um multiplicador total elevado, ficando abaixo apenas de setores-chave como o refino de petróleo e a informação e comunicação. Esses resultados apontam que, apesar de sua contribuição inicial menor para a produção total da economia, os efeitos indiretos da energia eólica são substanciais, impulsionando outros setores de forma robusta. Investimentos em inovação e tecnologia na energia eólica geram externalidades positivas, fortalecendo a pesquisa, o desenvolvimento, a infraestrutura e a capacidade produtiva em todo o estado. Ademais, a expansão deste setor cria empregos e renda em diversas áreas, aumentando a demanda por bens e serviços e contribuindo para o crescimento econômico sustentável.

Palavras-chave: Energia eólica. Matriz Insumo Produto. Índice de tração.

ABSTRACT

Solar energy plays a fundamental role in a state with vast wind potential throughout most of the year. Ceará stands out as one of the Brazilian states with the greatest wind potential, giving wind-generated energy a crucial role in its energy matrix. In addition to being a clean and renewable source, wind energy plays a vital role in energy security by diversifying sources of supply and reducing dependence on fossil fuels. Through investments in wind infrastructure and technology, Ceará strengthens its economy, creates jobs, and promotes sustainable development. The analysis conducted in this dissertation highlights the distinction of wind energy from the general energy subset, through an input-output matrix, revealing its importance and potential to drive regional economic development. Wind energy stands out with a high total multiplier, ranking below only key sectors such as petroleum refining and information and communication. These results indicate that, despite its initially smaller contribution to total production, the indirect effects of wind energy are substantial, robustly driving other sectors. Investments in innovation and technology in wind energy generate positive externalities, strengthening research, development, infrastructure, and productive capacity throughout the state. Furthermore, the expansion of this sector creates jobs and income in various areas, increasing demand for goods and services and contributing to sustainable economic growth.

Keywords: Wind energy. Input-Output Matrix. Backward Linkage Index.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características da Matriz-Insumo Produto.....	17
Quadro 2 - Matriz Insumo Produto para 2 produtos.....	18

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Usinas eólicas instaladas no Ceará e sua capacidade.....	12
Tabela 2 - Relação entre índices de conexão e relação entre setores.....	23
Tabela 3 - Descrição dos multiplicadores, por setor.....	26
Tabela 4 - Índice de tração para os setores.....	28

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	ENERGIA EÓLICA NO CEARÁ.....	11
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	14
4	METODOLOGIA E BASE DE DADOS.....	17
4.1	Matriz insumo-produto.....	17
4.2	Energia eólica na matriz de produtos e serviços.....	20
4.3	Índices de conexão entre os setores.....	21
5	TRATAMENTO DOS DADOS E CONSTRUÇÃO DA MIP.....	25
6	RESULTADOS.....	26
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	31
	REFERÊNCIAS.....	33

1 INTRODUÇÃO

O Ceará se destaca como um dos principais polos de energia eólica do Brasil, impulsionado por condições climáticas favoráveis e políticas públicas estratégicas. Essa pujante fonte de energia renovável traz consigo diversos benefícios para o estado, desde o impulsionamento da economia local até a mitigação dos impactos econômicos das mudanças climáticas.

O estado ostenta um dos maiores potenciais eólicos do país, com ventos constantes e fortes ao longo do ano, especialmente na região costeira. A energia eólica se destaca como uma fonte de energia renovável e limpa, não emitindo gases poluentes que contribuem para o aquecimento global. A implementação de parques eólicos contribui para a diversificação da matriz energética do estado, reduzindo a dependência de fontes fósseis (Soares; Mucury; Bonifácio, 2021).

A indústria eólica gera diversos empregos diretos e indiretos, desde a construção dos parques eólicos até a operação e manutenção das turbinas. Assim como a arrecadação de impostos e investimentos na indústria eólica contribui para o desenvolvimento econômico e social das comunidades locais. Dessa forma o Ceará se torna um destino atrativo para investimentos em energia renovável¹, impulsionando o crescimento do setor e a geração de renda (Abreu, 2014).

A energia eólica substitui a queima de combustíveis fósseis², diminuindo a emissão de gases poluentes e combatendo as mudanças climáticas. A geração dessa energia reduz os danos à fauna e flora local, promovendo a preservação do meio ambiente. O investimento nessa matriz energética garante um futuro mais sustentável para o Ceará, com menor impacto ambiental e maior qualidade de vida para a população (Moreira *et al.*, 2015).

A integração da energia eólica à rede elétrica, ainda consoante Moreira *et al.* (2015), exige investimentos em infraestrutura e tecnologia para garantir a estabilidade do sistema. Portanto, o desenvolvimento de soluções para armazenar o excedente de energia eólica é crucial para otimizar a utilização dessa fonte renovável.

Dessa forma o Ceará possui um futuro promissor na geração de energia eólica, com potencial para se tornar uma referência nacional e internacional na produção de energia limpa e sustentável. Através da continuidade dos investimentos em infraestrutura, tecnologia e pesquisa, o estado poderá consolidar sua posição como um dos principais polos eólicos do

¹ Energia Eólica e Solar.

² Em se tratando da necessidade usinas termelétricas.

Brasil, impulsionando o desenvolvimento econômico, social e ambiental para as futuras gerações.

Assim, o objetivo inicial é analisar o funcionamento do setor de energia eólica na economia do Ceará, utilizando a matriz insumo-produto (MIP) como ferramenta. A intenção é separar o setor de energia eólica do restante do setor de energia elétrica, que já está agrupado em outro setor na matriz.

A MIP é uma ferramenta que possibilita desvendar as interconexões entre os diferentes setores da economia, possibilitando identificar como cada setor depende e contribui para os demais. No caso da energia eólica no Ceará, a separação desse setor na matriz insumo-produto pode trazer valiosas contribuições, como o planejamento estratégico desse setor.

Dado este contexto, é essencial realizar uma análise mais técnica sobre o papel desempenhado pelo setor de energia eólica na economia do Ceará. Esta dissertação propõe uma adaptação da matriz insumo-produto do estado, com a finalidade de compreender as inter-relações entre o setor eólico e os demais setores econômicos.

Após essa introdução, o trabalho fica assim dividido, a segunda seção traz uma breve explanação sobre o setor de energia eólica no Ceará. Por sua vez, a terceira seção trata de uma revisão da literatura empírica sobre o tema. A seção quatro detalha a metodologia aplicada na pesquisa, ao passo que na quinta seção tem-se o tratamento dos dados. Finalmente na seção seis se apresentam os resultados da pesquisa e na sétima há um discurso dos resultados.

2 ENERGIA EÓLICA NO CEARÁ

Há uma infraestrutura significativa de energia elétrica no estado do Ceará, com a presença tanto da rede básica de transmissão quanto da rede de distribuição. A Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF) desempenha um papel importante na transmissão de energia na região, enquanto a distribuição é predominantemente realizada pela Enel Distribuição Ceará.

Tais fatos indicam um cenário diversificado de geração de energia elétrica no Brasil, com uma contribuição significativa tanto de fontes convencionais, como hidrelétrica, quanto de fontes renováveis, como eólica e solar. A geração distribuída também está se tornando cada vez mais relevante, com um número crescente de unidades geradoras e consumidoras participando desse modelo de produção de energia.

Com 129 usinas de energia elétrica, o Ceará contribui com uma capacidade instalada total de 4.433 MW, o que representa aproximadamente 2,7% da capacidade instalada nacional. Isso sugere uma presença significativa do estado no setor de energia, embora represente uma parcela relativamente pequena do total nacional.

Essa infraestrutura energética é essencial para sustentar o desenvolvimento econômico e social do estado, fornecendo energia para residências, empresas e indústrias. Além disso, a diversificação da matriz energética, incluindo usinas eólicas e possivelmente outras fontes, pode contribuir para a segurança energética e a sustentabilidade ambiental da região.

Existem, no Ceará, 81 usinas eólicas (ver tabela 1), contribuindo com 2.054,9 MW de capacidade ao Sistema Interligado Nacional (SIN). Há, também, três usinas fotovoltaicas de geração centralizada, adicionando 218 MW ao Sistema. Em julho de 2019, a capacidade instalada de geração distribuída era de 42,5 MW para energia fotovoltaica e 10 MW para energia eólica. Mais de 99% das unidades geradoras na geração distribuída são fotovoltaicas, totalizando mais de 2.633 unidades. Há 3.484 unidades consumidoras que recebem créditos energéticos por meio da geração distribuída.

O Estado do Ceará tem sido um pioneiro no desenvolvimento da energia eólica no Brasil, destacando-se por sua liderança e visão no setor de energias renováveis. Em 2009, um marco significativo foi alcançado com a realização do primeiro Leilão de Energia de Reserva (LER) dedicado exclusivamente à energia eólica. Nesse leilão, um total impressionante de 1,8 GW de capacidade de geração de energia eólica foi contratado em todo o país (Abreu *et al.*, 2014).

Dentro desse montante contratado, o Ceará desempenhou um papel destacado, com 21 projetos de energia eólica localizados no estado. Esses projetos representaram aproximadamente 30% da capacidade total contratada no leilão, totalizando cerca de 543 MW de capacidade instalada. Essa participação expressiva do Ceará no leilão ressalta seu compromisso e contribuição para o crescimento da energia eólica no Brasil.

Esse marco no setor de energia eólica não apenas impulsionou o investimento e a expansão dessa fonte de energia limpa e sustentável, mas também solidificou a posição do Brasil como um líder global em geração de energia eólica. O sucesso do leilão de 2009 demonstra o potencial significativo do país para o desenvolvimento de fontes de energia renovável e sua capacidade de enfrentar os desafios das mudanças climáticas com soluções inovadoras e sustentáveis.

Tabela 1 – Usinas eólicas instaladas no Ceará e sua capacidade

Nome do conjunto ou da usina	Nº de usinas	Município	Potência (MW)
Faisa*	9	Trairi	227,8
Trairi*	8	Trairi	212,6
Itarema V*	9	Itarema	207
Icarai*	5	Amontada	140,7
Aracati II*	3	Aracati	138,5
Santa Rosalia*	5	Tianguá e Ubajara	130,1
Santo Inácio*	4	Icapuí	98,7
Papagaios*	3	Acaraú e Itarema	87
Cacimbas*	5	Ibiapina e Ubajara	86,1
Acaraú II*	2	Acaraú	70,8
Taiba*	3	São Gonçalo do Amarante	56,7
Pedra Cheirosa*	2	Itarema	48,3
Pitombeira*	5	Aracati	98,7
Beberibe	1	Beberibe	105
Eólica Canoa Quebrada	1	Aracati	54,6
Cataventos Acaraú	1	Acaraú	42
Dunas de Paracuru	1	Paracuru	28,8
Enerce Pindoretama	1	Pindoretama	28
Eólica Taiba	1	São Gonçalo do Amarante	25,6
Foz do Rio Choró	1	Beberibe	25,5
Icarai	1	Amontada	25,2
Icaraizinho	1	Amontada	25,2
Lagoa do Mato	1	Aracati	3,2
Malhadinha I	1	Ibiapina	23,1
Mucuripe	1	Fortaleza	2,4
Paracuru	1	Paracuru	16,8
Praia Formosa	1	Camocim	16,5
Praias de Parajuru	1	Beberibe	10,5
Prainha	1	Aquiraz	10

Continua

Tabela 1 – Usinas eólicas instaladas no Ceará e sua capacidade

Nome do conjunto ou da usina	Nº de usinas	Município	Potência (MW)
Quixaba	1	Aracati	5
Taíba Albatroz	1	São Gonçalo do Amarante	4,5
TOTAL			2054,9

Fonte: Atlas eólico (2024).

Notas: *Usinas agrupadas conforme ONS[46], [47], ou de acordo com a localização geográfica. / ** Conjunto vencedor do 29º Leilão de Energia Nova (A-4), em processo de obtenção de outorga.

Após o marco do primeiro Leilão de Energia de Reserva (LER) em 2009, o Ministério de Minas e Energia (MME) do Brasil continuou a impulsionar o crescimento da energia eólica no país através da promoção de leilões de energia abertos à participação desse setor. Esses leilões forneceram uma plataforma para o desenvolvimento e expansão da energia eólica, permitindo que empresas e investidores participassem ativamente do mercado energético brasileiro.

Como resultado desses esforços, a energia eólica começou a se tornar mais competitiva no mercado brasileiro. Os custos de produção da energia eólica continuaram a cair, tornando-a uma opção cada vez mais atrativa em comparação com fontes de energia tradicionais. Além disso, a instalação de indústrias ao longo da cadeia produtiva da energia eólica e os incentivos derivados dos leilões de energia contribuíram para o desenvolvimento e crescimento sustentável desse setor no Brasil.

Essa dinâmica de redução de custos e incentivos governamentais, combinada com a evolução da economia global, solidificou a posição da energia eólica como uma importante fonte de energia no Brasil. O país emergiu como um dos líderes mundial no setor de energia eólica, aproveitando seu vasto potencial eólico para impulsionar o desenvolvimento sustentável e promover a transição para uma matriz energética mais limpa e diversificada.

3 REVISÃO DE LITERATURA

A importância de energias renováveis tem ganhado notoriedade e desde a década passada já se tinha pesquisas sobre a importância dessa atividade para a economia. O trabalho de Simas (2012), que buscou quantificar o potencial de geração de empregos pela energia eólica no Brasil, considerando não apenas os empregos diretos, mas também os empregos indiretos gerados na economia devido à demanda por insumos. Para isso, foram utilizadas ferramentas como avaliação de ciclo de vida, entrevistas semiestruturadas, matriz insumo-produto e elaboração de cenários.

Os resultados obtidos indicam que a energia eólica tinha o potencial de contribuir significativamente para a geração de empregos no Brasil, com capacidade para gerar até 330 mil empregos-ano até 2020. Os empregos diretos correspondiam a cerca de 70% do total, com a atividade de construção sendo a principal contribuinte. Essa atividade também apresenta potencial para a criação de empregos locais em diversas áreas rurais. Assim, a energia eólica pode desempenhar um papel importante no desenvolvimento sustentável do Brasil.

O crescente investimento em energias renováveis, especialmente na energia eólica, tem sido uma tendência global nos últimos anos, refletindo-se também na matriz elétrica brasileira, onde a participação da energia eólica já alcançava 8% (Ribeiro; Pereira; Oliveira, 2020). Na Bahia, em particular, houve um influxo significativo de investimentos nesse setor, principalmente considerando a localização da geração eólica no semiárido, uma região historicamente afetada pela seca.

Nesse contexto, surge a questão sobre como esses investimentos impactam os setores econômicos do semiárido baiano, especialmente no que diz respeito ao desenvolvimento regional, geração de empregos e renda. O estudo de Ribeiro, Pereira e Oliveira (2020) se propõe a investigar esses efeitos, utilizando a matriz insumo-produto do semiárido baiano de 2015, composta por 40 setores econômicos, como base de análise.

A análise emprega indicadores tradicionais, como identificação de setores-chave, multiplicadores econômicos de emprego e produção, e análise de efeitos de extrapolação hipotética de setores de insumo-produto. O objetivo é compreender como os investimentos no setor eólico afetam a criação de empregos e a produção em diversos setores da economia do semiárido baiano.

Os resultados preliminares indicam que os investimentos na energia eólica têm efeitos positivos em vários setores da economia da região, sugerindo um potencial de desenvolvimento econômico. No entanto, ressalta-se a necessidade de políticas específicas

voltadas para o fortalecimento do desenvolvimento regional, a fim de maximizar os benefícios desses investimentos e promover um crescimento mais equitativo e sustentável no semiárido baiano.

Por sua vez a pesquisa de De Oliveira *et al.* (2021) explorou os efeitos da instalação de parques eólicos na região da Costa Sul Gaúcha, destacando a transição para fontes de energia renovável, como a eólica, como uma solução para os desafios ambientais e energéticos. Os resultados econômicos da pesquisa apontam para impactos positivos da implementação dos parques eólicos em várias dimensões.

No curto prazo a economia local apresentou um aumento, assim como também houve crescimento do número de empregos, tanto direto como indireto. Esses aumentos indicam um impulso na economia local e na geração de emprego e renda. Houve, também, um incremento no valor adicionado bruto, que indica que a instalação dos parques eólicos gerou valor econômico adicional à região.

No longo prazo os parques eólicos continuaram a impulsionar o crescimento econômico da região no longo prazo, evidenciado pelo aumento contínuo na produção econômica. Constatou-se um aumento na arrecadação de impostos, o que pode ser usado para financiar serviços públicos e projetos de infraestrutura na região.

Os resultados ressaltam não apenas os aspectos ambientais positivos da energia eólica, mas também os impactos econômicos favoráveis associados à sua adoção. A pesquisa reitera a viabilidade das energias renováveis, como a eólica, como uma estratégia de desenvolvimento sustentável. Ela tem o potencial de impulsionar o crescimento econômico, criar empregos e, ao mesmo tempo, reduzir as emissões de gases de efeito estufa e a dependência de combustíveis fósseis.

Internacionalmente a expansão da energia eólica no Estados Unidos tem aumentado constantemente nas últimas duas décadas. Com novas fazendas de energia eólica sendo instaladas em diversos estados do país, estão sujeitas a ocorrer modificações econômicas locais e multirregionais. Os impactos econômicos multirregionais da instalação de novas fazendas de energia eólica foram determinados usando o modelo *input-output* multirregional dos EUA (US-MRIO) (Faturay *et al.*, 2020).

Usando o US-MRIO, e a intensidade energética dos setores manufatureiros, Faturay *et al.* (2020) concluíram que o aumento no consumo de energia devido à adição de fazendas eólicas foi de aproximadamente 6952 trilhões de BTUs na mudança total no fluxo econômico. Especificamente, os setores de fabricação de metal primário e fabricação de máquinas se

destacam entre outros setores manufatureiros com um aumento considerável no consumo de energia, com 3,074 trilhões de BTUs e 1,537 trilhões de BTUs, respectivamente.

Para o caso alemão, O'sullivan e Edler (2020) buscam fornecer uma análise detalhada sobre como medir o emprego total na indústria de energia renovável (RES) na Alemanha, com o propósito de melhorar a transparência e a comparabilidade. O método utilizado para avaliar os números de emprego segue a abordagem de modelagem de input-output (IO) e abrange tanto os efeitos de empregos diretos quanto indiretos. São descritas quatro abordagens diferentes para aplicar a metodologia IO. A análise engloba 11 tecnologias RES distintas e oferece informações sobre o emprego na fabricação e instalação, operação e manutenção (O&M), bem como no fornecimento de biocombustíveis.

Os resultados destacam a importância do setor de fabricação e instalação, bem como a influência do comércio exterior nesse setor. Além disso, evidenciam a crescente relevância da O&M e do fornecimento de biocombustíveis, e seu papel em garantir um desenvolvimento mais estável do emprego na indústria de RES. As principais conclusões metodológicas incluem os desafios relacionados à disponibilidade de dados na avaliação dos efeitos de emprego de tecnologias específicas, as diversas maneiras de aplicar a abordagem IO a tecnologias e serviços específicos, e a limitação na transferência de resultados para outros países.

4 METODOLOGIA E BASE DE DADOS

4.1 Matriz insumo-produto

A matriz insumo-produto (MIP) é uma ferramenta analítica que permite entender a estrutura econômica de um país ou região. Ela permite analisar as inter-relações entre os setores econômicos, fornecendo percepções importantes sobre como a atividade em um setor afeta outros setores e a economia como um todo. Algumas das principais vantagens da matriz insumo-produto, consoante (Dewhurst; Hewings; Jensen, 1991) incluem identificação de Setores-Chave, por meio da análise da matriz, é possível identificar os setores que desempenham um papel crucial na economia, seja pela sua contribuição para o PIB, pela geração de empregos ou pelo seu efeito multiplicador em outras áreas.

Outra vantagem desse método é a possibilidade do cálculo de multiplicadores de impacto, tais multiplicadores possibilitam quantificar como uma mudança em um setor específico reverbera por toda a economia. Isso é fundamental para entender os efeitos de políticas econômicas, investimentos públicos ou choques externos.

A matriz insumo-produto, desenvolvida por Wassily Leontief na década de 1930³, é uma ferramenta fundamental para entender a estrutura e as interações dentro de uma economia. A seguir, no quadro 1, estão algumas características importantes da matriz insumo-produto de forma sistematizada.

Quadro 1 – Características da Matriz-Insumo Produto

1. Representação Tabular: A matriz insumo-produto é organizada em formato de tabela, onde as linhas representam os setores de produção e as colunas representam os usos finais da produção, como consumo final, investimento, exportações, entre outros.
2. Transações Econômicas: Cada célula da matriz mostra o valor das transações econômicas entre um setor produtivo e um uso final específico. Isso inclui transações de bens e serviços intermediários, bem como transações finais de consumo, investimento ou exportação.
3. Inter-relações Setoriais: A matriz insumo-produto revela as interações complexas entre os diferentes setores econômicos. Ela permite entender como mudanças em um setor afetam outros setores e toda a economia, seja através de efeitos diretos, indiretos ou induzidos.
4. Análise de Impacto: Uma das principais aplicações da matriz insumo-produto é a análise de impacto econômico. Ela permite quantificar os efeitos de choques externos, políticas governamentais ou mudanças nas preferências dos consumidores sobre a atividade econômica, emprego, renda e outros indicadores-chave.

Fonte: Elaborado a partir de Leontief (1936) e Dewhurst, Hewings e Jensen (1991).

³ Para mais detalhes ver Leontief (1936).

A formulação da MIP envolve representar as relações de produção e consumo entre os diferentes setores de uma economia. A MIP é essencialmente uma tabela de dupla entrada, na qual as linhas e colunas representam os diferentes setores econômicos.

Cada célula na matriz mostra a quantidade de insumos que um setor compra de outros setores para produzir seus próprios bens e serviços. Essa estrutura permite analisar as interdependências entre os setores econômicos e entender como mudanças em um setor afetam outros setores e toda a economia. A MIP é uma ferramenta poderosa para análise econômica, planejamento e políticas públicas, pois fornece insights sobre a estrutura da economia, padrões de produção e consumo, e impactos de choques externos ou políticas internas (Miller; Blair, 2009).

O Quadro 2, conforme mencionado por Guilhoto (2011), apresenta a estrutura básica da Matriz Insumo-Produto para uma economia com dois setores. Essa matriz possui dois setores listados nas linhas e nas colunas, representando como os insumos de um setor são utilizados pelo outro e vice-versa.

Essa simplificação inicial é útil para demonstrar conceitos fundamentais, como a dependência entre setores e a propagação de choques econômicos. Uma vez compreendida a dinâmica básica, é possível expandir essa estrutura para incluir mais setores e produtos, tornando a análise mais completa e detalhada.

Quadro 2 – Matriz Insumo Produto para 2 produtos

	Setor 1	Setor 2	Consumo das famílias	Governo	Investimento	Exportações	Total
Setor 1	Z_{11}	Z_{12}	C_1	G_1	I_1	E_1	X_1
Setor 2	Z_{21}	Z_{22}	C_2	G_2	I_2	E_2	X_2
Importação	M_1	M_2	M_c	M_g	M_i		M
Impostos	T_1	T_2	T_c	T_g	T_i	T_e	T
Valor adicionado	W_1	W_2					W
Total	X_1	X_2	C	G	I	E	

Fonte: Guilhoto (2011), De Oliveira, Gonçalves e Romero (2021).

onde:

Z_{ij} : é o fluxo monetário entre os setores i e j

C_i : é o consumo das famílias dos produtos entre os setores i ;

G_i : é o gasto do governo no setor i ;

I_i : é a demanda por bens de investimento produzidos no setor i ;

E_i : é o total exportado pelo setor i

T_i : é o total de impostos indiretos líquidos pagos por i

X_i : é o total de produção do setor i;

M_i : é a importação realizada pelo setor i;

W_i : é o valor adicionado gerado pelo setor i.

Por meio da soma total no Quadro 2 é possível estabelecer a seguinte Identidade:

$$X_1 + X_2 + C + G + I + E = X_1 + X_2 + M + T + W \quad (1)$$

Eliminando $X_1 + X_2$ de ambos os lados e rearranjando a equação 1 tem-se a seguinte equação:

$$C + G + I + (E - M) = T + W \quad (2)$$

Ampliando esse exemplo é possível ampliar essa análise para n setores:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n z_{ij} + c_i + g_i + I_i + e_i &= x_i \\ i &= 1, \dots, n \end{aligned} \quad (3)$$

onde:

z_{ij} : é a produção do setor i que é utilizada como insumo intermediário pelo setor j

c_i : é a produção do setor i que é consumida domesticamente pelas famílias;

g_i : é a produção do setor i que é consumida domesticamente pelo governo;

I_i : é a produção do setor i que é destinada ao investimento;

e_i : é a produção do setor i que é exportada;

x_i : é a produção doméstica total do setor i.

Pressupondo que os fluxos intermediários, por unidade do produto final, são fixos, chega-se ao sistema aberto de Leontief:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j + y_i &= x_i \\ i &= 1, \dots, n \end{aligned} \quad (4)$$

onde:

a_{ij} : é o coeficiente técnico que indica a quantidade de insumo do setor i necessária para a produção de uma unidade de produto final do setor j

y_i : é a demanda final por produtos do setor i, isto é, $(c_i + g_i + I_i + e_i)$.

A equação (4) pode ser reescrita na forma matricial como expresso a equação (5).

$$A \cdot x + y = x \quad (5)$$

Onde, A é a matriz de coeficientes diretos de insumo de ordem $(n \times n)$ e x e y são vetores colunas de ordem $(n \times 1)$. Ao resolver a equação (5) encontramos:

$$x = y \cdot (I - A)^{-1} \quad (6)$$

A expressão (6) é a matriz de coeficientes diretos e indiretos, ou a matriz de Leontief. Dessa forma em uma matriz $B = (I - A)^{-1}$, o cofator b_{ij} pode ser interpretado como sendo a produção total do setor i que é necessária para produzir uma unidade de demanda final do setor j .

A matriz de multiplicadores, derivada da matriz insumo-produto, é uma ferramenta crucial para entender as interações e os efeitos multiplicadores na economia. Ela nos permite quantificar e analisar como mudanças em uma determinada atividade econômica afetam outros setores e toda a economia. Os multiplicadores são usados para calcular os efeitos diretos e indiretos de mudanças na demanda final, investimento, exportações ou produção de um setor sobre a produção total, renda e emprego na economia como um todo.

Essa análise é fundamental para políticas governamentais, planejamento econômico e previsão de impactos de eventos econômicos. Com base nos multiplicadores, os formuladores de políticas podem avaliar o impacto de diferentes cenários econômicos e tomar decisões informadas para promover o crescimento econômico, reduzir o desemprego e melhorar o bem-estar geral da população.

4.2 Energia eólica na matriz de produtos e serviços

O setor de energia elétrica por sua vez na matriz de produtos e serviços, é agrupado dentro de um macro setor que engloba várias outras atividades relacionadas, como água, luz, esgoto e resíduos. Isso significa que o setor de energia elétrica é tratado como parte de um conjunto maior de atividades que compartilham características semelhantes ou estão relacionadas de alguma forma. Esse agrupamento pode ser útil para análises que consideram essas atividades em conjunto, como estudos sobre o fornecimento de serviços públicos ou o impacto ambiental de determinados setores industriais.

De início é preciso separar o que é específico do setor de energia. Depois, com base nessa categoria mais ampla, pode-se identificar e separar as atividades relacionadas à energia

eólica. Podemos fazer isso examinando os dados disponíveis sobre a produção e o consumo de energia elétrica e eólica, e em seguida, classificando as atividades de acordo com esses critérios.

Por exemplo, pode-se usar informações sobre a geração de eletricidade por fonte (como térmica, hidrelétrica, eólica etc.) para identificar as atividades relacionadas à energia eólica. Essa abordagem nos permitirá separar e analisar os diferentes componentes do setor de energia com mais precisão.

A hipótese de retornos constantes de escala dentro do setor é uma suposição fundamental em muitas análises econômicas, especialmente na modelagem de insumo-produto. Essa hipótese implica que, se todos os insumos em um setor forem aumentados na mesma proporção, a produção desse setor aumentará na mesma proporção, sem alterar a eficiência produtiva. Em outras palavras, a escala de produção dentro do setor permanece constante. Tal suposição foi adotada por Penna *et al.* (2022) para o setor de turismo.

Ao aplicar essa hipótese ao setor de energia, podemos dividir sua produção em subcomponentes mais específicos, como energia elétrica e energia eólica. Isso nos permite analisar cada subcomponente separadamente e entender melhor suas características e contribuições para a economia como um todo.

No entanto, é importante reconhecer que essa hipótese pode ser considerada uma simplificação da realidade e pode não capturar todas as nuances do processo produtivo. Portanto, ao usar essa abordagem, é crucial exercitar cautela na interpretação dos resultados e considerar outras variáveis e fatores que possam influenciar a produção e a distribuição de energia. No entanto, essa hipótese pode fornecer uma estrutura útil para análises iniciais e estimativas aproximadas.

4.3 Índices de conexão entre os setores

A abordagem do modelo básico de Leontief, expandido por Rasmussen (1956) e Hirschman (1958), ajuda a determinar os setores que têm o maior poder de interligação em uma economia. Essa análise envolve calcular tanto a ligação retroativa, que indica quanto um setor demandaria dos outros, quanto a ligação prospectiva, que indica o valor da produção demandada por outros setores.

Essencialmente, ao calcular esses índices de ligação, podemos identificar quais setores desempenham papéis cruciais nas interdependências econômicas, seja por demandarem muitos insumos de outros setores (ligação retroativa), seja por fornecerem muitos insumos para

outros setores (ligação prospectiva). Isso ajuda a entender melhor a estrutura econômica de uma sociedade e quais setores têm maior influência na dinâmica geral da economia.

1. Índice de Ligação Retroativa para o setor j (U_j):

$$U_j = \frac{\sum_{i=1}^n \ell_i}{n \cdot \ell^*} \quad (7)$$

onde:

$\ell_{i,j}$ é um elemento da matriz inversa de Leontief $B = (I - A)^{-1}$

ℓ^* é a média de todos os elementos da matriz inversa de Leontief.

n é o número de setores na economia.

O índice de ligação retroativa para o setor j indica a proporção média de insumos (em termos de valor) que o setor j demanda de outros setores em relação à demanda média entre todos os setores.

2. Índice de Ligação Prospectiva para o setor i (U_i):

$$U_i = \frac{\sum_{j=1}^n \ell_{i,j}}{n \cdot \ell^*} \quad (8)$$

onde:

$\ell_{i,j}$ é um elemento da matriz inversa de Leontief $B = (I - A)^{-1}$

ℓ^* é a média de todos os elementos da matriz inversa de Leontief.

n é o número de setores na economia.

O índice de ligação prospectiva para o setor i indica a proporção média de produção (em termos de valor) do setor i demandada por outros setores em relação à demanda média entre todos os setores.

Os índices mencionados são normalizados, o que significa que valores superiores a 1 indicam setores acima da média e, conseqüentemente, setores-chave favoráveis ao crescimento econômico. Além de serem normalizados, esses índices são independentes das unidades de medida, possibilitando comparações entre setores, regiões e ao longo do tempo. As dispersões para os índices de ligação retroativa e prospectiva são determinadas, respectivamente, da seguinte maneira:

$$V_j = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ell_{ij} - \frac{L_j^*}{n})^2}{n-1}}}{L_j^*/n} \quad (9)$$

$$V_i = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ell_{ij} - \frac{L_j^*}{n})^2}{n-1}}}{L_i^*/n} \quad (10)$$

onde: $L_j^* = \sum_{j=1}^n \ell_{i,j}$ e $L_i^* = \sum_{i=1}^n \ell_{i,j}$

Essas fórmulas calculam os índices de dispersão para os setores i e j . Eles levam em consideração os desvios de cada elemento da matriz de Leontief em relação à média ponderada dos elementos correspondentes das colunas ou linhas (L_j^*/n e L_i^*/n), respectivamente, ajustados pelo tamanho da economia (n). Esses índices de dispersão são úteis para entender a variabilidade nos padrões de produção entre os setores econômicos.

Consoante Miller e Blair (2009), uma classificação de setores-chave nos moldes dos critérios de Rasmussen-Hirschman significa que setores cujas ligações para trás ou para frente sejam maiores que 1 são de fato setores-chave adequados para o crescimento econômico. Por outro lado, McGilvray (1977) sugere que essa classificação deveria ser mais restritiva e que os setores-chave deveriam ser considerados como aqueles que têm tanto índices de ligação para trás quanto para frente maiores que 1.

Essas abordagens diferem um pouco em termos de como definem e identificam os setores-chave. Enquanto a primeira abordagem se concentra em qualquer ligação (para trás ou para frente) maior que 1, a segunda abordagem requer que os setores tenham ambos os índices de ligação maiores que 1 para serem considerados chave.

A escolha entre essas abordagens depende das metas específicas da análise e das características da economia em questão. Uma abordagem mais restritiva pode identificar setores que desempenham papéis ainda mais críticos no crescimento econômico, enquanto uma abordagem mais ampla pode capturar uma gama mais ampla de setores que contribuem significativamente para a economia. A tabela 2 descreve a descrição dos setores conforme os valores dos índices.

Tabela 2 – Relação entre índices de conexão e relação entre setores

		Conexão para frente	
		Baixa (<1)	Alta (>1)
Conexão para trás	Baixa (<1)	Geralmente Independente	Dependente da demanda intersetorial
	Alta (>1)	Dependente da oferta intersetorial	Geralmente dependente

Fonte: Penna *et al.* (2022).

Na verdade, um setor-chave deve ser listado como aquele em que U_i e U_j excedem a unidade e em que V_i e V_j são relativamente baixos. Observe que é possível propor um índice⁴ que agregue todos os índices de Rasmussen-Hirschman apresentados acima. Tal índice é igual à soma dos índices de ligação para frente e para trás, multiplicada por um menos a razão entre a dispersão setorial e a dispersão setorial máxima V_i^+

$$T_i = U_i \left(1 - \frac{V_i}{V_i^+}\right) + U_j \left(1 - \frac{V_j}{V_i^+}\right) \quad (11)$$

O índice é uma medida que combina os índices de ligação prospectiva e retroativa de um setor i com base na sua dispersão setorial relativa em relação à dispersão máxima entre os setores. O índice T_i é calculado combinando os índices de ligação prospectiva (U_i) e retroativa (U_j) do setor i . Isso é feito multiplicando cada índice de ligação pelo complemento da razão entre a dispersão setorial do setor (V_i) e a dispersão setorial máxima (V_i^+).

O termo $(1 - \frac{V_i}{V_i^+})$ representa a proporção da dispersão setorial máxima que não é explicada pela dispersão observada do setor i . Quanto maior for essa proporção, maior será a dispersão setorial relativa e menor será o peso dado aos índices de ligação prospectiva e retroativa na composição do índice T_i . Assim, quando um setor tiver uma dispersão setorial alta em relação à máxima, seu índice T_i será mais influenciado pela dispersão do que pelos índices de ligação, e vice-versa.

O índice T_i sintetiza a ideia por trás dos indicadores de ligação prospectiva e retroativa, ao mesmo tempo em que leva em consideração a dispersão setorial relativa, fornecendo, assim, uma medida única que reflete tanto a importância dos vínculos entre setores quanto a variabilidade desses vínculos dentro da economia.

⁴ Para mais detalhes sobre esse índice de “tração” ver Penna *et al.* (2022).

5 TRATAMENTO DOS DADOS E CONSTRUÇÃO DA MIP

A base para o estudo é uma matriz de insumo-produto (MIP) do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) do ano de 2013. Essa matriz abrange 32 setores de atividade econômica. O objetivo principal do estudo é analisar o setor de energia eólica. Para tanto se faz necessário desagregar o setor de eletricidade, gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação, de forma a destacar e analisar especificamente o setor de energia eólica.

Atualizou-se a matriz de insumo-produto (MIP) de 2013 para o ano de 2018, levando em consideração o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) entre esses anos. O erro para o PIB agregado nesse caso foi de -3,7%, o que significa que o valor estimado foi de 150,324, enquanto o valor observado foi de 155,904. Isso indica uma diferença entre a estimativa e o valor real do PIB agregado para o ano de 2018⁵.

Supôs-se uma taxa de crescimento populacional de 0,33% ao ano para todas as atividades, com base nos dados do Censo Populacional de 2022⁶. Inicialmente, o setor de eletricidade foi separado do agregado "Eletricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação". A receita bruta da Enel Ceará foi de R\$ 7.510.323.000,00, enquanto a demanda total desse agregado foi de R\$ 10,5 bilhões. Assumiu-se que 71,07% desse vetor agregado se refere à energia. A receita bruta da Enel Ceará foi utilizada como coeficiente para estabelecer os vetores de "Eletricidade" e "Gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação". Esse processo foi realizado tanto para os vetores linha quanto para os vetores coluna da MIP.

Com base no IPECE (2018) e nos dados da ANEEL, identificou-se que a produção de energia eólica representa 47,54% do total produzido no Estado. Esse coeficiente foi utilizado para realizar a desagregação da produção de energia eólica. Tal processo resultou em uma MIP de ordem 34x34, com um vetor explícito (tanto linha quanto coluna) para o setor de energia eólica.

⁵ A correção pelo IGP-M da FGV gerou um erro um pouco maior, daí nossa preferência por corrigir a matriz com base na taxa de crescimento nominal do PIB.

⁶ Ver: <https://www.opinioe.com.br/censo-2022-brasil-passa-dos-200-milhoes-de-habitantes-crescimento-populacional-do-ce-e-de-033-ao-ano/>

6 RESULTADOS

A tabela 3, a seguir, apresenta os multiplicadores de impacto para os 34 setores da economia. Os setores foram ordenados em ordem decrescente de acordo com o multiplicador total, ou seja, de acordo com a soma dos multiplicadores direto e indireto de cada setor. O fato de que o multiplicador total é o mesmo para atividades de energia eólica, eletricidade e gás, água, esgoto e atividade de gestão de resíduos e descontaminação pode ser atribuída à hipótese de retornos constantes de escala.

A hipótese de retornos constantes de escala sugere que o aumento proporcional dos insumos de produção resulta em um aumento proporcional na produção, fazendo com que o impacto econômico total seja proporcional ao tamanho do setor. Portanto, apesar das diferenças entre setores como energia eólica, eletricidade, água e gestão de resíduos, seus multiplicadores econômicos podem ser iguais, resultando no mesmo impacto econômico total quando a produção aumenta, mantendo todas as outras variáveis constantes.

Tabela 3 – Descrição dos multiplicadores, por setor

Atividades	Multiplicador Direto	Multiplicador Indireto	Multiplicador Total
Informação e comunicação	1,244	0,437	1,681
Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	1,179	0,354	1,533
Eletricidade	1,127	0,498	1,625
Energia Eólica	1,115	0,510	1,625
Gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	1,098	0,527	1,625
Atividades profissionais, científicas e técnicas, administrativas e serviços complementares	1,074	0,229	1,303
Construção	1,073	0,278	1,351
Transporte, armazenagem e correio	1,073	0,319	1,392
Fabricação de produtos alimentícios	1,067	0,484	1,551
Fabricação de produtos químicos	1,065	0,276	1,341
Fabricação de produtos têxteis, artigos do vestuário e acessórios, calçados e artefatos de couro	1,060	0,224	1,283
Metalurgia	1,059	0,412	1,471
Fabricação de produtos de madeira, exceto móveis, de celulose, papel e produtos de papel e serviços de impressão e reprodução de gravações	1,055	0,285	1,340
Fabricação de produtos de minerais não metálicos	1,049	0,359	1,408
Fabricação de bebidas	1,049	0,449	1,498
Agropecuária	1,039	0,129	1,168
Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas	1,038	0,261	1,299

Continua

Tabela 3 – Descrição dos multiplicadores, por setor

Atividades	Multiplicador Direto	Multiplicador Indireto	Multiplicador Total
Educação e saúde privadas	1,022	0,264	1,287
Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	1,021	0,223	1,244
Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos, máquinas, aparelhos e materiais elétricos	1,017	0,304	1,321
Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias e outros equipamentos de transporte	1,017	0,378	1,395
Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	1,015	0,187	1,201
Fab. de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	1,013	0,311	1,324
Artes, cultura, esporte e recreação e outras atividades de serviços	1,007	0,532	1,538
Atividades imobiliárias	1,005	0,078	1,083
Indústrias extrativas	1,004	0,369	1,374
Administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social	1,004	0,249	1,253
Refino de petróleo e coque e de álcool e outros biocombustíveis	1,004	0,680	1,684
Fabricação de máquinas e equipamentos	1,002	0,211	1,213
Manutenção, reparação e instalação de máq. e equip.	1,002	0,205	1,207
Outras atividades industriais	1,002	0,193	1,195
Serviços de alimentação	1,001	0,416	1,417
Serviços de alojamento	1,001	0,457	1,457
Serviços domésticos	1,000	0,000	1,000

Fonte: Dados da Pesquisa.

O multiplicador direto ligeiramente inferior para o setor de energia eólica em comparação com o setor de eletricidade sugere que um aumento de R\$ 1 na demanda final do setor de energia eólica teria um impacto ligeiramente menor na produção total da economia em comparação com um aumento equivalente na demanda final do setor de eletricidade.

Isso pode ser atribuído às diferenças nas cadeias de produção e nas interações entre os setores econômicos. Por exemplo, o setor de eletricidade pode ter uma cadeia de produção mais ampla e complexa, envolvendo mais setores e gerando um impacto direto maior na produção total da economia em comparação com o setor de energia eólica (Trapp, 2016). Essa questão destaca a importância de considerar não apenas os multiplicadores totais, mas também os multiplicadores diretos e indiretos ao avaliar o impacto econômico de diferentes setores e atividades.

Pode ser observado que o setor de energia eólica possui um multiplicador total elevado, abaixo apenas aos setores de refino de petróleo e de informação e comunicação, porém superior aos setores como construção civil e metalurgia.

O setor de energia eólica pode estar sujeito a investimentos significativos em inovação e tecnologia, o que pode gerar externalidades positivas e efeitos multiplicadores em toda a economia. Isso pode incluir investimentos em pesquisa e desenvolvimento, bem como em infraestrutura e capacidade de produção. Esses investimentos podem impulsionar o crescimento econômico e contribuir para um multiplicador total elevado no setor de energia eólica.

Por sua vez a tabela 4, a seguir apresenta os índices de ligação. Para frente, para trás e os índices de concentração tanto para frente quanto para trás, assim como o índice de tração, que busca resumir esses 4 índices propostos por Rasmussen, Richard.

O fato de que, apesar de terem o mesmo índice de ligação para trás, os setores de energia elétrica, energia eólica e setor de gás e descontaminação diferem em outros indicadores, como o índice de tração, sugere que esses setores podem ter diferentes interações com o restante da economia. O índice de tração combina os índices de ligação para frente e para trás, juntamente com suas dispersões, em um único resultado. Isso significa que, mesmo que dois setores tenham o mesmo índice de ligação para trás, seus índices de tração podem ser diferentes se as interações para frente ou as dispersões diferirem.

Assim o índice de tração mais alto indica que um setor tem um papel mais significativo na geração de demanda para outros setores (índice de ligação para frente) e também é mais sensível às mudanças na demanda de outros setores (índice de ligação para trás). Portanto, mesmo que dois setores tenham o mesmo índice de ligação para trás, eles podem ter diferentes índices de tração se tiverem diferentes relações com outros setores da economia.

Tabela 4 – Índice de tração para os setores

Atividades	Ligação Frente	Concentração Frente	Ligação Trás	Concentração Trás	Tração
Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas	2,477	1,882	0,946	4,643	1,889
Atividades profissionais, científicas e técnicas, administrativas e serviços complementares	2,048	2,283	0,949	4,784	1,436
Transporte, armazenagem e correio	1,777	2,600	1,014	4,492	1,236
Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	1,554	3,224	1,116	4,471	0,975
Eletricidade	1,212	3,942	1,183	4,036	0,776

Continua

Continuação

Tabela 4 – Índice de tração para os setores

Atividades	Ligação Frente	Concentração Frente	Ligação Trás	Concentração Trás	Tração
Energia Eólica	1,167	4,055	1,183	3,997	0,747
Gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	1,104	4,228	1,183	3,942	0,706
Indústrias extrativas	1,079	3,979	1,000	4,290	0,624
Informação e comunicação	1,186	4,458	1,224	4,320	0,618
Refino de petróleo e coque e de álcool e outros biocombustíveis	0,739	5,971	1,226	3,574	0,475
Artes, cultura, esporte e recreação e outras atividades de serviços	0,799	5,350	1,120	3,804	0,472
Fabricação de produtos alimentícios	0,876	5,197	1,129	4,023	0,464
Serviços de alimentação	0,853	4,977	1,032	4,112	0,446
Metalurgia	0,869	5,150	1,071	4,173	0,424
Fabricação de bebidas	0,823	5,420	1,091	4,080	0,404
Serviços de alojamento	0,771	5,483	1,061	3,974	0,401
Fabricação de produtos de minerais não metálicos	0,862	5,141	1,025	4,321	0,385
Construção	0,893	5,082	0,984	4,613	0,338
Atividades imobiliárias	0,991	4,305	0,788	5,403	0,334
Agropecuária	0,973	4,527	0,851	5,174	0,331
Fabricação de produtos de madeira, exceto móveis, de celulose, papel e produtos de papel e serviços de impressão e reprodução de gravações	0,861	5,180	0,976	4,567	0,326
Administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social	0,834	5,089	0,913	4,647	0,309
Fabricação de produtos químicos	0,855	5,273	0,976	4,619	0,303
Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias e outros equipamentos de transporte	0,757	5,771	1,016	4,292	0,294
Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos, máquinas, aparelhos e materiais elétricos	0,759	5,681	0,962	4,479	0,260
Fab. de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	0,746	5,771	0,964	4,461	0,252
Educação e saúde privadas	0,772	5,602	0,937	4,615	0,243
Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	0,790	5,473	0,906	4,773	0,230
Manutenção, reparação e instalação de máq. e equip.	0,786	5,411	0,879	4,836	0,224
Fabricação de produtos têxteis, artigos do vestuário e acessórios, calçados e artefatos de couro	0,802	5,590	0,935	4,796	0,217
Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	0,786	5,461	0,875	4,905	0,206

Continua

Tabela 4 – Índice de tração para os setores

Atividades	Ligação Frente	Concentração Frente	Ligação Trás	Concentração Trás	Tração
Fabricação de máquinas e equipamentos	0,739	5,745	0,883	4,804	0,184
Outras atividades industriais	0,733	5,784	0,870	4,869	0,166
Serviços domésticos	0,728	5,831	0,728	5,831	0,017

Fonte: dados da pesquisa.

A diferença nos índices de ligação para frente entre os setores de energia eólica e eletricidade sugere que o setor de eletricidade entrega mais insumos para outros setores da economia do que o setor de energia eólica. Isso está alinhado com a observação de que a geração de energia eólica é um pouco inferior à geração de eletricidade de outras fontes. A complexidade da cadeia de produção, pois a produção de eletricidade, especialmente a partir de fontes convencionais como termelétricas e hidrelétricas, pode envolver uma cadeia de produção mais ampla e complexa, que requer uma variedade de insumos e serviços de outros setores. Isso pode resultar em um índice de ligação para frente mais alto para o setor de eletricidade em comparação com a energia eólica, que pode ter uma cadeia de produção mais específica e focada.

Ressalte-se que como mencionando anteriormente, a participação da energia eólica na geração total de eletricidade pode ser menor em comparação com outras fontes de eletricidade. Portanto, mesmo que a geração de energia eólica esteja crescendo, sua contribuição total para a produção de eletricidade ainda pode ser inferior, o que poderia resultar em um índice de ligação para frente mais baixo em comparação com o setor de eletricidade como um todo. Assim, a importância de uma análise que considere não apenas a quantidade absoluta de produção de cada setor, mas também as interações e impactos desses setores em toda a economia ao interpretar os índices de ligação para frente.

Em termos de concentração para trás, a energia eólica demanda mais insumos de outros setores do que o setor de energia elétrica. Apesar disso, o índice de tração da energia elétrica é o mais elevado, seguido pela energia eólica e pelo setor de gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação. Isso sugere que o setor de energia eólica tem uma capacidade significativa de impulsionar a economia. Ele perde apenas para alguns setores-chave, como comércio, atividades profissionais, científicas e técnicas, transporte, armazenagem, correio e atividades financeiras e de seguro.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise nos revela que, apesar de um multiplicador direto ligeiramente inferior ao do setor de eletricidade, o setor eólico se destaca com um multiplicador total elevado, ficando abaixo apenas dos setores de refino de petróleo e informação e comunicação. Isso indica que, embora o impacto inicial do setor eólico na produção total da economia seja menor, seus efeitos indiretos são mais significativos, impulsionando outros setores de forma robusta.

Múltiplos fatores podem contribuir para esse multiplicador total elevado. Investimentos em inovação e tecnologia no setor eólico geram externalidades positivas e efeitos multiplicadores em toda a economia, impulsionando a pesquisa, o desenvolvimento, a infraestrutura e a capacidade de produção. Além disso, a expansão do setor eólico gera empregos e renda em diferentes setores, impulsionando a demanda por bens e serviços e contribuindo para o crescimento econômico do Ceará.

Concernente aos índices de ligação, observa-se que os setores de energia elétrica, eólico e gás e descontaminação apresentam o mesmo índice de ligação para trás, indicando que dependem dos mesmos setores para seus insumos. No entanto, o índice de tração diverge, indicando que o setor eólico possui interações mais complexas e interligadas com o restante da economia. Dessa forma o setor eólico tem um papel significativo na geração de demanda para outros setores (índice de ligação para frente) e, ao mesmo tempo, é mais sensível às mudanças na demanda de outros setores (índice de ligação para trás).

Analisando o setor eólico junto a outros setores da economia cearense, encontram-se alguns resultados intrigantes. O multiplicador total do setor eólico é inferior ao do setor de refino de petróleo, mas se destaca em termos de geração de efeitos indiretos. Já em relação ao setor de informação e comunicação, o multiplicador total do setor eólico é similar, demonstrando sua relevância na economia local. Por fim, o setor eólico supera em multiplicador total os setores de construção civil e metalurgia, evidenciando seu impacto crescente na economia cearense.

Em resumo, a análise dos índices de ligação para frente e para trás entre os setores de energia eólica e eletricidade revela uma dinâmica complexa entre a produção de energia e sua integração na economia mais ampla. Enquanto o setor de eletricidade mostra um índice de ligação para frente mais elevado, indicando sua contribuição significativa para outros setores da economia, a energia eólica demonstra uma capacidade de impulsionar o crescimento econômico, embora com uma demanda relativamente menor de insumos de outros setores.

A observação de que a geração de energia eólica pode estar em desvantagem em relação à produção total de eletricidade ressalta a importância de uma análise abrangente que leve em consideração não apenas os volumes de produção, mas também as interações complexas entre os setores. Enquanto a eletricidade proveniente de fontes convencionais pode exigir uma cadeia de produção mais ampla e diversificada, a energia eólica mostra uma capacidade significativa de impulsionar a economia, mesmo com uma participação menor na produção total de eletricidade. Portanto, ao avaliar o papel dos setores de energia eólica e eletricidade na economia, é essencial considerar não apenas os volumes de produção, mas também os efeitos indiretos e a capacidade de impulsionar o crescimento econômico.

REFERÊNCIAS

ABREU, Mônica Cavalcanti Sá de *et al.* Fatores determinantes para o avanço da energia eólica no Estado do Ceará frente aos desafios das mudanças climáticas. **REAd. Revista Eletrônica de Administração**, Porto Alegre, v. 20, p. 274-304, 2014.

AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO ESTADO DO CEARÁ - ADECE. **Atlas Eólico do Ceará**. Fortaleza, CE: ADECE, 2024.

DE OLIVEIRA, Cassius rocha; GONÇALVES, Rodrigo da Rocha; ROMERO, Manuel Calaveral. Impactos Econômicos da Energia eólica na Costa Sul do RS: Uma abordagem Tipo Insumo Produto. **Revista Econômica do Nordeste**, [S. l.], v. 52, n. 2, p. 9–23, 2021. DOI:10.61673/ren.2021.952. Disponível em: <<https://g20mais20.bnb.gov.br/revista/ren/article/view/952>>. Acesso em: 25 fev. 2024.

DEWHURST, John H. LI; HEWINGS, Geoffrey J. D.; JENSEN, Rodney C. (Ed.). **Regional input-output modelling: new developments and interpretations**. Aldershot: Avebury, 1991.

FATURAY, Futu *et al.* Using a new USA multi-region input output (MRIO) model for assessing economic and energy impacts of wind energy expansion in USA. **Applied Energy**, v. 261, p. 114-141, 2020.

GUILHOTO, J. J. M. **Input-Output Analysis: Theory and Foundations** (Análise de Insumo-Produto: Teoria e Fundamentos). [s.l: s.n.].

MOREIRA, Roseilda Nunes *et al.* Impactos Socioambientais e Econômicos da Energia Eólica no interior do Ceará. *In: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE A GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE - ENGEMA*, 17., São Paulo, 2015. **Anais [...]**. São Paulo: FEA/USP, 2015.

HIRSCHMAN, A. O. **The strategy of economic development**. New Haven: Yale University Press, 1958.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE. **Panorama da produção de energia elétrica no Estado do Ceará: Um enfoque para a matriz eólica**. Informe Nº 141. 2018.

LEONTIEF, W. Quantitative Input-Output Relations in the Economic Systems of the United States. **Review of Economics and Statistics**, v. 18, p. 105-25, 1936.

MILLER, Ronald E.; BLAIR, Peter D. **Input-output analysis: foundations and extensions**. Cambridge university press, 2009.

O'SULLIVAN, Marlene; EDLER, Dietmar. Gross employment effects in the renewable energy industry in Germany—an input–output analysis from 2000 to 2018. **Sustainability**, v. 12, n. 15, p. 6163, 2020.

PENNA, Christiano Modesto *et al.* Including Tourism in the Input-Output Matrix of Ceará Using the Tourism Satellite Account. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA – ANPEC*, 50., Fortaleza, 2022. **Anais** [...]. Fortaleza: ANPEC, 2022.

RASMUSSEN, P. **Studies in intersectoral relations**. Amsterdam: North Holland, 1956.

RIBEIRO, Carolina Silva; PEREIRA, R. M.; OLIVEIRA, G. G. Efeitos dos aportes em energia eólica sobre os setores de atividade econômica do semiárido baiano. *In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS REGIONAIS - ENABER*, 18., *online*, 2020. **Anais** [...]. v. 18, p. 1-20, 2020.

SIMAS, Moana Silva. **Energia eólica e desenvolvimento sustentável no Brasil**: estimativa da geração de empregos por meio de uma matriz insumo-produto ampliada. 2012. 220f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-10092012-095724/>>. Acesso em: 27 fev. 2024.

SOARES, Paula M.; MUCURY, Danylo C.; BONIFÁCIO, Marcus Vinícius de Holanda. Energia eólica no Ceará: seus parques e sua contribuição para a matriz energética do Estado. **Parcerias Estratégicas**, v. 26, n. 51, 2021.

TRAPP, Guilherme Sperling; RODRIGUES, Luis Henrique. Avaliação do custo sistêmico total da geração de energia eólica em face da substituição das fontes hidrelétrica e termoeletrica considerando as externalidades socioeconômicas e ambientais. **Gestão & Produção**, v. 23, p. 556-569, 2016.