

# EFEITOS ECONÔMICOS DA UTILIZAÇÃO DA ENERGIA SOLAR NO RIO GRANDE DO SUL NA DÉCADA DE 2010: UMA ANÁLISE VIA MATRIZ INSUMO-PRODUTO INTER-REGIONAL

**Rodrigo da Rocha Gonçalves**

Graduação em Ciências Econômicas – FURG; Mestrado em Economia Aplicada – UFPEL  
Professor Assistente da Universidade Federal do Rio Grande (FURG)  
E-mail: rrochagoncalves@gmail.com

**Felipe Gerhard Ledur**

Graduação em Ciências Econômicas – FURG  
E-mail: felipeledur03@hotmail.com

**William Barros Miranda**

Graduação em Economia – UFPEL  
Mestrando em Economia – FURG  
E-mail: williambarrosmiranda@gmail.com

**Victória Beatriz Lessa Rosolem**

Graduação em Ciências Econômicas – FURG; Mestrado em Economia Aplicada – FURG  
Doutoranda em Economia – UFRGS  
E-mail: lessavictoria90@gmail.com

## RESUMO

A transição para fontes renováveis de energia, em especial a solar, consolidou-se como estratégia central para a segurança energética e diversificação da matriz elétrica global ao longo da década de 2010. Nesse contexto, este estudo visa quantificar os efeitos econômicos da ampliação da energia solar no Rio Grande do Sul, utilizando como base a Matriz Inter-regional de Insumo-Produto do Arranjo Populacional de Porto Alegre. Desse modo, foram realizadas simulações de dois cenários (realista e otimista) com choques de demanda no setor energético, oriundos dos investimentos em energia solar. Os resultados indicam impactos de aproximadamente R\$ 1,55 bilhões (cenário realista) e R\$ 3,49 (cenário otimista) bilhões na economia gaúcha em termos de produção e valor adicionado. Em linhas gerais, os setores mais impactados com os investimentos são os que possuem maior encadeamento para trás com o setor de energia elétrica, pois são os principais fornecedores de bens e serviços intermediários para o referido setor.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia solar. Meio Ambiente. Desenvolvimento Econômico. Rio Grande do Sul. Matriz Insumo-Produto.

## ECONOMIC EFFECTS OF SOLAR ENERGY USE IN RIO GRANDE DO SUL IN THE 2010S: AN ANALYSIS THROUGH THE INTER-REGIONAL INPUT-OUTPUT MATRIX

## ABSTRACT

The transition to renewable energy sources, particularly solar, emerged as a central strategy for energy security and the diversification of the global energy matrix throughout the 2010s. In this context, this study aims to quantify the economic effects of expanding solar energy in Rio Grande do Sul, using the Inter-regional Input-Output Matrix of the Porto Alegre Population Arrangement as a basis. To this end, simulations of two scenarios (realistic and optimistic) were conducted, incorporating demand shocks in the energy sector stemming from solar energy investments. The results indicated impacts of approximately R\$ 1.55 billions (realistic scenario) and R\$ 3.49 (optimistic scenario) billions in the state's economy in terms of production and added value. Generally speaking, the

sectors most impacted by investments are those with the greatest backward linkages with the electricity sector, as they are the main suppliers of intermediate goods and services to the sector.

**KEYWORDS:** Solar energy. Environment. Economic development. Rio Grande do Sul. Input-Output Matrix.

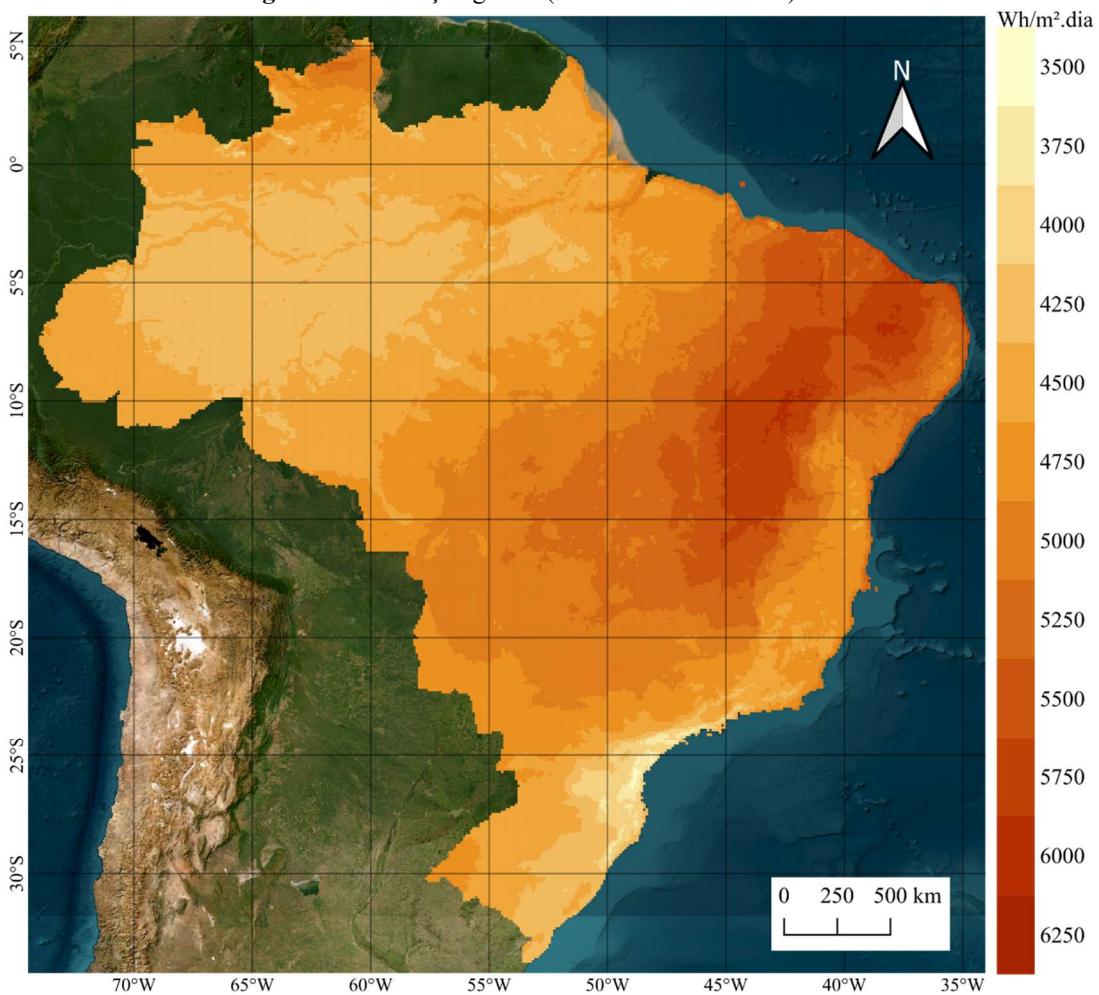
## INTRODUÇÃO

A questão energética assumiu papel central nas agendas globais ao longo da década de 2010, impulsionada pela busca de autossuficiência e diversificação da matriz energética. Este cenário demanda a investigação de fontes alternativas e renováveis de energia para suprir as necessidades do país, com o intuito de reduzir a dependência de combustíveis fósseis e mitigar as emissões de gases poluentes. No Brasil, cerca de 46,1% da matriz energética é renovável, em meio onde a média mundial é de 14%. Esse fato ocorre pela grande participação do fornecimento de energia por usinas hidrelétricas (Balanço Energético Nacional, 2020).

A partir disso, a energia solar tem ganhado destaque por dispensar processos de extração e refino. Suas três principais modalidades são: fotovoltaica, concentrada (CSP) e para aquecimento de água. Em síntese, o sistema utiliza células solares para gerar eletricidade, combinadas a um inversor que transforma a tensão e a frequência aos valores nominais dos aparelhos. Assim, o processo é simples, não emite poluentes e demanda pouca manutenção, fatores que garantem sua competitividade na matriz energética.

O Brasil apresenta elevada irradiação solar, com variação diária entre 4000 e 6300 Wh/m<sup>2</sup>, o que evidencia seu alto potencial para geração de energia fotovoltaica (Balanço energético Nacional, 2020). Tal fonte já superou a marca histórica de 1% da matriz elétrica em 2024 e alcançou 16,8% da matriz nacional, com 38 GW de capacidade instalada em janeiro do mesmo ano (Absolar, 2024). Conforme a figura 1 no Rio Grande do Sul (RS) a irradiação solar média é de 4540 Wh/m<sup>2</sup> dia. A região Sul tem níveis maiores aos da região Norte, ou seja, o Rio Grande do Sul possui boa capacidade para energia solar mesmo com as baixas temperaturas que o estado apresenta, portanto, essa condição não interfere na geração, visto que a energia solar não se dá pelo calor (Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2017).

**Figura 1 - Irradiação global (média anual do Brasil)**



Fonte: Elaboração própria com base no Atlas Brasileiro de Energia Solar, INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), 2017  
Sistema de Coordenadas Geográficas : EPSG 4326, Datum WGS 84

Fonte: Elaboração própria com base no Atlas Brasileiro de Energia Solar, INPE, 2017.

O Rio Grande do Sul ocupa a terceira posição no ranking por estado da geração distribuída solar fotovoltaica, ultrapassando a potência instalada de 2,6 gigawatts (GW), correspondendo a mais de 10,1 % do total da potência nacional (Absolar, 2024). Essa expansão é impulsionada por quatro fatores principais: (i) a disponibilidade de linhas de crédito do banco estadual e de cooperativas; (ii) a isenção de ICMS para unidades consumidoras que adotaram a geração distribuída; (iii) a facilitação de operações com equipamentos e componentes específicos para energia solar; e (iv) a redução dos valores de leilões no Mercado Livre de Energia

Na literatura econômica, diversos trabalhos avaliam questões energéticas com modelos de matriz insumo-produto (MIP), no contexto internacional e nacional, tais como, Schwer e Riddel (2004); Bae e Dall'erba (2016); Fu *et al.* (2017); Nakano *et al.* (2018); Guilhoto (2009); Montoya *et*

al. (2015) e Oliveira, Gonçalves e Romero (2021). Diante disso, existe uma lacuna referente à avaliação da expansão da energia solar com modelos de insumo-produto inter-regional, principalmente desagregando os investimentos por região de um estado e com dados consolidados do setor.

Nesse cenário, este estudo tem como objetivo quantificar os impactos econômicos diretos e indiretos da expansão da energia solar no Rio Grande do Sul ao longo da década de 2010, com base na Matriz Insumo-Produto (MIP). Para isso, são criadas simulações de choques de investimento de curto prazo que serão dados no setor energético. A base de dados utilizada foi a Matriz Inter-regional de Insumo-Produto para o Arranjo Populacional de Porto Alegre estimada pelo Núcleo de Economia Regional e Urbana da USP – NEREUS em 2015. A escolha se justifica, pois, será possível avaliar o impacto dos painéis fotovoltaicos e seus efeitos diretos e indiretos no Rio Grande do Sul, como produção, valor adicionado, impostos e número de ocupações (empregos formais e informais, a partir desse instrumental). Dessa maneira, há a possibilidade de os formuladores de políticas públicas justificarem investimentos ou economia de recursos (Miller; Blair, 2009).

Este estudo está organizado em cinco seções. A primeira é esta introdução. A segunda apresenta a evolução da literatura nacional e internacional sobre a metodologia aplicada a fontes de energia renováveis. Na terceira, são descritos a metodologia adotada, os dados utilizados, bem como os cenários e as simulações. A quarta seção expõe os resultados obtidos e suas respectivas discussões. Por fim, a última seção traz as principais conclusões sobre o impacto socioeconômico da energia solar no Rio Grande do Sul.

## REVISÃO DE LITERATURA

A literatura oferece vários modelos nacionais e regionais de insumo-produto aplicados às fontes de energias renováveis. Entre os que focam na energia solar, encontra-se Huntington (2009), que expõe que cada megawatt de energia solar é mais eficaz do que as outras energias renováveis, como a eólica, a biomassa e o gás natural, na criação de empregos nos EUA, cerca de 4 a 11 vezes. Porém, a energia eólica e a biomassa são mais eficazes do que a energia solar quando medidas em dólares de investimento inicial devido ao seu menor custo de capital.

Anteriormente, Schwer e Riddel (2004), com o uso da matriz insumo-produto regional, calcularam o impacto de uma usina de energia solar térmica concentrada (CSP) de 100 megawatts (MW) em Nevada, EUA. Os resultados indicaram um multiplicador de empregos de 2,9 durante a fase de construção (2004-2006), o que equivale a aproximadamente 817 empregos diretos e um total

de 2.387 empregos gerados anualmente. Para a fase seguinte, de operação e manutenção, projetou-se um impacto ainda maior, com um multiplicador exposto em 3,1.

Em paralelo, Bae e Dall'erba (2016), investigaram os impactos de uma usina solar no Arizona, EUA, ampliando a análise para incluir renda e produção. Ao comparar os multiplicadores econômicos gerados por uma planta na Califórnia com os potenciais efeitos de um projeto equivalente no Arizona, identificaram um multiplicador de produção de 1,08 no Arizona, inferior ao da Califórnia, com 80% dos empregos concentrados na fase de construção. O estudo concluiu que a instalação de fazendas solares no Arizona geraria menos renda e produção de trabalho do que na Califórnia, principalmente devido a diferenças estruturais na etapa de construção. Os trabalhos com matriz insumo-produto nos últimos anos têm utilizado a MIP inter-regional, dentre eles destacam-se Fu *et al.* (2017) e Nakano *et al.* (2018). No caso de Fu *et al.* (2017), os autores analisaram as mudanças industriais inter-regionais que reduziram a intensidade de carbono na China por meio de uma MIP inter-regional. O estudo argumenta que políticas industriais regionalizadas são mais eficazes do que políticas estritamente nacionais. Além disso, os pesquisadores defendem a diferenciação regional das metas de emissões de carbono para promover o crescimento econômico sustentável, com base em uma combinação de maior eficiência energética, expansão de fontes renováveis e avanços tecnológicos. Essa estratégia é particularmente relevante para as regiões Central e Ocidental da China, onde predominam indústrias pesadas e intensivas em carbono.

Já em relação ao trabalho de Nekano *et al.* (2018), a mesma metodologia foi aplicada ao contexto japonês com o objetivo de integrar setores de energia renovável à análise econômica. Além disso, os autores investigaram os efeitos da tarifa feed-in-tariff (FIT), mecanismo que estabelece preços fixos para energia renovável por meio de contratos de longo prazo, independentemente do consumo regional. Ao expandir a matriz nacional para um modelo inter-regional, foi possível identificar não apenas a interdependência entre os setores, mas também as dinâmicas regionais da economia japonesa durante a transição para fontes renováveis.

Neste sentido, os principais resultados indicam que mais da metade do potencial de energia renovável do Japão está concentrada na região Leste, onde essas fontes energéticas impulsionam a produção e a geração de empregos em maior escala do que a eletricidade convencional. Contudo, seu custo mais elevado ainda representa um obstáculo significativo à sua ampla adoção. O potencial da energia solar residencial é especialmente alto em áreas metropolitanas, revelando-se extremamente eficaz na redução das emissões de CO<sub>2</sub>. Além disso, a eliminação da tarifa FIT acarreta um aumento expressivo nos custos da energia solar devido aos efeitos inflacionários.

Em termos de literatura nacional que utilizam a mesma metodologia temos: Avelino e Guilhoto (2009), Montoya *et al.* (2015) e Oliveira, Gonçalves e Romero (2021). De acordo com Avelino e Guilhoto (2009), ambos calcularam o tempo necessário para compensar a poluição da construção da usina eólica através da matriz insumo-produto. A MIP, com foco ambiental, permite analisar as relações interindustriais e seus impactos no meio ambiente. Como a matriz energética do Brasil tem como principal componente as hidrelétricas, ocorre um baixo nível de poluição durante a construção.

Dessa maneira, foram desenvolvidas duas simulações para contabilizar o tempo, a primeira foi uma nova planta que substitui uma usina termoelétrica contra quatro cenários (carvão a vapor, gás natural, gasolina e diesel), os retornos foram baixos variando de 8 (carvão) dias até 13 dias (gás natural). Já na segunda simulação, realizou-se sem mudanças nas usinas atuais, adicionando a usina eólica à produção de eletricidade, isto é, apenas a geração de energia, com isso o efeito marginal para a redução foi baixo, implicando um *payback* de 124 dias.

Ainda a nível nacional, Montoya *et al.* (2015) avaliaram intersetorialmente a importância relativa do setor energético para o crescimento da economia brasileira por meio da matriz insumo-produto. Verificou-se que esse setor desempenha um papel estratégico, impulsionando o desenvolvimento de diversas áreas da economia e atuando como um fornecedor essencial e amplamente distribuído de insumos básicos.

O estudo de Oliveira, Gonçalves e Romero (2021) analisou os impactos econômicos da implementação de parques eólicos na costa sul do Rio Grande do Sul, utilizando a MIP regional. Os autores examinaram tanto os efeitos de curto prazo, associados a choques de demanda no setor energético, quanto os de longo prazo, relacionados aos impactos da geração de energia na tributação. No curto prazo, os choques de demanda resultaram em um incremento superior a R\$ 7 bilhões na produção da região e mais de dois mil empregos diretos e indiretos. Já no longo prazo, o funcionamento dos parques eólicos adicionou em torno de R\$ 27 milhões anuais em arrecadação de ICMS para os municípios da região.

Os estudos mencionados evidenciam a relevância dessa abordagem para mensurar os efeitos dos investimentos em energias renováveis, reforçando a importância do presente trabalho. Além de empregar uma metodologia aplicada especificamente a esse setor, este estudo se destaca por seu caráter inovador, ao utilizar, pela primeira vez, a matriz insumo-produto inter-regional para o Rio Grande do Sul, com o objetivo de quantificar os impactos econômicos da expansão da energia solar no estado.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### MATRIZ INSUMO E PRODUTO

A abordagem matriz insumo-produto consiste em um arcabouço analítico que mapeia as relações intersetoriais dos agentes que compõem o sistema econômico, sendo considerada uma ferramenta de planejamento econômico, disponível ao formulador de política pública. A partir desse instrumental, pode-se avaliar o impacto de políticas setoriais e seus efeitos sobre uma economia nacional e/ou regional (Miller; Blair, 2009).

As raízes primitivas da matriz de insumo-produto estão no trabalho feito por François Quesnay sobre o fluxo circular de renda e ao modelo de equilíbrio geral simplificado proposto por Walras. Posteriormente, o economista Leontief formulou o primeiro modelo de insumo-produto em seu artigo seminal em 1936, no qual desenvolveu uma nova possibilidade de análise sobre as relações intersetoriais na produção (Leontief, 1936). Com a iniciação da mensuração das contas nacionais em escala mundial, o modelo de produção de Leontief foi utilizado para a avaliação e planejamento de políticas públicas.

O modelo básico (produção) de Leontief é geralmente construído a partir de dados para uma região geográfica específica (nação, regional, mesorregião etc.). As informações presentes na matriz são os fluxos de cada setor econômico. Conforme Miller e Blair (2009), as linhas descrevem a distribuição da produção de um produtor em toda a economia (vendas) e as colunas a composição dos insumos exigidos por um determinado setor produzir um produto (compras).

Seguindo a formalização de Miller e Blair (2009), a matriz A representa a matriz dos coeficientes técnicos diretos, ou seja, fornece o impacto direto causado pelo aumento na demanda final. Por outro lado, a matriz B é a matriz dos coeficientes técnicos diretos e indiretos, mais conhecida como matriz inversa de Leontief do modelo aberto, examina os efeitos diretos e indiretos, portanto, o modelo avalia o impacto total que uma variação na demanda final causará na produção da economia, dado o aumento de uma unidade.

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

Dessa maneira, através dos multiplicadores calculados na matriz inversa de Leontief (B), há a viabilidade de realizar análises no emprego, renda, produto, impostos, entre outros. Inclusive, encontram-se os índices de ligação para frente e para trás, que são capazes de identificar os setores chaves da economia. Seguindo a evolução dos estudos de matriz insumo- produto, existe a

possibilidade de analisar modelos regionais e inter-regionais.

A estrutura de produção regional pode diferir da matriz nacional, dessa forma, as aplicações regionais precisam levar em consideração a relação entre os coeficientes técnicos da tabela nacional e da matriz regional. Além disso, as matrizes regionais e/ou inter-regionais possuem às mesmas identidades contábeis de uma matriz nacional, existindo sempre um equilíbrio entre oferta e demanda agregada, porém as questões relacionadas ao comércio exterior e ao nível de governo são diferentes, com isso, surgem vetores de importações e exportações regionais e/ou inter-regionais.

Nesse sentido, Guilhoto (2011), representa a matriz regional com a estrutura padrão, com a diferença básica da discriminação da exportação para as outras regiões do país e a exportação para outros países. Portanto, complementando a matriz regional, na inter-regional, há uma troca de relações entre as regiões, exportações e importações, que são expressas através do fluxo de bens que se destinam tanto ao consumo intermediário como à demanda final.

## MODELO INTER-REGIONAL

O modelo inter-regional de insumo-produto, denominado de modelo Isard, por causa da aplicação de Isard (1951), requer uma grande massa de dados, reais ou estimados, principalmente quanto às informações sobre fluxos intersetoriais e inter-regionais. A figura abaixo apresenta as relações dentro de um sistema de insumo produto inter-regional:

**Figura 2**-Relações de Insumo-Produto em um sistema inter-regional

	Setores - Região L	Setores - Região M	L	M	
Set. Reg. L	Insumos Intermediários LL	Insumos Intermediários LM	DF LL	DF LM	Prod. Total L
Set. Reg.M	Insumos Intermediários ML	Insumos Intermediários MM	DF ML	DF MM	Prod. Total M
	Imp. Resto Mundo (M)	Imp. Resto Mundo (M)	M	M	M
	Impostos. Ind. Liq. (IIL)	Impostos Ind. Liq. (IIL)	IIL	IIL	IIL
	Valor Adicionado	Valor Adicionado			
	Prod. Total Região L	Prod. Total Região M			

Fonte: Adaptado de Guilhoto (2011).

De forma sintética, pode-se apresentar o modelo, a partir do exemplo hipotético dos fluxos intersetoriais e inter-regionais de bens para as regiões L e M, com 2 setores, assim, pode- se montar a matriz:

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} \mathbf{Z}^{LL} & \mathbf{Z}^{LM} \\ \mathbf{Z}^{ML} & \mathbf{Z}^{MM} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Onde:  $\mathbf{Z}^{LL}$  e  $\mathbf{Z}^{MM}$  - matrizes dos fluxos monetários intrarregionais;  $\mathbf{Z}^{LM}$  e  $\mathbf{Z}^{ML}$  - matrizes dos fluxos monetários inter-regionais.

Com o uso da equação de Leontief (1986):

$$\mathbf{X}_i = \mathbf{z}_{i1} + \mathbf{z}_{i2} + \dots + \mathbf{z}_{ii} + \dots + \mathbf{z}_{in} + \mathbf{Y}_i \quad (3)$$

Onde:  $\mathbf{X}_i$  é o total da produção do setor i;  $\mathbf{z}_{in}$  é o fluxo monetário do setor i para o setor n; e  $\mathbf{Y}_i$  é a demanda final por produtos do setor i.

Aplica-se as matrizes dos fluxos monetários na equação acima:

$$\begin{array}{cccccc} \mathbf{X}^L & = & \mathbf{z}^{LL} & + & \mathbf{z}^{LL} & + \mathbf{z}^{LM} + \mathbf{z}^{LM} + \mathbf{Y}^L \\ & & 1 & & 11 & 12 & 11 & 12 & 1 \end{array} \quad (4)$$

Onde:  $\mathbf{X}^L$  representa o total do bem 1 produzido na região L.

Considerando os coeficientes de insumo regional para L e M, tem-se os coeficientes intrarregionais:

$$a_{ij}^{LL} = \frac{\mathbf{z}_{ij}^L}{\mathbf{X}_j^L} \Rightarrow \mathbf{z}_{ij}^{LL} = a_{ij}^{LL} \times \mathbf{X}_j^L \quad (5)$$

Onde, pode-se definir os  $a_{ij}^{LL}$  como coeficientes técnicos de produção, e que representam quanto, o setor j da região L, compra do setor i da região L. Logo, estes coeficientes podem ser substituídos na equação 4, obtendo:

$$\mathbf{X}_1^L = a_{11}^{LL} \times \mathbf{X}_1^L + a_{12}^{LL} \times \mathbf{X}_2^L + a_{11}^{LM} \times \mathbf{X}_1^M + a_{12}^{LM} \times \mathbf{X}_2^M + \mathbf{Y}_1^L \quad (6)$$

As produções para os demais setores são obtidas de forma similar. Isolando,  $\mathbf{Y}_1^L$  e colocando em evidência,  $\mathbf{X}_1^L$  tem-se:

$$\begin{array}{cccccccccc} (\mathbf{1} - a^{LL})\mathbf{X}^L & - & a^{LL} \times \mathbf{X}^L & - & a^{LM} \times \mathbf{X}^M & - & a^{LM} \times \mathbf{X}^M & = & \mathbf{Y}^L \\ 11 & 1 & 12 & 2 & 11 & 1 & 12 & 2 & 1 \end{array} \quad (7)$$

Saliente-se que esta mesma formulação valeria para as demais demandas finais. Portanto, de acordo com  $\mathbf{A}^{LL} = \mathbf{Z}^{LL}(\hat{\mathbf{X}})^{-1}$ , constrói-se a matriz  $\mathbf{A}^{LL}$  para os 2 setores.

$\mathbf{A}^{LL}, \mathbf{A}^{LM}, \mathbf{A}^{ML}, \mathbf{A}^{MM}$  representam as matrizes dos coeficientes técnicos intrarregionais de

produção.

Conforme Guilhoto (2011), o sistema inter-regional completo de insumo-produto é representado por:

$$(I - A)X = Y \quad (9)$$

Efetua-se as operações de substituições, assim obtém-se os modelos básicos à análise inter-regional de Isard (1951), corresponde a:

$$\begin{aligned} (I - A^{LL})X^L - A^{LM}X^M &= Y^L \\ -A^{ML}X^L + (I - A^{MM})X^M &= Y^M \end{aligned} \quad (10)$$

Onde  $Y^L$  e  $Y^M$  correspondem à demanda final por produto de cada setor e  $X^M$  e  $X^L$  indica o total da produção dos setores  $L$  e  $M$ , já a  $I$  descreve a matriz identidade. Resultando no sistema de Leontief inter-regional da forma, o modelo abaixo é a descrição teórica do modelo inter-regional.

$$X = (I - A)^{-1}Y \quad (11)$$

## MÉTODOS DE ANÁLISE

A partir do modelo básico de Leontief (equação 3), pode-se mensurar o impacto que alterações na demanda final ( $Y$ ), ou nos componentes (consumo das famílias, gastos do governo, investimentos e exportações), teriam sobre a produção total, emprego, importações, impostos, salários, valor adicionado, entre outros, conforme Guilhoto (2011).

$$\begin{aligned} \Delta X &= (I - A)^{-1}\Delta Y \\ \Delta V &= \hat{\nu} \Delta X \end{aligned} \quad (12)$$

Sendo  $\Delta X$  e  $\Delta V$  vetores que representam, respectivamente, a estratégia setorial e os impactos sobre o volume da produção, enquanto que  $\Delta V$  é um vetor que retrata o impacto sobre qualquer uma das outras variáveis citadas acima. Tem-se  $\hat{\nu}$  como uma matriz diagonal em que os elementos são, os coeficientes de emprego, importações, impostos, salários, valor adicionado, entre outros, que são obtidos dividindo-se, para cada setor, o valor utilizado dessas variáveis na produção total pela produção total do setor correspondente, isto é:

$$\nu_i = \frac{V_i}{X_i} \quad (13)$$

A soma de todos os elementos dos vetores  $\Delta X$  e  $\Delta V$  é utilizada para saber o impacto sobre o volume total da produção, e de cada uma das variáveis que estão sendo analisadas. Cabe lembrar que, segundo Miller e Blair (2009), o modelo básico (produção) de Leontief é geralmente construído a partir de dados para uma região geográfica específica (nação, regional, mesorregião, etc.), buscando verificar impactos econômicos de modificações exógenas na economia (Miller; Blair,

2009). Com base nos coeficientes diretos e da matriz inversa de Leontief, é possível estimar, para cada setor da economia, o quanto é gerado direta e indiretamente de emprego, importações, impostos, salários, valor adicionado, etc. para cada unidade monetária produzida para a demanda final, isto é:

$$\mathbf{GV}_j = \sum_{i=1}^n \mathbf{b}_{ij} \mathbf{v}_i \quad (14)$$

Onde:

$\mathbf{GV}_j$  é o impacto total, direto e indireto, sobre a variável em questão;

$\mathbf{b}_{ij}$  é o ij-ésimo elemento da matriz inversa de Leontief;

$\mathbf{v}_i$  é o coeficiente direto da variável em questão.

A divisão dos geradores pelo respectivo coeficiente direto gera os multiplicadores, que indicam quanto é criado, direta e indiretamente da variável para cada unidade diretamente originada. O multiplicador do i-ésimo setor seria dado por:

$$\mathbf{MV}_i = \frac{\mathbf{GV}_i}{\mathbf{v}_i} \quad (15)$$

$\mathbf{MV}_i$  representaria o multiplicador da variável em questão e as outras variáveis são definidas conforme feito anteriormente. Por sua vez, o multiplicador de produção que indica o quanto se produz para cada unidade monetária gasta no consumo final é definido como:

$$\mathbf{MP}_j = \sum_{i=1}^n \mathbf{b}_{ij} \quad (16)$$

Onde  $\mathbf{MP}_j$  é o multiplicador de produção do j-ésimo setor. Ele corresponde à produção adicional gerada em toda a economia, decorrente de uma alteração na demanda final de um determinado setor. Em outras palavras, para cada 1 real em produção gerado diretamente na própria atividade, para atender uma alteração na demanda final, o multiplicador de produção mostra quantos reais em produção são gerados na economia como um todo. O multiplicador tipo I capta os efeitos diretos e indiretos, e o multiplicador tipo II capta os efeitos diretos, indiretos e induzidos, de modo que a diferença entre os dois multiplicadores corresponde ao efeito induzido pelo consumo das famílias endogenizado ao sistema. Analogamente, encontram-se os multiplicadores de empregos, salários, impostos e importações, os quais são considerados indicadores de desenvolvimento econômico.

Por outro lado, os coeficientes de geração são formados pela razão entre valores que possam ser comparados. Por exemplo, o coeficiente de geração de emprego é calculado:

$$C_i^e = \frac{e_i}{VBP_i} \quad (17)$$

Sendo:  $C^e_i$  é o coeficiente de emprego do setor i;  $e_i$  é a quantidade de pessoal ocupado no setor i; e  $VBP_i$  é o valor bruto da produção do setor i. A unidade do coeficiente de emprego é dada por empregos/reais.

No quesito da geração indireta de empregos, é obtido a partir da combinação dos elementos da matriz inversa de Leontief com o coeficiente de emprego de cada setor. O gerador de empregos diretos e indiretos é calculado da seguinte forma:

$$G^e = C^e(I - A)^{-1} \quad (18)$$

Onde:

$G^e$  é o vetor dos coeficientes de emprego direto e indireto;

$C^e$  é o dos coeficientes de emprego;  $(I - A)^{-1}$  é a matriz inversa de Leontief.

A análise da capacidade de geração de empregos pelo setor deve ser feita conjuntamente com a análise do efeito multiplicador de empregos, pois estas se complementam. A partir da equação 14, é possível construir um simulador que mensura como os choques de demanda afetam a demanda intermediária por setor. Tal simulador pode ser descrito matematicamente da seguinte forma:

$$SP_j = \sum_{i=1}^n b_{ij} \times \text{choque}_i \quad (19)$$

Onde,  $SP_j$  representa qual o impacto em cada setor de um determinado choque de demanda; principalmente, como o setor que recebe o choque reage direta e indiretamente à ampliação da energia solar no estado, no caso deste trabalho. Além disso, pode-se mensurar, em valores monetários, o impacto de choques em determinadas variáveis, partindo dos multiplicadores de produção, valor adicionado e emprego. No caso deste artigo, mensura-se, em valores monetários, como a produção de energia solar afeta a economia, por meio dos multiplicadores.

## DADOS

A base de dados utilizada para realizar o estudo foi a Matriz Inter-regional de Insumo-Produto para o Arranjo Populacional de Porto Alegre construída pelo Núcleo de Economia Regional e Urbana da USP – NEREUS em 2015. A matriz foi gerada a partir do método denominado *Interregional Input-Output Adjustment System* – IIOAS, baseado em Haddad *et al.* (2017). O IIOAS é um método híbrido que combina dados disponibilizados por agências oficiais como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, com técnicas não-censitárias para estimativa de informações indisponíveis. As principais vantagens do IIOAS são sua consistência com as informações da matriz de insumo-produto nacional, e a flexibilidade de seu processo de regionalização que pode ser aplicado para qualquer país.

O conceito de arranjo populacional descrito pelo IBGE (2016), refere-se à ligação funcional entre dois ou mais municípios. Essa ligação ocorre pelo fluxo diário entre moradores que transitam entre esses municípios por questões de trabalho ou estudos (Haddad; Araújo; Perobelli, 2020).

Conforme Haddad, Araújo e Perobelli (2020), a estrutura territorial comum para todas as matrizes, iniciando pelo país, estado, arranjo populacional e, por último, o município a ser utilizado como base. Desta forma, é possível agregar do nível macro para micro o que atenua possíveis distorções nos dados utilizados, conforme o desenho ilustrado na Figura 3.

**Figura 3 - Hierarquia dos Arranjos Populacionais**



Fonte: Adaptado de Haddad, Araújo e Perobelli (2020).

A construção da MIP é dividida em 4 regiões, são elas, a capital do estado (R1), resto do arranjo populacional da capital (R2), restante do estado (R3) e o restante do país (R4). Nesse presente trabalho, R1 corresponde ao município de Porto Alegre, R2 condiz ao resto do arranjo populacional de Porto Alegre, que engloba 11 municípios, Esteio, Alvorada, Cachoeirinha, Canoas, Sapucaia do Sul, Eldorado do Sul, Glorinha, Gravataí, Guaíba, Nova Santa Rita e Viamão, o R3 refere-se aos outros 485 municípios gaúchos e o R4 representa o restante do Brasil.

**Tabela 1-Estrutura Setorial da Matriz de Insumo-Produto do Arranjo Populacional de Porto Alegre**

<i>Id</i>	<i>Descrição</i>
1	Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura
2	Indústrias extrativas
3	Produtos alimentares
4	Máquinas e equipamentos
5	Outras indústrias de manufatura
6	Eletricidade e gás
7	Água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação
8	Construção
9	Comércio; reparação de veículos automotores e motocicletas
10	Transporte, armazenagem e correio
11	Alojamento e alimentação
12	Informação e comunicação
13	Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados
14	Atividades imobiliárias
15	Atividades científicas, profissionais e técnicas
16	Atividades administrativas e serviços complementares
17	Administração pública, defesa e segurança social
18	Educação
19	Saúde humana e serviços sociais
20	Artes, cultura, esporte e recreação
21	Outras atividades de serviços
22	Serviços domésticos

Fonte: Adaptado de Haddad Araújo e Perobelli (2020).

No tocante da estrutura setorial da matriz insumo-produto do Arranjo Populacional de Porto Alegre, apresentada na tabela 1, demonstra os 22 setores presentes na desagregação setorial comum com foco em atividades predominantes urbanas para estimar a matriz insumo-produto da capital gaúcha.

170

## CENÁRIOS E SIMULAÇÕES

Em 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) instituiu a Resolução Normativa (RN) nº 482, que estabeleceu as condições para microgeração e minigeração distribuída, incluindo o sistema de compensação de energia. Essa resolução foi fundamental para impulsionar a energia solar no Brasil. Entretanto, em 2023, a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 1.059, que atualiza as regras para geração distribuída, mantendo os princípios de compensação energética, mas introduzindo ajustes tarifários e critérios técnicos mais alinhados à expansão sustentável do setor. Embora a RN 482/2012 tenha sido revogada, seu legado permanece relevante para análises históricas, enquanto a 1.059/2023 reflete o marco regulatório atual, incentivando investimentos com maior previsibilidade e segurança jurídica (ANEEL, 2023).

No ano de 2023, o Brasil atingiu a marca de 37,4 GW de potência instalada e ostenta a 6ª posição mundial em potência instalada de energia solar fotovoltaica (Absolar, 2024). Frente a isso, o

setor atraiu mais de R\$ 59,6 bilhões de novos investimentos, um crescimento de 49% em relação aos investimentos acumulados até o final de 2022 no País (Absolar, 2024). Os custos de instalação da energia solar são divididos em três partes: painéis fotovoltaicos, sistema de equilíbrio e a mão de obra. Os painéis fotovoltaicos correspondem aos módulos e os inversores. Já o sistema de equilíbrio (BoS) compreende os demais componentes, como: estrutura de fixação, cabeamento, fiação, monitoramento e controle e a ligação à rede. Segundo os dados da Greener e da Receita Federal, os módulos e os inversores são em sua maioria importados da China, Canadá, Alemanha, Áustria e EUA, eles representam 96,2% e 84,0% do mercado nacional, respectivamente. Esses componentes somados a estrutura de fixação corresponde a 27,8% do total de custos de instalação (Irena, 2020). Dessa maneira, o valor total investido no estado é reduzido nesta porcentagem, uma vez que esse montante não é alocado no estado.

Como já mencionado, o Rio Grande do Sul ocupa a terceira posição no ranking por estado da geração distribuída solar fotovoltaica (Absolar, 2024). Segundo dados da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (2024), esse tipo de energia está presente em todos os 497 municípios da região, com 293 mil sistemas instalados e em operação. Ainda, mais de 396 mil consumidores já usufruem de redução significativa nas contas de energia, com maior independência e estabilidade no abastecimento elétrico. Em Porto Alegre (R1), há 1624 unidades consumidoras, sendo o 3º município do estado em capacidade instalada com 16 MW, representando 2,9% do estado. Já o restante do arranjo populacional de Porto Alegre (R2) tem 3.838 unidades consumidoras, o que equivale a 6,7%. O resto do estado (R3) detém 51.551 unidades consumidoras, compondo os 90,4% restantes. Por fim, o restante do Brasil (R4) reúne 378.365 unidades consumidoras.

Apesar da queda histórica na produção energética nacional durante a pandemia de Covid-19, o estado gaúcho registrou crescimento de 46% na geração fotovoltaica em 2020. Esse avanço foi impulsionado pelo aumento nas tarifas das distribuidoras, que incentivou a adoção de energia solar como alternativa para reduzir custos no agronegócio e no comércio, mitigando impactos econômicos (Absolar, 2021).

Conforme ABSOLAR para o ano de 2021, o setor de energia solar no Rio Grande do Sul apresentaria dois cenários de expansão de curto prazo, desconsiderando as importações de equipamentos. No cenário otimista, seriam investidos R\$ 1.781,87 milhões, alcançando uma potência instalada de 1,24 GW, o que seria proporcional a um aumento de 0,59 GW em um ano. Por outro lado, em um cenário realista, ocorreria um crescimento de 40% para o ano, isto é, haveria um investimento de R\$ 791,94 milhões, avançando a uma potência instalada de 0,91 GW de energia

solar no solo gaúcho, acrescentando em 0,26 GW no período.

**Tabela 2**-Cenários para o crescimento da energia solar no Rio Grande do Sul<sup>1</sup>

Cenário	Expansão	Investimento	R1	R2	R3	Potência Instalada
<b>Realista</b>	40%	R\$ 791,94	R\$ 22,56	R\$ 53,31	R\$ 716,07	0,91 GW
<b>Otimista</b>	90%	R\$ 1.781,87	R\$ 50,76	R\$ 119,95	R\$ 1.611,16	1,24 GW

<sup>1</sup> em milhões de reais.

Fonte: Absolar. Elaborado pelos autores.

Conforme a tabela 2, os choques de investimento serão dados no setor energético e o investimento por região foi proporcional a porcentagem existente em cada região. No longo prazo, esses choques de investimentos reduzem os custos em energia elétrica devido à compensação de energia através da Resolução n.º 1.059, de modo que o *payback* varia em média de até 5 anos, assim, ao invés de pagar a conta de luz, o recurso é investido na economia. A redução pode chegar a 95% dos valores pagos anteriormente, apenas precisando pagar a taxa mínima da distribuidora. Além disso, há inúmeros benefícios ambientais, como baixa emissão de gases poluentes, redução da dependência de chuvas para a geração de energia e entre outros.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da MIP do Rio Grande do Sul, foram simulados efeitos de curto prazo (choques de investimentos). Os resultados de curto prazo dos choques de demanda no setor eletricidade e gás, oriundos dos cenários 1 e 2, geram em torno de R\$ 1.763,45 e R\$ 3.967,78 milhões na produção do país, respectivamente, conforme tabela 3. Além disso, o cenário realista resultou na criação de 4.644 empregos diretos e indiretos, enquanto o cenário otimista gerou 10.449 empregos. No multiplicadores de valor adicionado bruto (VAB), em ambos cenários, os choques proporcionaram um aumento de R\$ 628,85 milhões (realista) e R\$ 1.414,91 milhões (otimista), respectivamente.

**Tabela 3** - Resumo dos impactos econômicos nos cenários realista e otimista

Região	<b>PRODUÇÃO</b>	Cenário Realista		
		<b>VAB</b>	<b>IMPOSTO</b>	<b>EMPREGO</b>
R1	40,56	17,20	0,15	136
R2	115,89	37,05	0,42	265
R3	1007,22	334,73	3,18	1683
R4	599,79	239,87	4,22	2560
Total	1763,45	628,85	7,97	4644
Cenário Otimista				
Região	<b>PRODUÇÃO</b>	<b>VAB</b>	<b>IMPOSTO</b>	<b>EMPREGO</b>
R1	91,25	38,69	0,35	307
R2	260,75	83,37	0,94	596
R3	2266,25	753,14	7,16	3786
R4	1349,52	539,71	9,49	5760
Total	3967,78	1414,91	17,93	10449

Fonte: Resultados da pesquisa. Elaboração dos autores.

Nota: os valores da produção, VAB e impostos estão em milhões de reais e o emprego em unidades.

Adicionalmente, o capital investido gera uma arrecadação de impostos de aproximadamente R\$ 7,97 e R\$ 17,93 milhões, com a maior parte desses recursos proveniente de outras regiões do país, ressaltando a integração do estado gaúcho com o restante do Brasil. Embora 90% do choque no setor energético ocorra na região 3 (R3) que, consequentemente, evidencia os maiores impactos, os investimentos não se restringem apenas a essa área. Um exemplo disso, pode ser destacado no valor adicionado bruto (VAB), no qual representa cerca de 53% do total gerado, e, mesmo sem investimentos diretos em outras regiões, estes também são impactados, evidenciando as relações intersetoriais e inter-regionais do Rio Grande do Sul. Nessa perspectiva, aproximadamente 55% dos empregos gerados ocorrem fora do estado, sobretudo nos setores de comércio e em outras indústrias de manufatura.

**Tabela 4**-Impacto setorial dos investimentos na energia solar em milhões de reais

Setor	Prod. Cenário Realista	Prod. Cenário Otimista	Participação
Eletricidade e gás	1225,76	2757,98	69,51%
Outras indústrias de manufatura	131,78	296,51	7,47%
Indústrias extractivas	68,01	153,01	3,86%
Atividades científicas, profissionais e técnicas	67,05	150,87	3,80%
Transporte, armazenagem e correio	52,67	118,51	2,99%
Comércio; reparação de veículos automotores e motocicletas	45,99	103,48	2,61%
Atividades financeiras, de seguros e serviços Relacionados	45,71	102,86	2,59%
Máquinas e equipamentos	40,36	90,80	2,29%
Atividades administrativas e serviços complementares	25,18	56,65	1,43%
Informação e comunicação	22,91	51,54	1,30%
Atividades imobiliárias	8,51	19,15	0,48%
Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura	5,04	11,34	0,29%
Administração pública, defesa e segurança social	4,92	11,06	0,28%
Outras atividades de serviços	3,93	8,84	0,22%
Produtos alimentares	3,86	8,68	0,22%
Alojamento e alimentação	3,80	8,56	0,22%
Construção	2,91	6,55	0,17%
Educação	2,20	4,95	0,12%
Água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	2,06	4,64	0,12%
Artes, cultura, esporte e recreação	0,73	1,65	0,04%
Saúde humana e serviços sociais	0,07	0,16	0,00%
Serviços domésticos	0,00	0,00	0,00%
Total	1225,76	2757,98	100,00%

Fonte: Resultados da pesquisa. Elaboração dos autores.

De acordo com Montoya *et al.* (2015), o setor energético destaca-se como o principal impulsionador do crescimento de diversos segmentos, atuando como um fornecedor abrangente e uniforme de insumos essenciais para grande parte da economia brasileira. Frente a isso, os resultados apresentados na Tabela 4 evidenciam que os setores de eletricidade e gás; outras indústrias de manufatura; indústrias extractivas; atividades científicas, profissionais e técnicas; transporte, armazenagem e correio; comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas; atividades financeiras, de seguros e serviços correlatos, bem como o segmento de máquinas e equipamentos, são os que apresentam impactos relativamente mais expressivos em comparação aos demais setores.

Conforme a estrutura produtiva da MIP do RS (Haddad, Araújo e Perobelli, 2020), os multiplicadores de produção intra-regional e inter-regional por região mostram os setores mais relevantes para o nível de produção e sua correlação com outros setores da economia. Dessa maneira, as relações intersetoriais são diferentes para cada região, visto que o choque de investimento ocorre no setor energético, havendo os maiores multiplicadores de produção (cenário realista: R\$ 1,2 bilhões; cenário otimista: R\$ 2,7 bilhões), seguido pelos setores de outras indústrias de manufatura (cenário realista: R\$ 131,7 milhões; cenário otimista: R\$ 296,5 milhões) e indústrias extractivas (cenário realista: R\$ 68 milhões; cenário otimista: R\$ 153 milhões). O setor de outras indústrias de manufatura fornece insumos para a instalação dos painéis solares, e por esta razão, possui sua produção mais afetada pela ampliação das placas fotovoltaicas. Já o setor de indústrias extractivas inclui a extração do silício (Si), que é a principal matéria prima dos painéis fotovoltaicos no mundo, mais de 80%. O Brasil é um dos maiores produtores mundiais e cerca de 82% da produção nacional é voltada para a exportação (BNDES, 2014).

Segundo a tabela 5, na região 1 (R1), atividades científicas, profissionais e técnicas e atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados são os setores que completam o pódio de maiores impactados, ratificando os setores chaves da região ligados aos serviços, em virtude de a capital do estado ter sua vocação em atividades ligadas ao terceiro setor e a concentração da administração pública em todos os níveis. O setor de atividades científicas, profissionais e técnicas é afetado positivamente em Porto Alegre, por consequência do Núcleo de Tecnologia em Energia Solar, que é o único centro de P&D na América Latina projetado para desenvolver e caracterizar células solares e módulos fotovoltaicos em escala piloto. Entretanto nas outras regiões, o setor de outras indústrias de manufatura tem o segundo maior impacto, consolidando a importância de setores ligados à indústria de transformação. Completa-se o pódio, no R2 e R3, os setores de transporte, armazenagem e correio; e comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas,

respectivamente. Abaixo observa-se os 9 setores com maiores impactos por região:

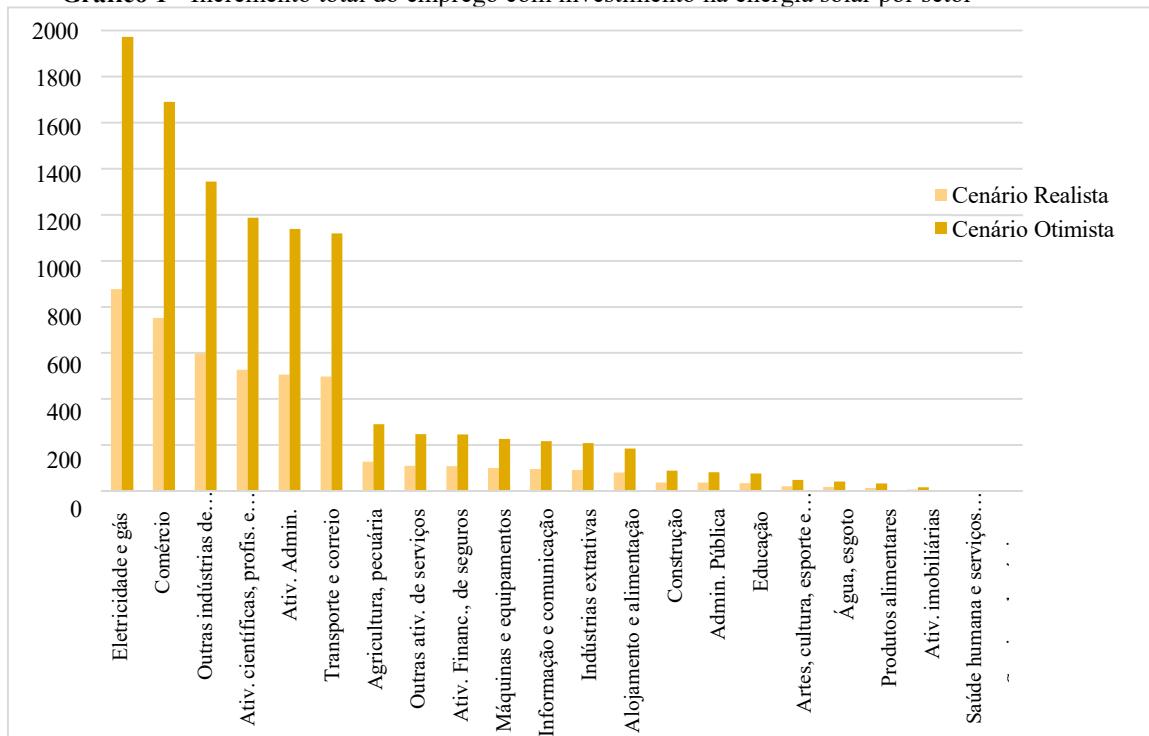
**Tabela 5** - Setores com maior produção através do investimento

Setor	Cenário Realista				Cenário Otimista			
	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
Atividades administrativas e serviços complementares	2,05	1,43	4,79	16,91	4,62	3,21	10,78	38,04
Atividades científicas, profissionais e técnicas	4,11	3,14	15,41	44,40	9,24	7,07	34,67	99,89
Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	2,45	1,02	14,87	27,37	5,52	2,30	33,47	61,57
Comércio; reparação de veículos automotores e motocicletas	1,30	2,97	16,82	24,90	2,93	6,68	37,85	56,03
Eletricidade e gás	23,3	80,6	891,9	229,79	52,56	181,45	2006,94	517,03
Indústrias extrativas	0,22	0,18	2,66	64,94	0,50	0,41	5,99	146,11
Máquinas e equipamentos	0,81	3,82	9,11	26,60	1,83	8,60	20,51	59,86
Outras indústrias de manufatura	0,84	16,79	21,38	92,78	1,88	37,78	48,10	208,75
Transporte, armazenagem e correio	2,01	3,83	16,43	30,41	4,53	8,61	36,96	68,41

Fonte: Resultados da pesquisa. Elaboração dos autores.

A receita oriunda da implantação das placas fotovoltaicas impacta na geração de empregos, principalmente dos empregos verdes, que segundo a Organização Internacional do Trabalho (OIT), se caracteriza por ocupações que contribuem para a preservação ou restauração da qualidade do meio ambiente (OIT 2009). Os empregos gerados se dividem em 3 categorias. A primeira delas refere-se ao desenvolvimento tecnológico, e inclui P&D e fabricação de equipamentos. A segunda categoria refere-se a empregos na instalação, e inclui planejamento, gestão de projetos, transporte e construção em residências ou usinas. A terceira categoria é a de operação e manutenção (O&M), e inclui, além dos próprios serviços de O&M, a geração e distribuição de energia. Conforme demonstra o Gráfico 1, o setor com maior criação de emprego foi o setor de eletricidade e gás correspondendo em 18,88% das ocupações, com 877 (cenário realista) e 1973 (cenário otimista) empregos diretos e indiretos, seguido do comércio e outras indústrias de manufatura com 751 (cenário realista), 1690 (cenário otimista); 597 (cenário realista) e 1343 (cenário otimista) empregos no Brasil, respectivamente.

**Gráfico 1 - Incremento total do emprego com investimento na energia solar por setor**



Fonte: Resultados da pesquisa. Elaboração dos autores.

Com base nos estudos de Huntington (2009) e Bae e Dall'erba (2016), a ampliação da energia solar contribui fortemente para a geração de empregos em comparação com as outras energias renováveis. Nesse sentido, no estado do Rio Grande do Sul, gera-se um total de 2084 (cenário realista) e 4689 (cenário otimista) de empregos diretos e indiretos. Em POA, os empregos criados giram em torno das atividades científicas e administrativas. Na região metropolitana, os setores do comércio e transporte geram as maiores ocupações, em virtude do transporte e comercialização das placas fotovoltaicas. Já no restante do solo gaúcho, em vista de ser o maior volume investido, o setor de eletricidade corresponde a mais de 41% das contratações da região.

**Tabela 6 - Incremento total do valor adicionado bruto por setor**

Setor	VAB Cenário Realista	VAB Cenário Otimista	Participação
Eletricidade e gás	385,15	866,59	61,25%
Atividades científicas, profissionais e técnicas	40,25	90,56	6,40%
Outras indústrias de manufatura	31,96	71,90	5,08%
Indústrias extrativas	29,00	65,26	4,61%
Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	28,86	64,94	4,59%
Comércio; reparação de veículos automotores e motocicletas	28,65	64,45	4,56%
Transporte, armazenagem e correio	22,48	50,58	3,57%
Atividades administrativas e serviços complementares	18,64	41,95	2,96%
Informação e comunicação	11,62	26,14	1,85%
Máquinas e equipamentos	8,93	20,09	1,42%
Atividades imobiliárias	7,78	17,51	1,24%
Administração pública, defesa e segurança social	3,52	7,91	0,56%
Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura	2,76	6,22	0,44%
Outras atividades de serviços	1,94	4,37	0,31%
Alojamento e alimentação	1,86	4,18	0,30%
Educação	1,74	3,92	0,28%
Construção	1,35	3,03	0,21%
Água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	1,23	2,76	0,20%
Produtos alimentares	0,67	1,50	0,11%
Artes, cultura, esporte e recreação	0,41	0,93	0,07%
Saúde humana e serviços sociais	0,04	0,10	0,01%
Serviços domésticos	0,00	0,00	0,00%
Total	628,85	1414,91	100,00%

Fonte: Resultados da pesquisa. Elaboração dos autores.

Outro impacto do choque pode ser observado no valor adicionado bruto (VAB). De acordo com a Tabela 6, os investimentos de R\$ 791,94 milhões e R\$ 1.781,87 milhões geram, respectivamente, valores adicionados de R\$ 628,85 milhões e R\$ 1.414,91 milhões. Com exceção do setor energético, que recebeu os investimentos, destacam-se os setores de atividades científicas, profissionais e técnicas; outras indústrias de manufatura; atividades financeiras, de seguros e serviços correlatos; comércio; reparação de veículos automotores e motocicletas; e transporte, armazenagem e correio, os quais apresentam maior relevância em termos de salários e lucros. Tais resultados evidenciam a propagação dos efeitos do setor para as demais cadeias produtivas.

No que se refere às regiões, na cidade de Porto Alegre (R1) o setor de eletricidade e gás responde por mais de 42,2% do VAB, enquanto a soma dos setores de atividades científicas, profissionais e técnicas; atividades financeiras, de seguros e serviços correlatos; e atividades administrativas e serviços complementares correspondem a 33,0% do VAB. Na Região Metropolitana

(R2) o setor de outras indústrias de manufatura se destaca, impulsionado em grande parte pela presença de multinacionais como a General Motors (GM) em Gravataí, que contribui com mais de 7,7% do VAB, embora o setor energético mantenha a maior participação, totalizando 67,6%. Por fim, na Região 3 (R3) o setor de eletricidade e gás é responsável por mais de 82,8% do VAB, enquanto o comércio e a reparação de veículos automotores e motocicletas constituem o segundo grupo mais expressivo, representando apenas 3,1% do total.

## CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi quantificar os efeitos econômicos da maior utilização da energia solar no estado Rio Grande do Sul. A contribuição fundamental foi fazer simulações de choques de investimento no setor energético, com base na Matriz Inter-regional de Insumo-Produto para o Arranjo Populacional de Porto Alegre. Os resultados dos choques de demanda no setor energético, oriundos dos investimentos em energia solar, geram em torno de R\$ 1,55 (cenário realista) e R\$ 3,49 (cenário otimista) bilhões na economia gaúcha, sendo no cenário 1, mais de R\$ 1,16 bilhões na produção e R\$ 0,39 bilhão de valor adicionado bruto, ainda somados a criação de 2084 empregos diretos e indiretos. Na perspectiva do cenário 2, mais de R\$ 2,62 bilhões na produção e R\$ 0,87 bilhão de VAB, além da geração de 4689 ocupações diretas e indiretas.

Cabe ressaltar que, as análises realizadas no trabalho possuem foco de curto prazo, período compreendido entre 1 a 5 anos (efetivação dos investimentos). Porém, a longo prazo, com a produção da energia solar surgem diversos outros benefícios, tais como, recuperação do investimento da instalação do sistema solar em cinco ou seis anos; o aumento da arrecadação municipal de impostos; incentivo a geração de uma cadeia produtiva de suprimentos de energias renováveis; oportunidade de renda com terras degradadas e difíceis aproveitamento para outros fins e a diversificação da matriz energética. Em relação aos efeitos de longo prazo no contexto ambiental, o investimento nas placas fotovoltaicas fornece energia sustentável e limpa com a baixa emissão de gases poluentes e ainda uma redução da dependência de chuvas para geração de energia, com a ampliação haverá a mitigação de cerca de 12% da emissão total proveniente da produção de energia elétrica no Brasil (Soliano Pereira *et al.*, 2015).

Nesse sentido, o Governo Federal, junto do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, fundamentado nos benefícios apresentados acima, definiu, através da Portaria MCTI Nº 6.998, de 10 de maio de 2023, que as energias renováveis, dentre elas a energia fotovoltaica, são prioridades nos projetos de pesquisa, desenvolvimento de tecnologias e inovações para o período de 2023 a 2030,

contribuindo para o equilíbrio entre o desenvolvimento econômico, social e a preservação ambiental, em consonância com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).

A partir dos resultados apresentados, é possível esboçar políticas públicas de planejamento voltadas ao estímulo de energias renováveis no RS, focando em medidas regionais que busquem estimular novos investimentos e novas tecnologias sustentáveis, principalmente fomentando a criação de uma cadeia produtiva solar nacional e/ou regional. Um aperfeiçoamento deste trabalho poderia incorporar a desagregação da energia solar do restante do setor energético com a atualização da matriz insumo-produto<sup>1</sup> para um período mais recente. Além disso, a construção de um modelo de equilíbrio geral econômico-ambiental poderia contribuir com análises de impactos ambientais relacionados a poluição do ar.

## REFERÊNCIAS

**ABSOLAR. Informações sobre Energia Solar.** Disponível em: <http://www.absolar.org.br/>. Acesso em: 23 abr. 2021.

**ABSOLAR. Energia solar avança e chega a quase 17% da matriz elétrica brasileira.** ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica, [2024]. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-avanca-e-chega-a-quase-17-da-matriz-eletrica-brasileira/>. Acesso em: 21 fev. 2025.

**ABSOLAR. Rio Grande do Sul ultrapassa 2,6 gigawatts de potência de energia solar, diz ABSOLAR.** ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica, [2024]. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/rio-grande-do-sul-ultrapassa-26-gigawatts-de-potencia-de-energia-solar-diz-absolar/>. Acesso em: 21 fev. 2025..

**AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Resolução Normativa n.º 482, de 17 de abril de 2012.** Acesso em: 23 abr. 2021.

**AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Resolução Normativa n.º 482, de 17 de abril de 2012.** Disponível em: [http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/08.15.18.20/doc/Atlas\\_Brasileiro\\_Energia\\_Solar\\_2a\\_Edicao\\_rev-01-compactado.pdf](http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/08.15.18.20/doc/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao_rev-01-compactado.pdf) Acesso em: 12 mar. 2021

**AVELINO, A. F. T.; GUILHOTO, J. Ecological Payback in National Energy Matrix: Analysis of Wind Energy Expansion.** Rochester, NY: Social Science Research Network, 13 jul. 2009. Disponível em: <https://papers.ssrn.com/abstract=1830407>. Acesso em: 18 nov. 2020.

**BAE, J.; DALL'ERBA, S.** The economic impact of a new solar power plant in Arizona: Comparing the input-output results generated by JEDI vs. IMPLAN. **Regional Science Policy & Practice**, v. 8,

<sup>1</sup> Cabe ressaltar que a última matriz insumo-produto nacional divulgada pelo IBGE é de 2015. Para maiores informações acessar o link: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9085-matriz-de-insumo-produto.html?=&t=resultados>

n. 1-2, p. 61–73, 2016.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2020. Disponível em:  
<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>.  
Acesso em: 18 nov. 2020.

**BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). Portaria MCTI nº 6.998, de 10 de maio de 2023.** [s.l.], 2023. Disponível  
em: [https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/legislacao/portarias/Portaria\\_MCTI\\_n\\_6998\\_de\\_10052023.html](https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/legislacao/portarias/Portaria_MCTI_n_6998_de_10052023.html). Acesso em: 21 fev. 2025.

CARVALHO, P.; MESQUITA, P.; ROCIO, M. **A rota metalúrgica de produção de silício grau solar: uma oportunidade para a indústria brasileira?**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 40, p. [205]-233, set. 2014. Disponível em: <http://pergamum/docs/000026/000026C0.pdf>.  
Acesso em: 17 ago. 2021.

FU, X. *et al.* Actions on climate change, Intended Reducing carbon emissions in China via optimal industry shifts: Toward hi-tech industries, cleaner resources and higher carbon shares in less-develop regions. **Energy Policy**, v. 102, p. 616–638, 1 mar. 2017.

**GREENER. Estudo Estratégico Mercado Fotovoltaico de Geração Distribuída - 2º Semestre 2020. São Paulo.** Disponível em: <https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategico-mercado-fotovoltaico-de-geracao-distribuida-2-semestre-de-2020/>. Acesso em: 10 jul. 2021

**GUilhoto, J. Análise de Insumo-Produto: Teoria e Fundamentos.** 2011.

HADDAD, E.; ARAÚJO, I.; PEROBELLI, F. **Estrutura das Matrizes de Insumo-Produto dos Arranjos Populacionais do Brasil, 2015** (Nota Técnica). São Paulo: Núcleo de Economia Regional e Urbana da Universidade de São Paulo (NEREUS/USP), 2015. Disponível em: <http://www.usp.br/nereus/?txdiscussao=estrutura-das-matrices-de-insumo-produto-dos-arranjos-populacionais-do-brasil-2015-nota-tecnica>. Acesso em: 21 fev. 2025.

HADDAD, E. A.; JÚNIOR, C. A. G.; NASCIMENTO, T. O. **MATRIZ INTERESTADUAL DE INSUMO-PRODUTO PARA O BRASIL: UMA APLICAÇÃO DO MÉTODO IIQAS.** **Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos**, v. 11, n. 4, p. 424–446, 2017.

HADDAD, E. A.; ARAÚJO, I. F.; PEROBELLI, F. S. **Matriz Inter-regional de Insumo-Produto para o Arranjo Populacional de Porto Alegre**, 2015. Núcleo de Economia Regional e Urbana da USP - NEREUS e Fundação Intituto de Pesquisas Econômicas – FIPE, 2020.

**HUNTINGTON, H. G. Creating Jobs With ‘Green’ Power Sources By.** 2009

IRENA – International Renewable Energy Agency. Disponível em:  
<https://www.irena.org/>. Acesso em: 18 nov. 2020.

ISARD, W. Interregional and Regional Input-Output Analysis: A Model of a Space-Economy. **The Review of Economics and Statistics**, v. 33, n. 4, p. 318–328, 1951.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPECIAIS. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**.

Disponível em: [http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/08.15.18.20/doc/Atlas\\_Brasileiro\\_Energia\\_Solar\\_2a\\_Edicao\\_rev-01-compactado.pdf](http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/08.15.18.20/doc/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao_rev-01-compactado.pdf).  
Acesso em: 12 mar. 2021

LEONTIEF, W. W. Quantitative Input and Output Relations in the Economic Systems of the United States. **The Review of Economics and Statistics**, v. 18, n. 3, p. 105–125, 1936.

LEONTIEF, W.; LEONTIEF, W. W. **Input-output Economics**. [s.l.] Oxford University Press, 1986.

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. **Input-Output Analysis: Foundations and Extensions**. [s.l.] Cambridge University Press, 2009.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES. **Portaria MCTI nº 5.109, de 16 de agosto de 2021** - DOU - Imprensa Nacional. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou>. Acesso em: 17 ago. 2021.

MONTOYA, M. A. *et al.* As relações intersetoriais do setor energético na economia brasileira: uma abordagem insumo-produto. **Revista Teoria e Evidência Econômica**, v. 21, n. 44, 10 set. 2015.

NAKANO, S.; ARAI, S.; WASHIZU, A. Development and application of an inter-regional input-output table for analysis of a next generation energy system. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 2834–2842, 1 fev. 2018.

OLIVEIRA, C.; GONÇALVES, R.; ROMERO, M. Impactos econômicos da energia eólica na costa sul do rs: uma abordagem tipo insumo produto. **Revista Econômica do Nordeste**, vol. 52, no 2, julho de 2021, p. 9–23, 2021.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO. **Empregos Verdes**. 20 de novembro de 2018, Disponível em: [http://www.ilo.org/lisbon/temas/WCMS\\_650825/lang-pt/index.htm](http://www.ilo.org/lisbon/temas/WCMS_650825/lang-pt/index.htm). Acesso em: 17 ago. 2021.

PEREIRA, E. B. *et al.* **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. p. 80, [s.d.]. 2017 PUCRS. Núcleo de Tecnologia em Energia Solar (NT-Solar) - Escola Politécnica. <https://www.pucrs.br/politecnica/nt-solar/>. Acesso em: 19 ago. 2021.

REIS, R. **[R]Evolução energética a caminho do desenvolvimento limpo**. p. 41, [s.d.]. 2013

SCHWER, R. K.; RIDDEL, M. **The potential economic impact of constructing and operating solar power generation facilities in Nevada**. [s.l.] EERE Publication and Product Library, 1 fev. 2004. Disponível em: <https://www.osti.gov/biblio/1216077>. Acesso em: 18 nov. 2020.

SOLIANO PEREIRA, O. *et al.* **Cenários para a matriz elétrica 2050**: aportes ao debate energético nacional e ao planejamento participativo de longo prazo. [s.l: s.n.]. 2015

**DOI Zenodo: 10.5281/zenodo.15126170**  
**Recebido em: 24/04/2024**  
**Aceito em: 25/03/2025**

## APÊNDICE

### APÊNDICE A-Tabela dos resultados do Cenário Realista

Região	R1				R2				R3				R4			
	PROD.	VAB	IMP.	EMPR.	PROD	VAB	IMP.	EMPR.	PROD	VAB	IMP.	EMPR.	PROD	VAB	IMP.	EMPR.
Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura	0,00	0,00	0,00	0	0,03	0,02	0,00	1	1,17	0,69	-0,01	16	3,84	2,05	-0,09	112
Indústrias extrativas	0,22	0,25	0,11	1	0,18	0,08	0,00	2	2,66	1,22	0,02	20	64,94	27,59	0,48	70
Produtos alimentares	0,02	0,01	0,00	0	0,13	0,02	0,00	1	0,57	0,09	0,00	2	3,14	0,54	0,03	12
Máquinas e equipamentos	0,81	0,41	0,18	2	3,82	0,78	0,03	8	9,11	2,04	0,05	25	26,60	5,93	0,21	66
Outras indústrias de manufatura	0,84	0,55	0,25	3	16,79	2,85	0,06	44	21,38	5,99	0,14	125	92,78	22,86	0,62	425
Eletricidade e gás	23,36	16,34	7,26	10	80,64	25,07	0,23	27	891,97	277,26	2,44	706	229,79	75,56	1,24	133
Água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	0,05	0,06	0,03	0	0,13	0,07	0,00	2	0,31	0,18	0,00	3	1,58	0,95	0,02	13
Construção	0,08	0,08	0,04	1	0,11	0,05	0,00	1	0,45	0,20	0,00	5	2,27	1,07	0,01	31
Comércio; reparação de veículos automotores e motocicletas	1,30	1,82	0,81	16	2,97	1,85	0,02	53	16,82	10,47	0,14	251	24,90	15,51	0,22	431
Transporte, armazenagem e correio	2,01	1,63	0,73	13	3,83	1,50	0,01	45	16,43	6,50	0,05	156	30,41	13,75	0,18	283
Alojamento e alimentação	0,21	0,23	0,10	4	0,15	0,07	0,00	4	1,07	0,51	0,00	22	2,37	1,18	0,02	52
Informação e comunicação	1,73	2,19	0,97	9	0,49	0,28	0,00	3	4,43	2,23	0,04	22	16,26	8,14	0,36	62
Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	2,45	3,45	1,53	6	1,02	0,64	0,01	3	14,87	9,28	0,14	43	27,37	17,41	0,35	56
Atividades imobiliárias	0,80	1,64	0,73	1	0,41	0,38	0,00	0	1,94	1,77	0,00	2	5,36	4,90	0,00	4
Atividades científicas, profissionais e técnicas	4,11	5,73	2,55	27	3,14	1,88	0,01	27	15,41	9,97	0,08	125	44,40	25,86	0,30	348
Atividades administrativas e serviços complementares	2,05	3,61	1,60	35	1,43	1,12	0,02	30	4,79	3,73	0,07	100	16,91	12,19	0,24	341
Administração pública, defesa e segurança social	0,10	0,15	0,07	0	0,22	0,16	0,00	2	1,98	1,43	0,00	16	2,62	1,85	0,00	19
Educação	0,13	0,22	0,10	1	0,14	0,11	0,00	2	0,66	0,52	0,00	10	1,28	1,02	0,01	20
Saúde humana e serviços sociais	0,00	0,01	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0	0,03	0,02	0,00	0	0,03	0,02	0,00	0
Artes, cultura, esporte e recreação	0,05	0,06	0,03	1	0,04	0,02	0,00	1	0,20	0,12	0,00	6	0,45	0,25	0,00	13
Outras atividades de serviços	0,22	0,25	0,11	6	0,22	0,11	0,00	7	0,98	0,50	0,01	28	2,51	1,22	0,02	69
Serviços domésticos	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0

Fonte: Resultados da Pesquisa. Elaboração dos autores.

## APÊNDICE B -Tabela dos resultados do Cenário Otimista

Região	R1				R2				R3				R4			
Setor	PROD.	VAB	IMP.	EMPR.	PROD	VAB	IMP.	EMPR.	PROD	VAB	IMP.	EMPR.	PROD	VAB	IMP.	EMPR.
Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura	0,00	0,00	0,00	0	0,06	0,04	0,00	1	2,64	1,56	-0,03	36	8,64	4,62	-0,19	252
Indústrias extrativas	0,50	0,25	0,01	1	0,41	0,18	0,00	4	5,99	2,74	0,04	45	146,11	62,09	1,07	157
Produtos alimentares	0,06	0,01	0,00	0	0,28	0,05	0,00	1	1,29	0,21	0,01	4	7,06	1,23	0,06	28
Máquinas e equipamentos	1,83	0,41	0,01	4	8,60	1,76	0,07	19	20,51	4,59	0,10	55	59,86	13,33	0,47	147
Outras indústrias de manufatura	1,88	0,55	0,01	7	37,78	6,42	0,13	99	48,10	13,48	0,32	280	208,75	51,44	1,39	957
Eletricidade e gás	52,56	16,34	0,13	22	181,45	56,40	0,53	61	2006,94	623,83	5,50	1590	517,03	170,02	2,78	299
Água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	0,11	0,06	0,00	1	0,29	0,17	0,00	4	0,70	0,40	0,01	7	3,55	2,13	0,04	29
Construção	0,19	0,08	0,00	2	0,24	0,10	0,00	3	1,01	0,44	0,00	12	5,12	2,41	0,03	71
Comércio; reparação de veículos automotores e motocicletas	2,93	1,82	0,02	36	6,68	4,16	0,05	120	37,85	23,57	0,30	564	56,03	34,90	0,50	970
Transporte, armazenagem e correio	4,53	1,63	0,01	30	8,61	3,36	0,03	101	36,96	14,63	0,12	351	68,41	30,95	0,40	637
Alojamento e alimentação	0,48	0,23	0,00	8	0,34	0,16	0,00	8	2,40	1,14	0,01	50	5,33	2,65	0,04	117
Informação e comunicação	3,90	2,19	0,02	20	1,11	0,62	0,01	7	9,96	5,01	0,09	50	36,58	18,32	0,82	139
Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	5,52	3,45	0,04	14	2,30	1,43	0,02	8	33,47	20,89	0,31	97	61,57	39,18	0,80	126
Atividades imobiliárias	1,79	1,64	0,00	1	0,93	0,85	0,00	1	4,36	3,99	0,00	4	12,07	11,03	0,01	9
Atividades científicas, profissionais e técnicas	9,24	5,73	0,03	61	7,07	4,23	0,03	61	34,67	22,43	0,18	281	99,89	58,18	0,68	784
Atividades administrativas e serviços complementares	4,62	3,61	0,05	79	3,21	2,52	0,05	68	10,78	8,40	0,17	224	38,04	27,43	0,53	767
Administração pública, defesa e segurança social	0,21	0,15	0,00	1	0,50	0,36	0,00	4	4,46	3,23	0,00	35	5,90	4,17	0,00	42
Educação	0,28	0,22	0,00	3	0,31	0,25	0,00	5	1,48	1,17	0,01	22	2,87	2,29	0,02	46
Saúde humana e serviços sociais	0,01	0,01	0,00	0	0,01	0,01	0,00	0	0,07	0,04	0,00	1	0,07	0,04	0,00	1
Artes, cultura, esporte e recreação	0,11	0,06	0,00	3	0,08	0,05	0,00	3	0,45	0,26	0,00	14	1,00	0,55	0,01	28
Outras atividades de serviços	0,50	0,25	0,00	13	0,49	0,25	0,00	17	2,20	1,12	0,02	63	5,65	2,75	0,04	155
Serviços domésticos	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0

Fonte: Resultados da Pesquisa.