



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA - PIMES

JEFFERSON VIEIRA BRITO DA HORA

**PRODUTIVIDADE, MÁ ALOCAÇÃO DE RECURSOS E EMISSÕES DE
POLUENTES**

Recife

2024

JEFFERSON VIEIRA BRITO DA HORA

**PRODUTIVIDADE, MÁ ALOCAÇÃO DE RECURSOS E EMISSÕES DE
POLUENTES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia do Centro de Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Economia.

Área de Concentração: Economia

Orientador: Prof. Dr. Paulo Henrique Pereira de Meneses Vaz

Recife

2024

Catálogo na Fonte
Bibliotecária Ângela de Fátima Correia Simões, CRB4-773

H811p Hora, Jefferson Vieira Brito da
Produtividade, má alocação de recursos e emissões de poluentes /
Jefferson Vieira Brito da Hora. - 2024.
70 folhas: il. 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Henrique Pereira de Meneses Vaz.
Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Federal de
Pernambuco, CCSA, 2024
Inclui referências e apêndices.

1. Produtividade Total de Fatores. 2. Alocação de recursos. 3. Emissão de
poluentes. I. Vaz, Paulo Henrique Pereira de Meneses (Orientador). II.
Título.

336 CDD (22. ed.) UFPE (CSA 2024 – 078)

JEFFERSON VIEIRA BRITO DA HORA

**PRODUTIVIDADE, MÁ ALOCAÇÃO DE RECURSOS E EMISSÕES DE
POLUENTES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia do Centro de Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Economia.

Aprovado em: 27/02/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Henrique Pereira de Meneses Vaz (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^o Dr. Henrique Veras de Paiva Fonseca (Examinador interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^o Dr. Diogo Baerlocher Carvalho (Examinador externo)
University of South Florida

Dedico a dissertação aos meus familiares, em especial, a minha esposa, pois tal homenagem é singela perto de sua dedicação em tornar esta conquista possível.

AGRADECIMENTOS

Peço licença ao saudoso Belchior para parafraseá-lo e afirmar, com muita convicção, que sou um "sujeito de sorte", pois este trabalho é fruto do apoio e das contribuições que tive dos que me cercam.

Patrícia da Hora, minha esposa e maior incentivadora, sempre esteve ao meu lado e, em momento algum, mesmo com as mais que eventuais ausências e privações, queixou-se de algo. Muito pelo contrário, seu amor, compreensão, estímulo e parceria tornaram este título possível. Assim como tudo que fazemos, isso também é por nós. Obrigado por existir na minha vida. Te amo!

Agradeço a minha família, em especial aos meus pais e minha sogra, que também foram muito compreensivos com a minha ausência e, na grande maioria das vezes, da minha esposa. Sirvo-me de uma licença acadêmico-poética e afirmo, com absoluta certeza, que há uma forte causalidade entre o que eu me tornei e o aprendizado que tenho com vocês.

Agradeço ao meu orientador, Paulo Vaz, que é meu professor de macro desde 2018, quando cursei macroeconomia 1 na graduação. Os diversos ensinamentos foram fundamentais para a concepção deste trabalho, que nasceu durante as aulas de Macro Avançada 2, evoluiu para um projeto e culminou nesta dissertação.

Agradeço aos membros da banca, pois as valiosas sugestões dadas durante defesa contribuíram de forma expressiva na melhoria do trabalho. Por fim, agradeço aos professores e colegas do PIMES, que proporcionaram um ambiente instigante e de alto nível ao longo de todo o mestrado.

Economics is on the side of humanity now

(Isaac Asimov)

RESUMO

Compreender as diferenças de produtividade entre os países é um dos problemas centrais da Ciência Econômica, em virtude de sua influência nos padrões de vida da população. Simultaneamente, as questões ambientais tornam-se cada vez mais relevantes, devido à necessidade de mitigação das emissões de gases de efeito estufa e do combate ao aquecimento global, exigindo a integração entre o desenvolvimento econômico e a preservação ambiental. Portanto, esta dissertação tem como objetivo incorporar as emissões de poluentes das firmas na investigação da má alocação dos recursos - *misallocation*, avaliando os potenciais ganhos de produção e a variação da quantidade de poluentes emitidos, quando os fatores de produção são alocados de forma eficiente. A partir das informações financeiras das empresas de capital aberto brasileiras e dos dados de emissões de gases de efeito estufa, a metodologia de [Hsieh and Klenow \(2009\)](#) é estendida, incorporando a emissão de poluentes nos cálculos. Observa-se que o grau de *misallocation* de 2022 está no mesmo patamar de 2010, todavia, há uma melhora na alocação eficiente nos anos mais recentes, com os potenciais ganhos de produção, após equalização dos produtos marginais das firmas, diminuindo de 181% para 71%, entre 2015 e 2022. Na avaliação do comportamento das emissões de poluentes, com a eliminação do *misallocation*, foi verificado que, para o ano de 2022, não só ocorreriam ganhos de produção da ordem de 30%, como a quantidade de poluentes por produto também diminuiria 31%. O *green misallocation* é obtido quando, na avaliação da má alocação dos recursos, os poluentes gerados já são incorporados nas funções de produção das empresas. Com realocação verde hipotética, verificam-se reduções substanciais nas emissões por produto, com a quantidade de poluentes caindo pela metade, contudo, a um custo muito elevado, pois o produto total é reduzido para apenas 10% de seu valor observado.

Palavras-chaves: Produtividade Total dos Fatores - PTF. Má alocação de recursos. Alocação eficiente. Emissões de poluentes. Dados a nível de firma.

ABSTRACT

Understanding differences in productivity between countries is one of the central problems in Economic Science, given its influence on the population's living standards. At the same time, environmental issues become increasingly relevant, due to the need to mitigate greenhouse gas emissions and combat global warming, requiring integration between economic development and environmental preservation. Therefore, this dissertation aims to incorporate firm pollutants emissions into the investigation of resource misallocation, evaluating potential production gains and variation in the amount of pollutants emitted when production factors are efficiently allocated. Using financial information from Brazilian publicly traded companies and greenhouse gas emission data, the methodology of [Hsieh and Klenow \(2009\)](#) is extended, incorporating pollutant emissions into the calculations. It is observed that the degree of misallocation in 2022 is at the same level as in 2010, however, there is an improvement in efficient allocation in recent years, with potential production gains decreasing from 181% to 71% between 2015 and 2022, after equalizing firm marginal products. When evaluating the behavior of pollutant emissions, with the elimination of misallocation, it was found that, for the year 2022, not only would there be production gains of around 30%, but the amount of pollutants per product would also decrease by 31%. Green misallocation is obtained when, in the assessment of the misallocation of resources, the pollutants generated are already incorporated into the companies production functions. With hypothetical green reallocation, substantial reductions in emissions per product are observed, with pollutant quantity halving. However, this comes at a high cost as total product is reduced to only 10% of its observed value.

Keywords: Total Factor Productivity - TFP. Misallocation. Efficient Allocation. Pollutant Emissions. Firm-level data.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição da $TFPQ$	36
Figura 2 – Distribuição da $TFPR$	37
Figura 3 – Correlação entre $TFPQ$ e $TFPR$ no setor de Energia Elétrica	38
Figura 4 – Capital, Trabalho, $MRPK$ e $MRPL$: Alocação Observada e Eficiente .	40
Figura 5 – Potenciais Ganhos de Produção com a Equalização das $TFPR$ Intra-setorial	41
Figura 6 – Distribuição das Produtividades Físicas e da Receita	42
Figura 7 – Correlação entre $TFPQ$ e $TFPR$ para o Ano de 2022	43
Figura 8 – Capital e $MRPK$ dos Setores Energia e Metalurgia e Siderurgia: Alocação Observada e Eficiente	44
Figura 9 – Correlação das Produtividades e Emissões por Produto	46
Figura 10 – Distribuição Produtividades Físicas e da Receita (Tradicional e Verde)	48
Figura 11 – Correlação entre $TFPQ$ e Variação no Tamanho das Firms Com Alocação Verde	50
Figura 12 – Correlação entre $TFPQ$ e $gTFPQ$	51
Figura 13 – Teste de Robustez α_s : Potenciais Ganhos de Produção com a Equalização das $TFPR$ Intra-setorial	55
Figura 14 – Correlação entre Variação do Tamanho da Firma e Tamanho da Firma Observado	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Informações dos Setores da CVM	30
Tabela 2 – Sumário Estatístico do Painel de Empresas Listadas	31
Tabela 3 – Valores do <i>Capital Share</i> α_s por Setor	32
Tabela 4 – Sumário Estatístico do Painel de Emissões	33
Tabela 5 – Informações do Corte Transversal de 2022	34
Tabela 6 – Dispersão da <i>TFPQ</i>	36
Tabela 7 – Dispersão da <i>TFPR</i>	37
Tabela 8 – Correlação entre <i>TFPQ</i> e <i>TFPR</i>	38
Tabela 9 – Potenciais Ganhos de Produção para os Anos de 2015, 2017 e 2022	41
Tabela 10 – Dispersão das Produtividades Físicas e da Receita	43
Tabela 11 – Correlação entre <i>TFPQ</i> e <i>TFPR</i>	43
Tabela 12 – Comportamento das Emissões com a Alocação Eficiente	45
Tabela 13 – Comportamento das Emissões com a Alocação Eficiente - 2022	47
Tabela 14 – Dispersão da gA_{si} e $gTFPR_{si}$	48
Tabela 15 – Comportamento do Produto e Emissões com a Alocação Eficiente Verde - 2022	49
Tabela 16 – Teste de Robustez σ : Potenciais Ganhos de Produção e Variação de Emissões	54
Tabela 17 – Teste de Robustez <i>Green Misallocation</i> σ : Variação do Produto e Va- riação das Emissões	54
Tabela 18 – Teste de Robustez α_s : Potenciais Ganhos de Produção e Variação de Emissões	56
Tabela 19 – Teste de Robustez <i>Green Misallocation</i> α_s : Variação do Produto e Va- riação das Emissões	56
Tabela 20 – Teste de Robustez ψ : Retornos de Escala na Emissão de Poluentes	57

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	MISALLOCATION E EMISSÕES DE POLUENTES	15
2.1	<i>MISALLOCATION</i>	15
2.2	EMISSÕES DE POLUENTES	17
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
3.1	MODELO CANÔNICO	20
3.2	COMPORTAMENTO DAS EMISSÕES	24
3.3	<i>GREEN MISALLOCATION</i>	26
4	DADOS	29
4.1	INFORMAÇÕES FINANCEIRAS A NÍVEL DE FIRMA	29
4.2	EMISSÃO DE POLUENTES A NÍVEL DE FIRMA	32
4.3	CRUZAMENTO DOS DADOS DE INFORMAÇÕES FINANCEIRAS E EMISSÕES	34
5	RESULTADOS	35
5.1	<i>MISALLOCATION</i> NAS EMPRESAS DE CAPITAL ABERTO	35
5.2	COMPORTAMENTO DAS EMISSÕES COM A ALOCAÇÃO EFICI- ENTE	41
5.3	RESULTADOS DO <i>GREEN MISALLOCATION</i>	47
6	ROBUSTEZ	53
6.1	VARIAÇÃO DA ELASTICIDADE DE SUBSTITUIÇÃO ENTRE BENS DIFERENCIADOS	53
6.2	VARIAÇÃO DA ELASTICIDADE DO PRODUTO EM RELAÇÃO AO CAPITAL	54
6.3	RETORNOS DE ESCALA NAS EMISSÕES DE POLUENTES	56
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
	REFERÊNCIAS	62
	APÊNDICE A – SOLUÇÃO DO MODELO CANÔNICO	64

1 INTRODUÇÃO

Buscar entender as diferenças de produtividade dos países, e suas causas, é uma das questões fundamentais na Ciência Econômica, visto que, há um consenso, na literatura de desenvolvimento, que essa diferença é um dos fatores determinantes da disparidade dos padrões de vida entre países (RESTUCCIA; ROGERSON, 2017).

As preocupações ambientais têm sido objeto de considerável atenção na sociedade, suscitando especial interesse entre os formuladores de políticas públicas. Nesse contexto, à medida que confrontamos desafios como a imperativa redução das emissões de gases de efeito estufa, a adaptação às mudanças climáticas e a contenção do aquecimento global, é essencial compreender como a alocação dos recursos e a busca pela produtividade podem impactar o meio ambiente.

Existe uma extensa literatura que emprega a análise envoltória de dados - *Data envelopment analysis (DEA)* para integrar aspectos ambientais no cálculo da produtividade total dos fatores - *total factor productivity (TFP)*. Contudo, essa integração é realizada de forma não paramétrica, ou seja, sem utilizar as funções de produção clássicas da teoria econômica. Recentemente, vários estudos têm utilizado o método desenvolvido em Hsieh and Klenow (2009) para examinar a alocação ineficiente de recursos em setores específicos, como o de indústrias extrativas e, sobretudo, o setor de energia. No entanto, tais estudos não levam em consideração as emissões de poluentes ou as incorporam nas funções de produção das empresas, o que poderia afetar tanto o grau de má alocação encontrado quanto a conclusão de que uma alocação eficiente de capital e trabalho seria ideal para a sociedade, visto que tal alocação "eficiente" poderia resultar no aumento da poluição. Em Acemoglu et al. (2010), os autores chegam a uma conclusão similar, mostrando que existe equilíbrio de *laissez-faire*, ou seja, descentralizado e sem qualquer intervenção política, no qual a inovação ocorre apenas no setor poluente, e a taxa de crescimento da produtividade, utilizando insumos poluentes, é crescente, enquanto a produtividade, utilizando insumos limpos, é constante. Por outro lado, caso sejam consideradas as emissões de poluentes, também é possível que se descubra que a alocação eficiente não apenas aumenta a produção da economia como também reduz as emissões.

Em Restuccia and Rogerson (2008) e Hsieh and Klenow (2009), são avaliados os efeitos da má alocação de recursos entre as empresas, destacando que essa alocação ineficiente

contribuiu significativamente para a diferença de produtividade entre países, além de evidenciarem potenciais ganhos resultantes de uma alocação mais eficaz. Através da utilização de microdados de empresas dos Estados Unidos, China e Índia, foram fornecidas evidências quantitativas sobre o impacto da má alocação nos níveis de produtividade, revelando que distorções na alocação de recursos explicariam cerca de até 60% da perda de produtividade observada na China e Índia em comparação com os Estados Unidos (HSIEH; KLENOW, 2009). Posteriormente, essa temática foi abordada em estudos específicos para outros países, como o de Vasconcelos (2017), que identificou evidências de má alocação no setor manufatureiro brasileiro.

Utilizando abordagem similar a de Hsieh and Klenow (2009), Yu et al. (2021), Yu et al. (2022) e Wu et al. (2022) também investigam os impactos da má alocação no setor de geração de energia elétrica na China, incluindo em plantas de energia renovável, enquanto Zhang and Kong (2022) examinam as relações entre a Produtividade Total dos Fatores das empresas de energia e as políticas de transição energética na China.

No contexto brasileiro, a questão ambiental assume uma importância ainda maior, devido à abundância de recursos naturais e a sua biodiversidade singular. O país enfrenta o desafio de conciliar o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental, especialmente em setores altamente dependentes de recursos naturais, como mineração, exploração e refino de petróleo e geração de energia. Diante disso, esta dissertação visa integrar a emissão de poluentes das firmas na investigação do *misallocation*, bem como, avaliar seus impactos na TFP, os possíveis ganhos de produção com a alocação eficiente e as variações nas quantidades de poluentes gerados.

Além desta introdução, no segundo capítulo são abordados conceitos relativos à má alocação de recursos, bem como, seu papel no crescimento econômicos dos países. Adicionalmente, é ilustrado um panorama sobre a geração de poluentes pela atividade humana. No mais, são apresentadas diretrizes que padronizam a divulgação das emissões de gases do efeito estufa pelas firmas, chamadas de Greenhouse Gas (GHG) Protocol.

As metodologias utilizadas nos cálculos e avaliações do grau de *misallocation*, potenciais ganhos de produção e comportamento das emissões de poluentes são detalhadas no terceiro capítulo. O modelo tradicional de Hsieh and Klenow (2009) é derivado e são implementadas modificações que agregam as emissões de poluentes das empresas nas análises, possibilitando verificar o comportamento das emissões de poluentes por produto, caso os fatores de produção fossem alocados de maneira eficiente, e obter o *green misalloca-*

tion, que leva em consideração os poluentes emitidos pelas firmas, na análise da alocação eficiente.

A aquisição dos dados necessários às análises realizadas nesta dissertação são detalhadas no quarto capítulo, no qual são apresentadas as principais fontes dos dados, tanto das informações financeiras (valor adicionado, capital e trabalho) quanto dos dados de emissões de poluentes das firmas. As metodologias aplicadas na elaboração dos painéis de informações financeiras e emissões de poluentes, bem como, do corte transversal para o ano de 2022, são exibidas e também são apresentados os sumários estatísticos das bases de dados construídas.

O quinto capítulo é destinado à exposição dos resultados e realização de análises. São expostos resultados do grau *misallocation* para empresas de capital aberto, no período de 2010-2022, incluindo a apresentação das distribuições das produtividades e suas medidas de dispersão. Também é exibido, para o ano de 2022, o comportamento das emissões de poluentes, caso os recursos fossem alocados de maneira eficiente. No mais, é calculado o *green misallocation* e são verificadas as variações no produto e emissões de poluentes quando ocorre a alocação eficiente verde. No sexto capítulo, de modo a testar a robustez dos resultados encontrados, os cálculos são refeitos variando os valores dos parâmetros σ (elasticidade de substituição entre bens diferenciados) e α_s (elasticidade do produto em relação ao capital).

Por fim, o sétimo capítulo traz as considerações finais, buscando sintetizar as principais ideias, procedimentos e resultados obtidos, além de estabelecer, com base nas análises realizadas, pontos adicionais de discussão para o tema.

2 MISALLOCATION E EMISSÕES DE POLUENTES

Este capítulo está dividido em duas seções (i) *Misallocation* e (ii) Emissões de Poluentes. Na Seção 2.1, são apresentados conceitos relativos à má alocação dos recursos, explicando o papel que seu estudo desempenha na Ciência Econômica, principalmente na literatura de desenvolvimento, além de sua importância para crescimento econômico dos países. Já na Seção 2.2, é exibido um panorama relativo às emissões de poluentes e são detalhados os conceitos de emissões de Escopo 1, 2 e 3, conforme definidos pelo *GHG Protocol*.

2.1 MISALLOCATION

Em [Restuccia and Rogerson \(2013\)](#) e [Restuccia and Rogerson \(2017\)](#), os autores traçam um panorama da literatura recente que relaciona produtividade e *misallocation*, apresentando os conceitos e estudos desenvolvidos nesta área, com destaque para o fato de que, possivelmente, países com menores taxas de produtividade são menos eficientes em alocar os fatores de produção disponíveis.

Uma parcela significativa das diferenças do produto *per capita* entre países é explicada pelas diferenças na produtividade total dos fatores, com a produtividade agregada não dependendo apenas da TFP das unidades de produção individuais, mas também do fato dos recursos estarem mal alocados entre unidades de produção heterogêneas.

A alocação ineficiente de recursos tem sido amplamente abordada em diversas correntes da literatura econômica, tendo efeitos importantes no estudo da produtividade das empresas e da economia em geral. Uma maneira de quantificar o impacto da *misallocation* é medir o quanto de produto poderia ser ganho ao realocar capital e trabalho entre as firmas.

Duas principais abordagens são utilizadas na literatura na tentativa de fornecer respostas às perguntas relacionadas às disparidades de produtividade entre os países e a alocação ineficiente de recursos. Essas abordagens são conhecidas como direta e indireta.

A principal característica da abordagem direta é a seleção de fatores considerados relevantes para a alocação ineficiente, buscando encontrar medidas diretas desses fatores para que, posteriormente, sejam utilizados em modelo econômicos, de modo a avaliar

de maneira quantitativa o impacto desses fatores na geração de *misallocation* e na TFP agregada. Um exemplo de um fator amplamente estudado são as distorções no mercado de crédito.

Os métodos diretos enfrentam algumas dificuldades, como, por exemplo, a obtenção das medidas das fontes de má alocação, já que, caso reflitam disposições discricionárias, sua medição pode ser muito difícil. Além disso, os impactos de qualquer fator específico são bastante reduzidos quando considerados em relação à magnitude das disparidades observadas entre economias desenvolvidas e em desenvolvimento.

A abordagem indireta, na análise da alocação eficiente, busca examinar o efeito agregado do conjunto completo de fatores subjacentes, sem necessariamente identificar cada fonte específica de má alocação, ou seja, ao contrário da abordagem direta, que procura quantificar os efeitos de fatores individuais, a abordagem indireta se concentra na avaliação global da má alocação. Dessa forma, a abordagem indireta oferece uma visão mais ampla e holística do *misallocation*, permitindo uma compreensão abrangente de seus efeitos sobre produtividade.

Como esta dissertação utiliza a metodologia indireta, é interessante um maior detalhamento dessa abordagem. A alocação eficiente de insumos resulta na igualdade dos produtos marginais entre todos os produtores a um nível determinado de agregação. Consequentemente, ao analisar diretamente a variação nos produtos marginais, é possível quantificar a extensão da má alocação sem a necessidade de identificar, explicitamente, a fonte do *misallocation*. Embora essa abordagem exija certa estrutura, diferentemente da abordagem direta, não demanda a especificação de um modelo completo.

Algumas ressalvas devem ser consideradas em relação à abordagem indireta. A primeira diz respeito à natureza da heterogeneidade nas funções de produção entre os produtores. Qualquer variação nas proporções de capital e trabalho é interpretada como má alocação, embora possa ser apenas uma diferença tecnológica entre as empresas. O segundo ponto refere-se aos custos de ajustamento, pois a literatura indica a existência de custos consideráveis de ajuste, tanto para o trabalho quanto para o capital, a nível de firma. Isso sugere que os produtos marginais do capital e do trabalho podem variar entre os produtores devido a esses custos de ajuste e a choques transitórios específicos da firma. Além disso, erros de medição nos dados das empresas irão gerar diferenças nos produtos marginais entre as firmas, mesmo quando inexistentes. No mais, as perdas de produtividade decorrentes do *misallocation* relatadas utilizando a abordagem indireta são,

tipicamente, muito superiores às perdas associadas as relatadas utilizando a abordagem direta.

A má alocação de recursos pode ser oriunda de diversas fontes, sejam decisões legais, como características do código tributário, bem como, disposições discricionárias por parte do governo ou de outras entidades, como bancos, que favorecem ou penalizam empresas específicas, influenciando até mesmo as decisões de entrada e saída dessas firmas. Além disso, imperfeições de mercado como regulação, direitos de propriedade, fricções financeiras e assimetria de informação, também podem contribuir para o *misallocation*. Recentemente, a literatura sobre a má alocação de recursos também tem incorporado aspectos como discriminação, cultura e normas sociais, que podem resultar na alocação ineficiente de talentos no mercado de trabalho.

2.2 EMISSÕES DE POLUENTES

Desde os tempos pré-industriais até o presente, é inegável o papel desempenhado pelas atividades humanas na geração de poluentes. Conforme [Masson-Delmotte et al. \(2021\)](#), a influência humana no aquecimento climático é observável em diversas esferas, abarcando a atmosfera, os oceanos e a superfície terrestre.

O dióxido de carbono se destaca como o principal catalisador das mudanças climáticas globais, com as atividades humanas desempenhando um papel significativo, tanto em sua produção quanto na emissão de outros gases de efeito estufa. Essas emissões têm experimentado um aumento contínuo desde os estágios iniciais da era industrial, ocasionando modificações no equilíbrio energético da Terra e desencadeando consequências climáticas substanciais ([JOHNSON et al., 2007](#)).

Diante desse cenário, a urgente necessidade de reduzir as emissões de poluentes tem sido amplamente reconhecida e a sustentabilidade tornou-se um tópico de crescente importância em todo o mundo, mobilizando governos, sociedade civil e empresas a adotar uma ampla gama de novas práticas. Seguindo o apelo dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU e o crescente foco dos investidores em relatórios não financeiros, um número cada vez maior de empresas está medindo, divulgando e gerenciando riscos e oportunidades de sustentabilidade. Como destacado por [Apergis, Poufinas and Antonopoulos \(2022\)](#), o desempenho em métricas ambientais, sociais e de governança (ASG) é considerado um fator importante que reflete a capacidade das empresas de gerar

valor e executar estratégias eficazes.

Tendo como um dos objetivos padronizar a divulgação das informações de emissões de poluentes, o Protocolo de Gases de Efeito Estufa - *GHG Protocol* é um padrão amplamente reconhecido globalmente para a mensuração e gestão das emissões de gases de efeito estufa. Estabelecido em 1990, para atender à necessidade de uma estrutura consistente de relatórios nesse campo, o *GHG Protocol* colabora com governos, associações industriais, ONGs, corporações e outras entidades para oferecer as diretrizes de cálculo de emissões mais utilizadas em todo o mundo. Com um papel central na promoção da descarbonização em operações públicas e privadas, o *GHG Protocol* fornece um quadro unificado para o gerenciamento de emissões. Assim, organizações que buscam soluções de contabilidade de carbono devem garantir a adoção de uma plataforma de descarbonização alinhada com os princípios e diretrizes do protocolo.

Em [Monzoni \(2008\)](#), o autor explica que, buscando delinear as fontes de emissões diretas e indiretas, melhorar a transparência, ser aplicável a diversos tipos de organização e diferentes tipos de políticas relacionadas à mudança do clima, foram definidos três tipos de escopos de emissões, para fins de contabilização e elaboração do inventário de gases do efeito estufa, os chamados Escopo 1, 2 e 3.

O Escopo 1 abrange as emissões diretas de gases de efeito estufa originadas de fontes que são propriedade ou estão sob controle operacional direto de uma organização. Estas emissões são geradas por uma variedade de atividades, tais como a geração de eletricidade, calor ou vapor em fontes estacionárias como caldeiras, fornos e turbinas, bem como, o processamento ou fabricação de produtos químicos e materiais. Além disso, as emissões associadas ao transporte de materiais, produtos, resíduos e colaboradores em veículos pertencentes à organização também são consideradas no Escopo 1. Outras fontes de emissões diretas incluem fugas intencionais ou não de equipamentos próprios, como descargas de gases de efeito estufa na operação de equipamentos, tampas, embalagens e tanques, emissões de metano em minas de carvão e ventilação, além de emissões de hidrofluorcarbonetos (HFCs) de equipamentos de refrigeração e ar condicionado e fugas de metano relacionadas ao transporte de gás.

O Escopo 2 diz respeito às emissões indiretas de gases de efeito estufa, oriundas da aquisição de energia elétrica e térmica consumida por uma empresa, compreendendo a energia que é comprada ou trazida para os limites operacionais da organização. Para muitas empresas, essa aquisição de energia representa uma das principais fontes de emissões de

poluentes e, conseqüentemente, também representa uma oportunidade significativa para redução de suas emissões. A contabilização dessas emissões permite uma avaliação dos riscos e oportunidades associados às variações nos custos de energia e emissões.

As emissões indiretas, provenientes de atividades anteriores ao fornecedor de energia elétrica da empresa, como prospecção, perfuração de poços, queima de gases descartados e transporte na cadeia de energia, são categorizadas no Escopo 3. Essa categoria permite abordar todas as outras emissões indiretas relacionadas às atividades da empresa que ocorrem em fontes não pertencentes ou não controladas pela empresa. Conhecidas também como emissões da cadeia de valor, as emissões do Escopo 3 são todas as emissões indiretas que ocorrem na cadeia de suprimentos a montante e a jusante da empresa reportante, categorizadas em 15 diferentes categorias conforme definido pelo Protocolo GHG, incluindo viagens de negócios, disposição de resíduos e aquisição de bens e serviços.

Portanto, a divulgação pública dos inventários de emissões, que agrega as emissões Escopo 1, 2 e 3, é crucial para promover transparência e responsabilidade corporativa. Isso proporciona informações relevantes sobre a pegada de carbono das empresas, contribuindo para sua credibilidade e imagem. Além disso, o acesso amplo a esses dados é essencial, pois as emissões afetam toda a sociedade, garantindo assim um direito básico aos cidadãos e gestores públicos e privados.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 MODELO CANÔNICO

O modelo teórico desenvolvido por [Hsieh and Klenow \(2009\)](#) foi pioneiro no cálculo do *misallocation* oriundo da existência de distorções a nível de firma, que afetam a alocação ótima dos recursos (capital e trabalho) intra-setorialmente. Estudos posteriores como [Oberfield \(2013\)](#), [Dias, Marques and Richmond \(2016\)](#), [Vasconcelos \(2017\)](#) e [Chen, Restuccia and Santaaulàlia-Llopis \(2023\)](#) incorporaram componentes adicionais na teoria, como a possibilidade de realocação dos recursos entre setores, inclusão de insumos como fator de produção, complementariedade entre setores e choques climáticos.

Este trabalho acompanhará o modelo canônico, em que é assumida uma economia com bem final único Y , produzido por uma firma representativa em uma mercado de competição perfeita. A firma representativa combina o produto Y_s de S indústrias utilizando uma função de produção Cobb-Douglas:

$$Y = \prod_{s=1}^S Y_s^{\theta_s} \quad (1)$$

Considerando que $\sum_{s=1}^S \theta_s = 1$, a minimização dos custos implica que a parcela de cada setor na economia é dada por:

$$\theta_s = \frac{P_s Y_s}{P Y} \quad (2)$$

O preço do produto Y_s de cada setor é dado por P_s , enquanto P é o preço do bem final da economia, que será assumido como o numerário e, com isso, $P = 1$. O mercado a nível de firma é definido como uma competição monopolística, cujo bem intermediário Y_s é uma *CES aggregate function* (função de elasticidade de substituição constante agregada) com M_s produtos diferenciados:

$$Y_s = \left(\sum_{i=1}^{M_s} Y_{si}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \quad (3)$$

O parâmetro σ mede a elasticidade de substituição entre os bens diferenciados e Y_{si} é o produto da firma i do setor s . A maximização dos lucros do setor implica na demanda inversa de cada variedade:

$$P_{si} = P_s Y_s^{\frac{1}{\sigma}} Y_{si}^{-\frac{1}{\sigma}} \quad (4)$$

O termo $P_s Y_s^{\frac{1}{\sigma}}$ não é observado e por isso pode ser igualado a 1. Essa igualdade não afeta as produtividades relativas e os ganhos de produção, pois não há realocação de

recursos entre os setores (DIAS; MARQUES; RICHMOND, 2016). Tal premissa é equivalente a igualar $\kappa_s = \frac{(P_s Y_s)^{-\frac{1}{\sigma-1}}}{P_s} = 1$ em Hsieh and Klenow (2009).

Cada bem diferenciado é determinado por uma função de produção Cobb-Douglas a nível de firma:

$$Y_{si} = A_{si} K_{si}^{\alpha_s} L_{si}^{1-\alpha_s} \quad (5)$$

O estoque de capital da firma, trabalho e produtividade total dos fatores da firma i são determinados por K_{si} , L_{si} e A_{si} , respectivamente. O *capital share* α_s pode ser diferente para cada setor, contudo, é o mesmo intra-setorialmente.

É possível identificar, separadamente, as distorções que afetam o capital e trabalho, simultaneamente, das distorções que afetam, separadamente, o produto marginal de um dos recursos em relação ao outro. Dessa forma, são introduzidos dois tipos de distorções no modelo: (i) uma distorção de produto $\tau_{Y_{si}}$, que aumenta os produtos marginais do capital e trabalho na mesma proporção e (ii) uma distorção de capital $\tau_{K_{si}}$, que aumenta o produto marginal do capital em relação ao trabalho.

Como exemplo, o *wedge* (distorção) do capital $\tau_{K_{si}}$ é esperado ser alto para firmas que possuem dificuldades de acesso a crédito, enquanto o $\tau_{Y_{si}}$ provavelmente será alto para firmas enfrentam restrições de tamanho e baixo para empresas que recebem subsídios. Considerando as distorções, o lucro da firma i é dado por:

$$\pi_{si} = (1 - \tau_{Y_{si}}) P_{si} Y_{si} - \omega L_{si} - (1 + \tau_{K_{si}}) R K_{si} \quad (6)$$

Onde R e ω são os custos do capital e salários, respectivamente. A maximização do lucro da firma leva à condição padrão em que seu preço é um *markup* fixo sobre seu custo marginal:

$$P_{si} = \frac{\sigma}{\sigma - 1} \left(\frac{R}{\alpha_s} \right)^{\alpha_s} \left(\frac{\omega}{1 - \alpha_s} \right)^{1-\alpha_s} \frac{(1 + \tau_{K_{si}})^{\alpha_s}}{A_{si}(1 - \tau_{Y_{si}})} \quad (7)$$

As condições de primeira ordem, para maximização do lucro, também implicam em:

$$\frac{K_{si}}{L_{si}} = \frac{\alpha_s}{1 - \alpha_s} \frac{\omega}{R} \frac{1}{(1 + \tau_{K_{si}})} \quad (8)$$

$$L_{si} \propto \frac{A_{si}^{\sigma-1} (1 - \tau_{Y_{si}})^\sigma}{(1 + \tau_{K_{si}})^{\alpha_s(\sigma-1)}} \quad (9)$$

$$Y_{si} \propto \frac{A_{si}^\sigma (1 - \tau_{Y_{si}})^\sigma}{(1 + \tau_{K_{si}})^{\alpha_s(\sigma)}} \quad (10)$$

Nota-se que a alocação dos recursos depende tanto dos níveis de TFP da firma quanto das distorções que ela enfrenta. Tal fato faz com que ocorram diferenças nas receitas

marginais do trabalho e capital entre as firmas, que seriam equalizadas caso não houvesse distorções.

Ainda a partir das condições de primeira ordem, é possível observar que as receitas marginais do capital e trabalho ($MRPK_{si}$, e $MRPL_{si}$) são proporcionais à receita ($P_{si}Y_{si}$) por capital e trabalho, respectivamente:

$$MRPK_{si} = \alpha_s \frac{\sigma - 1}{\sigma} \frac{P_{si}Y_{si}}{K_{si}} = R \frac{1 + \tau_{K_{si}}}{1 - \tau_{Y_{si}}} \quad (11)$$

$$MRPL_{si} = (1 - \alpha_s) \frac{\sigma - 1}{\sigma} \frac{P_{si}Y_{si}}{L_{si}} = \omega \frac{1}{(1 - \tau_{Y_{si}})} \quad (12)$$

As equações acima também são utilizadas para encontrar os valores das distorções enfrentadas por cada firma:

$$1 + \tau_{K_{si}} = \frac{\alpha_s}{1 - \alpha_s} \frac{\omega L_{si}}{R K_{si}} \quad (13)$$

$$1 - \tau_{Y_{si}} = \frac{\sigma}{\sigma - 1} \frac{\omega L_{si}}{(1 - \alpha_s) P_{si} Y_{si}} \quad (14)$$

Para um mesmo setor, as firmas equalizam suas receitas marginais do capital e trabalho após o pagamento de tributos, portanto, antes de seu pagamento, há dispersão nas receitas marginais devido às distorções. As equações acima permitem estimar os *wedges* a partir das informações da receita (ou valor adicionado), fatores de produção e dos parâmetros σ e α_s .

Conforme [Foster, Haltiwanger and Syverson \(2008\)](#), há uma distinção entre duas medidas da produtividade total dos fatores a nível de firma, sendo uma delas o resíduo de Solow tradicional, que mostra o quanto uma firma é produtiva em termos de produto "físico" e denominado $TFPQ$ e a outra é a $TFPR$, que mede o quanto a firma é produtiva em termos de receita:

$$TFPQ_{si} = A_{si} = \frac{Y_{si}}{K_{si}^{\alpha_s} L_{si}^{(1-\alpha_s)}} \quad (15)$$

$$TFPR_{si} = P_{si} A_{si} = \frac{P_{si} Y_{si}}{K_{si}^{\alpha_s} L_{si}^{(1-\alpha_s)}} \quad (16)$$

Na ausência de distorções, mais capital e trabalho são alocados nas plantas com maiores produtividades físicas até o ponto em que a maior quantidade de produto Y_{si} resulta em um preço mais baixo P_{si} , que equaliza sua produtividade da receita a de plantas com menor produção, logo a $TFPR$ não varia entre as empresas de um mesmo setor. A partir das equações 7, 11 e 12, podemos mostrar que $TFPR_{si}$ é proporcional à média geométrica

dos produtos da receita marginal do capital e trabalho:

$$\begin{aligned}
TFPR_{si} &= P_{si} A_{si} = \frac{\sigma}{\sigma - 1} \left(\frac{R}{\alpha_s} \right)^{\alpha_s} \left(\frac{\omega}{1 - \alpha_s} \right)^{1 - \alpha_s} \frac{(1 + \tau_{K_{si}})^{\alpha_s}}{1 - \tau_{Y_{si}}} \\
&= \frac{\sigma}{\sigma - 1} \left(\frac{MRPK_{si}}{\alpha_s} \right)^{\alpha_s} \left(\frac{MRPL_{si}}{1 - \alpha_s} \right)^{1 - \alpha_s} \\
&\propto (MRPK_{si})^{\alpha_s} (MRPL_{si})^{(1 - \alpha_s)} \propto \frac{(1 + \tau_{K_{si}})^{\alpha_s}}{1 - \tau_{Y_{si}}}
\end{aligned} \tag{17}$$

Exceto pelos *wedges*, os componentes da $TFPR_{si}$ são parâmetros fixos setorialmente, portanto, sem a existência das distorções, a produtividade da receita não varia para um mesmo setor, como já previsto.

Dado que, para uma indústria, $K_s = \sum_{i=1}^{M_s} K_{si}$ e $L_s = \sum_{i=1}^{M_s} L_{si}$ representam o capital e trabalho agregados, que TFP_s representa sua produtividade total dos fatores e considerando que o setor é uma firma representativa, cuja função de produção também é uma Cobb-Douglas, com alguma álgebra, obtém-se:

$$Y_s = TFP_s K_s^{\alpha_s} L_s^{1 - \alpha_s} \tag{18}$$

$$TFP_s = \left[\sum_{i=1}^{M_s} \left(A_{si} \frac{\overline{TFPR}_s}{TFPR_{si}} \right)^{\sigma - 1} \right]^{\frac{1}{\sigma - 1}} \tag{19}$$

O termo \overline{TFPR}_s é proporcional à média geométrica da média ponderada das receitas marginais do capital e trabalho de um setor e representa a $TFPR$ observada:

$$\begin{aligned}
\overline{TFPR}_s &= \frac{\sigma}{\sigma - 1} \left[\frac{R}{\left(\alpha_s \sum_{i=1}^{M_s} \frac{1 - \tau_{Y_{si}}}{1 + \tau_{K_{si}}} \frac{P_{si} Y_{si}}{P_s Y_s} \right)} \right]^{\alpha_s} \left[\frac{\omega}{\left((1 - \alpha_s) \sum_{i=1}^{M_s} (1 - \tau_{Y_{si}}) \frac{P_{si} Y_{si}}{P_s Y_s} \right)} \right]^{1 - \alpha_s} \\
&= \frac{\sigma}{\sigma - 1} \left(\frac{\overline{MRPK}_s}{\alpha_s} \right)^{\alpha_s} \left(\frac{\overline{MRPL}_s}{1 - \alpha_s} \right)^{1 - \alpha_s} \propto (\overline{MRPK}_s)^{\alpha_s} (\overline{MRPL}_s)^{(1 - \alpha_s)}
\end{aligned} \tag{20}$$

Com os valores de \overline{MRPK}_s e \overline{MRPL}_s sendo determinados por:

$$\overline{MRPK}_s = \frac{R}{\left(\sum_{i=1}^{M_s} \frac{1 - \tau_{Y_{si}}}{1 + \tau_{K_{si}}} \frac{P_{si} Y_{si}}{P_s Y_s} \right)} \tag{21}$$

$$\overline{MRPL}_s = \frac{\omega}{\left(\sum_{i=1}^{M_s} (1 - \tau_{Y_{si}}) \frac{P_{si} Y_{si}}{P_s Y_s} \right)} \tag{22}$$

Se receitas marginais do capital e trabalho forem equalizadas entre as firmas de um mesmo setor e, conseqüentemente, suas produtividades da receita, obtém-se que $\overline{TFPR}_s = TFPR_{si}$. Assim, dá Equação 19 temos que a TFP da indústria será:

$$\bar{A}_s = \left(\sum_{i=1}^{M_s} A_{si}^{\sigma - 1} \right)^{\frac{1}{\sigma - 1}} \tag{23}$$

Como a produção das firmas Y_{si} não é observada, e sim sua receita $P_{si}Y_{si}$, não é possível obter o valor de A_{si} diretamente de Equação 15. Utilizando a Equação 4 em 15, obtém-se uma expressão com a qual é possível encontrar o valor de A_{si} :

$$A_{si} = \kappa \frac{(P_{si}Y_{si})^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}}{K_{si}^{\alpha_s} L_{si}^{(1-\alpha_s)}} \quad (24)$$

O escalar $\kappa_s = \frac{(P_s Y_s)^{-\frac{1}{\sigma-1}}}{P_s}$ não é observado e pode ser igualado a 1, mantendo preservadas as produtividades relativas e ganhos de realocação.

Combinando as equações 1 e 18, é possível obter o produto agregado da economia como uma função dos fatores de produção setoriais agregados e sua TFP:

$$Y = \prod_{s=1}^S (TFP_s K_s^{\alpha_s} L_s^{1-\alpha_s})^{\theta_s} \quad (25)$$

Finalmente, para cada setor, a razão entre o produto observado Y e o produto eficiente Y^* , obtido quando a $TFPR$ das firmas é equalizada, portanto com $TFP_s = \bar{A}_s$, fornece o grau de *misallocation* da indústria e, conseqüentemente, os possíveis ganhos de produção quando os recursos são alocados de forma eficiente. A agregação de todos os setores, utilizando a função Cobb-Douglas em 1, fornece o *misallocation* e ganhos de produção para a economia.

$$\frac{Y}{Y^*} = \prod_{s=1}^S \left[\sum_{i=1}^{M_s} \left(\frac{A_{si} \overline{TFPR}_s}{\bar{A}_s \overline{TFPR}_{si}} \right)^{\sigma-1} \right]^{\frac{\theta_s}{\sigma-1}} \quad (26)$$

3.2 COMPORTAMENTO DAS EMISSÕES

No contexto de avaliação do comportamento das emissões de poluentes, quando o *misallocation* é eliminado, será considerado que as emissões das empresas são proporcionais a seu produto. Dessa forma, para obtenção do novo valor de emissões da firma, também é necessário o cálculo de qual seria o seu produto eficiente:

$$e_{si}^* = e_{si} \left(\frac{Y_{si}^*}{Y_{si}} \right) \quad (27)$$

As emissões de poluentes e produto observados da firma são representados por e_{si} e Y_{si} , respectivamente, enquanto as emissões, quando os recursos são alocados de forma eficiente, são representadas por e_{si}^* e seu produto eficiente por Y_{si}^* .

No modelo canônico, o valor de \overline{TFPR}_s representa a média observada da produtividade da receita de um setor. Todavia, uma questão importante é como encontrar o valor

da produtividade do setor quando as distorções são eliminadas e os $TFPR_{si}$ são equalizados, que será representada por $TFPR_s^*$. Conforme [Dias, Marques and Richmond \(2016\)](#), uma possibilidade seria a utilização do valor de $TFPR$ da indústria que é obtido quando os *wedges* são iguais a zero, todavia, isso não garante que as quantidades de K_s e L_s serão as mesmas após a realocação dos recursos entre as firmas.

A alternativa proposta pelos autores é a de que todas as firmas enfrentarão as mesmas distorções, sendo tais distorções de uma forma que a demanda por capital e trabalho do setor permaneça a mesma após a realocação dos fatores de produção. De forma análoga à obtenção das distorções enfrentadas pelas firmas, conforme equações 13 e 14, os *wedges* de capital e trabalho do setor, que nesse caso também serão os enfrentados pelas firmas, são dados por:

$$1 + \bar{\tau}_{K_s} = \frac{\alpha_s}{1 - \alpha_s} \frac{\omega L_s}{R K_s} \quad (28)$$

$$1 - \bar{\tau}_{Y_s} = \frac{\sigma}{\sigma - 1} \frac{\omega L_s}{(1 - \alpha_s) P_s^* Y_s^*} \quad (29)$$

A partir das equações 4, 15 e 16, é possível encontrar os valores do produto e receita das firmas como funções de suas produtividades física e da receita:

$$Y_{si} = \left(\frac{A_{si}}{TFPR_{si}} \right)^\sigma \quad (30)$$

$$P_{si} Y_{si} = \left(\frac{A_{si}}{TFPR_{si}} \right)^{\sigma-1} \quad (31)$$

As equações acima permitem estimar os níveis eficientes de produto e receita das firmas, sendo necessária apenas substituição da $TFPR_{si}$ observada pela eficiente:

$$Y_{si}^* = \left(\frac{A_{si}}{TFPR_s^*} \right)^\sigma = Y_{si} \left(\frac{TFPR_{si}}{TFPR_s^*} \right)^\sigma \quad (32)$$

$$P_{si}^* Y_{si}^* = \left(\frac{A_{si}}{TFPR_s^*} \right)^{\sigma-1} = P_{si} Y_{si} \left(\frac{TFPR_{si}}{TFPR_s^*} \right)^{\sigma-1} \quad (33)$$

De posse das distorções equalizadas do setor, quando a alocação é eficiente, é possível substituí-las na Equação 17:

$$TFPR_s^* = \frac{\sigma}{\sigma - 1} \left(\frac{R}{\alpha_s} \right)^{\alpha_s} \left(\frac{\omega}{1 - \alpha_s} \right)^{1-\alpha_s} \frac{(1 + \bar{\tau}_{K_s})^{\alpha_s}}{1 - \bar{\tau}_{Y_s}} \quad (34)$$

A $TFPR_s^*$ é obtida combinando a equação acima com os valores das distorções equalizadas do setor em 28 e 29 e o valor da receita eficiente da firma, conforme Equação 33:

$$TFPR_s^* = \left(\frac{\sum_{i=1}^{M_s} A_{si}^{\sigma-1}}{K_s^{\alpha_s} L_s^{1-\alpha_s}} \right)^{\frac{1}{\sigma}} \quad (35)$$

Agora, com o valor da $TFPR_s^*$ calculado, é possível encontrar a produção ótima da firma a partir da Equação 32 e, em seguida, o valor estimado das emissões de poluentes e_{si}^* , a partir da Equação 27.

Na avaliação do comportamento das emissões, ainda mais relevante que a quantidade total emitida de poluentes, é a quantidade emitida por unidade de produto. Portanto, seja $E = \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^{M_s} e_{si}$ o total de emissões da economia, E/Y fornece a quantidade de emissões por produto, denominada E_{prod} . Logo, define-se o índice de emissões com realocação ϵ , que mede o comportamento das emissões quando os fatores de produção são alocados de forma eficiente:

$$\epsilon = \frac{E_{prod}^*}{E_{prod}} = \frac{E^* Y}{E Y^*} \quad (36)$$

O índice é interpretado da seguinte forma: quando $\epsilon < 1$, a alocação eficiente dos fatores não só aumenta a produção como também diminui a quantidade de poluentes emitida por produto. Já $\epsilon > 1$ significa que a realocação dos fatores, apesar de aumentar a produção da economia, gera emissões adicionais por unidade de produto. A variação percentual das emissões por unidade de produto é dada por $100(\epsilon - 1)\%$. Destaca-se que o índice também pode ser utilizado, de forma análoga, para avaliação setorial.

3.3 GREEN MISALLOCATION

Na seção anterior, foi verificado o comportamento das emissões quando os fatores de produção das firmas são alocados de forma eficiente. Mas, como se comportariam a produção e as emissões de poluentes de uma economia caso o próprio produto das empresas já incorporasse suas emissões?

Suponha uma firma cuja produção é dada por uma função Cobb-Douglas padrão, conforme Equação 5. Em seguida define-se o produto verde, a produtividade física verde e a produtividade da receita verde, gY_{si} , gA_{si} e $gTFPR_{si}$, respectivamente:

$$gY_{si} = \frac{Y_{si}}{e_{si}} \quad (37)$$

$$gTFPQ_{si} = gA_{si} = \frac{gY_{si}}{K_{si}^{\alpha_s} L_{si}^{(1-\alpha_s)}} \quad (38)$$

$$gTFPR_{si} = P_{si} gA_{si} = \frac{P_{si} gY_{si}}{K_{si}^{\alpha_s} L_{si}^{(1-\alpha_s)}} \quad (39)$$

A divisão da produção pelas emissões da firma faz com que as empresas que poluem mais tenham sua produção relativamente reduzida em relação às empresas que poluem

menos, dessa forma, a gA_{si} mede as empresas que são mais produtivas quando consideradas suas emissões de poluentes.

Assim como na alocação eficiente do modelo canônico, em que as firmas de um mesmo setor equalizam suas $TFPR_{si}$, nessa modificação proposta, as empresas equalizam suas $gTFPR_{si}$ setorialmente, quando os recursos são alocados de maneira eficiente, visando maximizar o lucro considerando o produto verde, que é uma premissa hipotética e bastante ousada, pois seriam necessários incentivos objetivos para que as firmas considerassem o produto verde em sua maximização. Ou seja, quando as produtividades da receita verde das firmas são diferentes, existe *green misallocation* na economia.

A sequência dos cálculos é similar aos desenvolvidos nas Seções 3.1 e 3.2, uma vez que, na essência, as modificações efetuadas restringiram-se ao *output* das firmas. Portanto, de forma análoga à Equação 32, é possível obter gY_{si}^* :

$$gY_{si}^* = \left(\frac{gA_{si}}{gTFPR_s^*} \right)^\sigma = gY_{si} \left(\frac{gTFPR_{si}}{gTFPR_s^*} \right)^\sigma \quad (40)$$

A $gTFPR_s^*$ é a produtividade da receita verde, quando os recursos são alocados de maneira eficiente, buscando maximizar o lucro considerando o produto verde:

$$gTFPR_s^* = \left(\frac{\sum_{i=1}^{M_s} gA_{si}^{\sigma-1}}{K_s^{\alpha_s} L_s^{1-\alpha_s}} \right)^{\frac{1}{\sigma}} \quad (41)$$

De posse do produto verde eficiente gY_{si}^* , é possível obter o novo valor de emissões das firmas, assim como, de toda a economia:

$$ge_{si}^{**} = e_{si} \left(\frac{gY_{si}^*}{gY_{si}} \right) \quad (42)$$

$$gE^{**} = \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^{M_s} ge_{si}^{**} \quad (43)$$

A alocação eficiente de gY_s não implica que o produto Y_s também foi otimizado, portanto, é necessário calcular qual o novo produto *real* das firmas quando os fatores de produção são realocados, buscando a eficiência verde. Sejam L_{si}^{**} e K_{si}^{**} as alocação eficientes verdes do trabalho e capital e A_{si} a produtividade física da firma:

$$Y_{si}^{**} = A_{si} K_{si}^{**\alpha_s} L_{si}^{**1-\alpha_s} \quad (44)$$

Em que Y_{si}^{**} é o produto da firma quando o *green misallocation* é eliminado. Para calcular o novo produto da economia, resultante da realocação dos fatores com o intuito

de maximizar o lucro considerando o produto verde, basta utilizar o agregador Cobb-Douglas definido em 1, logo:

$$Y^{**} = \prod_{s=1}^S \left[\left(\sum_{i=1}^{M_s} Y_{si}^{** \frac{\sigma-1}{\sigma}} \right) \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1} \theta_s} \quad (45)$$

4 DADOS

A estrutura teórica desenvolvida por [Hsieh and Klenow \(2009\)](#), para o cálculo do *misallocation*, prevê o uso de informações a nível de firma. Os dados deste trabalho foram obtidos, em sua maior parte, através da realização de web scraping de duas principais fontes: (i) o banco de dados abertos da CVM (Comissão de Valores Mobiliários) e (ii) o Registro Público de Emissões do Programa Brasileiro *GHG Protocol*.

A partir dessas fontes, foram construídos os painéis de informações financeiras das firmas e de emissão de poluentes. O cruzamento desses painéis, complementados com dados adicionais de outras referências, gerou a base *cross-section* de 2022, com dados financeiros e de emissões de poluentes agregados.

4.1 INFORMAÇÕES FINANCEIRAS A NÍVEL DE FIRMA

Os dados financeiros relativos às firmas foram obtidos através das bases de dados abertas da CVM, autarquia reguladora do mercado de valores mobiliários, que disponibiliza as demonstrações financeiras padronizadas das empresas de capital listadas na B3 S.A., a bolsa de valores brasileira, durante o período de 2010 a 2022.

O conjunto de dados é formado pelas seguintes demonstrações:

- Balanço Patrimonial Ativo (BPA)
- Balanço Patrimonial Passivo (BPP)
- Demonstração de Fluxo de Caixa - Método Direto (DFC-MD)
- Demonstração de Fluxo de Caixa - Método Indireto (DFC-MI)
- Demonstração das Mutações do Patrimônio Líquido (DMPL)
- Demonstração de Resultado Abrangente (DRA)
- Demonstração de Resultado (DRE)
- Demonstração de Valor Adicionado (DVA)

Os bancos de dados são disponibilizadas nas suas versões individuais ou consolidadas. Foram utilizados os dados consolidados, pois, apesar de possuírem uma menor quantidade

Tabela 1 – Informações dos Setores da CVM

Setores	Observações	Média	Mínimo	Máximo
Agricultura (Açúcar, Álcool e Cana)	202	16	3	73
Alimentos	169	13	11	16
Bebidas e Fumo	20	2	1	2
Brinquedos e Lazer	117	9	3	66
Comunicação e Informática	213	16	7	85
Comércio (Atacado e Varejo)	391	30	21	48
Construção Civil, Mat. Constr. e Decoração	563	43	36	56
Educação	81	6	4	10
Embalagens	21	2	1	4
Energia Elétrica	467	36	29	49
Extração Mineral	60	5	2	6
Farmacêutico e Higiene	85	7	5	9
Gráficas e Editoras	22	2	1	2
Hospedagem e Turismo	34	3	2	3
Metalurgia e Siderurgia	230	18	17	19
Máquinas, Equipamentos, Veículos e Peças	295	23	22	25
Papel e Celulose	73	6	5	6
Petroquímicos e Borracha	91	7	5	13
Petróleo e Gás	101	8	6	11
Saneamento, Serv. Água e Gás	62	5	3	10
Serviços Transporte e Logística	413	32	23	97
Serviços médicos	108	8	4	17
Telecomunicações	160	12	7	23
Têxtil e Vestuário	310	24	22	26

Nota: Tabela construída a partir dos dados abertos da CVM (Comissão de Valores Mobiliários). Cada observação representa uma empresa em um ano específico. As estatísticas são relativas ao período de 2010-2022.

de observações, estão mais aderentes às informações das firmas do banco de dados de emissões.

Como, para os cálculos de produtividade e *misallocation*, a produção das empresas é representada por uma função Cobb-Douglas, conforme Equação 5, buscam-se nos dados os valores do estoque de capital, trabalho e produção. Conforme tradicionalmente utilizado nesta literatura, inclusive em [Hsieh and Klenow \(2009\)](#), os dados de valor adicionado e gastos com pessoal representam a produção e trabalho, respectivamente.

[Oberfield \(2013\)](#) alerta que a medida do estoque de capital das firmas é a que traz maiores problemas, podendo ocasionar um indicação exagerada de *misallocation*, caso seu valor tenha sido calculado de maneira deficiente, assim, o autor utiliza o método do inventário perpétuo na construção da variável de estoque de capital das firmas. Contudo,

Tabela 2 – Sumário Estatístico do Painel de Empresas Listadas

Ano	Observações.	Gastos com Pessoal (R\$ bilhões)	Imobilizado (R\$ bilhões)	Valor Adicionado (R\$ bilhões)	Receita (R\$ bilhões)
2010	296	129	1.001	787	1.704
2011	353	142	1.084	798	1.827
2012	284	160	1.211	745	1.940
2013	341	214	1.575	1.068	3.295
2014	277	177	1.382	764	2.101
2015	275	193	1.481	804	2.220
2016	276	199	1.396	929	2.286
2017	278	199	1.423	987	2.332
2018	283	216	1.503	1.159	2.679
2019	327	243	1.773	1.192	2.930
2020	376	261	1.852	1.265	3.311
2021	456	312	2.091	1.910	4.417
2022	466	354	2.406	2.033	5.140

Nota: Tabela construída a partir dos dados abertos da CVM (Comissão de Valores Mobiliários). Os dados financeiros estão em valores nominais. Cada observação representa uma empresa em um ano específico.

devido à impossibilidade da utilização deste método a partir dos dados disponíveis, principalmente das firmas não listadas, este trabalho foi concebido com a abordagem original, utilizando o imobilizado das firmas como estoque de capital, tal qual em [Dias, Marques and Richmond \(2016\)](#).

A base de dados criada consiste em um painel não balanceado com 4288 observações, ao longo de 13 anos, já considerando a exclusão de firmas do setor financeiro. O número de empresas por ano varia entre 275 em 2015 e 466 em 2022, distribuídas em 24 setores distintos, conforme Tabela 1, enquanto a Tabela 2 apresenta o sumário estatístico. O painel foi construído utilizando Python, desde a aquisição até o tratamento dos dados.

Os parâmetros α_s dos setores, *capital share* - elasticidade do produto em relação ao capital, são calculados como sendo 1 menos a elasticidade do produto em relação ao trabalho, cuja estimação utilizou os dados de gastos com pessoal e valor adicionado do painel de informações financeiras das empresas listadas, conforme Tabela 3, na qual também constam os dados das elasticidades das indústrias americanas, para o período entre 2008 e 2022, publicados pelo Bureau of Economic Analysis (BEA), com os quais também será calculado o grau de *misallocation* no Capítulo 6 - Robustez.

Tabela 3 – Valores do *Capital Share* α_s por Setor

Setores	BR <i>Capital Shares</i>	EUA <i>Capital Shares</i>
Agricultura (Açúcar, Alcool e Cana)	0,82	0,81
Alimentos	0,54	0,59
Bebidas e Fumo	0,90	0,59
Brinquedos e Lazer	0,78	0,41
Comunicação e Informática	0,34	0,45
Comércio (Atacado e Varejo)	0,73	0,50
Construção Civil, Mat, Constr, e Decoração	0,67	0,37
Educação	0,53	0,15
Embalagens	0,70	0,47
Energia Elétrica	0,88	0,74
Extração Mineral	0,87	0,72
Farmacêutico e Higiene	0,60	0,73
Gráficas e Editoras	0,52	0,33
Hospedagem e Turismo	0,57	0,37
Metalurgia e Siderurgia	0,68	0,48
Máquinas, Equipamentos, Veículos e Peças	0,53	0,41
Papel e Celulose	0,85	0,47
Petroquímicos e Borracha	0,87	0,86
Petróleo e Gás	0,89	0,85
Saneamento, Serv, Água e Gás	0,73	0,74
Serviços Transporte e Logística	0,77	0,42
Serviços médicos	0,56	0,17
Telecomunicações	0,89	0,73
Têxtil e Vestuário	0,58	0,28

Nota: Os *capital shares* α_s foram obtidos a partir dos dados da Comissão de Valores Mobiliários (CVM) e do Bureau of Economic Analysis (BEA). Os dados da CVM são do período 2010-2022, enquanto os do BEA são para período de 2008-2022.

4.2 EMISSÃO DE POLUENTES A NÍVEL DE FIRMA

Os dados de emissões de poluentes foram obtidos através do Registro Público de Emissões, organizado pelo Centro de Estudos em Sustentabilidade (FGVces), da Escola de Administração de Empresas da Fundação Getulio Vargas (FGV EAESP), que possui informações dos inventários corporativos de emissões de gases de efeito estufa (GEE) das organizações participantes do Programa Brasileiro *GHG Protocol*. O Registro conta com a maior base de inventários organizacionais públicos da América Latina, com mais de 2.300 inventários. Os dados compreendem o período entre 2008 e 2022.

Os inventários das firmas são qualificados com 3 selos distintos: ouro, prata e bronze, sendo o primeiro uma publicação completa, incluindo a verificação e validação das infor-

Tabela 4 – Sumário Estatístico do Painel de Emissões

Ano	Observações	Emissões Totais (ktCO ₂ e)	Emissões Médias (ktCO ₂ e)	Emissões Máximas (ktCO ₂ e)
2008	23	85.230	3.706	51.273
2009	39	87.193	2.236	51.558
2010	79	117.324	1.485	53.867
2011	99	900.080	9.092	561.608
2012	115	355.629	3.092	229.039
2013	133	387.743	2.915	227.938
2014	142	423.786	2.984	253.241
2015	147	420.571	2.861	262.806
2016	153	1.014.659	6.632	541.005
2017	147	709.573	4.827	522.810
2018	151	651.982	4.318	492.277
2019	168	844.418	5.026	563.273
2020	217	926.271	4.269	566.683
2021	315	1.109.796	3.523	585.347
2022	440	1.156.192	2.628	586.859

Nota: Tabela construída a partir dos dados do Registro Público de Emissões. Os valores dos Escopos tipo 1, 2 e 3 foram somados para gerar o valor de emissões por firma. Cada observação representa uma empresa em um ano específico.

mações por uma terceira parte, um Organismo de Verificação, o selo prata trata de uma publicação completa e o último uma publicação parcial. Do total da amostra, cerca de 52% dos inventários são classificados como ouro e 41% como prata, dando robustez para os dados de emissão de poluentes.

Apesar das informações de emissões estarem publicadas no site do programa, como a base não está disponível para download, foi necessário realizar o scraping dos dados, a partir dos quais foi criado um painel que conta com 2368 observações, ao longo de 15 anos. O número de firmas por ano varia entre 23 em 2008 e 432 em 2022, distribuídas em até 21 setores. As emissões são detalhadas pelo tipo de escopo, inclusive com a indicação da fonte geradora e tipo do gás, totalizando até 37 variáveis distintas, sendo as informações dos Escopos 1 ou 2 obrigatórias. A aquisição dos dados foi realizada utilizando Python, bem como, o tratamento dos mesmos para a construção do painel. A Tabela 4 apresenta o sumário estatístico do painel.

Tabela 5 – Informações do Corte Transversal de 2022

Observações			Valor Adicionado Total (%)		Valor Adicionado do Setor (%)			
Totais	CVM	RPE	$\frac{Emissões\ CVM}{Total\ CVM}$	$\frac{Emissões\ CVM}{Emissões}$	Agroindústria	Energia	Metalurgia e Siderurgia	Óleo, gás e derivado
112	70	78	57,2	93,0	64,6	86,1	86,0	99,0

Nota: Tabela construída a partir do painel de informações financeiras e do painel de emissão de poluentes. As observações CVM são relativas as empresas listadas, as observações RPE são relativas às firmas que publicam no Registro Público de Emissões. $\frac{Emissões\ CVM}{Total\ CVM}$ corresponde à razão entre o valor adicionado das empresas do corte transversal que são de capital aberto e o total do valor adicionado das empresas de capital aberto. $\frac{Emissões\ CVM}{Emissões}$ corresponde à razão entre o valor adicionado das empresas do corte-transversal que são de capital aberto e o total do valor adicionado do corte transversal. Os valores setoriais são relativos à razão entre o valor adicionado das empresas do corte-transversal que são de capital aberto e pertencem ao setor e o total do valor adicionado das empresas de capital aberto do setor. Todos os dados são para o ano de 2022.

4.3 CRUZAMENTO DOS DADOS DE INFORMAÇÕES FINANCEIRAS E EMISSÕES

Tanto para realizar o cálculo do comportamento das emissões, caso os recursos fossem alocados de maneira ótima, quanto para calcular como seria a alocação ótima, caso as emissões fossem consideradas na função de produção das firmas, é necessário que as observações contemplem os dados financeiros e de emissões das empresas.

O cruzamento inicial dos painéis construídos nas Seções 4.1 e 6.3 resulta, de maneira geral, em uma baixa quantidade de correspondências, todavia, nota-se que os setores com maiores quantidades (percentuais e absolutas) de observações são as indústrias de capital intensivo. Dessa forma, os cálculos e análises que consideram as emissões de poluentes foram realizados para os seguintes setores: Agroindústria de Capital Intensivo, Energia, Metalurgia e Siderurgia, Óleo, Gás e Derivados e Outros. Tais setores são a resultante da classificação da Comissão de Valores Mobiliários e do Registro Público de Emissões.

Além do cruzamento inicial dos painéis, foi realizado um complemento com dados de emissões de empresas listadas cujos inventários não constavam no painel de emissões, bem como, de informações financeiras de empresas que reportaram seus inventários de emissões, contudo, não são de capital aberto. Finalmente, foi gerado o corte transversal para o ano de 2022. Ressalta-se que, como há uma tendência das empresas de maior porte reportarem seus dados de emissões, as firmas que compõem essa base correspondem a mais da metade do valor adicionado da bolsa de valores, chegando a mais de 80% em alguns setores, como Energia, Metalurgia e Siderurgia e Óleo, Gás e Derivados. A Tabela 5 apresenta informações relativas ao *cross-section* de 2022.

5 RESULTADOS

Nesta seção, serão apresentados os principais resultados encontrados, relativos aos ganhos de produção com a realocação dos recursos, bem como, o comportamento das emissões com sua alocação eficiente. Além disso, será realizado cálculo do grau de *green misallocation*.

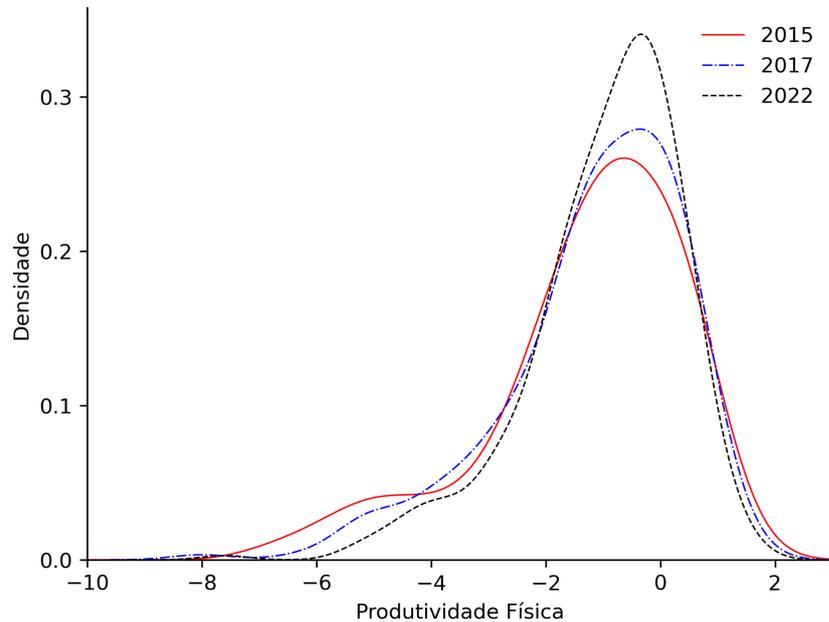
As escolhas do parâmetro σ e do preço do aluguel do capital R , para o cenário de referência, seguirão os valores tradicionalmente utilizados nesta literatura, ou seja, $\sigma = 3$ e $R = 0,1$. Em [Hsieh and Klenow \(2009\)](#), os autores mostram que os ganhos com a realocação são crescentes com a elasticidade de substituição, portanto, tal escolha é conservativa, visto que pesquisas anteriores estimam o valor de σ entre 3 e 10. Em relação ao custo do capital, são considerados 5% relativos à taxa de juros e 5% de depreciação, todavia uma escolha diferente traz poucas implicações, pois R afeta apenas a distorção de capital média e não as distorções relativas entre as firmas, não impactando, portanto, o cálculo dos ganhos de produção ([ZIEBARTH, 2013](#)).

Os gastos totais com pessoal serão utilizados como a medida de trabalho das firmas, acarretando em $\omega = 1$ e $L_{si} = w_{si}N_{si}$, com w_{si} sendo o salário praticado pela firma e N_{si} a quantidade de funcionários. Conforme [Dias, Marques and Richmond \(2016\)](#), tal premissa significa que, implicitamente, já estão sendo consideradas as diferenças de horas trabalhadas por funcionário e diferenças de capital humano.

5.1 MISALLOCATION NAS EMPRESAS DE CAPITAL ABERTO

Os resultados deste tópico foram obtidos utilizando o painel de informações financeiras das empresas de capital aberto, desenvolvido na Seção 4.1. Antes de realizar os cálculos das variáveis de interesse, são excluídas as duas empresas que apresentam os valores extremos de $TFPR_{si}$ e as duas empresas que apresentam os valores extremos A_{si} , por setor e ano, pois, apesar do painel não possuir um número elevado de observações, tal procedimento é realizado para eliminar *outliers* e controlar possíveis erros de medida.

A Figura 1 apresenta a distribuição da $TFPQ$ das firmas para os anos selecionados de 2015, 2017 e 2022. A distribuição da produtividade física é ajustada pela produtividade do setor na ausência de distorções, ou seja $\log(A_{si}M_s^{\frac{1}{\sigma-1}}/\bar{A}_s)$. É possível observar que a

Figura 1 – Distribuição da $TFPQ$ 

Nota: A figura mostra a produtividade física ajustada pela produtividade do setor na ausência de distorções, $\log(A_{si}M_s^{\frac{1}{\sigma-1}}/\bar{A}_s)$, das empresas de capital aberto para os anos de 2015, 2017 e 2022.

Tabela 6 – Dispersão da $TFPQ$

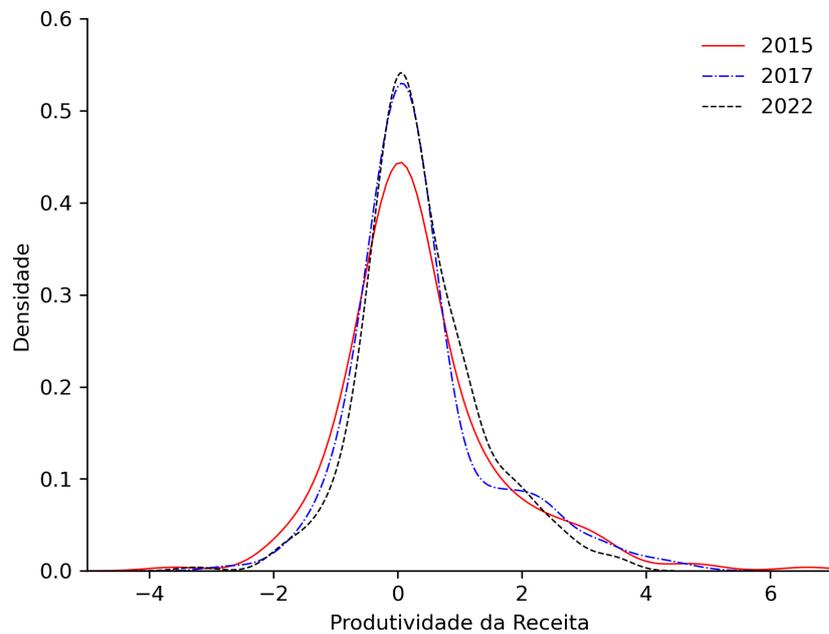
	2015	2017	2022
Desvio Padrão	1,36	1,20	1,04
75 - 25	1,98	1,88	1,59
90 - 10	4,55	3,84	3,25

Nota: As estatísticas são para $\log(A_{si}M_s^{\frac{1}{\sigma-1}}/\bar{A}_s)$. O desvio padrão é ponderado pelo valor adicionado. 75 - 25 é a diferença entre os percentis 75% e 25% e 90 - 10 é a diferença entre os percentis 90% e 10%.

cauda esquerda da distribuição é mais grossa para o ano de 2015, indicando possíveis políticas que favoreciam a sobrevivência de firmas ineficientes (com $TFPQ$ relativamente mais baixo), com sua espessura diminuindo nos anos de 2017 e 2022.

A Tabela 6 mostra que esse padrão é consistente através de outras medidas de dispersão da $TFPQ$: o desvio padrão, a subtração dos percentis 75% e 25% e a subtração dos percentis 90% e 10%. O desvio padrão diminui de 1,36 em 2015 para 1,04 em 2022, enquanto a diferença entre os percentis 75% e 25% caiu de 1,98 em 2015 para 1,59 em 2022. O padrão se repete para as diferenças entre os percentis 90% e 10%.

A Figura 2 apresenta a distribuição da $TFPR$ das firmas para os anos selecionados de 2015, 2017 e 2022. Caso a alocação fosse eficiente, a dispersão da $TFPR$ seria zero, logo uma maior dispersão da produtividade sugere um maior grau de *misallocation*. A distribui-

Figura 2 – Distribuição da $TFPR$ 

Nota: A figura mostra a produtividade da receita ajustada pela \overline{TFPR}_s observada do setor, $\log(TFPR_{si}/TFPR_s)$, das empresas de capital aberto para os anos de 2015, 2017 e 2022.

Tabela 7 – Dispersão da $TFPR$

	2015	2017	2022
Desvio Padrão	0,83	0,77	0,63
75 - 25	1,04	0,84	1,05
90 - 10	2,82	2,74	2,31

Nota: As estatísticas são para $\log(TFPR_{si}/TFPR_s)$. O desvio padrão é ponderado pelo valor adicionado. 75 - 25 é a diferença entre os percentis 75% e 25% e 90 - 10 é a diferença entre os percentis 90% e 10%.

ção da produtividade da receita é ajustada pela \overline{TFPR}_s , ou seja, $\log(TFPR_{si}/\overline{TFPR}_s)$. Verifica-se que o ano de 2015 possui um maior grau de dispersão, com as caudas mais alongadas e menor densidade de firmas centralizadas na distribuição. Para ao ano de 2017, já é possível observar uma mudança no formato que, em 2022, está claramente menos disperso.

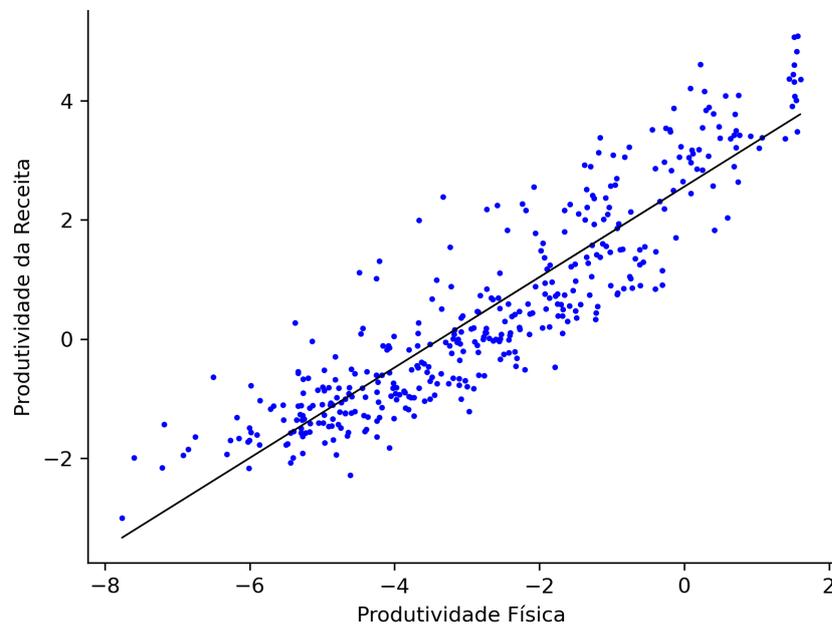
Assim como no caso da $TFPQ$, a Tabela 7 reforça, através de medidas de dispersão, a consistência do padrão de *misallocation* apresentado na distribuição da $TFPR$. O desvio padrão diminuiu de 0,83 em 2015 para 0,63 em 2022, enquanto a diferença entre os percentis 90% e 10% caiu de 2,82 em 2015 para 2,31 em 2022. A diferença entre os percentis 75% e 25%, apesar de diminuir entre 2015 e 2017, volta ao mesmo patamar em 2022.

Outro ponto a ser observado, em relação a alocação eficiente dos fatores de produção,

Tabela 8 – Correlação entre $TFPQ$ e $TFPR$

	2010-2022	2015	2017	2022
Total	0,60	0,67	0,57	0,65
Energia Elétrica	0,90	0,95	0,92	0,91

Nota: As correlações são entre $\log(A_{si}M_s^{\frac{1}{\sigma-1}}/\bar{A}_s)$ e $\log(TFPR_{si}/\overline{TFPR}_s)$ para os anos selecionados de 2015, 2017 e 2022 e para todo o período de 2010-2022. Os valores da linha "Total" correspondem a todos os setores, enquanto "Energia Elétrica" considera apenas as empresas desse setor.

Figura 3 – Correlação entre $TFPQ$ e $TFPR$ no setor de Energia Elétrica

Nota: A figura mostra a correlação entre $\log(A_{si}M_s^{\frac{1}{\sigma-1}}/\bar{A}_s)$ e $\log(TFPR_{si}/\overline{TFPR}_s)$, no setor de Energia Elétrica, para o período 2010-2022.

é o quanto a produtividade da receita das firmas está correlacionada com a produtividade física, pois, essa relação é particularmente prejudicial, conforme apontado por [Dias, Marques and Richmond \(2016\)](#), visto que, quando é positiva, significa que as firmas mais produtivas também enfrentam as maiores distorções.

A Tabela 8 mostra que as $TFPQ$ e $TFPR$ das firmas são positivamente correlacionadas, indicando que empresas mais produtivas enfrentam maiores distorções, portanto, tendem a produzir menos, e que empresas menos produtivas tendem a se tornarem maiores do que seu tamanho eficiente. Além dos cálculos da amostra completa, também foram estimados os valores para o setor de Energia Elétrica, que, como observado na Figura 3, apresenta um padrão de correlação elevado.

Seguindo o observado por [Chen, Restuccia and Santaeuilàlia-Llopis \(2023\)](#), outra in-

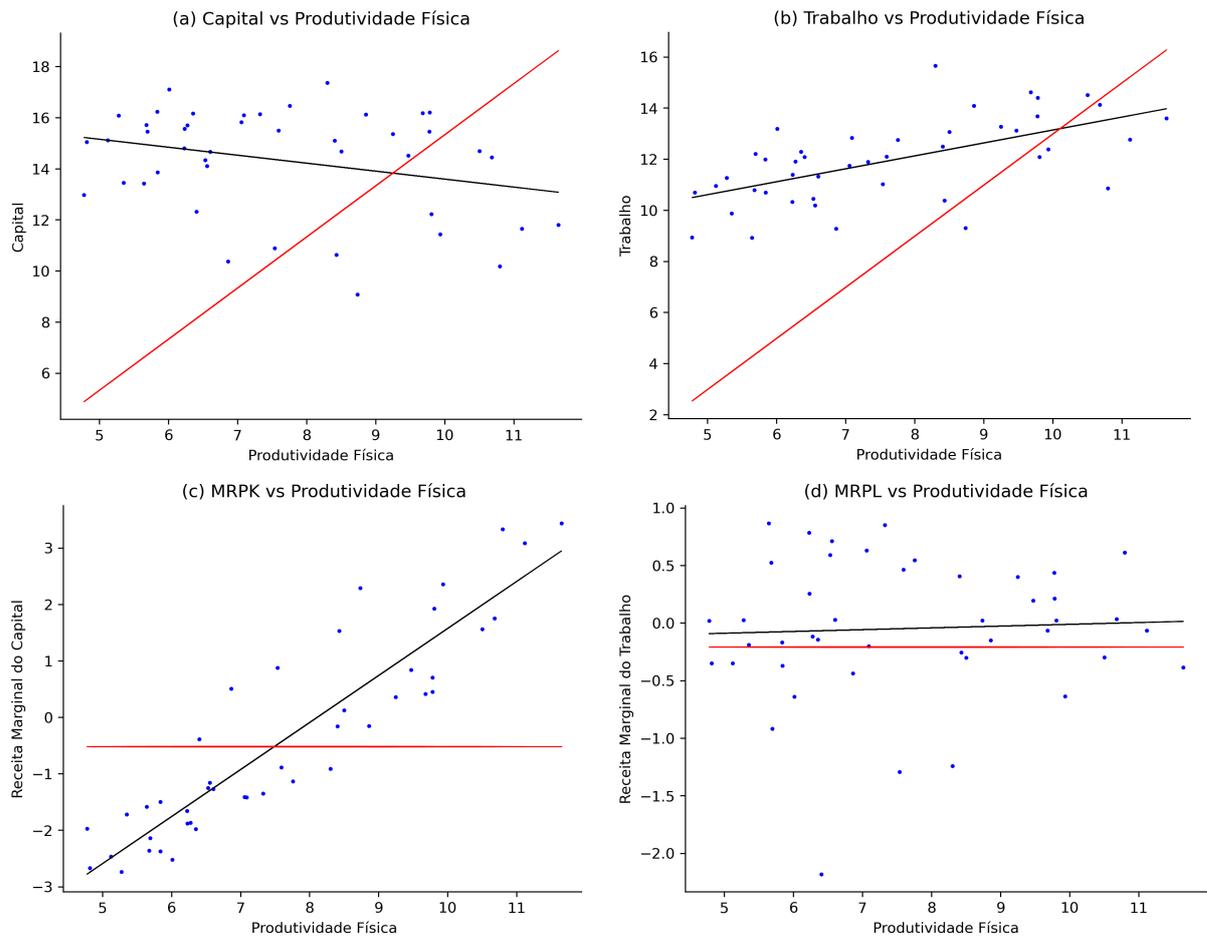
interessante ilustração do grau de *misallocation* é a comparação de como os fatores de produção deveriam estar alocados, quando associados as suas produtividades físicas, as suas reais alocações. Ou seja, considerando o total de capital e trabalho de um setor, em uma alocação eficiente, as parcelas dos fatores, para cada firma, devem ser proporcionais a $A_{si}^{\sigma-1}$, conforme as Equações 8 e 9, portanto, a correlação entre $\log(A_{si})$ e $\log(K_{si})$ ou $\log(L_{si})$ é positiva, quando as distorções são equalizadas. No caso das receitas marginais do capital e trabalho, em uma alocação eficiente, $MRPK_{si}$ e $MRPL_{si}$ devem ser equalizadas entre as empresas, portanto, a correlação entre a produtividade física e as receitas marginais é nula.

A Figura 4 - (a) mostra o quanto de capital cada firma possui, contra a sua *TFPQ*, com a linha vermelha representando como deveria ser a alocação do capital do setor, contrastando com a tendência observada em preto, que possui correlação ligeiramente negativa. No caso do trabalho, conforme Figura 4 - (b), é verificada uma correlação positiva, contudo, não na mesma proporção da alocação eficiente. A Figura 4 - (c) documenta a Receita Marginal do Capital, que se mostra fortemente positiva em relação à produtividade física, quando, em uma alocação eficiente, conforme linha vermelha, deveria ser equalizada entre as firmas. A Figura 4 - (d) mostra que a Receita Marginal do Trabalho observada é apenas ligeiramente correlacionada com a *TFPQ* da firma, o que indica um menor grau de má alocação para esse fator.

Os gráficos da Figura 4 são relativos ao setor de Energia Elétrica, para o ano de 2022. É importante ressaltar que há setores que apresentam correlações positivas entre os fatores de produção e a produtividade, bem como, receitas marginais não correlacionadas com a produtividade, como o de Metalurgia e Siderurgia, por exemplo. Todavia, o setor de Energia Elétrica possui figuras que ilustram de maneira mais clara as questões abordadas neste trabalho.

A Figura 5 mostra os potenciais ganhos de produção com a equalização das produtividades da receita entre as firmas de um mesmo setor, para o período de 2010 até 2022. Apesar das variações, é possível observar uma tendência de aumento do *misallocation* e, conseqüentemente, potenciais ganhos de produção, entre 2010-2012 e 2014-2018, com uma tendência de melhora na alocação eficiente dos recursos a partir daí. Em [Hsieh and Klenow \(2009\)](#), os autores utilizam os ganhos potenciais do início e fim do período avaliado para estimar o comportamento da alocação dos fatores de produção. Sob esta perspectiva, não houve avanços da alocação eficiente das empresas de capital aberto brasileiras entre

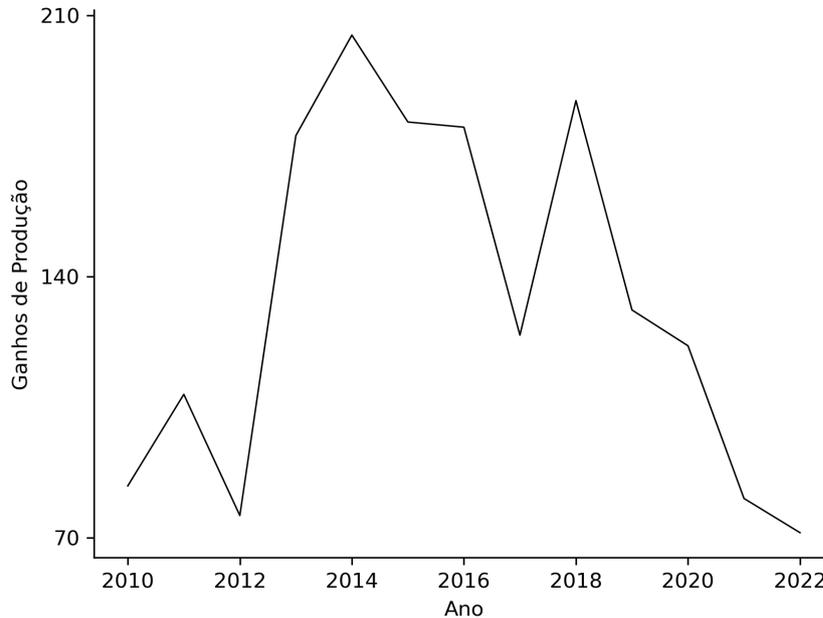
Figura 4 – Capital, Trabalho, $MRPK$ e $MRPL$: Alocação Observada e Eficiente



Nota: (a) reporta a alocação eficiente e real do capital com respeito à produtividade física. (b) reporta a alocação eficiente e real do trabalho com respeito à produtividade física. (c) reporta a receita marginal do capital real e eficiente com respeito à produtividade física. (d) reporta a receita marginal do trabalho real e eficiente com respeito à produtividade física. Todos os valores estão em *log*. Cada ponto representa uma empresa e a linha vermelha indica a alocação eficiente. Os dados são para o setor de Energia Elétrica, referentes ao ano de 2022.

os anos de 2010 e 2022, visto que seus ganhos potenciais são iguais (cerca de 70%).

A partir dessa teoria, não é possível determinar quais foram as causas do declínio da alocação eficiente dos recursos entre 2010 e 2018 (ou a possível estagnação entre 2010 e 2022), todavia, há um consenso que o Brasil passou por um período de dificuldades na última década, que pode ser tanto o reflexo ou ter refletido no grau de *misallocation* verificado. Por outro lado, avaliando um período mais recente, utilizando os anos selecionados, ocorreu uma melhoria de 64% na alocação dos recursos, uma média de 7% por ano, entre 2015 e 2022, conforme Tabela 9. Caso seja considerado o período partir da última inflexão, que ocorreu em 2018, a alocação está 68% mais eficiente em 2022, com média de melhoria de 14% ao ano.

Figura 5 – Potenciais Ganhos de Produção com a Equalização das $TFPR$ Intra-setorial

Nota: Os ganhos de produção estão em percentual. Os valores são para $100(Y^*/Y - 1)$, em que

$$\frac{Y}{Y^*} = \prod_{s=1}^S \left[\sum_{i=1}^{M_s} \left(\frac{A_{si} \overline{TFPR}_s}{\overline{A}_s \overline{TFPR}_{si}} \right)^{\sigma-1} \right]^{\frac{\theta_s}{\sigma-1}} \quad \text{e} \quad TFPR_{si} = \frac{P_{si} Y_{si}}{K_{si}^{\alpha_s} L_{si}^{(1-\alpha_s)}}.$$

Tabela 9 – Potenciais Ganhos de Produção para os Anos de 2015, 2017 e 2022

	2015	2017	2022
Ganhos de Produção	181,41	124,27	71,31

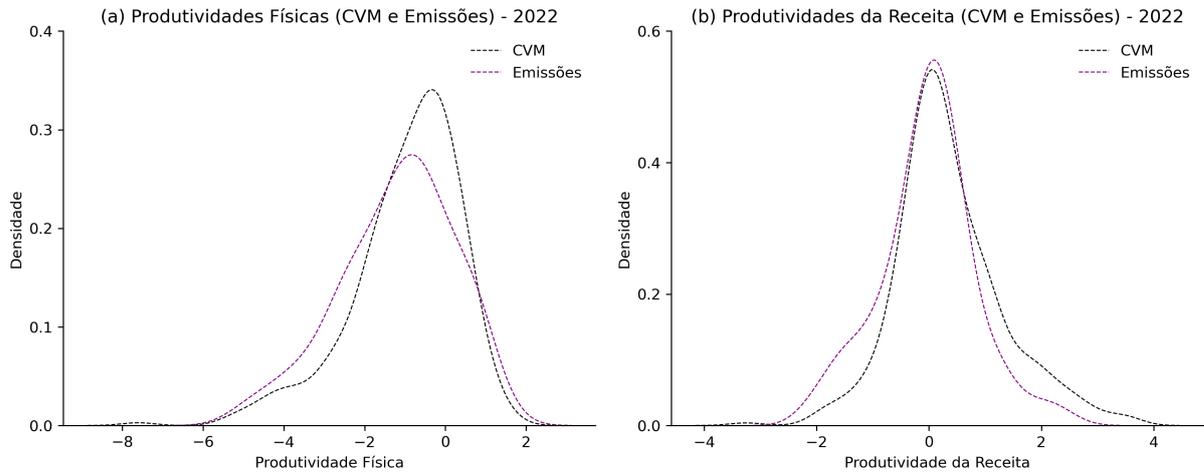
Nota: Ganhos de produção com a equalização das $TFPR$ intra-setorialmente para os anos selecionados de 2015, 2017 e 2022. Os ganhos estão em valores percentuais.

5.2 COMPORTAMENTO DAS EMISSÕES COM A ALOCAÇÃO EFICIENTE

Os resultados deste tópico foram obtidos utilizando corte transversal desenvolvido na Seção 4.3, que considera, além das informações financeiras das firmas, suas emissões de poluentes. A parte inicial desta seção será similar ao realizado na seção anterior, incluindo a exclusão das duas empresas que apresentam os valores extremos de $TFPR_{si}$, por setor, e, na sequência, são realizados os cálculos das variáveis de interesse.

A Figura 6 (a) apresenta a distribuição da $TFPQ$ das firmas do corte transversal de 2022 (Emissões), em contraste com a distribuição das empresas de capital aberto (CVM), para o mesmo ano. As distribuições das produtividades físicas são ajustadas pela produtividade do setor na ausência de distorções, ou seja $\log(A_{si} M_s^{\frac{1}{\sigma-1}} / \overline{A}_s)$. Observa-se que a distribuição do corte transversal é menos centralizada e possui uma cauda esquerda

Figura 6 – Distribuição das Produtividades Físicas e da Receita



Nota: (a) mostra as produtividades físicas das empresas listadas (CVM) e das empresas do corte transversal (Emissões) ajustadas pelas produtividades do setor na ausência de distorções, $\log(A_{si}M_s^{\frac{1}{\sigma-1}}/\bar{A}_s)$, para o ano de 2022. (b) mostra as produtividades da receita das empresas listadas (CVM) e das empresas do corte transversal (Emissões) ajustadas pelas produtividades observadas do setor, $\log(TFPR_{si}/\overline{TFPR}_s)$, para o ano de 2022.

ligeiramente mais acentuada, em comparação com a distribuição das empresas listadas. A Figura 6 (b) apresenta a distribuição da $TFPR$ das firmas do corte transversal de 2022 (Emissões), em contraste com a distribuição das empresas de capital aberto (CVM), para o mesmo ano. As distribuições das produtividades da receita são ajustada pela $TFPR_s$, ou seja, $\log(TFPR_{si}/TFPR_s)$. As amostras apresentam uma densidade similar de firmas centralizadas na distribuição, com comportamentos distintos nas caudas.

A Tabela 10 reforça, através de medidas de dispersão, aos padrões observados na Figura 6. Para as produtividade físicas, os desvios padrão dos bancos são similares, enquanto as diferenças entre os percentis 75%-25% e 90%-10% são maiores para o corte transversal, portanto aderentes à Figura 6 (a). No caso das produtividades da receita, as três medidas do corte transversal são inferiores ao observado nas empresas listadas na bolsa de valores brasileira, o que pode indicar um menor grau de *misallocation* para o *cross-section*.

Conforme apresentado na Tabela 5, mais de 60% das firmas do corte transversal utilizado são de capital aberto, cujo valor adicionado representa mais de 90% do total da amostra. Portanto, era esperado que os padrões das distribuições e suas medidas de dispersão fossem similares aos apresentados na seção 5.1.

Também é avaliada a correlação da produtividade da receita com produtividade física, visto que, conforme apontado na seção anterior, caso seja positiva, indica que as firmas mais produtivas são aquelas que enfrentam maiores distorções. A tabela 11 mostra que

Tabela 10 – Dispersão das Produtividades Físicas e da Receita

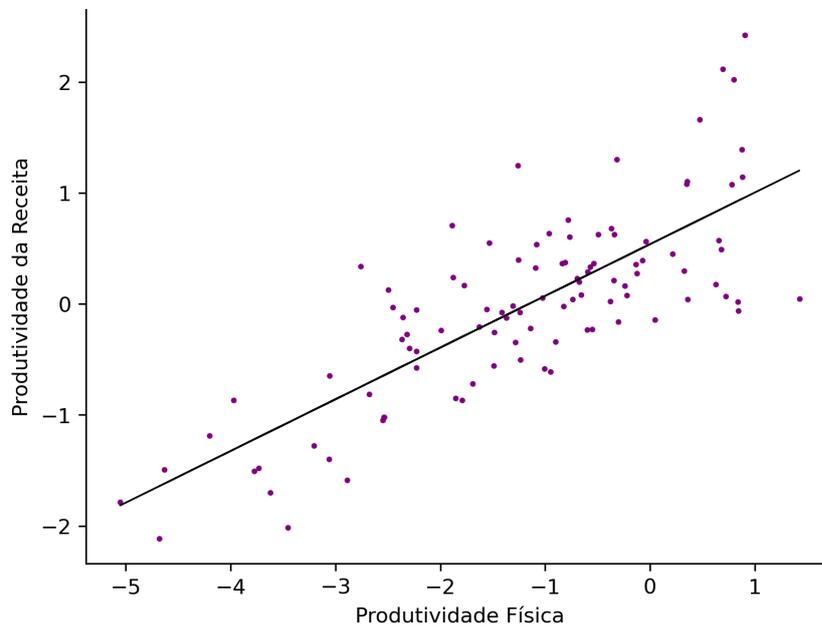
	A_{si} (Emissões)	A_{si} (CVM)	$TFPR_{si}$ (Emissões)	$TFPR_{si}$ (CVM)
Desvio Padrão	0,95	1,04	0,44	0,63
75 - 25	1,97	1,59	0,81	1,05
90 - 10	3,74	3,25	2,22	2,31

Nota: As estatísticas são para $\log(A_{si}M_s^{\frac{1}{\sigma-1}}/\bar{A}_s)$ e $\log(TFPR_{si}/\overline{TFPR}_s)$ das empresas listadas (CVM) e das empresas do corte transversal (Emissões). O desvio padrão é ponderado pelo valor adicionado. 75 - 25 é a diferença entre os percentis 75% e 25% e 90 - 10 é a diferença entre os percentis 90% e 10%. Os resultados são para o ano de 2022.

Tabela 11 – Correlação entre $TFPQ$ e $TFPR$

	Total	Agroindústria de Capital Intensivo	Energia	Metalurgia e Siderurgia	Óleo, gás e derivados	Outros
2022	0,78	0,27	0,91	0,47	0,66	0,52

Nota: As correlações são entre $\log(A_{si}M_s^{\frac{1}{\sigma-1}}/\bar{A}_s)$ e $\log(TFPR_{si}/TFPR_s)$ para o ano de 2022. O valor da linha Total corresponde a toda a todo corte transversal.

Figura 7 – Correlação entre $TFPQ$ e $TFPR$ para o Ano de 2022

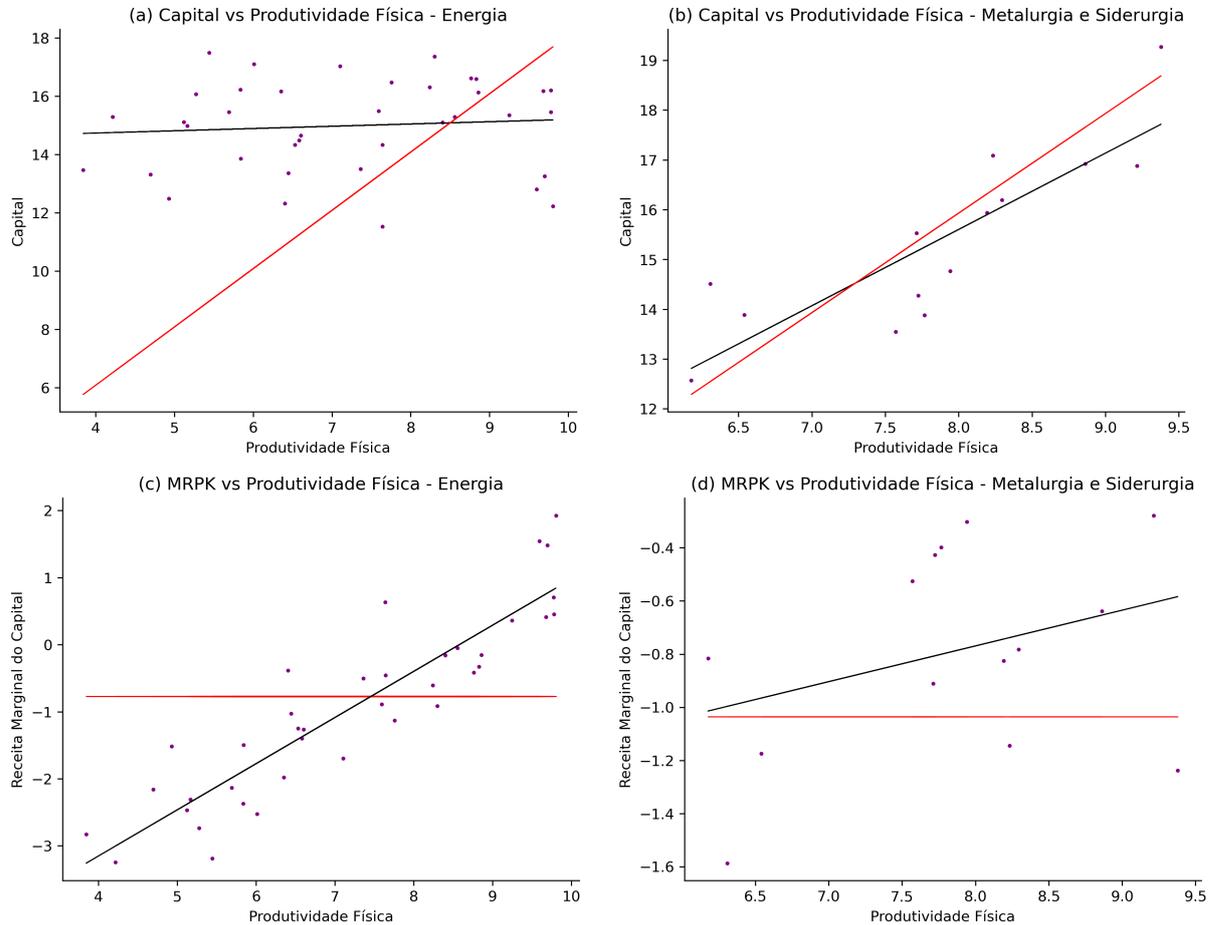
Nota: A figura mostra a correlação entre $\log(A_{si}M_s^{\frac{1}{\sigma-1}}/\bar{A}_s)$ e $\log(TFPR_{si}/TFPR_s)$ das firmas do corte transversal de 2022.

$TFPQ$ e $TFPR$ das firmas são positivamente correlacionadas. Todos os setores apresentam correlação entre as produtividades, com o setor de Energia apresentando o maior grau. A figura 7 ilustra a correlação positiva para do corte de 2022.

A avaliação de como K_{si} e L_{si} deveriam estar alocados na ausência de *misallocation*, quando associados à $TFPQ$ da firma, com as suas reais alocações, bem como, a relação

da produtividade física com as receitas marginais também são analisados para os dados *cross-sectional*.

Figura 8 – Capital e *MRPK* dos Setores Energia e Metalurgia e Siderurgia: Alocação Observada e Eficiente



Nota: (a) reporta a alocação eficiente e real do capital com respeito à produtividade física para as empresas do setor de Energia. (b) reporta a alocação eficiente e real do capital com respeito à produtividade física para as empresas do setor de Metalurgia e Siderurgia. (c) reporta a receita marginal do capital eficiente e real com respeito à produtividade física para as empresas do setor de Energia. (d) reporta a receita marginal do capital eficiente e real com respeito à produtividade física para as empresas do setor de Metalurgia e Siderurgia. Todos os valores estão em *log*. Cada ponto representa uma empresa e a linha vermelha indica a alocação eficiente. Os dados são referentes ao ano de 2022.

A Figura 8 mostra as relações entre o Capital e a Receita Marginal do Capital com a Produtividade Física. Foram selecionados o setor de Energia e Metalurgia e Siderurgia, pois as correlações são contrastantes. A Figura 8 - (a) mostra o quanto de capital cada firma do setor de Energia possui, contra a sua *TFPQ*, com a linha vermelha representando como deveria ser a alocação do capital do setor, contrastando com a tendência observada em preto, na qual a correlação é apenas ligeiramente positiva. No caso do setor de Metalurgia e Siderurgia, conforme Figura 8 - (b), é verificada uma correlação positiva,

indicando que a quantidade de capital da firma está fortemente relacionada com a sua *TFPQ*. A Figura 8 - (c) documenta a Receita Marginal do Capital das empresas do setor de Energia, que se mostra fortemente positiva em relação à produtividade física, quando, em uma alocação eficiente, conforme linha vermelha, deveria ser equalizada entre as firmas. A Figura 8 - (d) mostra que, para o setor de Metalurgia e Siderurgia, a Receita Marginal do Capital observada também é correlacionada com a *TFPQ* da firma, contudo em um menor grau.

A Tabela 12 mostra os potenciais ganhos de produção com a equalização das produtividades da receita entre as firmas de um mesmo setor, para o ano de 2022. Além disso, fornece o total de emissões observadas, ou seja, com a presença de *misallocation*, e qual seria o valor total das emissões com a alocação eficiente de recursos. Observa-se que, mesmo com uma variação positiva da produção, o valor total das emissões não aumenta de forma proporcional à variação da produção. O índice ϵ , que mede o comportamento das emissões, é menor que um, portanto indicando que a realocação eficiente dos fatores não só aumenta a produção da economia, como também diminui a quantidade de poluentes emitida por produto, o que pode ser observado pela variação das emissões por produto negativa.

Tabela 12 – Comportamento das Emissões com a Alocação Eficiente

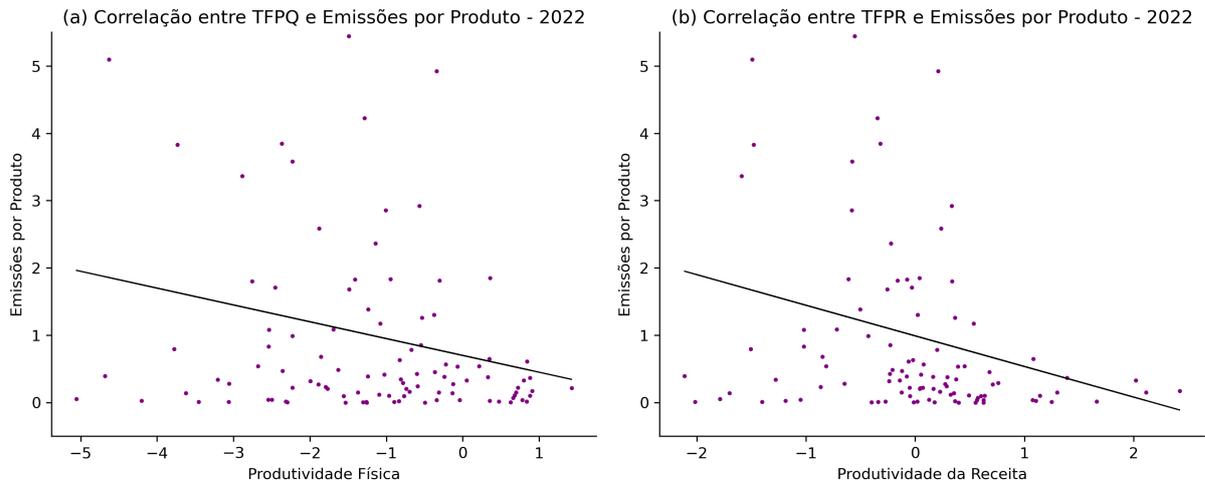
	2022
Ganhos de Produção	30,74
Emissões Totais Observadas	1.365.840
Emissões Totais com Alocação Eficiente	1.243.760
Epsilon	0,70
Variação Emissões por Produto	-30,35

Nota: Ganhos de produção, com a equalização das *TFPR* intra-setorialmente, em valores percentuais. As emissões totais estão em ktonCO₂e. A variação das emissões é dada por $100(\epsilon - 1)\%$ onde

$$\epsilon = \frac{E_{prod}^*}{E_{prod}} = \frac{E^*}{E} \frac{Y}{Y^*}.$$

Observa-se na Figura 9, que correlaciona as produtividades física e da receita com as emissões por produto, um comportamento condizente com os resultados previamente encontrados. Dado que alocação eficiente diminui as emissões por produto, era esperado que as firmas mais produtivas fossem menos poluentes. Tal situação ocorre tanto para a *TFPQ* quanto para a *TFPR*, corroborando com a forte correlação encontrada entre as produtividades, conforme Figura 7.

Figura 9 – Correlação das Produtividades e Emissões por Produto



Nota: (a) mostra a correlação da produtividade física ajustada pela produtividade do setor na ausência de distorções, $\log(A_{si}M_s^{\frac{1}{\sigma-1}}/\bar{A}_s)$, com as emissões por produto, para o ano de 2022. (b) mostra a correlação da produtividade da receita ajustada pela produtividade observada do setor, $\log(TFPR_{si}/TFPR_s)$, com as emissões por produto, para o ano de 2022.

A Tabela 13 detalha, setorialmente, o comportamento das emissões para o ano de 2022. Nota-se que, para todos os setores, o índice ϵ foi menor que um, ou seja, os potenciais ganhos de produção foram acompanhados da redução das emissões por produto.

Para o setor de Energia, a diminuição das emissões foi proporcionalmente menor que os ganhos de produção (-57,08% contra 181,92%), similar na indústria de Óleo, Gás e Derivados, porém, em menor grau, com ganhos de produção e variação das emissões por produto da ordem de 4,4% e -3%, respectivamente. Para os outros setores, a alocação eficiente não apenas gerou potenciais ganhos de produção, como também reduziu as emissões de forma mais que proporcional, ou seja, uma variação positiva de 1% na produção diminuiu as emissões em mais de 1%.

O setor de Óleo, Gás e Derivados corresponde a cerca de 50% do valor adicionado do corte-transversal de 2022, portanto, os seus potenciais ganhos de produção e variação das emissões por produto relativamente baixos exercem forte impacto sobre os resultados totais da amostra. Notadamente, essa indústria é uma das que possui a imagem mais negativa em relação às questões ambientais, pois os seus produtos são intrinsecamente poluentes. Contudo, tal fato faz com o setor busque estar alinhado com as práticas globais de ESG, tanto para melhorar sua imagem frente ao público quanto por exigência do mercado, que já considera a performance de ESG na concessão e custo do crédito, conforme detalhado por [Apergis, Poufinas and Antonopoulos \(2022\)](#). Além disso, o setor enfrenta uma fiscalização ambiental mais rígida, o que pode ser um dos motivos da baixa variação

Tabela 13 – Comportamento das Emissões com a Alocação Eficiente - 2022

Setor	Ganhos de Produção	Emissões Observadas	Emissões Alocação Eficiente	Índice ϵ	Varição das Emissões por Produto
Total	30,74	1.365.840	1.243.760	0,70	-30,35
Agroindústria	19,80	23.388	18.800	0,67	-32,90
Energia	181,92	75.451	91.305	0,43	-57,08
Metalurgia e Siderurgia	13,70	641.310	500.946	0,69	-31,30
Óleo, Gás e Derivados	4,42	622.927	630.727	0,97	-3,03
Outros	21,46	2.764	1.982	0,59	-40,95

Nota: Ganhos de produção, com a equalização das *TFPR* intra-setorialmente, em valores percentuais. As emissões totais estão em ktonCO₂e. A variação das emissões é dada por $100(\epsilon - 1)\%$ onde $\epsilon = \frac{E^*_{prod}}{E_{prod}} = \frac{E^* Y}{E Y^*}$.

das emissões.

Não é a intenção deste trabalho buscar as explicações do porquê a alocação eficiente dos recursos, além de gerar potenciais ganhos de produção, traz uma redução nas emissões por produto. Contudo, chama atenção o fato disso ocorrer para todos os setores.

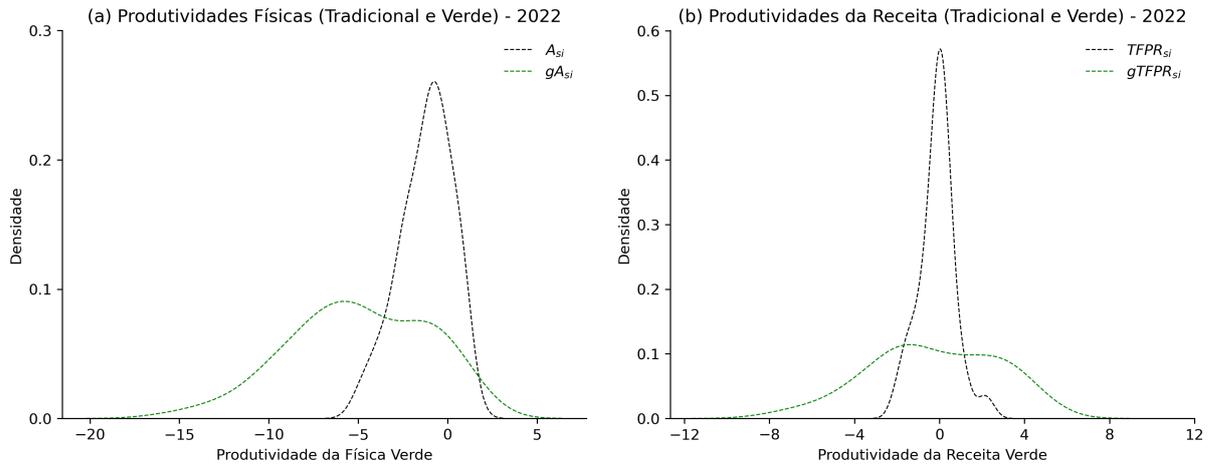
5.3 RESULTADOS DO *GREEN MISALLOCATION*

Para os cálculos das medidas de *green misallocation*, foram utilizados os mesmos dados da Seção 5.2, que consideram, além das informações financeiras das firmas, suas emissões de poluentes. O único tratamento adicional foi a exclusão de duas empresas, por setor, com os maiores valores de gA_{si} e $gTFPR_{si}$, visando eliminar *outliers* e erros de medida relativos às emissões.

A Figura 10 apresenta as distribuições das gA_{si} e $gTFPR_{si}$ para o ano de 2022, comparando com as distribuições das A_{si} e $TFPR_{si}$ para esse mesmo ano. As produtividades físicas (tradicional e verde) foram ajustadas pelos seus valores médios quando há ausência de distorções, enquanto as produtividades da receita (tradicional e verde) foram ajustadas pelas médias observadas de cada indústria.

Observa-se que as distribuições das produtividades verdes são extremamente mais dispersas que as produtividades tradicionais. Especificamente no caso da gA_{si} , a cauda da esquerda indica uma grande quantidade de empresas com baixa produtividade física verde e uma pequena parcela de empresas com essa produtividade significativamente mais alta, já a distribuição da $gTFPR_{si}$, que deveria ser equalizada, é aberta, indicando que

Figura 10 – Distribuição Produtividades Físicas e da Receita (Tradicional e Verde)



Nota: (a) mostra as produtividades físicas (tradicional e verde) ajustadas pelas produtividades do setor na ausência de distorções, $\log(A_{si}M_s^{\frac{1}{\sigma-1}}/\bar{A}_s)$ e $\log(gA_{si}M_s^{\frac{1}{\sigma-1}}/g\bar{A}_s)$, para o ano de 2022. (b) mostra as produtividades da receita (tradicional e verde) ajustadas pelas produtividades observadas do setor, $\log(TFPR_{si}/TFPR_s)$ e $\log(TFPR_{si}/gTFPR_s)$, para o ano de 2022.

Tabela 14 – Dispersão da gA_{si} e $gTFPR_{si}$

	gA_{si}	A_{si}	$gTFPR_{si}$	$TFPR_{si}$
Desvio Padrão	2,74	0,95	2,18	0,44
75 - 25	6,10	1,97	4,68	0,81
90 - 10	9,93	3,74	7,56	2,22

Nota: As estatísticas são para $\log(gA_{si}M_s^{\frac{1}{\sigma-1}}/g\bar{A}_s)$, $\log(A_{si}M_s^{\frac{1}{\sigma-1}}/\bar{A}_s)$, $\log(gTFPR_{si}/gTFPR_s)$ e $\log(TFPR_{si}/TFPR_s)$. O desvio padrão é ponderado pelo valor adicionado. 75 - 25 é a diferença entre os percentis 75% e 25% e 90 - 10 é a diferença entre os percentis 90% e 10%. Os resultados são para o ano de 2022.

as produtividades da receita verde das firmas são distintas.

Também foram calculadas as medidas de dispersão para as produtividades verdes e, mais uma vez, os resultados foram comparados com os da seção anterior. A Tabela 14 confirma o que foi observado nas distribuições, com as medidas de dispersão das produtividades verdes apresentando valores significativamente mais elevados.

A equalização da $gTFPR_{si}$, das firmas de um mesmo setor, maximiza o lucro considerando o produto verde, portanto, a elevada dispersão observada indica um alto grau de *green misallocation*. Cabe destacar que a realocação verde dos fatores de produção apenas implica na otimização de gY_s e não do produto real do setor Y_s , dessa forma, além da variação das emissões, é necessário avaliar o comportamento do produto real, quando o *green misallocation* é eliminado. A Tabela 15 apresenta os potenciais resultados para o ano de 2022.

Tabela 15 – Comportamento do Produto e Emissões com a Alocação Eficiente Verde - 2022

Setor	Varição do Produto	Emissões Observadas	Emissões Alocação Verde	Varição das Emissões	Varição Emissões por Produto
Total	-89,96	1.365.674	58.440	-95,72	-57,40
Agroindústria	-88,33	23.384	1.066	-95,44	-60,92
Energia	-84,10	75.451	65	-99,91	-99,46
Metalurgia e Siderurgia	-95,72	641.180	25.534	-96,02	-6,99
Óleo, gás e derivados	-89,82	622.897	31.250	-94,98	-50,74
Outros	-78,70	2.762	524	-81,02	-10,86

Nota: Varição do Produto e Varição das Emissões, com a equalização da $gTFPR_{si}$ intra-setorialmente, em valores percentuais. As emissões estão em ktonCO₂e. A variação das emissões por produto é dada por $100(\epsilon - 1)\%$ onde $\epsilon = \frac{gE_{prod}^{**}}{E_{prod}} = \frac{gE^{**}}{E} \frac{Y}{Y^{**}}$.

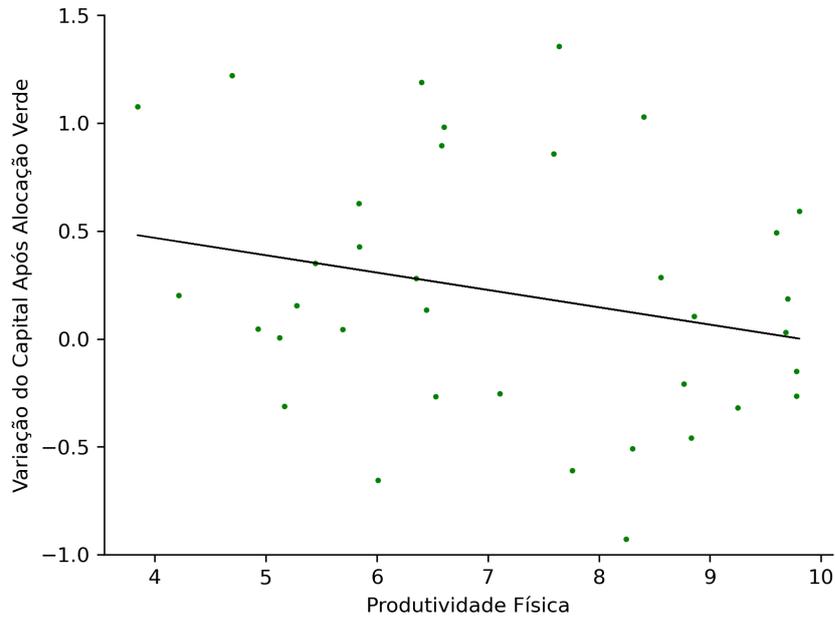
É possível verificar que as emissões caíram drasticamente, com o total emitido correspondendo apenas a aproximadamente 4% das emissões reais. Além disso, para todos os setores, a variação de emissões por produto também diminuiu. Contudo, a alocação verde também traz um grande ônus, visto que a variação do produto total foi de -89,96%, oscilando setorialmente entre -78,70% e -95,72%.

Diferentemente da Seção 5.2, em que a alocação eficiente dos fatores de produção não só aumenta a produção, como também reduz as emissões por produto, a alocação verde otimiza o produto verde das firmas, quando consideradas suas emissões, todavia, gerando uma diminuição considerável do produto real. Buscando compreender os resultados, é interessante avaliar as relações entre as produtividades física e da receita (tradicionais e verdes), bem como, suas relações com os fatores de produção.

A Figura 11 mostra a relação entre a produtividade física das firmas e sua variação de tamanho, medida por $\log(K_{si}^{**})/\log(K_{si})$, quando ocorre a alocação eficiente verde, para o setor de Energia. É possível verificar que há uma correlação negativa, ou seja, na média, firmas menos produtivas aumentaram de tamanho e firmas mais produtivas diminuíram de tamanho. Como a eliminação do *green misallocation* busca a alocação eficiente do produto considerando as emissões, mais capital e trabalho foram destinados às empresas com maiores gA_{si} , enquanto firmas com maiores valores de produtividade física encolheram.

De maneira geral, o setor elétrico possui incentivos para geração de energia renovável (inclusive para pequenos produtores), cuja emissão de poluentes é inferior a de empresas integradas e de grande porte, o que pode explicar parte do comportamento observado. O setor de Óleo, Gás e Derivados apresentou comportamento similar, com empresas do ramo

Figura 11 – Correlação entre $TFPQ$ e Variação no Tamanho das Firmas Com Alocação Verde

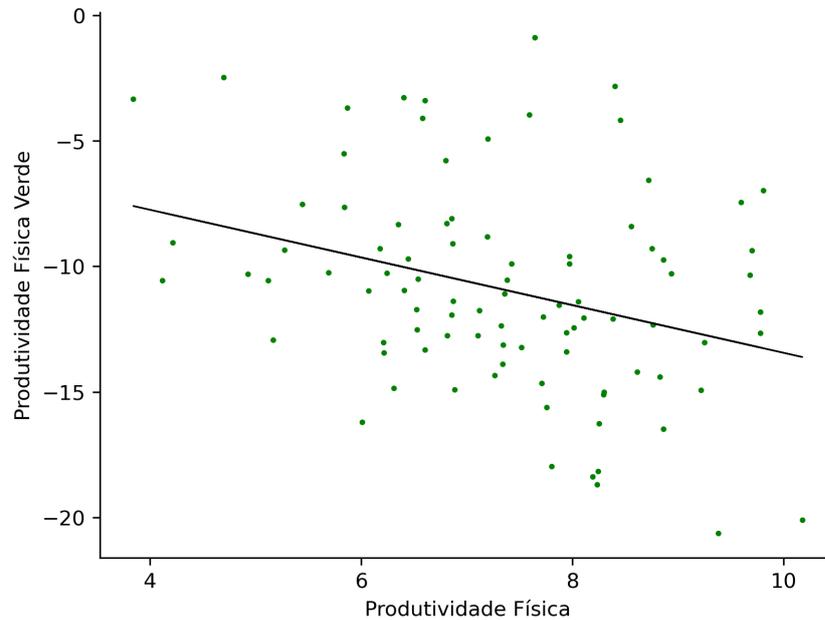


Nota: A figura mostra a correlação entre $\log(A_{si}M_s^{\frac{1}{\sigma-1}}/\bar{A}_s)$ e $\log(K_{si}^{**})/\log(K_{si})$ do setor de Energia, para o ano de 2022.

de gás natural, que é o combustível fóssil menos poluente, aumentando de tamanho, enquanto o setor de Metalurgia e Siderurgia direcionou os recursos das empresas puramente extrativas para as de tratamento dos minérios, que são menos poluentes.

A relação entre as produtividades físicas (tradicional e verde) é apresentada na figura 12. Também é verificada uma correlação negativa entre as variáveis, ou seja, na média, uma maior produtividade física verde está relacionada a uma menor produtividade física. O resultado era previsto, já que a alocação eficiente verde do capital é proporcional a $gA_{si}^{\sigma-1}$, portanto, como a correlação entre A_{si} e K_{si}^{**} foi negativa, o mesmo acontece para A_{si} e gA_{si} .

Os resultados apresentados não significam que as empresas mais produtivas são sempre e extremamente mais poluentes, pelo contrário, conforme apresentado na seção anterior, a alocação eficiente dos recursos aumenta a produção reduzindo as emissões por produto. Contudo, como verificado na distribuição da Figura 10, existe uma dispersão muito representativa na $gTFPQ$, com muitas empresas de baixa produtividade física verde e uma parcela menor de produtividade alta, para qual a maior parte dos fatores de produção é realocada, devido à alta sensibilidade da alocação dos recursos com as diferenças de produtividade física. Caso a empresa com alto $gTFPQ$ não seja uma das que possua um dos maiores $TFPQ$ do setor, o produto setorial será fortemente comprometido, pois uma

Figura 12 – Correlação entre $TFPQ$ e $gTFPQ$ 

Nota: A figura mostra a correlação entre $\log(A_{si}M_s^{\frac{1}{\sigma-1}}/\bar{A}_s)$ e $\log(gA_{si}M_s^{\frac{1}{\sigma-1}}/g\bar{A}_s)$, no setor de Energia, para o ano de 2022.

grande parcela dos recursos irá para a mesma, contudo, sua produtividade não será alta o suficiente para manter a produção da indústria.

Alguns fatores podem ter contribuído para uma possível sobrestimação das variações de produção e emissões observadas na Tabela 15. Tradicionalmente, o nível de agregação das indústrias é definido pelo código de 4 dígitos do International Standard Industries Classification (ISIC), contudo, devido ao banco de dados com número reduzido de observações (o que já traz algumas ressalvas), o nível de agregação foi mais amplo, utilizando como base os 24 setores definidos pela CVM. Ainda assim, para algumas indústrias, como a de Energia, por exemplo, mesmo em uma agregação de 4 dígitos da ISIC as variações seriam representativas, visto que a geração por energia renovável está no mesmo grupo que a geração por combustão a diesel, que é extratamento mais poluente. Outro ponto é o fato das quantidades produzidas não serem observadas e sim calculadas através do valor adicionado e de σ , portanto, como a produtividade verde é a razão entre Y_{si}/e_{si} , um dado incorreto do produto influencia diretamente no valor da gA_{si} .

No mais, talvez sendo a fonte de contribuição mais relevante para variações sobrestimadas, em caso de um dado incorreto, há as próprias informações de emissões das firmas, visto que, um erro em sua medida, assim como do produto, altera o valor das produtividades verdes (física e da receita) e, conseqüentemente, da realocação ótima dos fatores,

que são muito sensíveis à dispersão da $gTFPR_{si}$. Além disso, como a medição e disponibilização dos dados de emissões pelas firmas não são obrigatórias (na maioria dos casos), aumentam as chances de não representarem a totalidade de poluentes gerados pelas empresas, sendo este um problema ainda maior em empresas de menor porte, que possuem menos incentivos às questões de ESG.

6 ROBUSTEZ

Os resultados, que foram apresentados no Capítulo 5, consideram o cenário de referência, cujo valor do parâmetro σ é igual a 3 e os *capital shares* α_s são construídos utilizando o painel de informações financeiras das empresas de capital aberto brasileiras, para o período de 2010-2022, além disso, que a variação das emissões das firmas é linear com produto. Neste capítulo, os valores dos parâmetros serão alterados e as emissões não terão retornos constantes de escala, de modo a avaliar como os resultados são afetados por essas modificações.

6.1 VARIAÇÃO DA ELASTICIDADE DE SUBSTITUIÇÃO ENTRE BENS DIFERENCIADOS

A definição do parâmetro σ é um pressuposto forte de simplificação da análise, visto que a elasticidade de substituição entre os bens diferenciados não é a mesma para indústrias distintas, além disso, como a produção da empresa não é observada, o parâmetro é chave para obtenção do produto, a partir do valor adicionado.

Tradicionalmente, na literatura empírica de alocação eficiente de recursos, utiliza-se o valor de $\sigma = 3$, todavia, em [Dias, Marques and Richmond \(2016\)](#), os autores também consideram, nos seus cálculos de *misallocation*, outros valores, como 5,6 para os Estados Unidos e 6,8 para Portugal, provenientes de pesquisas mais atualizadas.

A Tabela 16 mostra como os potenciais ganhos de produção, das empresas listadas na bolsa de valores brasileira e do corte transversal de 2022, variam com a alteração do σ . É possível observar que as estimações do grau de *misallocation* são bastante sensíveis à elasticidade, com o ganho de 2017 mais que triplicando quando o σ é modificado de 3 para 7. Observa-se que a variação das emissões por produto, do corte transversal de 2022, segue o mesmo padrão, ou seja, uma maior elasticidade potencializa sua diminuição, visto que o ganho de produção teve sua amplitude aumentada.

Assim como, para o grau da *misallocation* tradicional, o comportamento do *green misallocation*, com a variação da elasticidade de substituição entre bens diferenciados, foi avaliado. Conforme Tabela 17, o cenário se repete, ou seja, o aumento do σ intensifica os ganhos de produção (mais especificamente, diminui a variação negativa do produto) e

Tabela 16 – Teste de Robustez σ : Potenciais Ganhos de Produção e Variação de Emissões

	2015	2017	2022	Cross-Sectional 2022	Variação Emissões por Produto
$\sigma = 3$	181,41	124,27	71,31	30,74	-30,35
$\sigma = 5$	379,51	277,21	119,71	50,10	-49,24
$\sigma = 7$	526,25	406,65	152,03	68,59	-64,77

Nota: Teste de robustez, variando a elasticidade de substituição entre bens diferenciados, dos potenciais ganhos de produção com a equalização das *TFPR* intra-setorialmente, para os anos selecionados de 2015, 2017 e 2022. A variação das emissões por produto é para o corte transversal de 2022. Todos os valores estão em percentuais.

Tabela 17 – Teste de Robustez *Green Misallocation* σ : Variação do Produto e Variação das Emissões

	Variação do Produto	Emissões Observadas	Emissões Alocação Verde	Variação das Emissões	Variação Emissões por Produto
$\sigma = 3$	-89,96	1.365.674	58.440	-95,72	-57,40
$\sigma = 5$	-64,61	1.365.729	52.233	-96,18	-89,19
$\sigma = 7$	-48,16	1.365.729	48.662	-96,44	-93,13

Nota: Teste de robustez, variando a elasticidade de substituição entre bens diferenciados, dos potenciais ganhos de produção com a equalização da *gTFPR* intra-setorialmente, para o corte transversal de 2022. As emissões estão em ktonCO₂. Os valores das Variação do Produto, Variação das Emissões e Variação das Emissões por Produto estão em percentual.

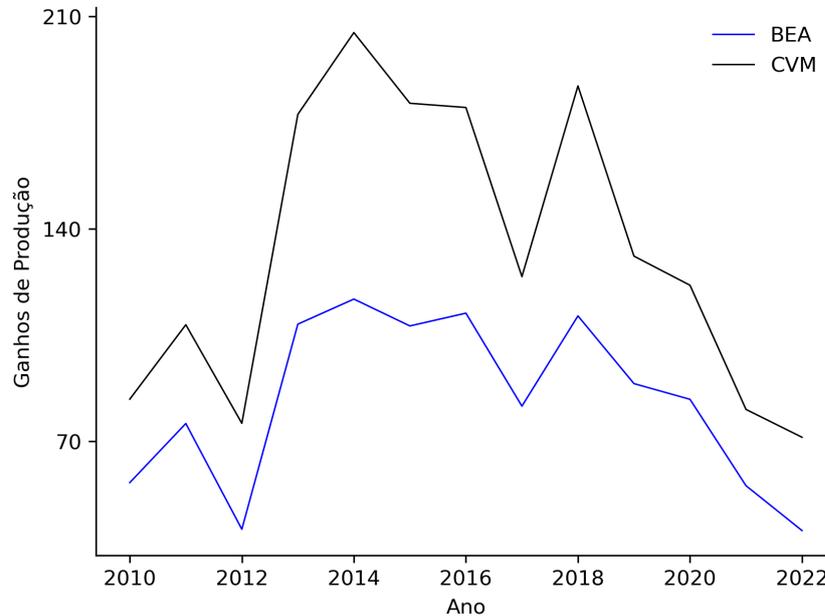
diminui as emissões por produto.

Conforme observado por Vasconcelos (2017), o aumento do grau de *misallocation* era esperado, visto que, como os produtos são mais substituíveis, implica que efeito dos preços relativos são intensificados. Além disso, os resultados ilustram que o cenário de referência, com $\sigma = 3$, pode ser interpretado como uma estimativa conservadora da extensão do grau de *misallocation*.

6.2 VARIAÇÃO DA ELASTICIDADE DO PRODUTO EM RELAÇÃO AO CAPITAL

Hsieh and Klenow (2009) adotam os *factor shares* americanos como referência, pois presumem que as elasticidades são menos distorcidas, em comparação aos outros países, tanto intra-setorialmente quanto entre setores. Para cenário de referência desta dissertação, α_s foi calculado utilizando os dados de Gasto com Pessoal e Valor Adicionado do painel de informações financeiras das empresas brasileiras listadas na bolsa de valores, portanto, assumindo que as possíveis diferenças das elasticidades, em relação aos Estados

Figura 13 – Teste de Robustez α_s : Potenciais Ganhos de Produção com a Equalização das $TFPR$ Intra-setorial



Nota: Os ganhos de produção estão em percentual. Os valores são para $100(Y^*/Y - 1)$, em que

$$\frac{Y}{Y^*} = \prod_{s=1}^S \left[\sum_{i=1}^{M_s} \left(\frac{A_{si}}{A_s} \frac{TFPR_s}{TFPR_{si}} \right)^{\sigma-1} \right]^{\frac{\theta_s}{\sigma-1}} \quad \text{e} \quad TFPR_{si} = \frac{P_{si} Y_{si}}{K_{si}^{\alpha_s} L_{si}^{(1-\alpha_s)}}.$$

Unidos, são, na verdade, fruto de características intrínsecas aos países e não de distorções, como apontado por [Oberfield \(2013\)](#).

Para calcular os *capital shares* das indústrias americanas, foram utilizados os dados setoriais disponibilizados pelo Bureau of Economic Analysis (BEA), para o período de 2008-2022. Como as classificações setoriais da CVM e do BEA são distintas, foi realizada uma correspondência aproximada entre as duas classificações. Uma diferença importante, em relação a [Hsieh and Klenow \(2009\)](#), é que as informações financeiras da CVM e do BEA refletem, além dos salários, outros gastos com pessoal, como seguridade social e benefícios adicionais, enquanto a base de dados utilizada pelos autores (NBER Productivity Database) não considera, portanto, sendo necessária a premissa adicional de um fator multiplicativo para os custos com trabalho.

A Figura 13 compara os potenciais ganhos de produção, com a equalização das produtividades da receita entre as firmas de um mesmo setor, quando utilizadas as elasticidades do produto em relação ao capital americanas e brasileiras, para o período de 2010 até 2022. É possível observar que o comportamento do grau de *misallocation* é extremamente similar, com a diferença se manifestando no nível dos potenciais ganhos de produção, sendo esse menor, quando utilizado os *capital shares* americanos.

Assim como, quando utilizada a elasticidade brasileira, observa-se uma tendência de melhoria na alocação eficiente, para o período mais recente de 2015-2022, quando utilizada a elasticidade americana, todavia, com crescimento inferior, de aproximadamente 5% ao ano, frente aos 7% apresentados no cenário de referência. No caso do corte transversal de 2022, as magnitudes dos ganhos de produção e variação das emissões por produto também diminuem, quando utilizado o α_s americano, conforme Tabela 18.

Tabela 18 – Teste de Robustez α_s : Potenciais Ganhos de Produção e Variação de Emissões

	2015	2017	2022	Cross-Sectional 2022	Variação Emissões por Produto
BR <i>Capital Shares</i>	181,41	124,27	71,31	30,74	-30,35
EUA <i>Capital Shares</i>	108,01	81,57	40,55	25,8	-20,35

Nota: Teste de robustez, variando a elasticidade do produto em relação ao capital, dos potenciais ganhos de produção com a equalização das *TFPR* intra-setorialmente, para os anos selecionados de 2015, 2017 e 2022. A variação das emissões por produto é para o corte transversal de 2022. Todos os valores estão em percentuais.

A Tabela 19 apresenta os resultados para o *green misallocation*, quando utilizada as elasticidades americanas. De maneira geral, as variações são similares, com um leve destaque para a diminuição das emissões por produto, que são maiores quando utilizados os *capital shares* dos Estados Unidos.

Tabela 19 – Teste de Robustez *Green Misallocation* α_s : Variação do Produto e Variação das Emissões

	Variação do Produto	Emissões Observadas	Emissões Alocação Verde	Variação das Emissões	Variação Emissões por Produto
BR <i>Capital Shares</i>	-89,96	1.365.674	58.440	-95,72	-57,40
EUA <i>Capital Shares</i>	-90,42	1.365.674	50.769	-96,28	-61,19

Nota: Teste de robustez, variando a elasticidade do produto em relação ao capital, dos potenciais ganhos de produção com a equalização da *gTFPR* intra-setorialmente, para o corte transversal de 2022. As emissões estão em ktonCO₂. Os valores das Variação do Produto, Variação das Emissões e Variação das Emissões por Produto estão em percentual.

6.3 RETORNOS DE ESCALA NAS EMISSÕES DE POLUENTES

Na avaliação do comportamento das emissões de poluentes das empresas, quando os fatores de produção são alocados de forma eficiente, foi considerado que as emissões variam linearmente com o produto da firma, conforme Equação 27. Contudo, é possível que fatores tecnológicos impactem a eficiência, no que tange à emissões de poluentes, das empresas, ou seja, que existam retornos de escala nas emissões de poluentes.

Em Qi, Tang and Xi (2021), os autores apresentam evidências que indústrias maiores são mais propensas a adotar tecnologias mais limpas e são relativamente menos poluentes, enquanto Dasgupta, Lucas and Wheeler (1998) verificam que, para o Brasil e o México, firmas menores geram mais emissões de gases tóxicos. Dessa forma, a Equação 27 pode ser modificada, de modo que o tamanho da firma seja considerado na projeção das novas emissões, após eliminação do *misallocation*:

$$e_{si}^* = e_{si} \left(\frac{Y_{si}^*}{Y_{si}} \right)^\psi \quad (46)$$

Caso ψ seja menor que 1, quando a firma aumenta de tamanho suas emissões por produto diminuem, já na situação contrária, em que a empresa diminui, suas emissões são proporcionalmente maiores. Com ψ maior que 1, quanto maior for o produto da firma maiores são as emissões de poluentes por produto e, se $\psi = 1$, a variação das emissões é linear, sendo este cenário de referência.

Conforme Tabela 20, após eliminação do *misallocation*, quando as emissões possuem retornos decrescentes de escala, ocorre uma diminuição dos poluentes emitidos por produto, enquanto, quando os retornos (da poluição) são crescentes, as emissões por produto aumentam, fazendo com que a variação das emissões por produto mudem de -31,48%, quando $\psi = 0,8$, para -26,55%, quando $\psi = 1,2$.

Tabela 20 – Teste de Robustez ψ : Retornos de Escala na Emissão de Poluentes

	$\psi = 0,8$	$\psi = 0,9$	$\psi = 1,0$	$\psi = 1,1$	$\psi = 1,2$
Ganhos de Produção	30,74	30,74	30,74	30,74	30,74
Emissões Totais Observadas	1.365.840	1.365.840	1.365.840	1.365.840	1.365.840
Emissões Totais com Alocação Eficiente	1.223.629	1.229.462	1.243.760	1.269.554	1.311.646
Epsilon	0,69	0,69	0,7	0,71	0,73
Variação Emissões por Produto	-31,48	-31,15	-30,35	-28,91	-26,55

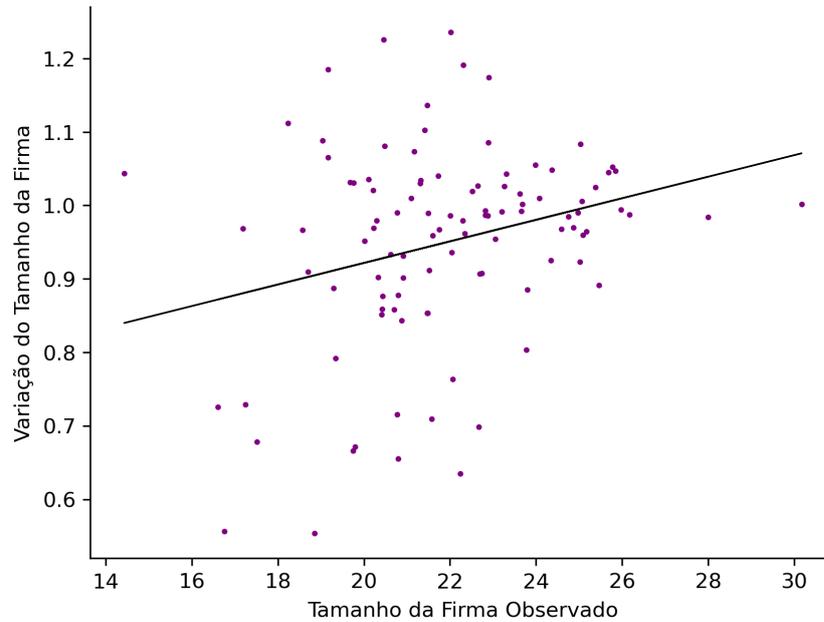
Nota: Ganhos de produção, com a equalização das *TFPR* intra-setorialmente, em valores percentuais. As emissões totais estão em ktonCO₂e. A variação das emissões é dada por $100(\epsilon - 1)\%$

$$\text{onde } \epsilon = \frac{E_{prod}^*}{E_{prod}} = \frac{E^*}{E} \frac{Y}{Y^*}.$$

Tais resultados implicam que as firmas que aumentaram de tamanho são menos poluentes que as firmas que diminuíram, o que vai ao encontro dos resultados obtidos ao longo do trabalho, pois, conforme observado na Figura 9, as emissões por produto são correlacionadas negativamente com a produtividade física, portanto, em uma alocação eficiente, as empresas de maiores produtividades física (que também são menos poluentes) crescem.

A Figura 14 reforça o apresentado em Qi, Tang and Xi (2021) e Dasgupta, Lucas and Wheeler (1998), pois, é verificada uma correlação positiva entre o tamanho observado da firma e a variação do seu tamanho, após a realocação dos fatores de produção. Ou seja, para a amostra observada, as empresas de maior porte são mais produtivas e menos poluentes.

Figura 14 – Correlação entre Variação do Tamanho da Firma e Tamanho da Firma Observado



Nota: A figura mostra a correlação entre $\log(Y_{si})$ e $\log(Y_{si}^*)/\log(Y_{si})$ das firmas do corte transversal de 2022.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação teve por objetivo calcular o grau de má alocação dos recursos das empresas de capital aberto brasileiras, os potenciais ganhos de produção quando os recursos são realocados de forma eficiente e a variação no nível emissão de poluentes. Além disso, avaliar o grau de má alocação dos recursos das firmas quando a emissão de poluentes já é incorporada na sua função de produção (*green misallocation*), bem como, as potenciais variações nas emissões de poluentes e no nível de produção.

Para as investigações propostas, foram apresentados os conceitos e a importância da análise da alocação eficiente de recursos na economia, bem como, foram exibidas as principais diretrizes que padronizam os inventários de emissões divulgados pelas firmas, estabelecidas pelo *GHG Protocol*. Além disso, as emissões de poluentes das empresas foram agregadas na metodologia desenvolvida por Hsieh and Klenow (2009) de duas maneiras (i) calculando a variação nas emissões de poluentes das firmas como proporcionais à razão entre o produto ótimo (sem a presença de *misallocation*) e o produto observado e (ii) modificando o modelo, buscando já incluir, na função de produção das firmas, as suas emissões de poluentes.

A estrutura teórica desenvolvida prevê o uso de informações a nível de empresa. Dessa forma, a partir dos dados disponibilizados pela Comissão de Valores Mobiliários, foi elaborado o painel de informações financeiras das firmas. Já os dados das emissões de poluentes foram obtidos através do Registro Público de Emissões, que abrange os inventários corporativos de gases de efeito estufa (GEE) das organizações participantes do Programa Brasileiro *GHG Protocol*, com os quais foi montado o painel de emissões de poluentes das firmas, enquanto o corte transversal utilizado no cálculo do comportamento das emissões com a alocação eficiente e do *green misallocation* foi obtido através do cruzamento dos dois painéis criados.

Os resultados apresentados para o cenário de referência mostram-se consistentes. Dois movimentos distintos foram observados, sendo um deles o aumento no grau de *misallocation* entre 2010-2012 e 2014-2018, com uma inflexão e tendência de melhora na alocação eficiente a partir do final desse período. Para os anos selecionados de 2015, 2017 e 2022, cujo potenciais ganhos de produção diminuíram de 181% para 71%, as distribuições e suas medidas de dispersão acompanharam a melhora na alocação dos recursos.

Um ponto interessante, verificado quando simulado comportamento das emissões de poluentes com a eliminação do *misallocation*, para o ano corte transversal de 2022, foi que alocação eficiente dos fatores não só aumenta a produção da economia, como também diminui a quantidade de poluentes emitida por produto, com tal situação ocorrendo em todos os setores analisados, cujo resultado agregado foi um potencial ganho de produção de 31% e diminuição de 30% das emissões por produto.

No caso dos resultados do *green misallocation*, observou-se que, quando as emissões de poluentes das firmas já são consideradas em sua função de produção, as distribuições das produtividades são significativamente mais dispersas e, conseqüentemente, suas medidas são mais elevadas. A variação nas emissões de poluentes totais e por produto são substanciais, com valores de -96% e -57%, respectivamente, todavia a um custo bastante elevado, visto que a produção também varia negativamente, com um produto "ótimo" de apenas 10% do valor observado originalmente.

Os testes de robustez realizados ratificam os valores encontrados no cenário de referência, pois, as variações observadas foram apenas de nível, não ocorrendo mudança de comportamento. A medida que a elasticidade de substituição entre bens diferenciados cresce, o grau de *misallocation* também aumenta, sendo este bastante sensível ao σ . A tendência também é observada nas emissões por produto, ou seja, o aumento da elasticidade amplifica a variação (negativa) das emissões. Quando utilizado os *capital shares* americanos, os resultados obtidos foram extremamente similares ao cenários de referência, com as diferenças manifestando-se apenas no nível dos potenciais ganhos de produção, cujos valores são maiores quando utilizadas as elasticidades do produto em relação ao capital brasileiras. Ao considerar retornos de escala nas emissões de poluentes das firmas, quando as emissões por produto crescem com o tamanho das empresas é observado um aumento nas emissões totais, enquanto, quando as emissões decrescem com o tamanho das firmas, é observado uma diminuição no nível de poluição por produto, o que corrobora com o fato de que empresas maiores são mais produtivas e menos poluentes.

O objetivo da abordagem indireta, utilizada neste trabalho, é analisar o efeito agregado do *misallocation*, não sendo necessário identificar fontes específicas que causam a má alocação dos recursos. Contudo, os resultados obtidos abrem espaço para algumas análises, quando contextualizados com o cenário brasileiro. Os graus de *misallocation* do início e final do período observado (2010-2022) são similares, na faixa de 70%, ou seja, não é verificada uma melhora na alocação eficiente dos recursos no período, o que coincide com

as dificuldades enfrentadas pelo Brasil na última década.

A dinâmica observada de aumento de ganhos de produção e redução das emissões por produto, com a alocação eficiente dos recursos, é, talvez, o resultado que gera o maior potencial de investigações adicionais, pois um fornece um ponto de partida para averiguar se há casualidades nessas relações, obviamente, acompanhados de uma base de dados mais robusta e estratégia de identificação bem definida.

Finalmente, o maior desafio para ampliar o estudo dos vínculos entre a produtividade, a má alocação de recursos e as emissões de poluentes são, justamente, os dados a nível de firma, principalmente das emissões. No caso do Brasil, cujo o universo de empresas S.A. ou presentes na PIA (Pesquisa Industrial Anual) é da ordem de centenas de milhares, a quantidade de firmas que reportam seus inventários no Registro Público de Emissões é modesta. Assim, faz-se necessário buscar alternativas para os obtenção de amostras mais representativas de dados, tanto no âmbito nacional quanto internacional, sejam tais dados relativos a setores específicos, cujas firmas tenham obrigatoriedade legal de reportarem suas emissões, ou de países cujos dados de emissões a nível de firma representem uma parcela maior do total de empresas, pois, com a crescente necessidade de preservação ambiental, torna-se urgente e imperativa a conciliação do desenvolvimento econômico com a redução das emissões de poluentes.

REFERÊNCIAS

- ACEMOGLU, D.; AGHION, P.; BURSZTYN, L.; HEMOUS, D. *The Environment and Directed Technical Change*. [S.l.], 2010. Available at: <<https://ideas.repec.org/p/ags/feemdp/92839.html>>.
- APERGIS, N.; POUFINAS, T.; ANTONOPOULOS, A. ESG scores and cost of debt. *Energy Economics*, v. 112, n. C, 2022. Available at: <<https://ideas.repec.org/a/eee/eneeco/v112y2022ics0140988322003383.html>>.
- CHEN, C.; RESTUCCIA, D.; SANTAELULIA-LLOPIS, R. Land Misallocation and Productivity. *American Economic Journal: Macroeconomics*, v. 15, n. 2, p. 441–465, April 2023. Available at: <<https://ideas.repec.org/a/aea/aejmac/v15y2023i2p441-65.html>>.
- DASGUPTA, S.; LUCAS, R. E. B.; WHEELER, D. *Small manufacturing plants, pollution, and poverty : new evidence from Brazil and Mexico*. [S.l.], 1998. Available at: <<https://ideas.repec.org/p/wbk/wbrwps/2029.html>>.
- DIAS, D. A.; MARQUES, C. R.; RICHMOND, C. Misallocation and productivity in the lead up to the Eurozone crisis. *Journal of Macroeconomics*, v. 49, n. C, p. 46–70, 2016. Available at: <<https://ideas.repec.org/a/eee/jmacro/v49y2016icp46-70.html>>.
- FOSTER, L.; HALTIWANGER, J.; SYVERSON, C. Reallocation, Firm Turnover, and Efficiency: Selection on Productivity or Profitability? *American Economic Review*, v. 98, n. 1, p. 394–425, March 2008. Available at: <<https://ideas.repec.org/a/aea/aecrev/v98y2008i1p394-425.html>>.
- HSIEH, C.-T.; KLENOW, P. J. Misallocation and Manufacturing TFP in China and India. *The Quarterly Journal of Economics*, v. 124, n. 4, p. 1403–1448, 2009. Available at: <<https://ideas.repec.org/a/oup/qjecon/v124y2009i4p1403-1448.html>>.
- JOHNSON, J. M.-F.; FRANZLUEBBERS, A. J.; WEYERS, S. L.; REICOSKY, D. C. Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. *Environmental Pollution*, v. 150, n. 1, p. 107–124, 2007. ISSN 0269-7491. Available at: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749107003016>>.
- MASSON-DELMOTTE, V.; ZHAI, P.; PIRANI, A.; CONNORS, S. L.; PÉAN, C.; BERGER, S.; CAUD, N.; CHEN, Y.; GOLDFARB, L.; GOMIS, M. et al. Climate change 2021: the physical science basis. *Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, Cambridge University Press Cambridge, UK, v. 2, 2021. Available at: <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>>.
- MONZONI, M. Contabilização, quantificação e publicação de inventários corporativos de emissões de gases de efeito estufa. *Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol*, Centro de Estudos em Sustentabilidade (FGVces), v. 2, 2008. Available at: <<https://repositorio.fgv.br/server/api/core/bitstreams/c7c1073a-44dc-489b-8c3c-da456d740592/content>>.
- OBERFIELD, E. Productivity and Misallocation During a Crisis: Evidence from the Chilean Crisis of 1982. *Review of Economic Dynamics*, v. 16, n. 1, p. 100–119, January 2013. Available at: <<https://ideas.repec.org/a/red/issued/11-215.html>>.

QI, J.; TANG, X.; XI, X. The Size Distribution of Firms and Industrial Water Pollution: A Quantitative Analysis of China. *American Economic Journal: Macroeconomics*, v. 13, n. 1, p. 151–183, January 2021. Available at: <<https://ideas.repec.org/a/aea/aejmac/v13y2021i1p151-83.html>>.

RESTUCCIA, D.; ROGERSON, R. Policy Distortions and Aggregate Productivity with Heterogeneous Plants. *Review of Economic Dynamics*, v. 11, n. 4, p. 707–720, October 2008. Available at: <<https://ideas.repec.org/a/red/issued/07-48.html>>.

RESTUCCIA, D.; ROGERSON, R. Misallocation and productivity. *Review of Economic Dynamics*, v. 16, n. 1, p. 1–10, January 2013. Available at: <<https://ideas.repec.org/a/red/issued/13-0.html>>.

RESTUCCIA, D.; ROGERSON, R. The Causes and Costs of Misallocation. *Journal of Economic Perspectives*, v. 31, n. 3, p. 151–174, Summer 2017. Available at: <<https://ideas.repec.org/a/aea/jecper/v31y2017i3p151-74.html>>.

VASCONCELOS, R. d. S. Misallocation in the Brazilian Manufacturing Sector. *Brazilian Review of Econometrics*, v. 37, n. 2, November 2017. Available at: <<https://ideas.repec.org/a/sbe/breart/v37y2017i2a61801.html>>.

WU, X.; ZHAO, J.; ZHANG, D.; LEE, W.-C.; YU, C.-H. Resource misallocation and the development of hydropower industry. *Applied Energy*, v. 306, n. PA, 2022. Available at: <<https://ideas.repec.org/a/eee/appene/v306y2022ipas0306261921013234.html>>.

YU, C.-H.; WU, X.; LEE, W.-C.; ZHAO, J. Resource misallocation in the Chinese wind power industry: The role of feed-in tariff policy. *Energy Economics*, v. 98, n. C, 2021. Available at: <<https://ideas.repec.org/a/eee/eneeco/v98y2021ics0140988321001419.html>>.

YU, C.-H.; ZHAO, J.; QIN, P.; WANG, S.-S.; LEE, W.-C. Comparison of misallocation between the Chinese thermal power and hydropower electricity industries. *Economic Modelling*, v. 116, n. C, 2022. Available at: <<https://ideas.repec.org/a/eee/ecmode/v116y2022ics0264999322002474.html>>.

ZHANG, D.; KONG, Q. Green energy transition and sustainable development of energy firms: An assessment of renewable energy policy. *Energy Economics*, v. 111, n. C, 2022. Available at: <<https://ideas.repec.org/a/eee/eneeco/v111y2022ics0140988322002262.html>>.

ZIEBARTH, N. Are China and India Backwards? Evidence from the 19th Century U.S. Census of Manufactures. *Review of Economic Dynamics*, v. 16, n. 1, p. 86–99, January 2013. Available at: <<https://ideas.repec.org/a/red/issued/11-35.html>>.

APÊNDICE A – SOLUÇÃO DO MODELO CANÔNICO

Problema da Firma Representativa

A firma representativa combina o produto Y_s de S indústrias utilizando uma função de produção Cobb-Douglas:

$$Y = \prod_{s=1}^S Y_s^{\theta_s} \quad (\text{A.1})$$

Considerando que $\sum_{s=1}^S \theta_s = 1$, o problema de minimização dos custos é dado por:

$$\min_{\{Y_s\}_{s=1}^S} \sum_{s=1}^S P_s Y_s \quad (\text{A.2})$$

Sujeito à restrição da Equação A.1. O lagrangeano é dado por:

$$\mathcal{L} = \sum_{s=1}^S P_s Y_s - \lambda \left(\prod_{s=1}^S Y_s^{\theta_s} - Y \right) \quad (\text{A.3})$$

As condições de primeira ordem implicam que:

$$\begin{aligned} P_{s^*} &= \lambda \theta_{s^*} Y_{s^*}^{\theta_{s^*}-1} \prod_{s=1}^{S-\{s^*\}} Y_s^{\theta_s} \\ P_{s^*} Y_{s^*} &= \lambda \theta_{s^*}^* \prod_{s=1}^S Y_s^{\theta_s} = \lambda \theta_{s^*}^* Y \end{aligned} \quad (\text{A.4})$$

Assim, da relação entre dois setores:

$$\begin{aligned} Y_s &= Y_j \frac{P_j \theta_s}{P_s \theta_j} \\ Y &= \prod_{s=1}^S Y_s^{\theta_s} = \prod_{s=1}^S \left(Y_j \frac{P_j \theta_s}{P_s \theta_j} \right)^{\theta_s} \\ Y &= Y_j \frac{P_j}{\theta_j} \prod_{s=1}^S \left(\frac{\theta_s}{P_s} \right)^{\theta_s} \\ Y_j \frac{P_j}{\theta_j} &= Y \prod_{s=1}^S \left(\frac{P_s}{\theta_s} \right)^{\theta_s} \end{aligned} \quad (\text{A.5})$$

Portanto, definindo que $P = \prod_{s=1}^S \left(\frac{P_s}{\theta_s} \right)^{\theta_s}$, a minimização de custos implica que a parcela de cada setor na economia é dada por:

$$\theta_s = \frac{P_s Y_s}{P Y} \quad (\text{A.6})$$

Problema do Setor Intermediário

O mercado a nível de firma é definido como uma competição monopolística, com bem intermediário Y_s e M_s produtos diferenciados:

$$Y_s = \left(\sum_{i=1}^{M_s} Y_{si}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \quad (\text{A.7})$$

A demanda dos bens intermediários é dada a partir do problema de maximização de lucro da indústria s , em que o lucro é dado por:

$$\pi_s = P_s Y_s - \sum_{i=1}^{M_s} P_{si} Y_{si} \quad (\text{A.8})$$

Portanto, o problema de maximização é dado por:

$$\max_{Y_{si}} P_s \left(\sum_{i=1}^{M_s} Y_{si}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} - \sum_{i=1}^{M_s} P_{si} Y_{si} \quad (\text{A.9})$$

Cujas condições de primeira ordem implicam na demanda inversa de cada variedade:

$$\begin{aligned} P_{si} &= P_s \left(\frac{\sigma}{\sigma-1} \right) \left(\sum_{i=1}^{M_s} Y_{si}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right)^{\frac{1}{\sigma-1}} \left(\frac{\sigma-1}{\sigma} \right) Y_{si}^{-\frac{1}{\sigma}} \\ P_{si} &= P_s Y_s^{\frac{1}{\sigma}} Y_{si}^{-\frac{1}{\sigma}} \end{aligned} \quad (\text{A.10})$$

Problema da Firma do Bem Diferenciado

Cada bem diferenciado é determinado por uma função de produção Cobb-Douglas a nível de firma:

$$Y_{si} = A_{si} K_{si}^{\alpha_s} L_{si}^{1-\alpha_s} \quad (\text{A.11})$$

Utilizando as equações A.10 e A.11, o problema de maximização do lucro da firma da firma i é dado por:

$$\begin{aligned} \max_{K_{si}, L_{si}} \pi_{si} &= (1 - \tau_{Y_{si}}) P_{si} Y_{si} - \omega L_{si} - (1 + \tau_{K_{si}}) R K_{si} \\ &= (1 - \tau_{Y_{si}}) P_s Y_s^{\frac{1}{\sigma}} Y_{si}^{-\frac{1}{\sigma}} Y_{si} - \omega L_{si} - (1 + \tau_{K_{si}}) R K_{si} \\ &= (1 - \tau_{Y_{si}}) P_s Y_s^{\frac{1}{\sigma}} Y_{si}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} - \omega L_{si} - (1 + \tau_{K_{si}}) R K_{si} \\ &= (1 - \tau_{Y_{si}}) P_s Y_s^{\frac{1}{\sigma}} \left(A_{si} K_{si}^{\alpha_s} L_{si}^{1-\alpha_s} \right)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} - \omega L_{si} - (1 + \tau_{K_{si}}) R K_{si} \end{aligned} \quad (\text{A.12})$$

Das condições de primeira ordem em relação a K_{si} e L_{si} , obtém-se a relação capital-trabalho:

$$(1 - \tau_{Y_{si}})P_s Y_s^{\frac{1}{\sigma}} \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) Y_{si}^{-\frac{1}{\sigma}} (1 - \alpha_s) A_{si} \left(\frac{K_{si}}{L_{si}} \right)^{\alpha_s} = \omega \quad (\text{A.13})$$

$$(1 - \tau_{Y_{si}})P_s Y_s^{\frac{1}{\sigma}} \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) Y_{si}^{-\frac{1}{\sigma}} \alpha_s A_{si} \left(\frac{K_{si}}{L_{si}} \right)^{\alpha_s - 1} = (1 + \tau_{K_{si}})R \quad (\text{A.14})$$

$$\frac{K_{si}}{L_{si}} = \frac{\alpha_s}{1 - \alpha_s} \frac{\omega}{R} \frac{1}{(1 + \tau_{K_{si}})} \quad (\text{A.15})$$

A partir das equações A.10, A.13 e A.15, encontra-se o P_{si} :

$$(1 - \tau_{Y_{si}})P_s Y_s^{\frac{1}{\sigma}} \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) Y_{si}^{-\frac{1}{\sigma}} (1 - \alpha_s) A_{si} \left(\frac{\alpha_s}{1 - \alpha_s} \frac{\omega}{R} \frac{1}{(1 + \tau_{K_{si}})} \right)^{\alpha_s} = \omega$$

$$(1 - \tau_{Y_{si}})P_{si} Y_{si}^{\frac{1}{\sigma}} \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) Y_{si}^{-\frac{1}{\sigma}} (1 - \alpha_s) A_{si} \left(\frac{\alpha_s}{1 - \alpha_s} \frac{\omega}{R} \frac{1}{(1 + \tau_{K_{si}})} \right)^{\alpha_s} = \omega$$

$$P_{si} = \frac{\sigma}{\sigma - 1} \left(\frac{R}{\alpha_s} \right)^{\alpha_s} \left(\frac{\omega}{1 - \alpha_s} \right)^{1 - \alpha_s} \frac{(1 + \tau_{K_{si}})^{\alpha_s}}{A_{si}(1 - \tau_{Y_{si}})} \quad (\text{A.16})$$

Ainda a partir das condições de primeira ordem, encontra-se que a alocação dos recursos depende tanto dos níveis de TFP da firma quanto das distorções que ela enfrenta:

$$\begin{aligned} \omega &= (1 - \tau_{Y_{si}})P_s Y_s^{\frac{1}{\sigma}} \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) Y_{si}^{-\frac{1}{\sigma}} (1 - \alpha_s) A_{si} \left(\frac{K_{si}}{L_{si}} \right)^{\alpha_s} \\ L_{si}\omega &= (1 - \tau_{Y_{si}})P_s Y_s^{\frac{1}{\sigma}} \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) Y_{si}^{-\frac{1}{\sigma}} (1 - \alpha_s) Y_{si} \\ L_{si}\omega &= (1 - \tau_{Y_{si}})P_s Y_s^{\frac{1}{\sigma}} \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) (A_{si} K_{si}^{\alpha_s} L_{si}^{1 - \alpha_s})^{\frac{\sigma - 1}{\sigma}} (1 - \alpha_s) \\ L_{si} L_{si}^{\frac{-(\sigma - 1)}{\sigma}} \omega &= (1 - \tau_{Y_{si}})P_s Y_s^{\frac{1}{\sigma}} \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) (A_{si} K_{si}^{\alpha_s} L_{si}^{1 - \alpha_s})^{\frac{\sigma - 1}{\sigma}} (1 - \alpha_s) L_{si}^{\frac{-(\sigma - 1)}{\sigma}} \\ L_{si}^{\frac{1}{\sigma}} &= \frac{1}{\omega} (1 - \tau_{Y_{si}})P_s Y_s^{\frac{1}{\sigma}} \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) (1 - \alpha_s) \left[A_{si} \left(\frac{\alpha_s}{1 - \alpha_s} \frac{\omega}{R} \frac{1}{(1 + \tau_{K_{si}})} \right)^{\alpha_s} \right]^{\frac{\sigma - 1}{\sigma}} \\ L_{si} &= \frac{1}{\omega^\sigma} \left[(1 - \tau_{Y_{si}})P_s Y_s^{\frac{1}{\sigma}} \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) (1 - \alpha_s) \right]^\sigma \left[A_{si} \left(\frac{\alpha_s}{1 - \alpha_s} \frac{\omega}{R} \frac{1}{(1 + \tau_{K_{si}})} \right)^{\alpha_s} \right]^{\sigma - 1} \\ L_{si} &= \frac{A_{si}^{\sigma - 1} (1 - \tau_{Y_{si}})^\sigma}{(1 + \tau_{K_{si}})^{\alpha_s (\sigma - 1)}} \frac{1}{\omega^\sigma} \left[P_s Y_s^{\frac{1}{\sigma}} \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) (1 - \alpha_s) \right]^\sigma \left(\frac{\alpha_s}{1 - \alpha_s} \omega \right)^{\alpha_s (\sigma - 1)} \\ L_{si} &\propto \frac{A_{si}^{\sigma - 1} (1 - \tau_{Y_{si}})^\sigma}{(1 + \tau_{K_{si}})^{\alpha_s (\sigma - 1)}} \end{aligned} \quad (\text{A.17})$$

Utilizando a função de produção da firma, obtém-se:

$$\begin{aligned}
Y_{si} &= A_{si} \left(\frac{K_{si}}{L_{si}} \right)^{\alpha_s} L_{si} \\
Y_{si} &= A_{si} \left(\frac{\alpha_s}{1 - \alpha_s} \frac{\omega}{R} \frac{1}{(1 + \tau_{K_{si}})} \right)^{\alpha_s} L_{si} \\
Y_{si} &\propto A_{si} \left(\frac{\alpha_s}{1 - \alpha_s} \frac{\omega}{R} \frac{1}{(1 + \tau_{K_{si}})} \right)^{\alpha_s} \frac{A_{si}^{\sigma-1} (1 - \tau_{Y_{si}})^\sigma}{(1 + \tau_{K_{si}})^{\alpha_s(\sigma-1)}} \\
Y_{si} &\propto \frac{A_{si}^\sigma (1 - \tau_{Y_{si}})^\sigma}{(1 + \tau_{K_{si}})^{\alpha_s \sigma}} \left(\frac{\alpha_s}{1 - \alpha_s} \frac{\omega}{R} \right)^{\alpha_s} \\
Y_{si} &\propto \frac{A_{si}^\sigma (1 - \tau_{Y_{si}})^\sigma}{(1 + \tau_{K_{si}})^{\alpha_s \sigma}}
\end{aligned} \tag{A.18}$$

As receitas marginais do capital e trabalho ($MRPK_{si}$, e $MRPL_{si}$) são proporcionais à receita ($P_{si}Y_{si}$) por capital e trabalho, respectivamente:

$$\begin{aligned}
(1 + \tau_{K_{si}})R &= (1 - \tau_{Y_{si}})P_s Y_s^{\frac{1}{\sigma}} \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) Y_{si}^{-\frac{1}{\sigma}} \alpha_s A_{si} \left(\frac{K_{si}}{L_{si}} \right)^{\alpha_s - 1} \\
(1 + \tau_{K_{si}})R &= (1 - \tau_{Y_{si}})P_{si} \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \alpha_s \frac{Y_{si}}{K_{si}} \\
MRPK_{si} &= \alpha_s \frac{\sigma - 1}{\sigma} \frac{P_{si} Y_{si}}{K_{si}} = R \frac{1 + \tau_{K_{si}}}{1 - \tau_{Y_{si}}}
\end{aligned} \tag{A.19}$$

$$\begin{aligned}
\omega &= (1 - \tau_{Y_{si}})P_s Y_s^{\frac{1}{\sigma}} \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) Y_{si}^{-\frac{1}{\sigma}} (1 - \alpha_s) A_{si} \left(\frac{K_{si}}{L_{si}} \right)^{\alpha_s} \\
\omega &= (1 - \tau_{Y_{si}})P_{si} \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) (1 - \alpha_s) \frac{Y_{si}}{L_{si}} \\
MRPL_{si} &= (1 - \alpha_s) \frac{\sigma - 1}{\sigma} \frac{P_{si} Y_{si}}{L_{si}} = \omega \frac{1}{(1 - \tau_{Y_{si}})}
\end{aligned} \tag{A.20}$$

As equações acima também são utilizadas para encontrar os valores das distorções enfrentadas por cada firma:

$$1 + \tau_{K_{si}} = \frac{\alpha_s}{1 - \alpha_s} \frac{\omega L_{si}}{R K_{si}} \tag{A.21}$$

$$1 - \tau_{Y_{si}} = \frac{\sigma}{\sigma - 1} \frac{\omega L_{si}}{(1 - \alpha_s) P_{si} Y_{si}} \tag{A.22}$$

Da função de produção da firma, são obtidas as produtividades física e do produto:

$$TFPQ_{si} = A_{si} = \frac{Y_{si}}{K_{si}^{\alpha_s} L_{si}^{(1-\alpha_s)}} \tag{A.23}$$

$$TFPR_{si} = P_{si} A_{si} = \frac{P_{si} Y_{si}}{K_{si}^{\alpha_s} L_{si}^{(1-\alpha_s)}} \tag{A.24}$$

A partir das equações A.16, A.19 e A.20, podemos mostrar que $TFPR_{si}$ é proporcional à média geométrica dos produtos da receita marginal do capital e trabalho:

$$\begin{aligned} TFPR_{si} &= P_{si}A_{si} = \frac{\sigma}{\sigma-1} \left(\frac{R}{\alpha_s}\right)^{\alpha_s} \left(\frac{\omega}{1-\alpha_s}\right)^{1-\alpha_s} \frac{(1+\tau_{K_{si}})^{\alpha_s}}{A_{si}(1-\tau_{Y_{si}})} A_{si} \\ TFPR_{si} &= \frac{\sigma}{\sigma-1} \left(\frac{R(1+\tau_{K_{si}})}{\alpha_s(1-\tau_{Y_{si}})}\right)^{\alpha_s} \left(\frac{\omega}{(1-\alpha_s)(1-\tau_{Y_{si}})}\right)^{1-\alpha_s} \\ TFPR_{si} &= \frac{\sigma}{\sigma-1} \left(\frac{MRPK_{si}}{\alpha_s}\right)^{\alpha_s} \left(\frac{MRPL_{si}}{1-\alpha_s}\right)^{1-\alpha_s} \\ TFPR_{si} &\propto (MRPK_{si})^{\alpha_s} (MRPL_{si})^{(1-\alpha_s)} \propto \frac{(1+\tau_{K_{si}})^{\alpha_s}}{1-\tau_{Y_{si}}} \end{aligned}$$

Utilizando a Equação A.10 em A.23, obtém-se uma expressão com a qual é possível encontrar o valor de A_{si} :

$$\begin{aligned} P_{si} &= P_s Y_s^{\frac{1}{\sigma}} Y_{si}^{-\frac{1}{\sigma}} \\ P_{si} Y_{si} &= P_s Y_s^{\frac{1}{\sigma}} Y_{si}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \\ Y_{si} &= (P_s Y_s^{\frac{1}{\sigma}})^{\frac{-\sigma}{\sigma-1}} (P_{si} Y_{si})^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \\ A_{si} &= \frac{(P_s Y_s^{\frac{1}{\sigma}})^{\frac{-\sigma}{\sigma-1}} (P_{si} Y_{si})^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}}{K_{si}^{\alpha_s} L_{si}^{(1-\alpha_s)}} \\ A_{si} &= \kappa_s \frac{(P_{si} Y_{si})^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}}{K_{si}^{\alpha_s} L_{si}^{(1-\alpha_s)}} \end{aligned} \tag{A.25}$$

O escalar $\kappa_s = \frac{(P_s Y_s)^{-\frac{1}{\sigma-1}}}{P_s}$ não é observado e pode ser igualado a 1.

Cálculo dos Agregados

\overline{MRPK}_s e \overline{MRPL}_s são as médias ponderadas das receitas marginais do capital e trabalho, respectivamente.

$$\begin{aligned} MRPK_{si} &= R \frac{1+\tau_{K_{si}}}{1-\tau_{Y_{si}}} \\ \overline{MRPK}_s &= \frac{R}{\left(\sum_{i=1}^{M_s} \frac{1-\tau_{Y_{si}}}{1+\tau_{K_{si}}} \frac{P_{si} Y_{si}}{P_s Y_s}\right)} \end{aligned} \tag{A.26}$$

$$\begin{aligned} MRPL_{si} &= \omega \frac{1}{(1-\tau_{Y_{si}})} \\ \overline{MRPL}_s &= \frac{\omega}{\left(\sum_{i=1}^{M_s} (1-\tau_{Y_{si}}) \frac{P_{si} Y_{si}}{P_s Y_s}\right)} \end{aligned} \tag{A.27}$$

Dado que, para uma indústria, $K_s = \sum_{i=1}^{M_s} K_{si}$ e $L_s = \sum_{i=1}^{M_s} L_{si}$ e, para a firma representativa, $K = \sum_{i=1}^S K_s$ e $L = \sum_{i=1}^S L_s$, a partir da Equação A.6, com $P = 1$, e das distorções e das receitas marginais do capital e trabalho obtém-se:

$$\begin{aligned}
K_{si} &= \frac{\sigma - 1}{\sigma} \alpha_s \left(\frac{1 - \tau_{Y_{si}}}{1 + \tau_{K_{si}}} \right) \frac{P_{si} Y_{si}}{R} \\
K_s &= \sum_{i=1}^{M_s} K_{si} = \frac{\sigma - 1}{\sigma} \alpha_s \sum_{i=1}^{M_s} \left[\left(\frac{1 - \tau_{Y_{si}}}{1 + \tau_{K_{si}}} \right) \frac{P_{si} Y_{si}}{R} \left(\frac{\theta_s Y}{P_s Y_s} \right) \right] \\
K_s &= \frac{\sigma - 1}{\sigma} \alpha_s \theta_s Y \overline{MRPK_s}^{-1} \\
K &= \sum_{i=1}^S K_s = \frac{\sigma - 1}{\sigma} Y \sum_{i=s'}^S \alpha_{s'} \theta_{s'} \overline{MRPK_{s'}}^{-1} \\
\frac{K_s}{K} &= \frac{\alpha_s \theta_s \overline{MRPK_s}^{-1}}{\sum_{i=s'}^S (1 - \alpha_{s'}) \theta_{s'} \overline{MRPK_{s'}}^{-1}} \\
K_s &= \sum_{i=1}^{M_s} K_{si} = K \frac{\alpha_s \theta_s / \overline{MRPK_s}}{\sum_{i=s'}^S \alpha_{s'} \theta_{s'} / \overline{MRPK_{s'}}} \tag{A.28}
\end{aligned}$$

Analogamente:

$$\begin{aligned}
L_{si} &= \frac{\sigma - 1}{\sigma} (1 - \alpha_s) (1 - \tau_{Y_{si}}) \frac{P_{si} Y_{si}}{\omega} \\
L_s &= \sum_{i=1}^{M_s} L_{si} = \frac{\sigma - 1}{\sigma} (1 - \alpha_s) \sum_{i=1}^{M_s} \left[(1 - \tau_{Y_{si}}) \frac{P_{si} Y_{si}}{\omega} \left(\frac{\theta_s Y}{P_s Y_s} \right) \right] \\
L_s &= \frac{\sigma - 1}{\sigma} (1 - \alpha_s) \theta_s Y \overline{MRPL_s}^{-1} \\
L &= \sum_{i=1}^S L_s = \frac{\sigma - 1}{\sigma} Y \sum_{i=s'}^S (1 - \alpha_{s'}) \theta_{s'} \overline{MRPL_{s'}}^{-1} \\
\frac{L_s}{L} &= \frac{(1 - \alpha_s) \theta_s \overline{MRPL_s}^{-1}}{\sum_{i=s'}^S (1 - \alpha_{s'}) \theta_{s'} \overline{MRPL_{s'}}^{-1}} \\
L_s &= \sum_{i=1}^{M_s} L_{si} = L \frac{(1 - \alpha_s) \theta_s / \overline{MRPL_s}}{\sum_{i=s'}^S (1 - \alpha_{s'}) \theta_{s'} / \overline{MRPL_{s'}}} \tag{A.29}
\end{aligned}$$

A $\overline{TFPR_s}$ é proporcional à média geométrica da média ponderada das receitas marginais do capital e trabalho de um setor e representa a $TFPR$ observada:

$$\overline{TFPR_s} = \frac{\sigma}{\sigma - 1} \left(\frac{\overline{MRPK_s}}{\alpha_s} \right)^{\alpha_s} \left(\frac{\overline{MRPL_s}}{1 - \alpha_s} \right)^{1 - \alpha_s} \tag{A.30}$$

Considerando que o setor é representado por função de produção uma Cobb-Douglas:

$$Y_s = TFP_s K_s^{\alpha_s} L_s^{1-\alpha_s} \quad (\text{A.31})$$

$$\begin{aligned} TFP_s &= \frac{Y_s}{K_s^{\alpha_s} L_s^{1-\alpha_s}} \\ TFP_s &= \frac{\left[\sum_{i=1}^{M_s} (A_{si} K_{si}^{\alpha_s} L_{si}^{1-\alpha_s})^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}}{\left(\sum_{i=1}^{M_s} K_{si} \right)^{\alpha_s} \left(\sum_{i=1}^{M_s} L_{si} \right)^{1-\alpha_s}} \\ TFP_s &= \frac{\left[\sum_{i=1}^{M_s} (A_{si} \frac{1-\tau_{Y_{si}}}{(1+\tau_{K_{si}})^{\alpha_s}})^{\sigma-1} \right]^{\frac{1}{\sigma-1}}}{\left(\sum_{i=1}^{M_s} \frac{1-\tau_{Y_{si}}}{1+\tau_{K_{si}}} \frac{P_{si} Y_{si}}{P_s Y_s} \right)^{\alpha_s} \left(\sum_{i=1}^{M_s} (1-\tau_{Y_{si}}) \frac{P_{si} Y_{si}}{P_s Y_s} \right)^{1-\alpha_s}} \\ TFP_s &= \left[\sum_{i=1}^{M_s} \left(A_{si} \frac{\overline{TFPR}_s}{TFPR_{si}} \right)^{\sigma-1} \right]^{\frac{1}{\sigma-1}} \end{aligned} \quad (\text{A.32})$$

Se receitas marginais do capital e trabalho forem equalizadas entre as firmas de um mesmo setor e, conseqüentemente, suas produtividades da receita, obtém-se que $\overline{TFPR}_s = TFPR_{si}$. Assim, dá Equação A.32 temos que a TFP eficiente da indústria será:

$$\begin{aligned} TFP_s &= \left[\sum_{i=1}^{M_s} \left(A_{si} \frac{\overline{TFPR}_s}{TFPR_{si}} \right)^{\sigma-1} \right]^{\frac{1}{\sigma-1}} \\ TFP_s &= \left[\sum_{i=1}^{M_s} \left(A_{si} \frac{\frac{\sigma}{\sigma-1} \left(\frac{MRPK_s}{\alpha_s} \right)^{\alpha_s} \left(\frac{MRPL_s}{1-\alpha_s} \right)^{1-\alpha_s}}{\frac{\sigma}{\sigma-1} \left(\frac{MRPK_{si}}{\alpha_s} \right)^{\alpha_s} \left(\frac{MRPL_{si}}{1-\alpha_s} \right)^{1-\alpha_s}} \right)^{\sigma-1} \right]^{\frac{1}{\sigma-1}} \\ \bar{A}_s &= \left(\sum_{i=1}^{M_s} A_{si}^{\sigma-1} \right)^{\frac{1}{\sigma-1}} \end{aligned} \quad (\text{A.33})$$

Combinando as equações A.1 e A.31, é possível obter o produto agregado da economia como uma função dos fatores de produção setoriais agregados e sua TFP:

$$Y = \prod_{s=1}^S (TFP_s K_s^{\alpha_s} L_s^{1-\alpha_s})^{\theta_s} \quad (\text{A.34})$$

A agregação de todos os setores, utilizando a função Cobb-Douglas em A.1, fornece o *misallocation* e permite calcular os ganhos de produção para a economia:

$$\begin{aligned} TFP_s &= \left[\sum_{i=1}^{M_s} \left(A_{si} \frac{\overline{TFPR}_s}{TFPR_{si}} \right)^{\sigma-1} \right]^{\frac{1}{\sigma-1}} \\ \frac{TFP_s}{TFP_s^*} &= \left[\sum_{i=1}^{M_s} \left(\frac{A_{si}}{\bar{A}_s} \frac{\overline{TFPR}_s}{TFPR_{si}} \right)^{\sigma-1} \right]^{\frac{1}{\sigma-1}} \\ \frac{Y}{Y^*} &= \prod_{s=1}^S \left[\sum_{i=1}^{M_s} \left(\frac{A_{si}}{\bar{A}_s} \frac{\overline{TFPR}_s}{TFPR_{si}} \right)^{\sigma-1} \right]^{\frac{\theta_s}{\sigma-1}} \end{aligned} \quad (\text{A.35})$$