



A CONTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS NA EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA DA CADEIA DE PRODUTOS TÊXTEIS CONSUMIDOS NO BRASIL

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.6.23.I-004>

Alessandra Maria Giacomini (*), Jhonathan Fernandes Torres de Souza, Sergio Almeida Pacca

*Universidade de São Paulo-USP, Escola de Artes Ciências e Humanidades-EACH, e-mail: alessandra.giacomini@usp.br.

RESUMO

A indústria têxtil e de confecção é uma das maiores geradoras de resíduos sólidos no mundo. Estima-se que 87% dos têxteis produzidos sejam enviados para aterros ou incinerados. Essa disposição final de resíduos têxteis tem um impacto significativo sobre as emissões de gases de efeito estufa (GEE), porém os estudos existentes geralmente se concentram em avaliar o fim de vida dos produtos têxteis sob a ótica da produção, não levando em conta que a demanda por têxteis gera outros tipos de resíduos indiretamente ao longo da cadeia econômica. Assim, o presente estudo estima as emissões indiretas decorrentes da demanda por produtos têxteis no Brasil sobre as emissões de GEE no setor de resíduos, tanto no âmbito nacional quanto internacional. O estudo utilizou a análise Multirregional de Insumo-Produto (MRIO) para estimar as emissões em dióxido de carbono equivalente (CO₂e) decorrente da demanda final de US\$ 1 milhão em produtos do setor têxtil. A base de dados utilizada foi o Exiobase 3 referente ao ano de 2015. Os resultados apontam para uma emissão global de 643,6 toneladas de CO₂e/US\$1 milhão. Resíduos alimentares e de papel aparecem entre os dez primeiros colocados dos 7.987 setores que compõem o MRIO. O setor de resíduos como um todo representa 17% das emissões globais da demanda por produto têxtil brasileiro. Somente 3% da emissão no setor de resíduos é devida aos próprios resíduos têxteis. A grande maioria das emissões de GEE ocorrem no próprio Brasil. Segundo estimativa do modelo, a demanda têxtil contribuiu com a emissão de 2,1 milhões de toneladas de CO₂e, representando 6% das emissões diretas do setor de disposição de resíduos sólidos no Brasil em 2015. O estudo promove uma abordagem alternativa de mensuração dos impactos sobre o ambiente e a saúde humana, para motivar a criação de políticas públicas com ações direcionadas tanto para emissões indiretas ao longo da cadeia como emissões diretas pela produção industrial.

PALAVRAS-CHAVE: Emissões de GEE, Resíduo Têxtil, Setor de Resíduos, Modelo Multirregional de Insumo-Produto, emissões de escopo 3.

ABSTRACT

Textile and clothing manufacturing are among the largest generators of solid waste in the world. The estimative is that 87% of textiles are sent to landfills or incinerated. The disposal of textile waste has a significant impact on greenhouse gas (GHG) emissions, but previous studies have usually evaluated end-of-life emissions of textile products on a production-based approach, disregarding that the textile demand indirectly generates other types of waste through the supply chain. Thus, this study estimates GHG emissions from the domestic and international waste sector that is driven by Brazilian textile products demand. We applied the Multiregional Input-Output (MRIO) model to estimate the carbon dioxide equivalent (CO₂e) emissions due to US\$1 million of final demand of textile products. We used the Exiobase 3 model for the year 2015 to carry out the analysis. Results have shown global emissions equal to 643.6 metric tons of CO₂e/US\$ 1 million. Food and paper wastes are among the top ten out of 7.987 sectors present in MRIO. The disposal of waste represents 17% of total emissions by Brazilian textile demand. Only 3% of waste sector total emissions are due to the own textile waste. Most of the emissions occur in the Brazilian territory. According to the model, the textile demand was responsible for 2.1 million metric tons of CO₂e, 6% of the direct Brazilian waste disposal emissions in 2015. The study promotes an alternative approach to measure impacts on the environment and human health, aiming public policies focusing on both indirect emissions related to the supply chain and direct emissions from the industry.

KEY WORDS: GHG Emissions, Textile Waste, Waste Sector, Multiregional Input-Output Model, scope 3 emissions.



INTRODUÇÃO

Segundo o Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE), em 2020, a disposição de resíduos sólidos no Brasil resultou na emissão de 42,4 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (MtCO_2e). Este valor representou 61% das emissões de CO_2e do setor de resíduos e 3% das emissões nacionais totais no mesmo ano. Além disso, as emissões da disposição dos resíduos sólidos aumentaram a uma taxa anual média de 3,1% na última década (MCTI, 2020).

A indústria têxtil e de confecção desempenha um papel significativo na economia tanto do Brasil quanto do mundo, contribuindo para a geração de riqueza e empregando milhões de indivíduos globalmente. No entanto, é importante destacar que, juntamente com seus benefícios econômicos e sociais, essa indústria também gera impactos ambientais significativos em todas as etapas de sua cadeia produtiva, sendo também, uma das maiores geradoras de resíduos sólidos no mundo (MUTHU, 2020).

Do total de têxteis produzidos, 87% vão parar em aterros ou são incinerados. Sendo que deste valor, 10% das perdas ocorrem durante a etapa de produção do vestuário, 2% são perdas em peças enviadas para aterro ou incineração sem nunca ter chegado ao mercado, 73% são peças de roupas descartadas pelo usuário após o uso e, uma perda adicional de 2% ocorre na coleta e triagem de roupas descartadas (DESIGN4CIRCLE, 2019).

Estudos tem mostrado os impactos da disposição de resíduos têxteis sobre emissões de gases de efeito estufa (GEE) no setor de resíduos, a exemplo, Sandin et al. (2019) demonstraram que apenas 3% das emissões de todo o ciclo dos têxteis são resultantes da fase de fim de vida (setor de resíduos) dos tecidos. Similarmente, Quantis (2018) encontrou um valor menor que 1%.

Entretanto, a maioria dos estudos se utilizam de análise de ciclo de vida (ACV) que, apesar de contemplar todas as fases de processo desde a obtenção das matérias-primas até o descarte de produtos (escopo *cradle-to-grave*), dificilmente considera todos os impactos indiretos sobre as atividades da economia nacional ou global, sobretudo os setores que não estão conectados no fluxo principal (vertical) de um produto/serviço. Além disso, geralmente, este tipo de análise está sujeito a erros de truncagem e, por isso, não captura todas as emissões indiretas.

A cadeia têxtil é complexa e ramificada (horizontal), envolvendo a integração de diversos setores produtivos e de serviços ao longo de seu ciclo de vida, como a agricultura, pecuária, indústria química, de maquinário e diversos outros, além da própria indústria têxtil e de confecção (IEMI, 2021). Cada uma dessas etapas e setores é responsável por fornecer materiais ou serviços indispensáveis ao processo produtivo culminando na geração de diversos tipos de resíduos que acabam em aterros (alimentos, papel, plástico), e que geram emissões de GEE que são de responsabilidade da indústria têxtil sob uma ótica de demanda. Sendo assim, é de grande importância a avaliação dos impactos indiretos da indústria têxtil sobre o setor de resíduos (MELLICK; PAYNE; BUYS, 2021).

Para tal propósito, uma análise quantitativa conduzida pela demanda mostra-se relevante neste contexto, e a utilização do modelo Multirregional de Insumo-Produto (em inglês *Multiregional input-output* - MRIO), apresentado a seguir, é uma opção adequada para estudar a interdependência entre diferentes regiões ou países e setores econômicos em relação à produção, consumo, comércio e impactos ambientais (TUKKER; WOOD; GILJUM, 2018).

OBJETIVO

O objetivo geral deste estudo consistiu em analisar os impactos decorrentes da demanda por produtos têxteis no Brasil sobre as emissões de GEE no setor de resíduos, tanto no âmbito nacional quanto internacional.

Como objetivos específicos, foram propostos: (i) estimar a representação do setor de resíduos na emissão total de GEE do setor têxtil; (ii) verificar se as emissões ocorrem majoritariamente no setor de resíduos nacional ou se ocorrem em outros países; (iii) analisar a composição das emissões de GEE quanto ao tipo de resíduo.

METODOLOGIA

Neste estudo, utilizou-se a análise MRIO, por se tratar de um instrumento que rastreia as transações econômicas em toda a cadeia produtiva global, em associação com métodos de análises de impactos ambientais (MILLER; BLAIR, 2009). O MRIO é uma extensão do modelo insumo-produto que, através de uma matriz de fluxos monetários, permite



quantificar impactos econômicos, ambientais e sociais que a demanda final em determinado setor gera em todos os demais setores (o que inclui o setor de resíduos) da economia global (WIEDMANN; LENZEN, 2018).

Wassily Leontief criou o modelo de insumo-produto em 1936, este consiste em uma matriz de coeficientes técnicos que mostram as inter-relações entre os diferentes setores de uma economia. Leontief desenvolveu esse modelo para entender a interdependência dos setores da economia dos Estados Unidos. O modelo se tornou uma ferramenta analítica significativa para a análise de relações interindustriais e a alocação ótima de recursos em uma economia. Além disso, o modelo é amplamente utilizado para análise de impactos ambientais de vários setores econômicos e avaliação de políticas públicas visando a redução de seu impacto (MILLER; BLAIR, 2009).

A Figura 1 ilustra o modelo MRIO. Em relação ao modelo insumo-produto tradicional, que envolve uma matriz de m setores nacionais, o modelo MRIO inclui a variável territorial, formando categorias de $\text{Setor}_m \times \text{País}_n$. Cada setor é passível de demandar e ser demandado por todos os demais setores da economia global, inclusive a si mesmo. Uma vez que uma demanda final, em unidade monetária, seja gerada em determinado setor (no presente caso, no setor têxtil brasileiro), é possível, com o cenário econômico de um ano base e através da álgebra linear, determinar o quanto de produção econômica seria necessária, em cada setor do modelo e, posteriormente, transpor o valor monetário de cada setor demandado da economia global para impactos sociais ou ambientais (no presente caso, emissões de GEE).

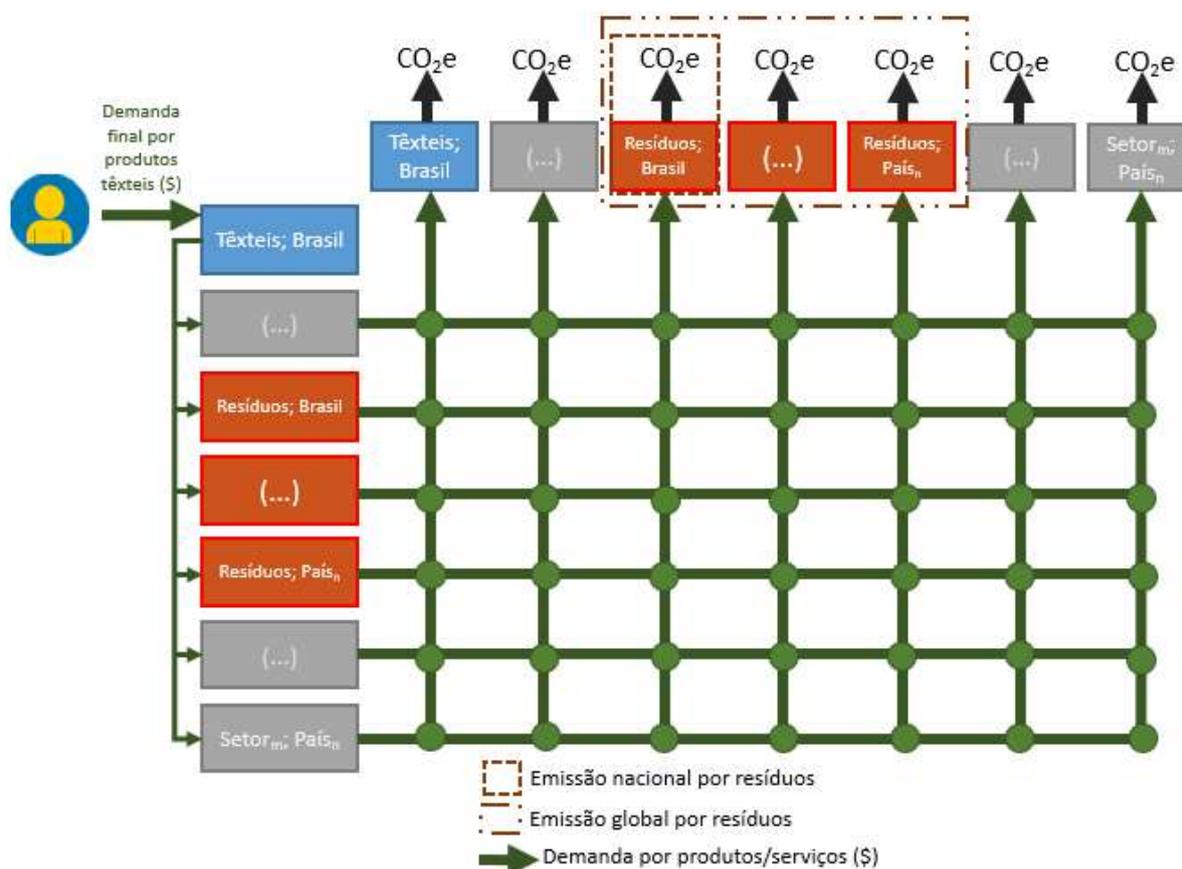


Figura 1: Modelo MRIO destacando o setor têxtil brasileiro (demanda final) e o setor de resíduos (nacional e internacional). Fonte: Autores do Trabalho.

Para a realização da análise multirregional de impactos da cadeia têxtil brasileira, utilizamos a base de dados Exiobase 3, referente ao ano de 2015 (por ser o último ano com dados disponíveis), que inclui 163 setores por 200 produtos, para 44 países e cinco regiões do mundo, nas quais o restante dos países estão agregados em: Ásia e Pacífico; América; Europa; África; e Oriente Médio (EXIOBASE, 2020). A base de dados Exiobase 3 é uma das mais completas para a análise de impactos ambientais multirregionais. Ela permite a análise de fluxos de materiais, energia e emissões entre países e regiões do mundo, considerando a produção, consumo e comércio de bens e serviços (TUKKER; WOOD; GILJUM, 2018).



A interface PYMRIO, baseada em linguagem Python, foi utilizada para a realização da análise multirregional de impactos da cadeia têxtil brasileira. Essa interface é uma ferramenta de código aberto que permite a utilização de modelos MRIO para análises de impactos ambientais, tornando o processo mais eficiente e acessível (STADLER, 2021).

A saída do modelo originalmente estava na base de 1 milhão de euros demandados em produtos do setor têxtil; porém, convertemos para a base de 1 milhão de dólares, mediante a taxa de câmbio média do ano de referência, 2015, equivalente a US\$ 1,11/€ (MACROTRENDS, 2023). As emissões de GEE foram quantificadas em termos de dióxido de carbono equivalente (CO₂e), utilizando o Potencial de Aquecimento Global (GWP100), que é uma medida que compara o impacto de diferentes GEE na mudança climática ao longo de um período de 100 anos, com base no CO₂ como referência.

Por fim, para poder comparar nossos resultados, que são valores relativos, com a emissão absoluta do setor de disposição de resíduos apresentado pelo inventário nacional (MCTI, 2020), foi necessário multiplicar nossos valores pela demanda final do setor têxtil no ano de 2015. O valor correspondente a R\$ 69,5 bilhões foi retirado da matriz insumo-produto do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015) com 67 níveis, somando a demanda final dos setores 13001 a 14001, que representam a indústria têxtil. Esse valor foi convertido para US\$ 20,8 bilhões utilizando a taxa de câmbio média de 2015, R\$3,34/US\$ (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2023).

RESULTADOS

De acordo com os resultados obtidos na análise, a cada 1 milhão de dólares demandados em produtos têxteis, há uma emissão global de 643,6 tCO₂e. Dos 7.987 setores que contribuem para esse valor, dois dos subsetores de resíduos aparecem entre os dez primeiros colocados em termos de emissões de GEE: resíduos alimentares no Brasil (2º lugar, 12%) e resíduos de papel no Brasil (7º lugar, 3%). Por fim, o setor de resíduos como um todo representa 17% das emissões globais da demanda por produto têxtil brasileiro (Figura 2a).

Isto se demonstra um contraponto às análises convencionais de emissões de GEE baseadas em ACV e que quantificam apenas as emissões diretas da produção têxtil, já que a abordagem MRIO utilizada neste estudo revelou um impacto mais relevante do setor têxtil sobre o setor de resíduos: 17% em comparação com, por exemplo, 3% (Sandin et al., 2019) e menos de 1% (Quantis, 2018), em estudos anteriores. Esses estudos mensuram somente o impacto do descarte de tecidos no setor de resíduos, enquanto a análise MRIO mensura o impacto de todos os resíduos gerados na cadeia econômica e produtiva para atender a demanda por determinada quantidade de produtos têxteis.

Dos 107,6 tCO₂e/milhão US\$ que são gerados no setor de resíduos global decorrentes da atividade da indústria têxtil, a análise setorial (Figura 2b) mostrou que 78% (83,6 tCO₂e/milhão US\$) são gerados pela disposição de resíduos alimentares e 16% (17,5 tCO₂e/milhão US\$) pela disposição de papel. Somente 3% (3,3 tCO₂e/milhão US\$) se referem aos próprios resíduos têxteis. É importante fazer um esclarecimento a respeito deste resultado. Não existem diferentes setores de aterros para os diferentes tipos de resíduos. Esses setores foram criados no MRIO com base em uma estimativa da porcentagem de cada tipo de resíduo e em seus respectivos fatores de emissão, tendo em vista os métodos de estimativa de emissões de GEE sugeridos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (em inglês Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC), não com base nos fluxos econômicos, como é para os demais setores presentes no modelo.

O grande destaque do modelo MRIO é poder rastrear as emissões entre os setores bem como entre países de forma abrangente e completa. A análise territorial realizada revelou, todavia, que a grande maioria (94%) das emissões de GEE ocorrem no Brasil. Dos 6% restantes, que ocorrem fora das fronteiras brasileiras, mais da metade (3,1%) está concentrada na China. Em outras palavras, no presente caso do setor de resíduos, o problema das emissões de GEE pela demanda têxtil brasileira se circunscreve ao próprio território nacional.

Ao avaliarmos nossos resultados em comparação ao inventário nacional de GEE do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI, 2020), tomando como base o ano de 2015 e na demanda final do setor têxtil no mesmo ano, constatamos que a indústria têxtil contribuiu com a emissão de 2,1 milhões de tCO₂e, representando 6,0% das emissões do setor de disposição de resíduos sólidos no Brasil em 2015. Esses dados apontam para a necessidade de se aprimorar as políticas públicas voltadas para a gestão de resíduos no país, visto que a indústria têxtil, embora não seja a principal responsável pelas emissões de GEE no setor de resíduos, ainda apresenta um impacto significativo sobre o meio ambiente e a saúde humana.

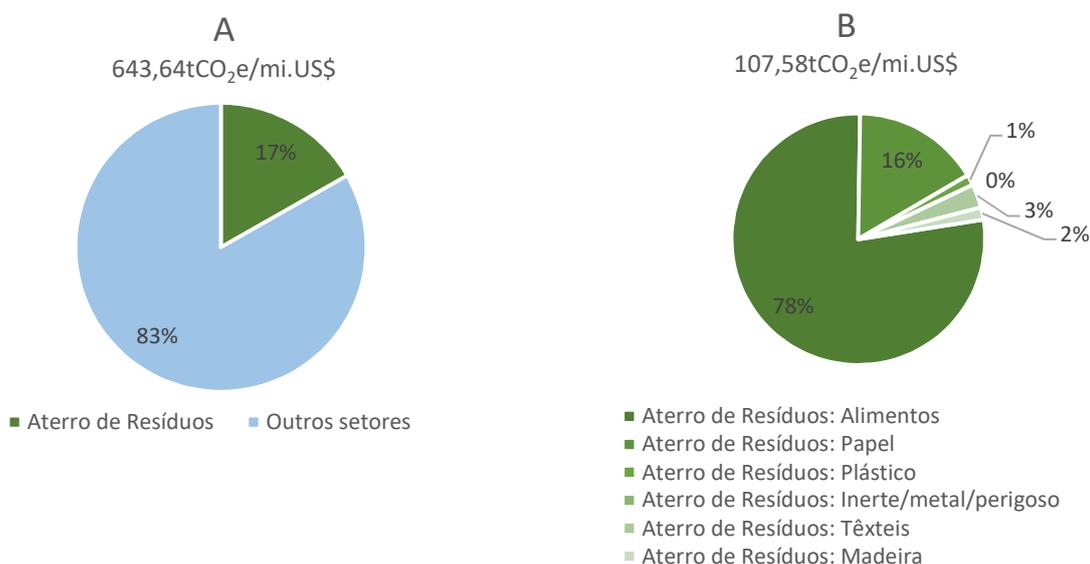


Figura 2a e Figura 2b: Emissões globais de CO₂e da demanda por produto têxtil brasileiro (a) e participações das categorias de resíduos nas emissões totais do setor (b). Fonte: Autores do Trabalho.

* Nota: A Figura 2b se remete a fatia de 17% da Figura 2a.

CONCLUSÕES

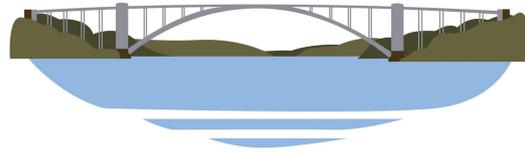
Os resultados obtidos neste estudo mostram que o setor de resíduos está entre os principais responsáveis pelas emissões indiretas de GEE da cadeia têxtil brasileira, sob a ótica da demanda. A emissão decorrente da atividade têxtil sobre o setor de resíduos ocorre, quase em sua totalidade, no próprio território brasileiro, e os próprios resíduos têxteis não são os maiores representantes desse total, e sim os resíduos de alimentos.

Em conformidade com a abordagem analítica adotada no presente estudo, a estratégia para reduzir as emissões de GEE no setor de resíduos (e nos demais setores) envolve medidas que visam a redução da demanda por têxteis. Entre tais medidas, propõe-se o consumo consciente por parte dos usuários e a prática de doação de roupas e tecidos usados que, ao mesmo tempo que reduziria a geração de resíduos têxteis, também reduziriam a geração dos demais tipos de resíduos ao longo da cadeia produtiva. Ressaltamos que estratégias visando a demanda não são uma solução definitiva *per se*, já que uma drástica redução do consumo impacta não somente as categorias de impacto ambiental, como também a geração econômica e de empregos. Portanto, medidas sob a ótica da produção, como padrões de controle de processo, treinamentos com foco em educação ambiental, e certificações de gestão, fazem-se necessários. Também é importante o protagonismo do setor têxtil no sentido de influenciar os seus fornecedores para que eles procurem medidas para reduzir o desperdício e a geração de resíduos de alimentos e papeis.

Ademais, salientamos que o método aplicado no presente estudo, fundamentado no MRIO, pode ser replicado para outras demandas finais além do setor têxtil. Esta análise permite o entendimento das emissões de GEE e de outras categorias relevantes de impacto ambiental sobre o setor de resíduos e demais setores ao longo de toda a cadeia produtiva global.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BANCO CENTRAL DO BRASIL. Cotações e boletins. 2023. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/historicocotacoes>. Acesso em: 05 de abril de 2023.
2. DESIGN4CIRCLE. **Circular economy in the textile and footwear industry: Skills and competences for a sector renewal.** 2019. Disponível em: design4circle.eu/wp-content/uploads/2021/04/CIRCULAR%20ECONOMY_IN_THE_TEXTILE_AND_FOOTWEAR_INDUSTRY_S_KILLS_COMPETENCIES_FOR_SECTORAL_RENEWAL.pdf. Acesso em: 18 de fev, 2023.



3. EXIOBASE - **Extended Multi-Regional Input-Output**. EXIOBASE 3. 2020. Disponível em: <https://www.exiobase.eu/index.php/data-download/exiobase3mon>. Acesso em: 20 fev, 2023.
4. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Matriz de Insumo-Produto**. 2015. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9085-matriz-de-insumo-produto.html?=&t=resultados>. Acesso em: 21 fev, 2023.
5. IEMI - Inteligência de Mercado; ABIT - Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção. **Relatório Setorial da Indústria Têxtil Brasileira**. São Paulo. v.2, nº 21, P. 1-86, 2021.
6. MACROTRENDS - **Euro Dollar Exchange Rate (EUR USD) - Historical Chart**. 2023. Disponível em: <https://www.macrotrends.net/2548/euro-dollar-exchange-rate-historical-chart>. Acesso em: 06 de abril de 2023.
7. MCTI. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Emissões de GEE por subsetor**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/emissoes/participacao-de-emissoes-de-gee-por-subsetor>. Acesso em: 17 de fev, 2023.
8. Mellick, Z.; Payne, A.; Buys, L. **From Fibre to Fashion: Understanding the Value of Sustainability in Global Cotton Textile and Apparel Value Chains**. Sustainability, v. 13, n. 22, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su132212681>.
9. Miller, R. E.; Blair, P. D. **Input-output analysis: foundations and extensions**. Prentice Hall, 2009
10. Muthu, Subramanian Senthilkannan. **Assessing the Environmental Impact of Textiles and the Clothing Supply Chain**. 2nd ed. Elsevier Science & Technology, 2020.
11. QUANTIS. **Measuring Fashion: Environmental Impact of the Global Apparel and Footwear Industries Study – Full Report and Methodological Considerations**. 2018.
12. Sandin, G.; Ross, S.; Spak, B.; Zamani, B.; Peters, G. **Environmental assessment of Swedish clothing consumption - six garments**. Sustainable Futures. Gothenburg, Sweden, p. 167, 2019.
13. Stadler, Konstantin. **Pymrio—A Python based multi-regional input-output analysis toolbox**. Journal of Open Research Software, v. 9, n. 1, 2021.
14. Tukker, Arnold; Wood, Richard; Giljum, Stefan. **Relevance of global multi regional input output databases for global environmental policy: experiences with EXIOBASE 3**. Journal of Industrial Ecology, v. 22, n. 3, p. 482-484, 2018
15. Wiedmann, T.; Lenzen, M. **Environmental and social footprints of international trade**. Nature Geoscience, 11 (5): 314-321. 2018.