

Eixo 3:
Ciência e tecnologia ambiental

CAPÍTULO 8

Avaliação socioambiental a partir do modelo multirregional de insumo-produto: o caso da demanda têxtil brasileira

Alessandra Maria Giacomini

Jhonathan Fernandes Torres de Souza

Sergio Almeida Pacca¹

RESUMO

O objetivo do estudo deste capítulo foi avaliar o impacto socioambiental da cadeia têxtil brasileira, mensurando e analisando as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e a geração de empregos decorrentes da demanda por produtos têxteis no Brasil. O método se baseou no modelo multirregional de insumo-produto (MRIP), com o uso da interface Pymrio e da base de dados Exiobase 3 para o ano de 2015. Os resultados apontam que a abordagem da demanda baseada no MRIP conduz a uma maior representação do setor de resíduos nas emissões totais da cadeia têxtil, em comparação com as tradicionais Avaliações do Ciclo de Vida (ACV). Em termos absolutos, entretanto, as emissões diretas pelo descarte têxtil de 2015 são maiores pelo

1 O presente trabalho foi realizado com apoio da Capes – Código de Financiamento 001.

método tradicional de inventário do que pelo MRIP. A simples redução da demanda têxtil como estratégia de mitigação das emissões de GEE se mostrou pouco atrativa socialmente devido à perda de empregos, sobretudo nacionais (130 empregos/Gg-CO₂e), em comparação com aço e cimento, outros setores importantes com relação às contribuições para a mudança climática. Para se minimizar o impacto sobre o setor de resíduos, estratégias de ambos os lados, oferta e demanda têxtil devem ser adotadas. Para o lado da demanda, é fundamental a mudança do modelo *fast fashion* para o *slow fashion*, que prioriza os princípios da sustentabilidade (consumo consciente, durabilidade, eficiência material). Análises holísticas, como o MRIP, são essenciais na compreensão das inter-relações entre elementos naturais, econômicos e sociais, visando a promover a preservação ambiental e a sustentabilidade.

Palavras-chave: aspectos socioambientais; cadeia têxtil; setor de resíduos; modelo de insumo-produto.

SOCIO-ENVIRONMENTAL ASSESSMENT BASED ON THE MULTIREGIONAL INPUT-OUTPUT MODEL: THE CASE OF BRAZILIAN TEXTILE DEMAND

ABSTRACT

The objective of this study was assessing the socio-environmental impact of the Brazilian textile supply chain. To this end, we have accounted for and analyzed the greenhouse gas (GHG) emissions and employment resulting from the demand for textile products in Brazil. The methods were based on the Multiregional input-output (MRIP) model, using the Pymrio interface and Exiobase 3 for the base year 2015. The findings indicate that waste sector emissions have a larger share in the textile chain total emissions under the MRIP approach than under traditional Life Cycle Assessment (LCA) approach. However, in terms of absolute emission, direct emission due to textile disposal in 2015 is higher than the one estimated by MRIP. Reducing textile demand as a simple strategy to avoid GHG emissions is not socially attractive due to job losses, especially in Brazil (130 employment/GgCO₂e), in comparison to steel and cement, another important industries on the climate change. The article suggests that both supply-side and demand-side strategies must be adopted to mitigate waste generation and GHG emissions. For the demand-side, it is critical the change from a “fast fashion” model to a “slow fashion” model, which prioritizes the principles of sustainability (conscious consumption, durability, material efficiency). Holistic analyses, such as MRIP, are essential to understand the interrelations between natural, economic, and social elements, and to promote environmental preservation and the sustainability.

Keywords: socio-environmental aspects; textile chain; waste sector; multiregional input-output analyses.

8.1 INTRODUÇÃO

A mensuração dos impactos socioambientais é fundamental para se avaliar a sustentabilidade das atividades econômicas. A avaliação da sustentabilidade é um método holístico e complexo que transcende uma avaliação puramente técnica ou científica (Sala; Ciuffo; Nijkamp, 2015). Isso porque ela deve conduzir a uma tomada de decisão que, visando a solucionar determinado aspecto socioambiental, não gere prejuízos aos demais aspectos.

A complexidade permeia tanto os sistemas ambientais como os sistemas econômicos. Estes últimos têm se tornado cada vez mais interdependentes, por meio de redes transacionais de crédito, investimentos e cadeias de suprimentos (Schweitzer *et al.*, 2009). Por conta disso, as chamadas “pegadas” de produtos e serviços, como a pegada de carbono, contabilizadas por meio do método tradicional da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), muitas vezes acabam por subestimar os impactos socioambientais deles.

No caso da indústria têxtil, essa questão se torna especialmente significativa devido à sua alta complexidade e ao envolvimento com diferentes setores produtivos e de serviços (Mellick; Payne; Buys, 2021). Reconhecida por ter um percentual significativo nas emissões globais de dióxido de carbono (CO₂), contribuindo com aproximadamente 8 a 10% do total, a cadeia têxtil, apresenta um papel crucial no quesito social e econômico, gerando empregos em diversos países ao redor do mundo, principalmente no Sul Global (Niinimäki *et al.*, 2020).

Na questão ambiental, estudos têm mostrado que a fase de disposição de resíduos têxteis tem uma participação expressivamente baixa no total das emissões de gases de efeito estufa (GEE) dos têxteis, como 3% (Sandin *et al.*, 2019), 0,9% (Quantis, 2018) e 0,1% (Sohn *et al.*, 2021). No entanto, tais estudos são baseados em métodos de ACV, que, embora abranjam todas as etapas do ciclo de vida (escopo *cradle-to-grave*), raramente levam em consideração os impactos indiretos gerados pelas atividades econômicas nacionais ou globais, especialmente nos setores não relacionados diretamente ao fluxo principal de um produto ou serviço.

Por outro lado, as análises multirregionais de insumo-produto (MRIP) permitem uma visão mais abrangente dos fluxos de materiais, energia e emissões associados à produção de bens e serviços, levando em consideração as cadeias de suprimento globais (Wiedmann; Lenzen, 2018). O MRIP é uma abordagem que analisa todos os elos da cadeia de produção de um setor produtivo (Tukker; Wood; Giljum, 2018). Essa análise ampla e integrada permite uma compreensão mais precisa dos impactos ambientais relacionados a um setor específico ou a um sistema econômico como um todo (Wood *et al.*, 2018).

O MRIP é uma evolução do modelo insumo-produto, desenvolvido por Leontief em 1936. Em relação ao modelo insumo-produto tradicional, que envolve uma matriz

de n setores nacionais, o MRIP apresenta uma abrangência territorial global, formando categorias de Setor x País. 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 (neste estudo, no setor têxtil brasileiro), é possível, com o cenário econômico de um ano base e por meio 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. O modelo é ilustrado na Figura 8.1, que contrapõe a ótica da ACV baseada na demanda com a ótica da ACV convencional, baseada no produto.

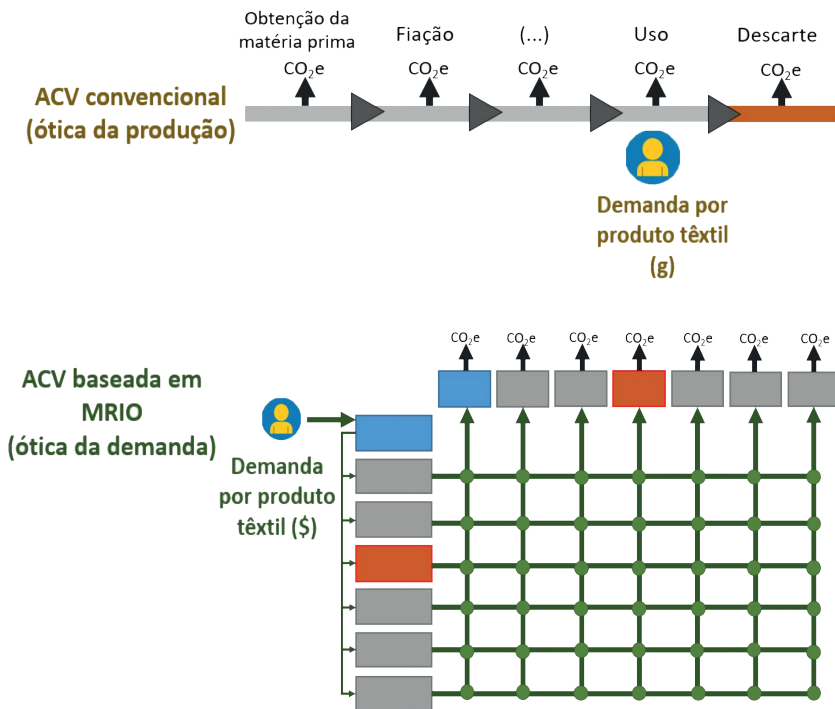


Figura 8.1 Comparação dos quadros metodológicos de ACV convencional e da ACV MRIP. As caixas em azul no MRIP representam o setor têxtil, e as caixas em laranja representam o setor de resíduos, correspondendo ao segmento em laranja na abordagem ACV convencional.

No contexto da atual pesquisa, ressalta-se a notável escassez de estudos que se dediquem à análise MRIP com foco exclusivo em uma única cadeia de produção. A maior parte das investigações existentes nesse campo se encontra fundamentada em análises macroeconômicas, a exemplo de Tukker *et al.* (2016), que avaliaram a pegada ambiental da União Europeia e sua relação com o comércio internacional, e

o estudo de Wood *et al.* (2018), que analisou os padrões de eficiência de recursos e os impactos ambientais associados ao comércio internacional entre países desenvolvidos e em desenvolvimento.

Para a cadeia têxtil, no entanto, somente dois estudos foram recuperados em revisão da literatura. O primeiro (Peters; Li; Lenzen, 2021) utilizou a análise MRIP em conjunto com a base de dados EORA, com o objetivo de avaliar de maneira abrangente os impactos decorrentes da cadeia global de valor de vestuário e calçados, e concluiu que o setor gerou um incremento de 1,0 para 1,3 bilhão de tonelada de CO₂, e ao longo de um período de 15 anos. O segundo estudo (Giacomin; Pacca, 2021), específico para o Brasil, apresentou os principais setores que impactam nas emissões de GEE, consumo de energia e geração de empregos, impulsionados pelo consumo de produtos têxteis. Apesar de comparar a grandeza dos impactos indiretos sobre os diretos, o estudo citado, além de estar referenciado em um ano mais antigo (2011) que no caso do presente estudo (2015), não apresenta uma análise discriminada setorial e territorialmente, além de não correlacionar a variável socioeconômica (empregos) com a ambiental (emissões de GEE).

É importante notar que a cadeia têxtil também desempenha um papel significativo na geração de empregos, especialmente em países em desenvolvimento, contribuindo para a melhoria econômica e social (Mellick; Payne; Buys, 2021). De fato, embora sejam fundamentais para a mitigação dos impactos ambientais, como a geração de resíduos e as emissões de GEE, é importante considerar que estratégias buscando a redução do consumo, sob a ótica da demanda, podem ter potenciais efeitos negativos sobre a geração de empregos. Portanto, devem ser minuciosamente examinadas, a fim de se avaliarem suas vantagens e desvantagens e quais setores da economia seriam mais afetados positiva ou negativamente. É certo que esses efeitos sistêmicos, por conta da redução da demanda final, vão ser distintos dependendo do setor analisado, seja a indústria têxtil, sejam, por exemplo, as indústrias de aço e cimento.

Aço e cimento são classificados pela literatura como setores de difícil descarbonização, para os quais a redução da demanda (como está sendo sugerida para têxtil) tem ganhado espaço como caminho de mitigação em estudos recentes (ETC – Energy Transition Commission, 2018). Especialmente para cimento, alguns autores nacionais enfatizaram a importância da industrialização do concreto e da argamassa, o que reduz os desperdícios de cimento, sua demanda e, por consequência, as emissões associadas à sua produção (Punhagui *et al.*, 2018; Reis *et al.*, 2021). Embora a indústria têxtil possua processos produtivos e mercado bastante distintos em relação à de aço e cimento sob uma ótica da oferta, esses mesmos setores tornam-se comparáveis sob uma análise holística de desmaterialização da demanda. Cabe ressaltar que a Comissão Europeia planeja ampliar a EU Ecodesign Directive, que visa a estabelecer padrões

de eficiência material para produtos têxteis e para produtos intermediários, como aço e cimento, em uma nova legislação sobre produtos sustentáveis (Bashmakov *et al.*, 2022).

Dado esse contexto, o objetivo do presente estudo foi conduzir uma avaliação socioambiental sob a ótica da demanda por meio do MRIP, tomando o setor têxtil brasileiro como estudo de caso. Dentro desse objetivo geral, foi intuito da pesquisa: (i) analisar as emissões geradas pela cadeia de produtos têxteis no Brasil sobre o setor de resíduos nacional e internacional; (ii) estimar as emissões geradas diretamente por resíduos têxteis (abordagem do produto) e comparar os resultados com as emissões relacionadas ao objetivo (abordagem da demanda); e (iii) avaliar o impacto socioambiental da redução da demanda têxtil e compará-lo com os dos setores de aço e cimento, industriais igualmente relevantes no Brasil do ponto de vista de emissões de GEE.

8.2 METODOLOGIA

A análise MRIP foi conduzida neste estudo por meio do Pymrio, uma interface de código aberto baseada em linguagem Python que permite a utilização de bases de dados MRIP para análises de impactos ambientais, tornando o processo mais eficiente e acessível (Stadler, 2021).

A base de dados utilizada foi a 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 5 regiões do mundo, nas quais o restante dos países está agregado (Stadler *et al.*, 2018). 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, o consumo e o comércio de bens e serviços (Tukker; Wood; Giljum, 2018).

No Pymrio, os têxteis são representados pelo setor *manufacture of textiles*. O setor de resíduos é representado por *landfill of waste*, discriminado em seis subsetores: *food, paper, plastic, inert/metal/hazardous, textiles* e *wood*. A análise foi conduzida na esfera setorial e na esfera territorial. Na esfera setorial, foram somados os resultados de todos os países/regiões para cada categoria de resíduos. Na esfera territorial, realizou-se o inverso, somando-se todas as categorias de resíduos para cada país/região.

Para avaliar as emissões de GEE, foi selecionada a categoria de impacto *GHG emissions* (GWP100)/ Problem oriented approach: baseline (CML, 1999) | GWP100 (IPCC, 2007), cuja unidade está em kgCO₂e. Para a categoria de empregos, foi selecionada a categoria *employment*, cuja unidade é 10³ empregos. As saídas dos impactos ambientais no MRIP estão na base de um milhão de euros.

8.2.1 Emissões diretas por disposição de resíduos têxteis

O objetivo desta análise específica foi comparar as emissões diretas de resíduos têxteis referentes ao descarte dos têxteis em 2015 com as emissões resultantes da abordagem MRIP, que contabilizam as emissões ao longo da cadeia até o consumo dos produtos têxteis.

Para estimar as emissões diretas do descarte dos resíduos têxteis, foi utilizada a ferramenta para cálculo das emissões de metano pelo método de Tier 1 (fatores *default*), disponibilizada pelo IPCC (2006). O dado de entrada na ferramenta foi a multiplicação da população brasileira em 2015 (204.482 mil habitantes), pelo consumo têxtil per capita em 2015 (12 kg/habitante), conforme apresentado no Relatório Setorial da Indústria Têxtil Brasileira (ABIT, 2019), e considerando-se um intervalo de descarte imediato (mesmo ano) de resíduos têxteis. Ou seja, assumimos que o estoque de produtos têxteis estaria em equilíbrio, sendo a massa descartada igual a massa consumida em 2015. Segundo a Design4circle (2019), esse valor de descarte é cerca de 87%: 10% durante a fase de produção, 2% em perdas pré-vendas, 2% em perdas durante a coleta e triagem produtos descartados, e a maior parcela, 73%, corresponde a roupas descartadas pelos usuários após o uso. Weber, Lynes e Young (2017) chegaram a um valor total de 85%, próximo ao da Design4circle (2019). Portanto, na presente análise, assumiu-se um intervalo de sensibilidade para o descarte imediato de 65% a 95%, o que resulta em uma faixa de 1.594,96 – 2.331,09 Gg de resíduos têxteis gerados em 2015.

Diferentemente das emissões pela queima de combustíveis fósseis, as emissões de uma massa de resíduos ocorrem ao longo de vários anos após o ano de depósito dos mesmos, conforme uma função de decaimento de primeira ordem. Assim, atribuiu-se aos resíduos têxteis descartados em 2015 o somatório das emissões dos 50 anos decorrentes do descarte.

A fim de comparar os resultados da ferramenta do IPCC com os do Pymrio, foram necessários dois passos adicionais. O primeiro foi a conversão da emissão de metano em GgCH_4 , conforme saída da ferramenta, para GgCO_2e . Isso foi realizado com base no GWP-100 (AR5) de 28 (GHG Protocol, 2023). O segundo foi a conversão do resultado do Pymrio, da base monetária para base absoluta, multiplicando-o pela demanda final monetária (soma de todas as categorias) do setor têxtil presente na matriz Y do Pymrio, equivalente a 7 134,053 EUR.

8.2.2 Índice de impacto socioambiental de redução da demanda (Isard)

Os impactos sobre empregos e emissões de GEE referentes à demanda têxtil foram comparados com os das demandas de aço e de cimento, outros dois setores fundamentais para a economia brasileira.

Os impactos do aço são a soma de dois setores presentes no Pymrio: *manufacture of basic iron and steel and of ferro-alloys and first products thereof*, que representa a produção de aço primário, ou seja, a partir de minério de ferro; e *re-processing of secondary steel into new steel*, que representa a produção de aço a partir de sucata. Já os impactos do setor de cimento são referentes ao *manufacture of cement, lime and plaster*, setor que agrega cimento, cal e gesso; porém, cabe ressaltar que cimento, junto com aço, representa, em média 76% das emissões de todo o setor industrial (Brasil, 2022).

Para comparar o setor têxtil com aço e cimento, foi desenvolvido um índice nomeado Isard (impacto socioambiental de redução da demanda), que é a divisão da categoria empregos (emprego/\$) pela categoria GEE ($\text{CO}_2\text{e}/\$$). O Isard, apresentado em emprego/Gg CO_2e , representa o quanto a redução da demanda visando à mitigação das emissões de CO_2 pode acarretar prejuízos para a geração de emprego. Quanto maior o valor do Isard para determinado setor, menos atrativa, socialmente, é uma estratégia de mitigação de GEE baseada na ótica da demanda. O Isard foi calculado para a economia brasileira, para a economia estrangeira, como também para a média global.

8.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, são apresentadas as saídas do modelo Pymrio, acompanhadas de análises e considerações pertinentes acerca desses resultados.

8.3.1 Análise dos impactos dos têxteis sobre o setor de resíduos (sub2)

A Figura 8.2 sintetiza todas as análises referentes à demanda têxtil sobre o setor de resíduos.

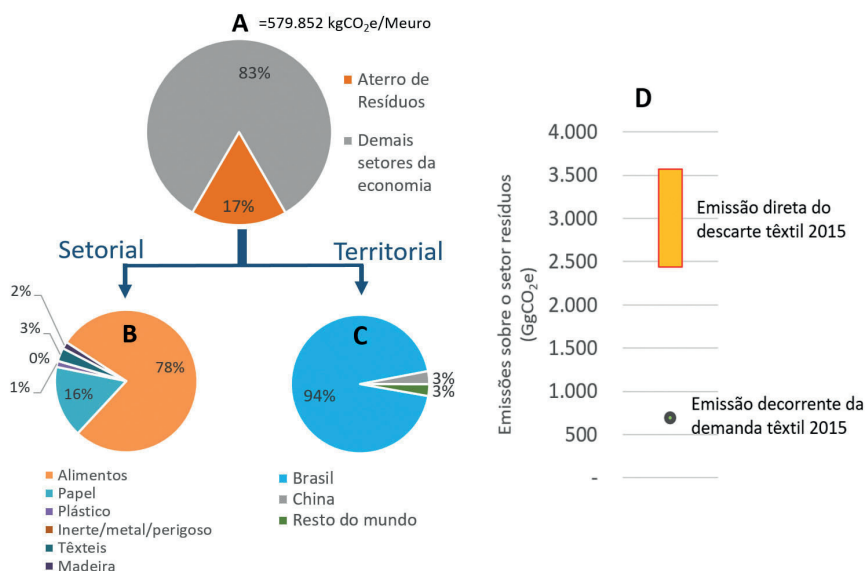


Figura 8.2 Análise das emissões no setor de resíduos decorrentes da demanda têxtil brasileira – (a) (b) (c) (d). O Gráfico A apresenta a emissão global. A parcela sobre o setor de resíduos é discriminada no Gráfico B, por tipo de resíduo, e no Gráfico C, por país. O Gráfico D apresenta a comparação da abordagem da ACV MRIP com a emissão direta da geração de resíduos têxteis em 2015.

De acordo com o Pymrio, existe uma emissão global de 579,8 tCO₂ por milhão de euros demandados em produtos têxteis. Esse valor é superior ao total (102 tCO₂/Meuro) encontrado em estudo anterior baseado na matriz de 2011 (Giacomin; Pacca, 2021), demonstrando um aumento médio das emissões de 43% a.a. em um período de quatro anos. Em contraponto, Peters, Li e Lenzen (2021) afirmam que o setor teve uma melhora considerável globalmente, por conta do maior aumento da produção têxtil em relação ao menor aumento das emissões até 2015. Esse cenário se caracteriza como um *relative decoupling*, pois, embora haja uma dissociação entre a produção e o impacto ambiental, esse último continua a aumentar em termos absolutos (Behrens *et al.*, 2007).

Os setores relacionados ao aterro de resíduos se destacam entre os quase oito mil que contribuem para esse valor global: resíduos alimentares no Brasil (2º lugar, 12%) e resíduos de papel no Brasil (7º lugar, 3%). Ao todo, o setor de aterro de resíduos representa 96,9 tCO₂/Meuro, ou seja, 17% das emissões globais da demanda por produto têxtil brasileiro (Figura 8.2a). Esse valor é consideravelmente maior que os dos estudos sob a ótica da produção anteriormente citados (Quantis, 2018; Sandin *et al.*, 2019; Sohn *et al.*, 2021), que ficam em torno de 1% a 3%.

A análise setorial (Figura 8.2b), mostrou um resultado contraintuitivo: somente 3% das emissões no setor de resíduos se referem aos próprios resíduos têxteis. Os

maiores representantes da emissão de resíduos resultantes da demanda têxtil são a disposição de resíduos alimentares (78%) e, em segundo lugar, a disposição de papel (16%). Esclarecemos que, em nossa abordagem, as emissões atribuídas aos resíduos alimentares são a soma da influência global de todos os setores da economia global, representados pelo MRIP, movimentados pela demanda têxtil brasileira, e não dos resíduos alimentares gerados diretamente pelos processos da indústria têxtil. Globalmente, alimentos representam 44% da composição dos resíduos, chegando a 57% considerando-se os países de baixa renda (World Bank, 2023). Em adição, resíduos alimentares, junto com o lodo de esgoto, possui o maior fator específico (k) de geração de metano (IPCC, 2006). Esses dois pontos ajudariam a explicar os resultados apresentados na Figura 8.2b.

Um ponto a ser relevado na análise é que a subdivisão por tipo de resíduos é uma estimativa feita pelos desenvolvedores do Exiobase 3 com base na contribuição de cada tipo nas emissões totais do setor de resíduos (tendo em vista os métodos de estimativa sugeridos pelo IPCC), não com base nos fluxos econômicos, como é para os demais setores presentes no modelo. Em termos de matriz econômica, existe somente um setor geral de resíduos. De todo o modo, essa subdivisão permite uma melhor compreensão dos impactos individuais da demanda têxtil, sendo importante para os achados do presente estudo.

O MRIP permite mensurar as emissões entre os setores, bem como entre países; porém, a análise territorial (Figura 8.2c) revelou que as emissões ocorrem basicamente no próprio Brasil (94%). Dos 6% restantes, que ocorrem fora das fronteiras brasileiras, mais da metade (3,1%) está concentrada na China. Em outras palavras, no caso do setor de resíduos, o problema das emissões de GEE pela demanda têxtil brasileira se circunscreve ao próprio território nacional. A cadeia têxtil no Brasil é verticalizada, sendo que o abastecimento interno é provido pela própria produção (Iemi – Inteligência de mercado, 2016).

Com o uso da ferramenta de inventário de emissões do IPCC, sob a abordagem da produção de resíduos têxteis, foi encontrado um valor entre 2.442 e 3.570 GgCO₂e emitidos por conta do descarte de têxteis no Brasil em 2015 (Figura 8.2d). No caso da análise MRIP, o valor emitido em aterros devido à demanda por produtos têxteis em 2015 é de 691 GgCO₂e. Esse valor é somente 28% comparado ao valor inferior obtido pela abordagem da produção. Dessa forma, conclui-se que, em longo prazo, as emissões associadas ao descarte de resíduos têxteis são maiores que as geradas no setor de resíduos decorrente da atividade econômica para atender à demanda por têxteis.

A ACV baseada em MRIP e a ACV tradicional possuem claras diferenças metodológicas. Por um lado, o MRIP é mais abrangente territorial e setorialmente, tendo em vista todas as possíveis interações econômicas a nível global; por outro lado, seus

resultados são restritos ao ano de referência da matriz de insumo-produto. A ACV por produto, além de considerar, no caso de resíduos, as emissões dos anos que se seguem ao ano de descarte, é construída sobre um escopo *cradle to grave*, enquanto no MRIP, o escopo é *cradle to gate*. O objetivo deste capítulo é justamente comparar essas distintas abordagens e seus resultados, sendo que a abordagem mais adequada dependerá do aspecto a ser estudado, da fase do ciclo de vida de interesse e do objetivo do estudo.

8.3.2 O preço social pela redução da demanda têxtil

Os achados mostram que a cada um milhão de euros demandados em produtos têxteis, são gerados 65,5 empregos, dos quais 57,1 (87%) são gerados no próprio Brasil. No caso da demanda por cimento, a proporção de empregos gerados nacionalmente é maior (92%) que no caso da demanda têxtil, apesar de o número absoluto de empregos ser menor (33,7). Já no caso da demanda por aço, tanto em empregos absolutos nacionais como em sua representação no total os resultados são menores (32,9; 77%).

O setor em que mais são gerados empregos pela demanda têxtil é o próprio setor têxtil, com 44%, seguido pelo setor de comércio varejista, com 16%, e do setor de comércio atacadista, com 15%. Todos esses setores no Brasil. No caso de aço, o setor no qual mais são gerados empregos é o próprio setor de aço primário (15%), seguido pelo setor de aço reciclado (14%). No caso de cimento, curiosamente, a geração de empregos no próprio setor de cimento fica em segundo lugar (25%), com o primeiro colocado sendo o setor de comércio atacadista (34%).

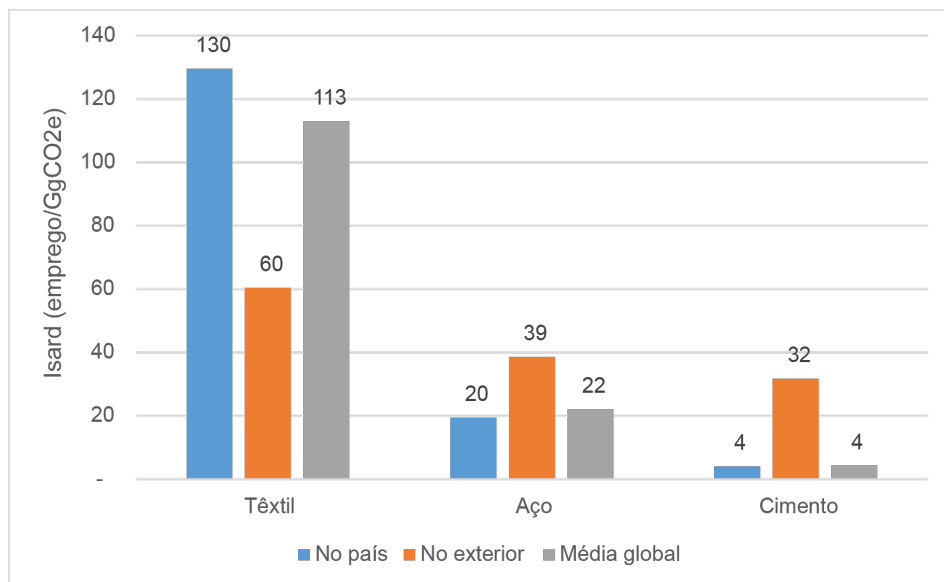


Figura 8.3 Índice Isard para os setores têxtil, de aço e de cimento, discriminados no impacto nacional, estrangeiro e global.

A Figura 8.3 apresenta o índice Isard para os setores analisados. Observa-se que o Isard global para o setor têxtil é 5 vezes maior do que para o setor de aço e 26 vezes maior do que para cimento. Em outras palavras, o prejuízo social da redução da demanda visando ao abatimento das emissões de GEE, em detrimento da geração de empregos, é visivelmente maior no caso têxtil comparado ao aço e cimento.

Outro ponto de destaque é a discriminação territorial. Diferentemente de aço e cimento, o Isard para têxtil é maior para os setores nacionais do que para os internacionais. Isso significa que estariam sendo perdidos mais empregos no Brasil por uma estratégia de redução da demanda têxtil. Esse é um achado importante, visto que o compromisso nacional para mitigação das mudanças climáticas, expressas na Contribuição Nacionalmente Determinada (*National Determined Contribution* – NDC) brasileira, são baseadas em emissões territoriais. 24% das emissões de GEE pela demanda têxtil são geradas fora do país; já para aço e cimento, esses valores são apenas 13% e 1%. Portanto, mesmo que as emissões de GEE tenham um efeito global, independentemente de onde sejam geradas, em termos de NDC brasileira e políticas climáticas, estratégias baseadas na redução da demanda têxtil são pouco eficazes comparadas às de outros setores, como aço e cimento.

Os autores ponderam que o Isard é um simples indicador para uma base comparativa geral entre duas das grandes categorias de impacto. Existem muitos detalhes que merecem análises específicas, como a composição de empregos, salários, informalidade, entre outros. Aliás, em termos globais, os impactos climáticos e sobre

o uso de água pelo setor têxtil têm sido maiores que os benefícios gerados pelos empregos e salários (Peters; Li; Lenzen, 2021).

8.3.3 Limitações da análise e recomendações

Esta seção aponta para as principais limitações da análise. Uma delas é que o MRIP envolve uma modelagem linear. Isso significa que se assume que os impactos aumentam ou diminuem proporcionalmente às demandas finais, enquanto no mundo real essas relações geralmente não são lineares.

Uma segunda limitação é que o MRIP é o retrato de um ano-base, e as relações intersetoriais tendem a modificar-se ao longo dos anos. Apesar de a dimensão temporal não fazer parte do presente estudo, estudos têm trabalhado com modelos de insumo-produto variando no tempo, a exemplo Dietzenbacher e Hoen (2006), que estudaram a estabilidade e previsibilidade dos coeficientes de Leontief.

Uma terceira limitação é o nível de resolução das matrizes de insumo-produto e as alocações realizadas em cada setor. A exemplo, foi visto que o aço se divide em dois setores no Exiobase 3, enquanto o cimento está agregado com outros dois produtos. Embora não seja exatamente uma barreira, a depender do setor analisado, esse fato pode dificultar a análise das saídas do modelo, ou será necessário algum tipo de estimativa de alocação, como feito para o setor de resíduos, por tipo de resíduo.

Por fim, no que tange ao Isard, é importante considerar que estratégias de redução de demanda, em especial tecnologias ou medidas de eficiência material ou desmaterialização, afetam a demanda final de vários setores simultaneamente, podendo alterar o balanço de empregos e, provavelmente, gerar novas categorias de emprego.

8.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou uma avaliação socioambiental baseada no modelo MRIP para avaliar as contribuições da demanda têxtil brasileira sobre as emissões de GEE, com foco no setor de resíduos e na geração de empregos.

A redução da demanda têxtil como estratégia para abater emissões de GEE é menos socialmente atrativa se o foco for a perda de empregos por emissão evitada, quando comparada ao caso de outros setores importantes, como aço e cimento. Todavia, é importante o entendimento sobre qual a natureza de redução de demanda que vem sendo proposta. No caso de aço e de cimento, a redução está pautada em tecnologias e arranjos que diminuam suas demandas para um uso final necessário, sobretudo no âmbito de novas habitações e de infraestrutura para o Brasil. No caso têxtil, existe uma margem adicional no que concerne a um uso final desnecessário, no atual modelo de negócios conhecido como *fast fashion*. Esse paradigma, embora tenha promovido um estímulo à produção e ao consumo de maneira intensa, frequentemente resulta

na configuração de cadeias de produção altamente descentralizadas, na preferência por materiais sintéticos, na elaboração de peças caracterizadas por curta durabilidade e baixo custo, e em um ciclo de obsolescência acelerado.

Dado esse cenário e o fato de que as emissões dos resíduos têxteis são maiores que as geradas ao longo da cadeia econômica têxtil (como visto na Figura 8.2d), a solução se encontra na adoção do modelo de negócios denominado *slow fashion*, que envolve a preferência por materiais naturais de maior durabilidade e incentiva uma conexão mais estreita entre os consumidores e os produtos têxteis. Além disso, o conceito de *slow fashion* estimula a compra consciente, valorizando peças com propósito em vez de modismos momentâneos. Isso resulta em uma produção em menor escala, contribuindo para a redução do desperdício e dos impactos ambientais relacionados à indústria têxtil (Niinimäki *et al.*, 2020).

Foi visto que a participação do setor de resíduos nas emissões totais do têxtil são mais relevantes do que se estima por ACV tradicionais, em especial as relacionadas aos resíduos alimentares (embora a estimativa por tipo de resíduo seja exógena ao MRIP). Assim, concomitantemente a estratégias voltadas à demanda têxtil, são sugeridas algumas estratégias pela via da produção, como: padrões de controle de processo, treinamentos com foco em educação ambiental e contratos restritos com fornecedores certificados. Também é fundamental para a indústria têxtil a ciência sobre o tipo de resíduo que emite mais GEE na cadeia de produção e, desse modo, estabelecer contato com fornecedores por meio da rastreabilidade da cadeia, visando a minimizar os impactos gerados. Isso pode ser instrumentalizado por declarações ambientais como as *Environmental Product Declarations* (EPD International, 2023).

O meio ambiente é um sistema complexo; dessa forma, a preservação do ambiente e a sustentabilidade devem ser apoiadas em análises complexas que busquem compreender as inúmeras inter-relações entre os elementos naturais, econômicos e sociais. O presente artigo, por meio do MRIP, promoveu esse tipo de análise.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL (ABIT). *Relatório setorial da indústria têxtil brasileira 2019*. São Paulo: Abit, 2019.
- BASHMAKOV, I. *et al.* *Climate change 2022: mitigation of climate change*. Contribution of working group III to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.
- BEHRENS, A. *et al.* The material basis of the global economy. Worldwide patterns of natural resource extraction and their implications for sustainable resource use policies. *Ecol Econ*, v. 64, n. 2, p. 444-53, dez. 2007. Disponível em: <https://econpapers.repec.org/arti->

- cle/eeeeecolec/v_3a64_3ay_3a2007_3ai_3a2_3ap_3a444-453.htm. Acesso em: 16 fev. 2024.
- BRASIL. *Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil*. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2022.
- DESIGN4CIRCLE. Circular economy in the textile and footwear industry: skills and competences for a sector renewal. União Europeia, 2019. 67 p. Disponível em: https://design4circle.eu/wp-content/uploads/2021/04/CIRCULAR%20ECONOMY_IN_THE_TEXTILE_AND_FOOTWEAR_INDUSTRY_SKILLS_COMPETENCIES_FOR_SECTORAL_RENEWAL.pdf. Acesso em: 8 fev. 2024.
- DIETZENBACHER, E.; HOEN, A. Coefficient stability and predictability in input-output models: a comparative analysis for the Netherlands. *Const. Manag. and Econ.*, v. 24, n. 7, p. 671-80, jul. 2006. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01446190600567985>. Acesso em: 19 jun. 2023.
- ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION (EPD). *The international EPD system*. Estocolmo, 2023. Disponível em: <https://www.environdec.com/all-about-epds/the-epd>. Acesso em: 31 ago. 2023.
- ENERGY TRANSITION COMMISSION (ETC). *Mission possible – reaching net-zero carbon emissions from harder-to-abate sectors by mid-century*. Londres, 2018. Disponível em: <https://www.energy-transitions.org/publications/mission-possible/>. Acesso em 16 fev. 2024.
- GREENHOUSE GAS PROTOCOL (GHG PROTOCOL). *Global warming potential values*. Washington, 2023. Disponível em: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf. Acesso em: 16 fev. 2024.
- GIACOMIN, A. M.; PACCA, S. A. Environmental and socioeconomic assessment of textile products consumption in Brazil – relationships with international trade. *Revista Kawsaypacha: sociedad y medio ambiente*, n. 7, p. 29-43, 16 mar. 2021. Disponível em: <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/Kawsaypacha/article/view/23472>. Acesso em: 22 nov. 2023.
- INTELIGÊNCIA DE MERCADO (IEMI). *Relatório setorial da indústria têxtil brasileira*. São Paulo, 2016.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL OF CLIMATE CHANGE (IPCC). *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. v. 5: waste. 2006. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html>. Acesso em: 21 ago. 2023.
- MELLIICK, Z.; PAYNE, Al.; BUYS, L. From fibre to fashion: understanding the value of sustainability in global cotton textile and apparel value chains. *Sustain*, v. 13, n. 22, nov. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/22/12681>. Acesso em: 1º ago. 2023.

- NIINIMÄKI, K. *et al.* The environmental price of fast fashion. *Nat. Rev. Earth & Environment*, v. 1, n. 4, p. 189-200, abr. 2020. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s43017-020-0039-9>. Acesso em: 6 ago. 2023.
- PETERS, G.; LI, M.; LENZEN, M. The need to decelerate fast fashion in a hot climate – A global sustainability perspective on the garment industry. *Journ Clean Produc*, v. 295, fev. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621006107?via%3Dihub>. Acesso em: 9 ago. 2023.
- PUNHAGUI, K. R. G. *et al.* *Estudo de baixo carbono para a indústria de cimento no Estado de São Paulo de 2014 a 2030*. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo; Secretaria do Meio Ambiente; Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb); Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), 2018.
- QUANTIS. Measuring fashion: Insights from the environmental impact of the global apparel and footwear industries study. *Quantis*, p. 1-65, 2018. Disponível em: <https://quantis-intl.com/measuring-fashion-report-2018/>. Acesso em: 15 ago. 2023.
- REIS, D. C. *et al.* Potential CO₂ reduction and uptake due to industrialization and efficient cement use in Brazil by 2050. *Jour Ind Ecol*, v. 25, n. 2, p. 344-58, abr. 2021. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/bla/inecol/v25y2021i2p344-358.html>. Acesso em: 15 ago. 2023.
- SALA, S.; CIUFFO, B.; NIJKAMP, P. A systemic framework for sustainability assessment. *Ecol Econ*, v. 119, p. 314-25, nov. 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800915003821>. Acesso em: 12 ago. 2023.
- SANDIN, G. *et al.* *Environmental assessment of Swedish clothing consumption – six garments, sustainable futures*. A Mistra future fashion report. Berna, 2019. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/270109142.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2023.
- SCHWEITZER, F. *et al.* Economic networks: the new challenges. *Science*, v. 325, n. 5939, p. 422-5, jul. 2009. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1173644>. Acesso em: 23 ago. 2023.
- SOHN, J. *et al.* The environmental impacts of clothing: evidence from United States and three European countries. *Sustain Pros and Cons*, v. 27, p. 2153-64, jul. 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352550921001603>. Acesso em: 6 ago. 2023.
- STADLER, K. PyMRIO – A python based multi-regional input-output analysis toolbox. *Jour of Open Res Softw*, v. 9, n. 1, p. 1-11, 2021. Disponível em: <https://openresearchsoftware.metajnl.com/articles/10.5334/jors.251>. Acesso em: 12 ago. 2023.
- STADLER, K. *et al.* EXIOBASE 3: developing a time series of detailed environmentally extended multi-regional input-output tables. *Jour of Ind Ecol*, v. 22, n. 3, p. 502-15, 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jiec.12715>. Acesso em: 23 ago. 2023.

- TUKKER, A. *et al.* Environmental and resource footprints in a global context: Europe's structural deficit in resource endowments. *Glob Envir Chang*, v. 40, p. 171-81, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378016301091?via%3Dihub>. Acesso em: 3 ago. 2023.
- TUKKER, A.; WOOD, R.; GILJUM, S. Relevance of global multi-regional input-output databases for global environmental policy: experiences with EXIOBASE 3. *Jour of Ind Ecol*, v. 22, n. 3, p. 482-4, maio 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jiec.12767>. Acesso em: 5 ago. 2023.
- WEBER, S.; LYNES, J.; YOUNG, S. Fashion interest as a driver for consumer textile waste management: reuse, recycle or disposal. *Inter Jour of Cons Stud*, v. 41, n. 2, p. 207-15, mar. 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ijcs.12328>. Acesso em: 14 ago. 2023.
- WIEDMANN, T.; LENZEN, M. Environmental and social footprints of international trade. *Nat Geosc*, v. 11, n. 5, p. 314-21, abr. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41561-018-0113-9>. Acesso em: 25 ago. 2023.
- WOOD, R. *et al.* Growth in environmental footprints and environmental impacts embodied in trade: resource efficiency indicators from EXIOBASE3. *Jour of Ind Ecol*, v. 22, n. 3, p. 553-64, fev. 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jiec.12735>. Acesso em: 24 ago. 2023.
- THE WORLD BANK. *What a waste 2.0*. A global snapshot of solid waste management to 2050. Trends in solid waste management. Washington, 2023. Disponível em: https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html. Acesso em: 25 ago. 2023.

