

Impactos e desafios ambientais para o *smart clothing* no ciclo de vida: revisão do estado da arte

Environmental impacts and challenges on the smart clothing life cycle: a state of the art review

Fernanda de Oliveira Massi, Mestranda, Universidade Federal do Paraná

fernanda.massi@ufpr.br

Natalia Ferraz Reis, Graduanda, Universidade Federal do Paraná

nataliareis@ufpr.br

Aguinaldo dos Santos, PhD, Universidade Federal do Paraná

asantos@ufpr.br

Resumo

Apesar da potencialidade de *smart clothing*, que permite coletar e processar dados sobre condições e reações do usuário, do ambiente em que está inserido e se conectar com outros artefatos a sua volta, visando facilitar as atividades diárias e melhorar a qualidade de vida, os problemas ambientais já enfrentados pelo setor do vestuário podem ser agravados devido a incorporação de componentes eletrônicos nas roupas. O Design pode contribuir para reverter este quadro através de intervenções no âmbito do conceito destes produtos assim como nos serviços e sistemas associados. Este artigo apresenta uma revisão do estado da arte no tema, com ênfase na identificação dos principais impactos ambientais e desafios de *smart clothing* a partir da perspectiva do ciclo de vida do produto, com o propósito de contribuir para a qualidade informacional dos Designers envolvidos no projeto desta categoria de produtos.

Palavras-chave: Smart clothing; Impactos ambientais; Economia Circular;

Abstract

Despite the potential of smart clothing, which allows collecting and processing data about the user's conditions and reactions, the environment in which they are inserted and connecting with other artifacts around them, aiming to facilitate daily activities and improve quality of life, problems environmental issues already faced by the clothing sector can be worsened due to the incorporation of electronic components in clothing. Design can contribute to reversing this situation through interventions within the scope of the concept of these products as well as in the associated services and systems. This article presents a review of the state of the art on the topic, with an emphasis on identifying the main environmental impacts and challenges of smart clothing from the perspective of the product life cycle, to contribute to the informational quality of the Designers involved in the project of this product category.

Keywords: Smart clothing; Environmental impacts; Circular Economy;

1. Introdução

Os avanços tecnológicos computacionais em materiais e produtos permitem que o setor do vestuário vislumbre diversas possibilidades de produtos com tecnologias embarcadas. Como exemplo, tem-se o vestuário que possibilita a medição de sinais vitais e de condições de saúde, geolocalização, alerta de segurança quanto a situações de risco para o usuário, entre outros [1].

As roupas que podem detectar estímulos externos e responder a estes com base no processamento computacional de dados são chamadas de *smart clothing*, ou roupas inteligentes [1-2]. O conceito de *smart clothing* é caracterizado por incorporar componentes eletrônicos nos tecidos e nas peças como forma de coletar e processar dados sobre condições e reações do usuário, do ambiente em que está inserido e se conectar com outros artefatos e atores a sua volta, visando facilitar as atividades diárias do usuário e melhorar sua qualidade de vida [1]. Nessa categoria de produtos, o próprio tecido ou a roupa é o *wearable* e cumpre sua função com maior naturalidade e conforto de vestibilidade quando comparado ao uso de outros tipos de vestíveis, além de ter contato com uma área maior para monitoramento e interação com o corpo [3].

Apesar da potencialidade no setor do vestuário das tecnologias do tipo *smart*, ou inteligentes, sua incorporação demanda reflexão sobre os efetivos impactos ambientais, sociais e econômicos [4-5]. Sob a perspectiva ambiental, o setor do vestuário convencional já apresenta diversos impactos, alguns bastante severos, em todo o ciclo de vida do produto, desde a extração de matéria-prima até o descarte do produto [6]. Desta forma, o advento dos produtos eletrônicos vestíveis carrega o risco de ampliar ainda mais os impactos ambientais [4-7].

O potencial aumento no impacto ambiental no Smart Clothing decorre, principalmente, do perfil dos materiais utilizados e, também, da energia demandada na captura e armazenamento de dados. As roupas inteligentes diferem das roupas convencionais principalmente pelos materiais utilizados nesses produtos, para tornar as roupas inteligentes é necessário incorporar dispositivos eletrônicos e outros materiais não têxteis [1-4]. Segundo O’Nascimento [8], hoje em dia existe uma grande variedade de materiais que podem ser utilizados em projetos de *wearables* e roupas inteligentes, como materiais compostos por polímeros eletroativos e fotoativos, elastômeros, polímeros biorresponsivos, ligas com formato de memória, materiais cromogênicos e polímeros compósitos. A incorporação desses materiais faz com que seu processo de fabricação seja diferente das roupas convencionais, além disso, o seu uso também difere das características básicas de peças não tecnológicas, com isso, os impactos ambientais também diferem e precisam ser analisados de forma específica.

Na sustentabilidade, o caminho da prevenção é o mais adequado para se tratar dos impactos ambientais, além disso, a abordagem própria do Design para Sustentabilidade permite que o designer visualize antecipadamente todo o ciclo de vida do produto com base nos materiais e processos envolvidos, dessa forma também é possível prever os impactos ambientais do produto e tomar decisões que mitiguem esses impactos [9]. No caso de *smart clothing*, é importante investigar os impactos e desafios ambientais com base nessa abordagem uma vez que são produtos que ainda se encontram em fase de desenvolvimento e ganho de espaço no mercado, dessa forma se faz pertinente um estudo antecipatório.

Este artigo é um recorte de uma pesquisa maior acerca da sustentabilidade ambiental do fim de vida de *smart clothing*. Para compreender de forma ampla esse tipo de produto, esse artigo objetiva buscar na literatura existente quais são os principais impactos ambientais e desafios de *smart clothing* a partir de uma visão holística do ciclo de vida do produto.

2. Procedimentos Metodológicos

O presente artigo possui abordagem qualitativa, caráter exploratório-descritivo e natureza básica. Como forma de identificar temas relevantes, reunir informações preliminares para formulação do problema de pesquisa e palavras-chave para a próxima etapa de Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS), foi realizada, inicialmente, uma Revisão Bibliográfica Assistemática (RBA). Em seguida, para levantar dados e analisar de forma crítica a literatura existente no tema, com o foco em identificar ênfases e conceitos principais envolvidos, conduziu-se a RBS.

Durante a RBA foi realizada busca nas bases de dados Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações, Periódicos CAPES e Google Scholar, por publicações feitas de 2013 a 2023 com o foco em analisar a literatura sobre *smart clothing*, impactos ambientais e áreas correlatas que se fazem pertinentes neste estudo. Nessa etapa objetivou-se obter maior compreensão dos construtos envolvidos, relação entre eles e identificação de principais termos e autores.

O protocolo utilizado para conduzir a RBS foi proposto por Conforto, Amaral e Silva [10]. Esta etapa teve como foco compreender as informações *smart clothing* e impactos ambientais do ciclo de vida do produto. O protocolo de busca foi desenvolvido com base na questão “quais os impactos ambientais do ciclo de vida de *smart clothing*?”. O período de busca foi de 2018 a 2023 sendo que as buscas foram realizadas nas plataformas Google Scholar e Periódicos CAPES. As palavras chave a partir das quais foram gerados os strings de busca foram *electronic devices, electronic components, sustainability, clothing, fashion, garment, end-of-life, waste, wearables* e *smart clothing*. O âmbito da pesquisa foram os periódicos internacionais revisados por pares e produzidos na língua inglesa, sendo que para consideração no filtro 01 (título/resumo) foram considerados os 30 primeiros resultados em ordem de relevância a partir da aplicação das “strings” de busca. Como critérios de exclusão considerou-se a presença dos termos *material engineering, operational processes, digital fashion, business models* e outros termos não correlatos ao design.

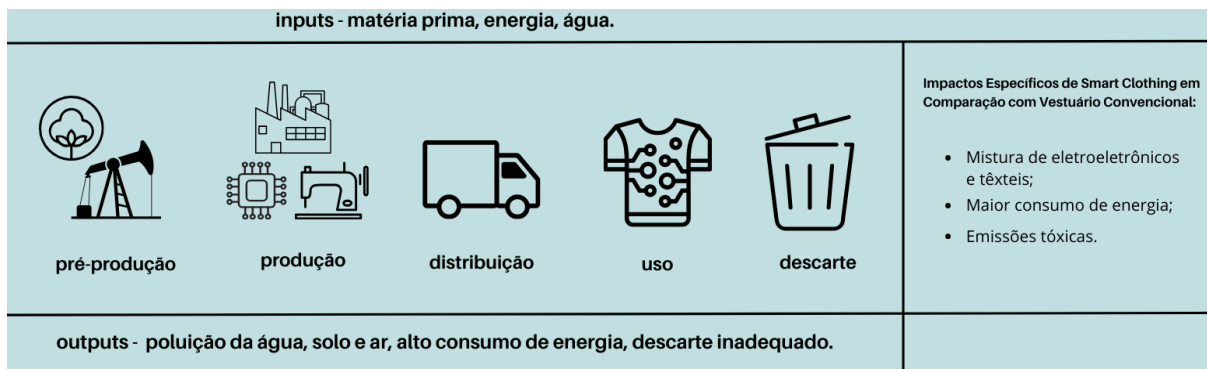
3. Resultados

Como forma de analisar com base no ciclo de vida do produto, os resultados da literatura consultada foram divididos de acordo com as etapas de pré-produção, produção, distribuição, uso, descarte e design, conforme representado na Figura 1.

4.1 Pré produção

A produção de componentes eletrônicos e tecidos requer grandes quantidades de energia e recursos para a confecção de Smart Clothing. Atualmente, nenhum país é capaz de produzir todos os materiais utilizados em produtos de ICT - Tecnologia da Informação e Comunicação - devido um número substancial de depósitos de minerais serem apenas encontrados em lugares específicos. [11].

Figura 1: Impactos ambientais do ciclo de vida de smart clothing.



Fonte: Autores (2024) com base em Velden, Kuusk e Kohler (2015).

Para a fabricação desses dispositivos elétricos é necessária uma mistura diversificada de metais ferrosos, não-ferrosos, cerâmicos, polímeros, placas de circuito impressos e mais de outras 1000 substâncias [12-13]. E além dessa extração dos materiais, há também o refinamento desses minérios, metais e polímeros que envolvem corte a laser, soldagem elétrica, galvanoplastia entre outros, e acabam gerando poluentes tanto no ar, água e solo [14].

A produção de tecidos e roupas também representa um desafio ambiental significativo, especialmente considerando que a indústria da moda é uma das mais poluentes do mundo. Segundo Gurova et al. [11], essa indústria é responsável por uma parcela considerável das águas resíduos globais, representando cerca de 20% do total, além de contribuir com aproximadamente 10% das emissões globais de carbono.

4.2 Produção

A sustentabilidade de um wearable inteligente, conforme enfatizado por Dulal et al. [7], depende da sustentabilidade individual de cada componente e dos seus respectivos processos produtivos. Os aspectos de produção de roupas inteligentes ao longo do seu ciclo de vida, desde a extração da matéria-prima até o descarte, podem ter impactos ambientais negativos, como o uso de recursos não renováveis e escassos, a contaminação da água, o gasto de energia e as emissões de gases de efeito estufa [4]. O nível de integração entre dispositivos eletrônicos e têxteis também influencia significativamente o impacto na produção de vestuário, não só permitindo a reciclagem e reutilização, mas também facilitando a limpeza, lavagem e atualizações tecnológicas. No processo usual de vestuário, conforme detalhado por Li et al. [14], envolve etapas como fiação, tingimento, corte, costura e acabamento.

Os produtos químicos são frequentemente utilizados para melhorar a estética e a usabilidade, resultando em poluição grave. Além disso, tanto durante o corte e costura quanto nas etapas de acabamento, há emissões significativas de dióxido de carbono, grande demanda pelo uso de água e produtos químicos perigosos [11]. A produção de componentes de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), conforme observado por Gurova et al., [11],

requer grandes quantidades de materiais tóxicos, como semicondutores, placas de circuito impresso e metais preciosos como ouro, prata, paládio, platina, metais básicos e metais pesados como chumbo, mercúrio, arsênico, cromo, entre outros [15]. Porém, essa combinação de materiais eletrônicos com têxteis pode resultar na geração de pó de fibra, toneladas de sucata metálica e restos de tecido [14]. Além disso, a incorporação de materiais e componentes eletrônicos torna o processo de fabrico global bastante diferente do vestuário convencional, implicando a utilização de cadeias de abastecimento globais e, portanto, uma maior procura de transporte.

4.3 Distribuição

A distribuição de roupas inteligentes envolve o transporte das fábricas aos locais de varejo e, por fim, aos consumidores. Porém, esse processo gera um impacto significativo ao meio ambiente, conforme destacado por Gurova et al. [11]. As emissões de carbono e a poluição atmosférica são consequências diretas, especialmente quando se utilizam modos de transporte dependentes de combustíveis fósseis, como caminhões e aviões. Simplificar as cadeias de abastecimento, utilizando instalações de produção locais são algumas sugestões propostas por Gurova et al. [11] para reduzir este impacto ambiental, uma vez que a complexidade e a extensão das cadeias de abastecimento, muitas vezes dispersas geograficamente, especialmente para a produção de têxteis e equipamentos eletrônicos, tornam estes desafios de distribuição uma preocupação ambiental crescente.

4.4 Uso

Ao utilizar roupas inteligentes, o impacto ambiental aumenta devido ao significativo consumo de energia necessário para mantê-las funcionando. Os componentes eletrônicos integrados nos têxteis inteligentes consomem mais energia em comparação com os dispositivos eletrônicos e vestuário comuns. Este aumento no consumo decorre da unidade adicional de comunicação e controle inerente aos dispositivos IoT inteligentes, exigindo um excedente de energia [16]. Como resultado, mesmo quando as tarefas são concluídas ou a roupa é desligada, a roupa inteligente continua a consumir energia, mantendo o sistema ativo remotamente. Esta maior procura de energia aumenta a pressão sobre a rede elétrica, que depende em grande parte da energia fornecida pelas centrais hidroelétricas. Estas plantas emitem gases com efeito de estufa, contribuindo para a poluição ambiental e para o aumento das temperaturas globais, exacerbando assim a subida do nível do mar [16].

Outro fator nesta fase é o descarte precoce de wearables devido à falta de familiaridade dos usuários. Segundo Ju et al. [17], os usuários muitas vezes enfrentam dificuldades em seus primeiros usos, o que pode gerar frustração e a percepção de que o produto não atende às suas expectativas ou de que não é necessário, levando à interrupção do seu uso. Além disso, a ausência de pontos de recolha adequados para descartar adequadamente as roupas inteligentes quando estas deixam de funcionar também é um desafio significativo [18]. Estes dois factores combinados contribuem para um impacto ambiental crescente.

Os aspectos funcionais dos têxteis e vestuário inteligentes são um componente crítico de utilização. Porém, essas funções não se traduzem em um apego usuário-produto mais duradouro, e os indivíduos ainda abandonam o uso dessas tecnologias devido a fatores que também se relacionam ao nível comportamental do design, como a dificuldade de manutenção e cuidado dos produtos e não encontrarem aplicação direta. dos dados coletados na vida cotidiana [19].

Especialmente para usuários leigos, a manutenção de roupas inteligentes pode afetar negativamente a facilidade de uso e se tornar um dos principais motivos para o comportamento insustentável do usuário. Além das atividades de cuidado e manutenção inerentes aos têxteis e vestuário tradicionais, como lavanderia, engomadoria e reparação (ou seja, costuras, botões, buracos, etc.), são necessárias novas atividades e competências de manutenção e cuidado para têxteis e vestuário inteligentes. Carregar, acessar e/ou armazenar dados recolhidos, requisitos de lavanderia especializados (ou seja, remoção de componentes de hardware, lavagem das mãos) podem ser exemplos de atividades novas e adicionais para manutenção e cuidados [19].

4.5 Descarte

Uma das principais etapas do ciclo de vida que envolvem preocupações com relação aos impactos ambientais é o descarte. Além das dificuldades já enfrentadas no setor do vestuário com o descarte de resíduo pós-uso, a *smart clothing* gera um novo desafio ambiental: o resíduo eletroeletrônico (REEE) proveniente das peças de roupas [4]. Os REEE são considerados uma mistura não homogênea e complexa de componentes potencialmente tóxicos [20-21].

As substâncias liberadas por REEE podem ser classificadas como perigosas e não perigosas, sendo as perigosas as que apresentam características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, incluindo metais pesados, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, poli dibenzofuranos, éteres difenílicos bromados e dibenzo-p-dioxinas policloradas; e as não perigosas incluem metais Cu, Se, Pt e Ag, entre outros [22-25].

Os principais materiais utilizados em *smart clothing* são sensores, fios e tecidos condutivos, microcontroladores, LED e telas de *display*, baterias, atuadores, conectores e cabos, antenas, módulos de conexão sem fio, materiais isolantes [8]. Apesar da miniaturização desses dispositivos para manter os requisitos de conforto, flexibilidade e vestibilidade, os componentes utilizados contém materiais potencialmente tóxicos e escassos [26], como uma gama de materiais de grande risco ao meio ambiente como chumbo, mercúrio, cádmio, cromo, retardadores de chama halogenados ou bromados, substâncias cloradas, bifenilos policlorados (PCB), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e gás de refrigeração [27-33] que se não descartados de forma correta podem impactar negativamente o meio ambiente e as diferentes formas de vida, incluindo a saúde humana.

No contexto do descarte, o próprio processo de reciclagem pode ser responsável por lançar no ambiente resíduos eletrônicos primários perigosos (Hg, Pb, Cd, PCBs e outros tóxicos secundários de REEE, incluindo hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, dioxinas e difuranos), que resultam principalmente na contaminação do solo e das águas, solubilização do solo, lixiviação e bioacumulação [34-35].

Para analisar o descarte é importante também compreender as formas de integração da tecnologia no vestuário, já que isso impacta nos desafios ambientais do produto e na forma como será desmontado e descartado. Existem duas formas de fazer roupas inteligentes pensando a partir do tecido: primeiro fazer o têxtil eletrônico (e-têxtil ou e-tecido) e depois produzir as roupas; ou fazer primeiro as roupas e depois incorporar a tecnologia nelas. A primeira abordagem geralmente resulta em produtos mais difíceis de desmontar, uma vez que os componentes eletrônicos podem ser incorporados diretamente às fibras e à estrutura têxtil [4]. Outra abordagem possível por se tratar de eletrônicos, é a possibilidade de criar circuitos e dispositivos utilizando diferentes materiais, que depois serão incorporados às roupas e tecidos, princípio relacionado ao movimento maker, ou é possível utilizar soluções prontas do fabricante apenas para serem integradas em roupas já fabricadas.

4.6 Design

O desenvolvimento de produtos através do design para a sustentabilidade envolve diversos aspectos, incluindo as etapas de pré-produção, produção, utilização e fim de vida, e a aplicação de estratégias de prevenção, minimização de ocorrência e mitigação de impactos ambientais já na fase conceitual de desenvolvimento de produtos [36]. No contexto da sustentabilidade ambiental, uma das possíveis contribuições do design reside justamente na possibilidade de projetar o artefato considerando todo o ciclo de vida antes de ser produzido, ou seja, existe a possibilidade de prever o impacto do produto antes que ele exista [37].

Ao prever os impactos do produto em cada aspecto que requer tomada de decisão, como seleção de materiais, processos e desempenho final, é possível aplicar, ainda na fase conceitual, estratégias que superem cada um dos impactos e tornem o produto mais adequado e com melhor desempenho. indicadores ambientais [37]. Lavabilidade, durabilidade, estética, facilidade de uso, programação, manutenção e atualização são itens que precisam ser considerados para não se tornarem motivos de descarte precoce desse tipo de produto.

4. Discussões

Ao analisar os impactos ambientais de *smart clothing* e comparando com o setor do vestuário convencional é possível verificar que esse tipo de produto amplia os desafios ambientais já existentes, uma vez que ocorrem os impactos em todas as etapas do ciclo de vida tanto do vestuário, quanto dos dispositivos eletroeletrônicos de forma conjunta. Portanto, podem ser identificados impactos ambientais negativos adicionais em todo o ciclo de vida do produto. Desde a extração de materiais na pré-produção, aos processos de produção, a *smart clothing* demanda a aplicação de materiais e procedimentos fabris diferentes dos têxteis convencionais, como por exemplo materiais tóxicos, semicondutores, placas de circuito impresso em metais preciosos como ouro, prata, paládio, platina, metais base e metais pesados como chumbo, mercúrio, arsênio, cromo, entre outros [15], fazendo com que os impactos ambientais dessas roupas não se restrinjam aos vinculados aos têxteis e aviamentos, mas se aproximem dos impactos de equipamentos eletroeletrônicos.

O uso e manutenção desses produtos também diferem da lavagem, secagem e passadoria dos produtos convencionais de moda, pois os equipamentos eletroeletrônicos presentes nas roupas demandam maior gasto de energia e água para seu funcionamento elétrico, além de demandar cuidado de limpeza específico para não danificar o equipamento. O descarte também apresenta-se como uma etapa problemática dentro do escopo ambiental, já

que a infraestrutura atual de reparo e reciclagem de vestuário e de equipamentos eletroeletrônicos não comportam produtos que integram vestuário e tecnologias eletroeletrônicas.

Apesar dos impactos negativos e a necessidade de um olhar holístico para o ciclo de vida para prevenir e lidar com os desafios ambientais, as *smart clothing* apresentam algumas vantagens em termos de sustentabilidade quando comparadas a outros *wearables* e equipamentos eletroeletrônicos. O principal benefício ocorre devido a miniaturização de componentes para adequar os dispositivos eletroeletrônicos para serem integrados nas roupas, dessa forma, uma função que seria executada por um dispositivo maior e com mais gastos de materiais, água e energia, pode ser realizada pela *smart clothing* com menos recursos.

5. Considerações Finais

Por fim, foi possível analisar os impactos de *smart clothing* a partir do conceito de ciclo de vida do produto, ressaltando aqui o potencial do design como abordagem de desenvolvimento de produto com consciência ambiental principalmente com relação ao produto baseado em tecnologias emergentes, que são as *smart clothings*. Além disso, o estudo antecipatório dos impactos e desafios ambientais desse tipo de produto pode contribuir com a mitigação de riscos e desenvolvimento de produtos intrinsecamente mais sustentáveis, uma vez que são produtos ainda não encontrados com amplitude no mercado e se encontram em estágio inicial de inovação.

O presente estudo contribui com a ampliação da pesquisa no Brasil sobre *smart clothing* e na compreensão dos impactos ambientais como forma de guiar o desenvolvimento de heurísticas e diretrizes para desenvolvimento destes produtos com base no Design para Sustentabilidade. O estudo também contribui com a consciência ambiental no campo do design, que além da teoria, deve abordar questões teóricas e de compreensão dos aspectos relacionados ao ciclo de vida dos produtos para desenvolver soluções sustentáveis, principalmente para produtos ainda em fase de exploração e com tecnologias computacionais incorporadas.

Para estudos futuros, recomenda-se a exploração de temas como impactos sociais e econômicos do ciclo de vida de *smart clothing*, assim como busca de soluções para os desafios encontrados na literatura.

Referências

- [1] JIANG, S. *et al.* **Applications of Smart Clothing: Brief Overview**. 2021. Communications in Development and Assembling of Textiles Products. 2. 123-140.
- [2] LEE, J.; KIM, D.; RYOO, H.-Y.; SHIN, B.-S. Sustainable Wearables: Wearable Technology for Enhancing the Quality of Human Life. **Sustainability**, v. 8, n. 5, p. 466, 2016. MDPI AG.
- [3] AHSAN, M. *et al.* **Smart Clothing Framework for Health Monitoring Applications**. Signals, v. 3, n. 1, p. 113–145, 2 mar. 2022.
- [4] KÖHLER, A. R. **Anticipatory eco-design strategies for smart textiles** : perspectives on environmental risk prevention in the development of an emerging technology. Delft Academic Press. 2013.

- [5] VELDEN, N. M. *et al.* **Life Cycle Assessment and Eco-Design of Smart Textiles: The Importance of Material Selection Demonstrated Through E-Textile Product Redesign.** *Materials and Design*, 2015, 313-324, 84.
- [6] FLETCHER, K., GROSE, L. **Moda & sustentabilidade: Design para mudança.** 1. ed. São Paulo: SENAC. 2012.
- [7] DULAL, M. *et al.* **Toward Sustainable Wearable Electronic Textiles.** *ACS Nano*, 2022, 19755-19788, 16(12).
- [8] O'NASCIMENTO, Ricardo. **Roupas inteligentes: Combinando moda e tecnologia.** São Paulo: Senac, 2020.
- [9] MANZINI, Ezio; VEZZOLI, Carlo. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais de produtos industriais.** 1. ed. 2. reimpr. CARVALHO, A. Traduzido por: CARVALHO, A. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008. Título original: *Lo sviluppo di prodotti sostenibili: I requisiti ambientali dei prodotti industriali.*
- [10] CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. DA. **Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos.** Trabalho apresentado no 8º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto, Porto Alegre, 2011.
- [11] GUROVA, O., MERRITT, T. R., PAPACHRISTOS, E., VAAJAKARI, J. **Sustainable solutions for wearable technologies: Mapping the product development life cycle.** *Sustainability*, Aalborg, 12, 20, 2020.
- [12] SHEVCHENKO, T.; LAITALA, K.; DANKO, Y. **Understanding Consumer E-Waste Recycling Behavior: Introducing a New Economic Incentive to Increase The Collection Rates.** *Sustainability (Switzerland)*, 2019, 11(9).
- [13] AKRAM, R. N. *et al.* **Trends of Electronic Waste Pollution and Its Impact on the Global Environment and Ecosystem.** *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, 16923-16938, 26 (17).
- [14] LI, Q.; XUE, Z.; WU, Y.; ZENG, X. **The Status Quo and Prospect of Sustainable Development of Smart Clothing.** *Sustainability*. 2022, 14, 990.
- [15] GHULAM, S.; ABUSHAMMALA, H. **Challenges and Opportunities in the Management of Electronic Waste and Its Impact on Human Health and Environment.** *Sustainability (Switzerland)*, 2023, 15(3).
- [16] YUGANK, H., SHARMA, R., GUPTA, S. **An Aroach to Analyse Energy Consumption of an IoT System.** *International Joppurnal of Information Technology (Singapore)*, 2022, 2549-2558, 14(5).
- [17] JU, N.; LEE, N. **Consumer Resistance to Innovation: Smart Clothing.** *Fashion and Textiles*, 2020, 7(1).
- [18] VESKE, P.; ILÉN, E. Review of the End-of-Lide Solutions in Electronics-based Smart Textiles. **Journal of the Textile Institute**, 2021, 1500-1513, 112(9).
- [19] CHARTER, M.; PAN, B.; BLACK, S. **Accelerating Sustainability in Fashion, Clothing and Textiles.** [s.l.] Taylor & Francis, 2023.
- [20] WILLIAMS, I. D. **Global Metal Reuse, and Formal and Informal Recycling from Electronic**

and Other High-Tech Wastes. *Metal Sustainability*, p. 23–51, 19 ago. 2016.

[21] KUMAR, S. S.; CHAUHAN, A.; SARKAR, B. **Supply Chain Management of E-Waste for End-of-Life Electronic Products with Reverse Logistics.** *Mathematics*, 2023, 11(1).

[22] AWASTHI, A.; ZENG, X.; LI, J. **Environmental pollution of electronic waste recycling in India: a critical review.** *Environ Pollut*, v. 211, p. 259–270, 2016.

BAHERS, J.-B.; KIM, J. **Regional approach of waste electrical and electronic equipment (WEEE) management in France.** *Resources, Conservation and Recycling*, v. 129, p. 45–55, fev. 2018.

[23] BRASIL. Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 03 ago.*

[24] ZHANG, K.; SCHNOOR, J. L.; ZENG, E. Y. **E-Waste Recycling: Where Does It Go from Here?** *Environmental Science & Technology*, v. 46, n. 20, p. 10861–10867, 3 out. 2012.

[25] ZENG, X., LI, J., STEVELS, A.L.N., LIU, L. **Perspective of electronic waste management in China based on a legislation comparison between China and the EU.** *Journal of Cleaner Production*, v. 51, p. 80–87, 15 jul. 2013.

[26] SRIVASTAV, A. L. et al. **Concepts of circular economy for sustainable management of electronic wastes: challenges and management options.** *Environmental Science and Pollution Research*, v. 30, 28 fev. 2023

[27] WIDMER, R. et al. **Global perspectives on e-waste.** *Environmental Impact Assessment Review*, v. 25, n. 5, p. 436–458, jun. 2005.

[28] SEPÚLVEDA, A. et al. **A review of the environmental fate and effects of hazardous substances released from electrical and electronic equipments during recycling: Examples from China and India.** *Environmental Impact Assessment Review*, v. 30, n. 1, p. 28–41, jan. 2010.

[29] DIAS, P., MACHADO, A., HUDA, N., & BERNARDES, A. M. . **Waste electric and electronic equipment (WEEE) management: A study on the Brazilian recycling routes.** *Journal of Cleaner Production*. 2018. 174, 7–16. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.219>>. Acesso em: 20 de julho de 2023.

[30] OLYMPIO, K. P. K. et al. **What are the blood lead levels of children living in Latin America and the Caribbean?** *Environment International*, v. 101, p. 46–58, abr. 2017.

[31] LECLERC, S. H.; BADAMI, M. G. **Extended producer responsibility for E-waste management: Policy drivers and challenges.** *Journal of Cleaner Production*, v. 251, p. 119657, 1 abr. 2020

[32] YONG, Y. S.; LIM, Y. A.; ILANKOON, I. M. S. K. **An analysis of electronic waste management strategies and recycling operations in Malaysia: Challenges and future prospects.** *Journal of Cleaner Production*, v. 224, p. 151–166, jul. 2019.

[33] PALANISAMY, KRITHIGA; SUBBURAJ, RAMPRADHEEP GOBI. **Integration of electronic waste management: a review of current global generation, health impact, and technologies for value recovery and its pertinent management technique.** *Environmental Science and Pollution Research*, v. 30, n. 23, p. 63347–63367, 14 abr. 2023.

- [34] LIU, H. et al. **E-waste recycling induced polybrominated diphenyl ethers, polychlorinated biphenyls, polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzo-furans pollution in the ambient environment.** Environment International, v. 34, n. 1, p. 67–72, jan. 2008.
- [35] SHEN, C. et al. **Dioxin-like compounds in agricultural soils near e-waste recycling sites from Taizhou area, China:** Chemical and bioanalytical characterization. Environment International, v. 35, n. 1, p. 50–55, jan. 2009.
- [36] SAMPAIO, Claudio P. *et al.* **Design para a sustentabilidade:** Dimensão Ambiental. Curitiba: Insight, 2018.
- [37] LEWIS, H.; GERTSAKIS, J.; GRANT, T.; MORELLI, N.; SWEATMAN, A. **Design + Environment:** a Global Guide to Designing Greener Goods. Sheffield: Greenleaf, 2001. 200 p.