



***Smart clothing* e Resíduos Eletroeletrônicos: heurísticas de Design orientadas à extensão do ciclo de vida**

Smart clothing and e-waste: Design heuristics oriented to life cycle extension

Fernanda de Oliveira Massi, Mestranda, Universidade Federal do Paraná

fernanda.massi@ufpr.br

Aguinaldo dos Santos, PhD, Universidade Federal do Paraná

asantos@ufpr.br

Natalia Ferraz Reis, Graduanda, Universidade Federal do Paraná

nataliareis@ufpr.br

[Linha temática: T5. Economia Circular]

Resumo

Com o avanço de tecnologias emergentes na moda e o desenvolvimento de *smart clothing*, surge a perspectiva de um novo resíduo no setor, o *e-waste*, ou resíduo eletroeletrônico. Portanto torna-se relevante uma investigação a respeito de formas de mitigar os impactos ambientais de REEE proveniente de *smart clothing* ainda na etapa conceitual do design desses produtos. Desta forma, esta pesquisa visa identificar na literatura os principais conceitos, ênfases e desafios de sustentabilidade em *smart clothing*, assim como relacionar as especificidades desse tipo de produto com heurísticas já existentes com foco na extensão do ciclo de vida. Para isso, foi utilizado o método Revisão Bibliográfica Sistemática e Assistemática. Como resultado obteve-se três tabelas com heurísticas voltadas ao reuso, reparo e reciclagem e as implicações de cada uma delas em *smart clothing*. Espera-se que estes resultados forneçam bases para pesquisas mais aprofundadas em REEE proveniente de *smart clothing*, assim como verificação e validação das heurísticas investigadas.

Palavras-chave: *Smart Clothing*; Resíduo Eletroeletrônico; Heurísticas

Abstract

With the advancement of emerging technologies in fashion and the development of smart clothing, the perspective of a new waste in the sector arises, the e-waste, or electronic waste. Therefore, it becomes relevant to investigate ways to mitigate the environmental impacts of WEEE from smart clothing still in the conceptual stage of the design of these products. In this way, this research aims to identify in the literature the main concepts, emphases and challenges of sustainability in smart clothing, as well as to relate the specificities of this type of product with existing heuristics focused on the extension of the life cycle. For this, the Systematic and Unsystematic Bibliographic Review method was used. As a result, three tables were obtained with heuristics focused on reuse, repair and recycling and the implications of each one of them in smart clothing. It is expected that these results provide bases for further research on WEEE from smart clothing, as well as verification and validation of the investigated heuristics.

Keywords: *Smart Clothing*; *Electronic Waste*; *Heuristics*

1. Introdução

A crescente introdução de novas tecnologias digitais tem repercutido em alterações em estilos de vida e profundas inovações em modelos de negócio. Sob a perspectiva do desenvolvimento sustentável os novos produtos e serviços associados a estas novas tecnologias têm oferecido novas oportunidades em temas como inovação social, gestão do ciclo de vida e economia verde. Ao mesmo tempo, há evidentes ameaças latentes à sustentabilidade em temas como o número de materiais escassos e tóxicos, o consumo de energia e a redução da participação de atores locais no valor ofertado por produtos/serviços. Um dos setores que começa a ser impactado por esta transformação é o setor do vestuário (Gurova *et al.*, 2020). No presente artigo o tema é debatido sob a perspectiva do *smart clothing* (vestuário inteligente).

Tecnologias digitais emergentes aplicadas a produtos do setor do vestuário possibilitam ampliar as funções providas pelos artefatos para além da proteção física, conforto e questões estético-culturais. Para além dos impactos na interface direta usuário-vestuário, estas tecnologias possibilitam incluir funções de natureza remota, como o monitoramento de condições de saúde e de segurança, otimização da comunicação e geolocalização, expansão de experiências sensoriais e interatividade com o mundo externo e outros artefatos (Jiang *et al.*, 2021).

A produção de *smart clothing* exige que novos dispositivos estejam inseridos nas roupas ou nos tecidos e materiais que a compõem. Estes dispositivos, também chamados de *hardwares*, podem ser sensores, fios, baterias, luzes de LED, condutores entre outros materiais eletrônicos e não têxteis (Singha *et al.*, 2019; Jiang *et al.*, 2021). Estes novos componentes implicam na integração de novos materiais, muitos destes tóxicos ou escassos. Desta forma, apesar de haver uma perspectiva amplamente positiva e otimista acerca dos impactos das inovações pautadas pelas tecnologias digitais no âmbito do setor do vestuário, há a necessidade de reflexão crítica para se evitar potenciais efeitos colaterais sob a perspectiva da sustentabilidade. De fato, é necessário reconhecer que a incorporação de novas funções através de tecnologias digitais no vestuário também implica em impactos sócio-ambientais e econômicos potencialmente negativos, muitas vezes difíceis de mensurar (Kohler, 2013; Lee *et al.*, 2016; Gurova *et al.*, 2020).

Dentre os diversos problemas socioambientais que a indústria da moda enfrenta de forma permanente destaca-se a alta geração de resíduos têxteis e a gestão deste material pós industrial e pós uso (Fletcher e Grose, 2011). Este problema tem sua complexidade agravada quando são incorporados materiais eletrônicos e *hardwares* não têxteis nas roupas (Kohler, 2013). Esse contexto traz a perspectiva de um novo tipo de resíduo no setor: o *e-waste*, ou resíduo de equipamento eletroeletrônico (REEE).

Dentro do contexto apresentado, o presente artigo parte da seguinte questão: “Como o design para a sustentabilidade pode contribuir com a mitigação dos impactos ambientais de *e-waste* proveniente de *smart clothing*?”. Para tanto, objetivou-se identificar na literatura os principais conceitos, ênfases e desafios de sustentabilidade em *smart clothing*, assim como relacionar as especificidades desse tipo de produto com heurísticas já existentes em design para sustentabilidade com foco na extensão do ciclo de vida dos materiais presentes no *e-waste*. Tal ênfase leva em conta a presença de materiais escassos e tóxicos ainda fortemente presentes nestes resíduos.

2. Smart Clothing e suas Implicações para a Sustentabilidade

2.1 Definindo o Conceito de *Smart Clothing*

O conceito de *smart clothing*, ou roupas inteligentes, 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 (Jiang *et al* 2021). Esse conceito surge dentro do estudo de tecnologias *wearables*, ou vestíveis, e corresponde a aplicação de dispositivos computacionais portáteis em produtos que são colocados sobre o corpo ou outros artefatos com a finalidade de favorecer a relação humano-computador e integrar ainda mais as atividades cotidianas com as possibilidades do mundo digital (Lee *et al.*, 2016). Para Jamal e Kapoor (2021), o vestuário é uma plataforma ideal para a incorporação de tecnologias *wearables* uma vez que são produtos com amplo contato com o corpo, possibilitando o melhor funcionamento dos sensores, e por serem produtos que já fazem parte do dia a dia das pessoas.

Apesar da utilização do termo *smart*, ou inteligente na língua portuguesa, para se referir a este tipo de produto, de acordo com Rokonzaman *et al.* (2022) não há consenso na literatura quanto à sua aplicação correta na denominação de um artefato que possua benefícios além de sua função principal. Para o autor, isso ocorre por conta da multidimensionalidade do termo, que envolve vários fatores de percepção objetivos e subjetivos quanto à inteligência dos artefatos, e por conta do tempo recente de discussão do tema literatura.

Jiang *et al.* (2021) identifica 5 níveis de inteligência em *smart clothing*: o primeiro deles envolvendo benefícios adicionais aos tecidos como bloqueador de odor e proteção UV; o segundo nível se relaciona com inovações nas propriedades físicas do tecido utilizado; terceiro nível representa roupas equipadas com micro sistemas eletrônicos, porém não incorporados diretamente na construção do tecido; o quarto nível descreve-se como a integração direta da peça com dispositivos eletrônicos, mas sem comunicação com outros artefatos, e por fim, o quinto nível representa as roupas que possuem integração com dispositivos eletrônicos em sua construção da peça e do tecido e possuem capacidade de comunicação com outros artefatos.

O desenvolvimento de tecnologias como *Internet of Things* (IoT), Inteligência Artificial, *big data*, *blockchain*, entre outras tecnologias de processamento de dados e comunicação, permite que sejam criados produtos de *smart clothing* com diversas funcionalidades e em diversas áreas de aplicação (Fernández-Caramés e Fraga-Lamas, 2018). Lee *et al.* (2016) identifica 3 níveis de benefícios de *smart clothing*, assim como outras tecnologias *wearables*, sendo elas a melhoria da qualidade de vida individual, possibilidade de impacto social e benefícios de interesse público. A seção seguinte apresenta exemplos de aplicação do conceito Smart Clothing.

Apesar de reconhecer a discussão ainda existente sobre os requisitos para caracterizar um objeto como inteligente, este artigo busca tratar dos níveis 3, 4 e 5 de *smart clothing* de Jiang *et al.* (2021), pois são os níveis em que há componentes eletrônicos presentes nas roupas, já que esta pesquisa possui como foco o *e-waste* no setor do vestuário. Além disso, apesar de ser um trabalho redigido em língua portuguesa, utiliza-se aqui o termo *smart clothing* em inglês, por se tratar do idioma em que o termo foi cunhado e por conta da discussão sobre a própria definição do conceito e adequação do termo *smart* para se referir a objetos, que pode se tornar ainda mais complexa quando traduzidos os termos.

2.2 Exemplos de Aplicação do *Smart Clothing*

Há uma maior presença do *Smart Clothing* no âmbito do setor da saúde. Um exemplo são as é o sutiã Palpreast, desenvolvido com foco em detectar de forma precoce nódulos nas mamas e contribuir com o diagnóstico e tratamento em estágio inicial da doença. Contribui, desta forma, para reduzir a chance de mortalidade por câncer de mama. Esse sutiã possui sensores e mecanismo de pressão que simula o movimento das mãos durante o autoexame, visando identificar saliências e anormalidades nos seios (Arcarisi *et al.*, 2019). Outro exemplo no setor de saúde é a calça Nadi X, disponível no mercado pela empresa Wearable X, desenvolvida com a finalidade de guiar a prática de yoga sem que seja necessário comparecer em uma aula, possibilitando a prática de forma solo. O produto se conecta com o celular do usuário por meio de tecnologia *bluetooth* para personalização da prática de yoga em um aplicativo da empresa e a calça possui sensores em toda sua extensão para monitorar os movimentos e fornecer orientação por meio de áudio e vibrações nos quadris, joelhos e tornozelos de acordo com o treino selecionado no aplicativo (Wearable Experiment, 2021).

No nível de *smart clothing* para impacto social, destacam-se produtos que se comunicam com o entorno e monitoram pessoas em situações de risco, como por exemplo bombeiros, policiais e militares. Já no nível de interesse público inclui-se soluções em *smart clothing* para pessoas em vulnerabilidade social, como monitoramento de crianças em regiões de subnutrição, destacando aqui a necessidade de tecnologias de baixo custo e viabilidade econômica para o determinado contexto (Lee *et al.*, 2016). Com a integração do IoT no vestuário tem-se a possibilidade da comunicação não somente entre o vestuário e o ser humano mas, também, entre o vestuário e outros artefatos, o que amplia as possibilidades de contribuição à segurança (ex: vestuário de uma criança “dialogando” com o semáforo em situações de perigo) (Jiang *et al.* 2021).

3. Método de Pesquisa

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

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 densidade e evolução de estudos na literatura sobre *smart clothing*, *e-waste*, estratégias de Design para Sustentabilidade, gestão do fim de vida do produto e áreas correlatas que se fazem pertinentes neste estudo. Essa etapa teve como objetivo obter maior compreensão dos construtos envolvidos, relação entre eles e identificação de principais termos e autores. A partir dos trabalhos encontrados nessa etapa realizou-se busca cruzada, com base em Conforto, Amaral e Silva (2011), para rastrear outras pesquisas relevantes com base nas citações dos autores.

A RBS foi conduzida utilizando o protocolo proposto por Conforto, Amaral e Silva (2011). Esta etapa teve como foco compreender o estado da arte sobre *smart clothing* e

estratégias de design para sustentabilidade com o foco no fim de vida do produto. O protocolo de busca foi desenvolvido com base na questão “qual o estado da arte de *smart clothing* e *e-waste* proveniente de produtos de vestuário com tecnologias?”. 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, heuristics, strategies, e-waste, 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. As heurísticas propostas neste artigo foram desenvolvidas tendo como estrutura teórica base as proposições de Lewis *et al.* (2001), Manzini e Vezzoli (2005) e Sampaio *et al.* (2018). Os autores em questão foram selecionados tendo como parâmetro o número de citações no campo. Como as proposições destes autores se tratam de heurísticas genéricas de design para sustentabilidade e não específicas para *smart clothing*, foi realizada a transposição para o tema específico do Smart Clothing. O agrupamento das heurísticas foram baseados nos Rs da sustentabilidade de Pollution Probe Foundation Unep (2014), resultando em 3 grupos, um com foco em viabilizar o reuso, outro o reparo e por fim a reciclagem.

4. Resultados & Análise

Sob a perspectiva dos resíduos pós-consumo, de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Nº 12.305 de 2010), a **reutilização** é o processo no qual não se deve demandar transformação biológica, física ou físico-química dos resíduos. Sob a perspectiva de produtos, componentes e subsistemas destes produtos, a reutilização implica na reintrodução dos mesmos em contextos de uso, mantendo ou não sua função original. Para compreender como as heurísticas de reuso podem impactar na extensão do ciclo de vida dos materiais associados a *smart clothing* e quais as implicações para o seu desenvolvimento foi desenvolvido o quadro 1, como forma de analisar individualmente cada heurística genérica proposta pelos autores e quais as relações com o vestuário com dispositivos eletrônicos.

Heurística (reuso)	Implicações para <i>smart clothing</i>
Intensifica a utilização	Propõe peças multifuncionais com mecanismos de personalização, como acabamento dupla-face e partes ajustáveis para diferentes configurações estéticas e formais; enfatiza soluções orientadas à economia do compartilhamento; também contempla as peças do vestuário que possibilitam o “faça-você-mesmo”, permitindo fácil adequação a novos usos.
Produtos reconfiguráveis para a adaptação em relação à evolução física dos indivíduos	Utilização de recursos de modelagem que permitam expansão e contração do produto como modularidade, nescas, plissados e pregas, junto com recursos para manter o ajuste do tamanho como amarrações, cintos, faixas, encaixes, botões e zíperes
Produtos modulares para a adaptação	Divisão do produto em partes estratégicas de acordo com a sua

em relação à evolução cultural dos indivíduos	modelagem possibilitando a mudança da configuração estética ao rearranjar os módulos mesmo após a fabricação da peça
Facilita o acesso às partes que devem ser limpas	Optar por tecidos eletrônicos laváveis e possibilitar a remoção de partes que não podem ser lavadas
As partes e componentes são padronizados e projetados para a reutilização de partes auxiliares	Incorporar os componentes eletrônicos de forma padronizada e intercambiável entre as roupas favorecendo o reuso das partes
Prevê um segundo uso	Possibilitar a remoção dos componentes eletrônicos para o reuso da peça como roupa convencional
Facilita a remodelação	Possibilitar a atualização estética do produto por meio de partes removíveis ou tecnologias de mudança de cores e texturas
Subdivide o produto em subconjuntos que possam ser facilmente separados e manipulados como partes individuais	Centralizar os componentes eletrônicos em parte da roupa com menor chance de danificação, para que possa ser removida e reutilizada em outras peças quando necessário e/ou quando o restante da roupa estiver danificado

Quadro 1: Heurísticas com foco no reuso como estratégia de fim de vida do *smart clothing*. Fonte: Autores com base em Lewis *et al.* (2001), Manzini e Vezzoli (2005) e Sampaio *et al.* (2018).

Por sua vez, o **reparo** está relacionado com reparar, reformar, consertar, recondicionar ou restaurar, buscando a extensão da vida útil do produto ao restabelecer a sua funcionalidade total ou parcial ou ao renovar sua estética. O reparo pode ser realizado pelo próprio usuário, por outros usuários para os quais o produto foi repassado ou por empresas especializadas (UK Government, 2021; Ali e Shirazi, 2023).

Essa estratégia relaciona-se com o conceito de “direito ao reparo”, ou “*right to repair*” na língua em que o termo foi cunhado, e envolve soluções que garantam que o usuário seja capaz de consertar seus equipamentos eletroeletrônicos, ao ter acesso a informações, ferramentas, *softwares*, componentes e peças do produto (UK Government, 2021; Ali e Shirazi, 2023). Por ser um conceito que surgiu a partir da demanda de manutenção de equipamento eletroeletrônico (EEE), a investigação em reparabilidade de *smart clothing* pode incluir soluções que surgiram por meio desse conceito, uma vez que possui componentes eletrônicos e similaridades técnicas e funcionais com outros tipos de EEE.

As heurísticas genéricas com foco no reparo e suas implicações para *smart clothing* encontram-se no quadro 2.

Heurística (reparo)	Implicações para <i>smart clothing</i>
Facilita a atualização e a adaptabilidade	Aplicar tecnologias com possibilidade de atualização do sistema operacional e de componentes estratégicos na peça
Facilita a manutenção	Disponibilizar informações e componentes para reparo dos dispositivos eletrônicos incorporados nas roupas
Vidas iguais para os vários componentes	Utilizar tecidos com vida útil compatível com o tempo de vida dos dispositivos eletrônicos

Predis põe e facilita a substituição, para a atualização das partes de software	Centralizar o controle do sistema operacional em um componente que possa ser facilmente removido da roupa para reparo e atualização
Evita materiais permanentes para funções temporárias	Possibilitar a remoção de dispositivo que garante à funcionalidade da roupa em casos de demandas temporárias para reuso em outras roupas
Busca facilitar a atualização no próprio lugar de uso	Fornecer informações, instrumentos e componentes para facilitar o reparo e adaptabilidade por parte do usuário; Explorar interferências têxteis como estampas que indiquem as instruções de reparo de partes que possam danificar com mais facilidade
Facilita a substituição, para a atualização das partes de <i>hardware</i>	Prever possibilidade de atualização da tecnologia por meio da troca de partes do <i>hardware</i> , priorizando a incorporação do dispositivo na peça por meio de encaixe, de forma que não seja necessário descosturar e costurar o componente na peça
Projeta partes e componentes padronizados	Incorporar os componentes eletrônicos de forma padronizada e intercambiável entre as roupas favorecendo o reuso das partes e reduzindo a complexidade do reparo
Predis põe e facilita a remoção e retorno das partes do produto que estão sujeitas a danos	Incorporar os dispositivos eletrônicos com maior propensão a danificar em aviamentos como botões ou em partes estratégicas como bordados sobrepostos, de forma que possam ser removidos e trocados com facilidade
Fornecer junto com o produto, instrumentos, materiais e informações para seu reparo	Fornecer partes para reparo do produto, como componentes eletrônicos com maior propensão a danificar
Produtos multifuncionais com componentes comuns e substituíveis	Utilizar componentes semelhantes em roupas diferentes para garantir que possam ser reutilizados no reparo dos produtos
Torna desmontáveis principalmente as partes mais sujeitas a desgaste e/ou quebras	Possibilitar a troca de partes da roupa como mangas, capuz, barrados, entre outras partes da modelagem
Adota estruturas modulares	Utilizar modelagem modulares associadas ao posicionamento dos dispositivos eletrônicos de forma que seja possível reconfigurar e reparar apenas partes do produto, explorando amarrações, encaixes, sobreposições e junção por aviamentos como zíperes e botões
Procura a máxima linearidade no direcionamento de desmontagem	Utiliza interferências têxteis como forma de sinalizar a ordem de desmontagem do produto para reparo
Minimiza os tipos de fixação que necessitam instrumentos diferenciados para remoção	Padronizar a forma de incorporação dos dispositivos nas roupas, para que todos os dispositivos tenham formas de desmontagem e remoção semelhantes

Quadro 2: Heurísticas com foco no reparo como estratégia de fim de vida do *smart clothing*.
 Fonte: Autores com base em Lewis *et al.* (2001), Manzini e Vezzoli (2005) e Sampaio *et al.* (2018).

De acordo com a hierarquia de ações em resíduos sólidos, a **reciclagem** vem depois do reuso e reparo (Unep, 2007). Apesar de não ser prioridade dentre as opções de estratégias de extensão do ciclo de vida, é necessário considerar como uma possibilidade, uma vez que existe o risco de um produto não ter condições de reuso ou reparo. A reciclagem é caracterizada pela segregação e processamento de resíduos visando retornar os materiais à cadeia produtiva,

reduzindo a demanda por matéria-prima virgem (Foelster *et al.*, 2016; Dias *et al.*, 2018) e contribuindo com a promoção da economia circular ao manter os materiais e seu valor econômico no ciclo de produção e utilização (Gharfalkar *et al.*, 2016). Para investigar as implicações das heurísticas com foco na reciclagem no desenvolvimento de *smart clothing* foi desenvolvido o quadro 3.

Heurística (reciclagem)	Implicações para smart clothing
Reciclagem em efeito cascata	Prever fases de reciclagem para os tecidos e componentes eletrônicos utilizados
Identificação dos materiais	Utilizar interferências têxteis como estampas para identificar os materiais
Minimiza o nº de materiais incompatíveis entre si	Evitar incorporar os componentes eletrônicos diretamente na fibra têxtil de forma que não dê para remover
Facilita a separação dos materiais incompatíveis entre si	Possibilitar a separação dos componentes eletrônicos dos materiais têxteis e aviamentos
Facilita a limpeza	Utilizar componentes eletrônicos que possam ser lavados junto com a roupa
Minimiza e facilita as operações para desmontagem e separação	Utilizar interferências têxteis como estampas para identificar as etapas de desmontagem da peça
Fornecer ao usuário informações sobre como descartar-se do produto	Incluir na roupa (etiqueta ou estampa) ou no software de operação do produto instruções de descarte
Fornecer informações complementares sobre a idade do material, o nº de reciclagens já efetuadas e os aditivos utilizados	Incluir no software de operação informações sobre a reciclabilidade dos materiais daquele produto específico
Em estruturas modulares, usa materiais homogêneos, com diferentes processos de transformação	Quando utilizado uma modelagem modular, separar os tipos de componentes eletrônicos por módulos
Torna desmontáveis principalmente os componentes e os materiais tóxicos e nocivos	Facilitar a remoção de fontes de energia como baterias
Torna desmontáveis principalmente as partes ou os materiais de maior valor econômico	Facilitar a remoção de componentes eletrônicos que possuam metais de alto valor econômico

Quadro 3: Heurísticas com foco na reciclagem como estratégia de fim de vida do *smart clothing*. Fonte: Autores com base em Lewis *et al.* (2001), Manzini e Vezzoli (2005) e Sampaio *et al.* (2018).

O processo de Revisão Bibliográfica, levantamento das heurísticas e análise das proposições de implicações para *smart clothing* resultaram em discussões para avanços nas pesquisas do tema, apresentados na próxima seção deste artigo.

4. Discussão

O desenvolvimento de *smart clothing* difere do desenvolvimento de vestuário convencional, pois além de projetar com todos os requisitos básicos de roupas comuns, como usabilidade, configuração estético-formal e necessidades do usuário, a incorporação de tecnologias implica na compreensão de aspectos específicos de *softwares* e *hardwares*, como questões técnicas e de funcionamento dos dispositivos, além das formas de unir ao vestuário (Kohler, 2013). Quando inserida a questão da sustentabilidade ambiental desse tipo de produto o desafio se torna ainda maior, dessa forma destaca-se aqui a importância de investigar heurísticas e proposições práticas para facilitar a atuação do designer de moda. As proposições de heurísticas aqui analisadas e investigação de implicações pro vestuário, podem vir a ser heurísticas consolidadas após etapa de verificação e validação em pesquisa posterior.

De maneira geral, ao propor implicações para *smart clothing* a partir das heurísticas gerais levantadas foi possível identificar a necessidade de compreensão mais ampla sobre os dispositivos eletrônicos por parte do designer, uma vez que a aplicação das heurísticas gerais e suas implicações em *smart clothing* depende também das características técnicas dos componentes e da configuração da roupa a ser produzida. Dessa forma, é possível identificar a necessidade de desenvolvimento de novas competências no designer de moda além dos conhecimentos específicos do vestuário convencional.

Já na análise de heurísticas específicas para viabilizar o reparo e posterior levantamento de proposições de implicações para *smart clothing*, como o fornecimento de instrumentos, componentes e informações sobre montagem e desmontagem, demonstrou que sua aplicação demanda adaptação na forma em que as empresas de vestuário costumam se relacionar com os clientes e no paradigma convencional do mercado, que visa comercializar produtos novos. No caso de viabilização do reparo é importante que o fabricante e/ou varejista tenha atenção ao pós venda, principalmente nos casos em que as peças para troca e adaptação do produto não forem disponibilizadas no momento da sua aquisição. Nesse caso, também foi identificada a possibilidade de fornecer serviços que contribuam com a extensão do ciclo de vida, como upgrade e atualização de *software* e espaços específicos para reparo e customização dentro das lojas.

Apesar da implementação de serviços específicos para reparo ser uma estratégia importante, tais ações apresentam-se como desafios dentro do sistema complexo do setor de EEE e do vestuário, por possuir diversos atores, com diferentes relações entre eles e infraestrutura já estabelecida seguindo o paradigma de priorizar o fornecimento de produtos novos (Sampaio *et al.*, 2018). Dessa forma, é importante aprofundar a investigação em sistemas e serviços para favorecer a extensão do ciclo de vida de *smart clothing*, juntamente com a avaliação das heurísticas de desenvolvimento de produto.

Por fim, a atribuição de tecnologias de comunicação ao vestuário, como IoT, faz com que os impactos gerados pelo produto não se limitem ao produto em si, como no caso de roupas comuns, pois é necessário considerar os dispositivos externos que são necessários para o funcionamento da tecnologia utilizada. Esses equipamentos atrelados ao produto, como processadores de dados externos, podem inclusive estar instalados em regiões distantes ao local de uso do produto. Dessa forma, para que o produto seja realmente ecoeficiente, é necessário avaliar também os impactos destes dispositivos externos que fazem com que o produto

funcione, principalmente com relação ao seu gasto de energia para funcionamento correto e descarte.

5. Considerações Finais

As heurísticas voltadas ao reuso no âmbito do artefato ampliam a facilidade de extensão do ciclo de vida (Manzini e Vezzoli, 2005), porém a combinação com sistemas de apoio ao repasse e reutilização, tanto do produto quanto de partes, pode favorecer a efetivação do reuso (Sampaio *et al.*, 2018). São exemplos as lojas de segunda mão, banco de partes de EEE para reuso e esquemas de troca. Portanto, entende-se que o design de sistemas produto+serviço fazem-se necessários para se alcançar a plena efetividade de soluções orientadas ao final do ciclo de vida de Smart Clothing. Associado a esta questão está o desafio de se alcançar a viabilidade econômica financeira de uma gestão do resíduo eletroeletrônico presente no Smart Clothing, uma vez que as peças de smart clothing possuem pouca massa de componentes eletrônicos por produto de componentes eletrônicos quando comparadas a outros tipos de EEE.

Com essa pesquisa, foi possível compreender que é possível pautar-se nas heurísticas de desenvolvimento de produto com foco na extensão do ciclo de vida já consolidadas na literatura de design para sustentabilidade para investigar possibilidades de mitigação dos impactos do *e-waste* proveniente de *smart clothing*. As tabelas resultantes podem servir de base para explorações futuras mais aprofundadas e com aplicações práticas para validação e refinamento das proposições aqui descritas.

Além das heurísticas para extensão de ciclo de vida do produto, a investigação sobre motivações do usuário ao descartar *smart clothing* e formas de o evitar também se relaciona com a gestão de *e-waste* na moda e caracteriza-se como uma necessidade de estudo futuro. Reconhece-se, também, a necessidade de explorar soluções sistêmicas e não apenas isoladas, como forma de prevenir o efeito rebote, como por exemplo o aumento do consumo do produto e aplicações desnecessárias da tecnologia, e a ineficácia das ações propostas.

Apesar do enfoque deste artigo no fim de vida de *smart clothing*, reconhece-se que para um produto ambientalmente mais adequado é necessário contemplar as outras estratégias de design para sustentabilidade que consideram todo o ciclo de vida do produto, inclusive com relação a prevenção de resíduos durante a etapa de manufatura, porém por conta de definição de escopo para pesquisa mais detalhada definiu-se o recorte proposto. Também compreende-se que é importante que as soluções não se restrinjam à dimensão ambiental da sustentabilidade, mas que também abordam a dimensão social e econômica, como forma de ter uma visão holística da sustentabilidade, uma vez que ambos os setores, vestuário e eletroeletrônico, já enfrentam desafios de cunho socioeconômico, principalmente com relação às condições de trabalho, exposição à substâncias tóxicas e centralização da produção.

Referências

ARCARISI *et al.* **Palpreast**: A New Wearable Device for Breast Self-Examination. *Applied Sciences*. 2019. 9. 381. Disponível em: < <https://doi.org/10.3390/app9030381> >. Acesso em 15 de agosto de 2023.



ALI, S., SHIRAZI, F. **The Paradigm of Circular Economy and an Effective Electronic Waste Management.** Sustainability. 2023, 15, 1998. Disponível em:

<<https://doi.org/10.3390/su15031998>> . Acesso em: 15 de julho de 2023.

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.

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.

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.

FERNÁNDEZ-CARAMÉS, T.; FRAGA-LAMAS, P. Towards The Internet-of-Smart-Clothing: A Review on IoT Wearables and Garments for Creating Intelligent Connected E-Textiles.

Electronics, v. 7, n. 12, p. 405, 2018. MDPI AG. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.3390/electronics7120405>>. Acesso em: 20 de junho de 2023.

FLETCHER, K., GROSE, L. **Moda & sustentabilidade:** Design para mudança. 1. ed. São Paulo: SENAC. 2012.

FOELSTER, A. S., ANDREW, S., KROEGER, L., BOHR, P., DETTMER, T., BOEHME, S., Herrmann, C., . **Electronics recycling as an energy efficiency measure and Life Cycle Assessment (LCA) study on refrigerator recycling in Brazil.** J. Clean. Prod. 2016. 129, 30 e 42. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.126>>.

GHARFALKAR, M., COURT, R., CAMPBELL, C., ALI, Z., HILLIER, G. **Analysis of waste hierarchy in the European waste directive 2008/98/EC.** Waste Management. 2015. v. 39. p. 305 a 313. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.007>>. Acesso em: 20 de julho de 2023.

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. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su12208444>>. Acesso em: 12 de maio de 2023.

JAMAL, F., KAPOOR, V. **Smart Clothing and Wearables:** A Review of Fashion Technology. The IUP Journal of Brand Management, India, vol. 19, 4, 2020. Disponível em:

<<https://www.innovationintextiles.com/new-report-smart-textiles-and-wearables-markets-applications-and-tech->>. Acesso em: 12 de maio de 2023.

JIANG, S. *et al.* **Applications of Smart Clothing:** Brief Overview. 2021. Communications in Development and Assembling of Textiles Products. 2. 123-140. Disponível em:

<<https://doi.org/10.25367/cdatp.2021.2.p123-140>>. Acesso em: 20 de julho de 2023.



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. Disponível em: <[10.4233/uuid:850be7ae-1f9e-4b3f-b49f-242488bab216](https://doi.org/10.4233/uuid:850be7ae-1f9e-4b3f-b49f-242488bab216)>. Acesso em 12 de maio de 2023.

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. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/su8050466>>. Acesso em: 15 de junho de 2023.

LEWIS, H.; GERTSAKIS, J.; GRANT, T.; MORELLI, N.; SWEATMAN, A. **Design + Environment: a Global Guide to Designing Greener Goods**. Sheffield: Greenleaf, 2001. 200 p.

LI, Q.; XUE, Z.; WU, Y.; ZENG, X. **The Status Quo and Prospect of Sustainable Development of Smart Clothing**. Sustainability. 2022, 14, 990. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su14020990>>. Acesso em 20 de julho de 2023.

MANZINI, Ezio; VEZZOLI, Carlo. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**. São Paulo: Edusp, 2005.

NADI X PANTS. Wearablex, 2023. Disponível em: <<https://www.wearablex.com>>. Acesso em 20 de agosto de 2023.

ROKONUZZAMAN, M. *et al.* What makes an object smart? Conceptualization, development, and validation of a scale to measure the Smartness of a Thing (SoT). **Journal of Business Research**, 2022. v. 141. p 337-354. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.11.040>>. Acesso em: 20 de junho de 2023.

SAMPAIO, Claudio P. *et al.* **Design para a sustentabilidade: Dimensão Ambiental**. Curitiba: Insight, 2018. 183 p.

SANTOS, A. dos. **Níveis de maturidade do design sustentável na dimensão ambiental**. In: MORAES, Dijon de; KRUCKEN, Lia (Org.). Design e sustentabilidade. Barbacena: EdUEMG, 2009. p. 13-26.

SINGHA, K., KUMAR, J., PANDIT, P. **Research and Technology**. In Memory Applications, vol. 16, 2018.

UNEP United Nations Environment Protection. **E-waste volume I and II: inventory assessment manual**. 2007.

VEZZOLI, C. **Design de sistemas para a sustentabilidade: teoria, métodos e ferramentas para o design sustentável de “sistemas de satisfação”**. Tradução de: REGO, M. A. Salvador: EDUFBA, 2010.