

# Pensamento Computacional aplicado ao ensino de LR de REEE

Eryka Eugênia Fernandes Augusto<sup>1</sup>, Seiji Isotani<sup>2</sup>, Armando Maciel Toda<sup>3</sup>

## Abstract

*A pesquisa visa aplicar o Pensamento Computacional (PC) no ensino de Logística Reversa (LR) de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE), para criar consciência sobre os efeitos do consumo e descarte de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos e melhorar os resultados da gestão dos REEE. Para aumentar o engajamento dos alunos no aprendizado desse tema, foi criado um material com narrativa gamificada sobre os conceitos, atores e amplitudes da LR de REEE, desafios e benefícios de um sistema de LR de REEE bem sucedido e impactos da tomada de decisão de cada ator ao longo do ciclo de vida dos EEE. Dada a complexidade do tema e o impacto de cada tomada de decisão na LR, o PC se mostra como uma ferramenta poderosa para empoderar cada um dos atores no momento das suas escolhas.*

## Resumo

*The research aims to apply Computational Thinking (CT) in the teaching of Reverse Logistics (RL) of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), to create awareness about the effects of consumption and disposal of Electrical and Electronic Equipment and improve results of management of WEEE. To increase student engagement in learning this topic, a material was created with a gamified narrative about the concepts, actors and amplitudes of the RL of WEEE, challenges and benefits of a successful RL of WEEE system and the impacts of the decision making of each actor throughout the EEE life cycle. Given the complexity of the theme, and the impact of each decision making on RL, the CT is shown as a powerful tool to empower each of the actors at the time of their choices.*

<sup>1</sup> Pós-Graduando(a) em Computação Aplicada à Educação, USP, eryka.augusto@fei.edu.br

<sup>2</sup> Orientador, ICMC - USP, Sisotani@icmc.usp.br.

<sup>3</sup> Orientador, ICMC - USP, armando.toda@gmail.com.

## 1. Introdução

O consumo de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (EEE) tem crescido exponencialmente em nível mundial. Ao mesmo tempo que esses produtos trazem grandes benefícios e oportunidades para a sociedade, eles apresentam sérios riscos ao final do seu ciclo de vida útil, pois geram cerca de 50 mil toneladas de resíduos por ano. Entre os benefícios que os EEE podem trazer estão a digitalização de serviços e produtos e conectividade entre os mais diversos atores da sociedade, o que propicia a melhoria e expansão dos sistemas de educação, saúde, comércio, além de apresentar novas ferramentas para enfrentar os desafios das mudanças climáticas. Esses fatores são essenciais para alcançar os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (UNEP, PACE, ILO, ITU, UNU, UNIDO, 2019). Entretanto, 80% desses EEE são descartados e tratados de forma ambientalmente incorreta, causando danos à saúde e ao meio ambiente, visto que são compostos por substâncias tóxicas, como chumbo e dioxinas. Além disso, contém diversos metais preciosos e/ou raros, como ouro e prata, os quais possuem alto valor econômico, mas como não são recuperados em um processo de Logística Reversa (LR) oficial, essas riquezas não retornam à cadeia produtiva, aumentando assim o risco de sua extinção (UNEP, PACE, ILO, ITU, UNU, UNIDO, 2019). Esse quadro se agrava, dada a complexidade e o alto custo de reciclagem, pois para baratear e diminuir o tamanho dos EEE, os fabricantes compactam diversos materiais em uma única placa, dificultando a sua separação e recuperação (Schlupe et al., 2009). Dessa forma, muitos países simplesmente optam por fazer o transbordo dos Resíduos dos Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) para países subdesenvolvidos, nos quais, a pretexto de criar riqueza para a população local, são minerados de forma incorreta, sem nenhum procedimento de segurança (UNEP, PACE, ILO ITU, UNU UNIDO, 2019, Puckett, et al., 2002), queimados a céu aberto, para facilitar a extração do cobre dos fios dos equipamentos, ou fazendo uso de mercúrio para garimpar ouro. Muitas vezes, esses processos são realizados por crianças (Puckett, et al., 2002). Devido à total falta de procedimentos para mitigar os impactos nocivos da armazenagem e reciclagem incorretas, a contaminação dos rios, solo, lençóis freáticos e do ar avança aceleradamente nesses locais (UNEP, PACE, ILO ITU, UNU UNIDO, 2019; Puckett, et al., 2002), pondo em risco, não só a vida local, mas o mundo. Os dados são mais alarmantes, quando se pensa no futuro, já que se estima que até 2050 a geração de REEE mais que dobrará no mundo, alcançando 120 mil toneladas ao ano (UNEP, PACE, ILO ITU, UNU UNIDO, 2019).

De acordo com Augusto (2014), apesar da LR de REEE ser considerada como um dos processos primordiais para resolver os impactos dos REEE, ainda é necessário resolver diversas barreiras, para que seja possível implementá-la com sucesso em todos os países. Nesse trabalho aponta-se como principais desafios a serem enfrentados: o alto custo para sua operacionalização e seu transporte, a falta de legislação, fiscalização consolidadas e incentivos fiscais na cadeia de LR. Em especial, no caso brasileiro, a alta tributação e as dimensões continentais do país, oneram e dificultam ainda mais a implementação da LR de REEE. Além disso, dada a complexidade da cadeia reversa desse setor, o sucesso da LR exige cooperação entre produtores, varejistas, governos, consumidores e recicladores. No que tange ao comportamento do consumidor, aponta-se como fatores críticos a falta de sensibilização do consumidor sobre os riscos dos REEE, a disponibilidade de pontos de coletas acessíveis, incentivos financeiros para motivar o descarte correto de REEE. Segundo UNEP, PACE, ILO, ITU, UNU, UNIDO (2019), grande parte dos EEE que não

estão mais em condições de uso, ficam armazenados nas gavetas ou porões, quando não vão parar nos aterros sanitários.

Nesse contexto, percebe-se a importância de conscientizar a população sobre os impactos dos REEE, para que esses possam fazer o descarte correto, assim como pressionar os governos e empresas a criarem mecanismos mais eficientes de fiscalização e um sistema de LR de REEE melhor, que se inicie na fabricação de produtos mais amigáveis ecologicamente, sem substâncias nocivas à vida e mais fáceis de desmontar e reciclar e uma ampla rede de coleta e gestão do ciclo de vida dos EEE até seu fim.

Dada a complexibilidade da implementação de um sistema de LR de REEE de sucesso, que conte com a participação de todos os atores envolvidos nela, que muitas vezes têm interesses conflituosos e a falta de conscientização dos mesmos sobre o impacto da má gestão dos REEE (Augusto, 2014; Demajorovic, Augusto e Souza, 2016), é fundamental encontrar uma metodologia que auxilie na transmissão de conhecimento sobre LR de REEE, de tal forma, que desperte em cada ator a urgência na execução do seu papel, ao longo de toda a cadeia dos EEE.

Nesse contexto, o Pensamento Computacional (PC) surge como uma alternativa viável para o ensino de LR de REEE, pois ele é capaz de apresentar uma visão simplificada de grandes problemas, facilitando o seu entendimento e resolução. O PC ajuda na resolução de problemas complexos, ao decompô-los em partes menores, encontrar os padrões de comportamento dessas partes, abstrair, ao escolher os detalhes que são mais importantes e os que podem ser ignorados, para então, por meio de uma sequência lógica, possa se tomar decisões (Wing, 2006; BBC, 2020). De acordo com Wing (2006), em cenários ruins o PC permite atuar na prevenção, proteção, mitigação e recuperação de impactos ao meio ambiente, por meio da redundância. Segundo Sousa Pires et al. (2018) o PC é essencial para ajudar a resolver as complexas questões de sustentabilidade. Em seu estudo, os autores usam um jogo para ensinar sobre gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), baseado nos 4 pilares do PC. Para Wing (2006), todas as pessoas deveriam desenvolver as habilidades do cientista da computação, o qual é capaz de abstrair em diversos níveis, para criar soluções replicáveis para problemas complexos, de forma simples, em qualquer área de atuação, pessoal ou profissional.

Entretanto, apesar do PC conseguir endereçar as questões sobre a complexidade da LR de REEE, é importante criar mecanismos de motivação no processo de conscientização sobre os impactos desses resíduos, que auxiliem na tomada de decisão. Para tanto, foi aplicada a gamificação no processo de aprendizagem, a qual permite melhorar o engajamento nos estudos e retenção do conhecimento (Deterding et al., 2011), pois gera motivação e diversão em um ambiente participativo e dinâmico, por meio de objetivos e regras desafiadores (Hsiao. 2007). Com relação ao uso de jogos no ensino de sustentabilidade, além de permitirem a simulação de situações reais em mundos virtuais, sem oferecer risco e melhor o entendimento das consequências de cada tomada de decisão, a gamificação melhora o engajamento devido aos elementos dos jogos, como ranking, badges e outras mecânicas (Sousa Pires et al., 2018).

Nesse contexto, a pergunta que essa pesquisa responde é: Como o uso de PC pode ajudar no ensino de LR de REEE? Já o objetivo geral visou desenvolver material que apresente o conceito de PC aplicado ao ensino de LR de REEE em uma narrativa gamificada. Para

isso, foram definidos os seguintes objetivos específicos: Explicar os conceitos de LR; Explicar os conceitos de PC; Construir o material de ensino LR de REEE usando PC, e; Avaliar o material desenvolvido para o ensino LR de REEE usando PC.

Para responder a pergunta de pesquisa e atender aos objetivos geral e específicos o trabalho foi organizado em introdução, seguido de dois capítulos, que abordam as questões sobre LR de REEE e PC, respectivamente. Depois é apresentada a metodologia de pesquisa, a apresentação e discussão dos resultados, para por fim, expressar as considerações finais sobre os resultados alcançados nesta pesquisa.

## **2. Capítulo sobre o consumo de EEE e a LR de REEE**

O consumo de EEE tem crescido de forma exponencial no mundo. Entre os fatores que contribuem para isso estão o fato de mais da metade da população estar conectada à internet por meio de algum dispositivo eletrônico, fato reforçado pelo aumento da renda média das pessoas em países em desenvolvimento, a intensificação da implementação das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) nos mais diferentes setores da sociedade, o aumento do uso da estratégia de obsolescência programada, que diminui o ciclo de vida desses produtos (Baldé et al. 2017) e poucas opções de reparos (Forti et al., 2020). Em consequência, o volume de REEE, em 2019, chegou a 53,6 milhões de toneladas métricas, mas apenas 17,4% desse montante foi reciclado e cerca de 7 a 20% foi exportado ilegalmente para países em desenvolvimento (Forti et al., 2020).

Os EEE contêm diversos materiais valiosos e raros em sua composição, como ouro, platina, prata e cobre, além de outros materiais, como alumínio, ferro e plástico. Em alguns EEE, é possível encontrar cerca de 60 elementos pertencentes à tabela periódica (Schluep, 2009). Todos esses materiais podem ser separados e reciclados, gerando riqueza extraída do que é considerado lixo (Schluep, 2009. Baldé et al., 2017). Só em 2016, o valor dos elementos existentes nos REEE, que poderiam ser recuperados, somou 55 bilhões de euros. Mas essa é apenas uma pequena parte do desperdício gerado pela má gestão dos REEE. Para se ter uma ideia, todas as substâncias necessárias para produzir um celular custam 9 dólares, enquanto esse mesmo equipamento é vendido a 200 dólares, se for novo e a 118 dólares, se for usado. Esses dados corroboram a tese de que os REEE podem ser considerados fonte de muita riqueza.

Nesse contexto, se o olhar da gestão dos resíduos fosse amplificado e toda a Cadeia de Suprimentos (CS) fosse focada na economia circular, o potencial de geração de riqueza seria infinitamente maior. Pois, o produto seria projetado com o objetivo de aumentar a sua reciclabilidade, reparo e reutilização, e seu uso seria mais eficiente, pois seria possível consertá-lo ou manufaturá-lo, gerando mais empregos, tantos na sua recuperação, quanto na revenda, e ainda prolongaria o tempo de vida útil, e por último, depois de esgotadas todas as alternativas, ele seria descartado, a fim de ser reciclado e seus rejeitos tratados de forma ambientalmente correta. O foco na circularidade da CS não apenas aumentaria a geração de riquezas, a partir de um mesmo recurso, como diminuiria o volume de REEE e minimizaria a pressão sobre o planeta por mais matérias-primas (Baldé et al., 2017)

Salienta-se ainda que os REEE contêm materiais perigosos, tais como o chumbo, cádmio e mercúrio, CFC (clorofluorcarboneto) e vários retardantes de chamas e quando manuseados incorretamente oferecem graves riscos à saúde humana e ao meio ambiente

(Baldé et al., 2107, Schluep et al., 2009). De acordo com Augusto (2014) e Demajorovic, Augusto e Souza (2014), apenas 8 elementos que compõem celulares e microcomputadores são capazes de gerar 128 doenças no ser humano, quando em contato com elas ou seus derivados, obtidos de processos de manuseio, segregação ou reciclagem realizados sem os adequados procedimentos de segurança. Além dos riscos à saúde, destacam-se os riscos ambientais, com a contaminação de lençóis freáticos, rios, do solo e do ar, pela liberação de substâncias tóxicas durante o armazenamento e processamento inadequado desses resíduos (Puckett et al., 2002; Schluep, 2009).

Diante disso, fica clara a necessidade de implementação de um sistema de LR para a mitigação dos potenciais impactos negativos dos REEE (Baldé et al., 2017). Entretanto, países como Índia, Brasil e China, em desenvolvimento, sofrem com grandes desafios na implementação de um sistema de LR de REEE eficiente, devido à diversas barreiras. Entre as principais questões apontadas, estão a falta de conscientização dos consumidores, leis e fiscalização fracas ou inexistentes, a falta de estrutura, equipamentos de segurança e recursos para os catadores de materiais recicláveis ou setor informal, que sem conhecer os perigos da reciclagem inadequada desses resíduos, tentam garimpar materiais e metais para que possam ser vendidos aos intermediários de reciclagem, a fim de garantir sua subsistência, colocando em risco sua vida, da sociedade e o meio ambiente. Nesse cenário é comum ver pessoas quebrando tubos de televisores antigos, para retirar um copo de cobre, ao mesmo tempo que libera substâncias tóxicas no ar (Puckett et al., 2002; Schluep, 2009; Augusto, 2014).

Nesse cenário é importante criar mecanismo para fazer a gestão dos REEE de forma sustentável. A maior parte dos países e organizações especializadas nesse tema, denominam como gestão de REEE, o conjunto de ações para viabilizar a coleta e destinação ambientalmente correta desses resíduos, podendo esse ser reintroduzido na CS como matéria-prima ou tratado e depositado como rejeito em aterros especiais (European Parliament, Council Of The European Union, 2012, Baldé et al., 2017).

No Brasil, a PNRS definiu a obrigatoriedade de implementação da LR, de forma compartilhada, entre todos atores do setor de EEE, para realizar a gestão dos REEE (Brasil, 2010). Já na União Europeia, a obrigação pela implementação da LR é dos fabricantes e importadores de EEE, por meio da Responsabilidade Ampliada do Produtor (RAE) (European Parliament, Council Of The European Union, 2003, European Parliament, Council Of The European Union, 2012). De acordo com Baldé et al. (2017), a Europa e a região que mais coleta REEE, 35% de tudo que gera, esse resultado é o dobro que as Américas e a Ásia coletam, e 6 vezes maior que os resultados da Oceania. Entretanto, a coleta e recuperação dos recursos dos REEE são apenas uma pequena parcela do potencial econômico que eles representam, com oportunidades ainda maiores se considerarem o prolongamento da vida dos EEE, por meio de recuperação e venda no mercado de 2ª mão. Nesse sentido, espera-se que a gestão dos REEE se direcione para um modelo baseado em economia circular (Baldé et al., 2017).

No Brasil, a PNRS estabeleceu uma ordem hierárquica na gestão dos RSU, priorizando a não geração dos resíduos, redução, reutilização, depois a reciclagem, o tratamento e a disposição ambientalmente correta dos rejeitos (Brasil 2010). Entretanto, para melhorar os resultados da LR é necessário começar seu planejamento do design do produto e no consumo consciente (Baldé et al., 2017, Forti et al., 2020). Na Figura 2.1, os objetivos da

RAE são apresentados e fica claro o avanço do modelo europeu em relação ao brasileiro. No caso do Brasil o foco está no resíduo e sua gestão, não em um modelo ampliado de LR, que precisa começar na escolha e melhoria do design do EEE, de tal forma que aumente o tempo de vida útil desses dispositivos, com a possibilidade de conserto e/ou reutilização no mercado de segunda mão, assim como a taxa de reciclabilidade, rumo a uma cadeia totalmente circular.

**Figura 2.1. Objetivos da RAE**



Fonte: Baldé et al. (2017)

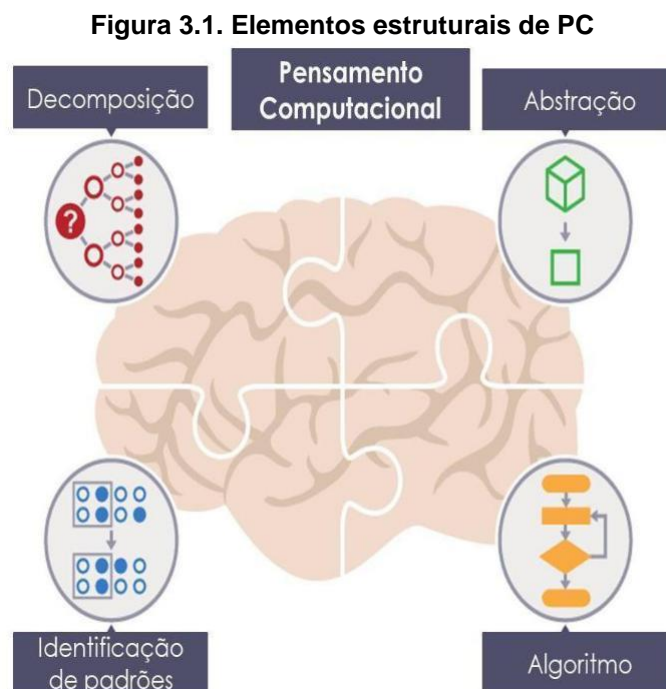
Entretanto, além das metas de coleta e tratamento adequado dos REEE (MMA, 2019), Santos (2020) elenca diversas barreiras para o sucesso da LR de REEE no Brasil. Entre esses, o autor cita a responsabilidade compartilhada, falta de incentivos fiscais para fortalecer o setor de reciclagem, a baixa capilaridade dos postos de coleta e recicladores capacitados em todo território nacional e a inexistência de plantas de usinas de mineração urbana no país. Soma-se à essas fragilidades à baixa conscientização do consumidor e pode-se inferir que apesar de ínfima, a meta para 2021, de 1% em peso dos EEE comercializados no Brasil em 2018 (Brasil, 2020), talvez não seja alcançada, se forem parecidos com os resultados do projeto piloto implementado em São Paulo (Augusto, Demajorovic e Melgarejo-Moreno, 2018).

No Brasil será fundamental que os fabricantes e varejistas de EEE motivem a população a realizar o descarte de seus REEE por meio de educação e incentivos financeiros, de acordo com Augusto, Demajorovic e Melgarejo-Moreno (2018). Segundo os autores, é importante criar senso de urgência e relevância sobre a melhor gestão dos REEE em todos os membros da cadeia dos EEE, para que seja possível contar com a sua participação. Além disso, é necessário dar transparência sobre o processo de gestão dessa CS, mostrando qual é o papel de cada ator nesse processo, sua importância e reflexos da ação ou não-ação. Entretanto, a cooperação entre os atores da cadeia reversa dos EEE, incluindo os consumidores, pode ser vista em países que possuem forte preocupação com a preservação do meio ambiente. Nesses países, o grau de conscientização ambiental dos consumidores obriga a indústria a buscar soluções para melhorar a gestão dos REEE, desde o design, de tal forma que esse potencialize a reciclabilidade dos produtos, até a

criação de uma ampla rede de pontos de coletas e mecanismos que facilitem o descarte de seus EEE. Nesses casos, a população tem claro o benefício aferido pela correta gestão dos resíduos sólidos, pois entende que é necessário preservar o meio ambiente para garantir qualidade de vida hoje e para as futuras gerações (Augusto, Demajorovic e Melgarejo-Moreno, 2018)

### 3. Pensamento computacional e Gamificação

O PC é considerado como uma habilidade, que não é exclusiva de programadores ou pessoas do setor de TIC (Wing, 2006). Ele permite entender e resolver questões complexas, dividindo em partes menores, criando alternativas exequíveis, de modo que tanto uma pessoa ou um computador consigam compreender (BBC, 2020). Essas alternativas devem incluir reflexões sobre a possibilidade de haver alternativas melhores, quais são as possibilidades para cada estágios, limitações para sua execução (Wing, 2006). Nesse contexto, o PC faz uso de quatro elementos estruturais essenciais: decomposição, identificação de padrões, abstração, sequenciamento de regras (algoritmo) (BBC, 2020).



A figura 3.1 ilustra a aplicação dos elementos estruturais de PC, na qual verifica-se que a decomposição é o ato de dividir em partes menores uma questão a ser resolvida, para que se possa gerenciá-las melhor; a identificação de padrão, é a etapa na qual deve-se reconhecer as similaridades das partes estudadas e entender como elas foram tratadas para chegar a um resultado positivo; depois disso, a abstração deve elencar os principais pontos dessas etapas, de modo a extrair apenas o que é relevante, e; por último, a aplicação do

sequenciamento de regras, o algoritmo, uma série de instruções encadeadas, que contém os possíveis cenários e restrições, o quais devem ser seguidos para resolver a questão. Na prática o PC será aplicado em problemas complexos demais para serem resolvidos de uma vez, de forma simples (BBC. 2020).

### 3.1. Como o PC tem sido usado na educação ambiental.

De acordo com Sousa Pires (2018), o PC tem sido usado com sucesso na educação, em especial na solução de problemas complexos, sendo avaliado como uma valiosa ferramenta neste âmbito.

A revisão da literatura permitiu observar a carência de pesquisa no âmbito do tema deste TCC, dado que foram encontrados apenas 3 artigos que apresentam experiências no ensino de sustentabilidade, usando PC. Coincidentemente todas essas usaram elementos de jogos para aumentar o engajamento no processo de aprendizagem e focaram no ensino sobre gestão de RSU. Entretanto, nenhuma delas abordou os REEE ou qualquer outro tema do vasto repertório de sustentabilidade, assim como, nenhum artigo sobre essa temática foi encontrado em revistas científicas ou congressos internacionais, mesmo quando ampliando as bases de dados, usando o Web of Science, IEEE e o Google Scholar. Nessas 3 bases foram usadas as palavras chaves: (Pensamento Computacional OR Computational Thinking) AND (Sustentabilidade OR Resíduos Sólidos OR Consumo Consciente OR Conscientização ambiental OR Sustainability OR Solid Waste OR Conscious Consumption OR Environmental Awareness). Como pode-se perceber, a busca não procurou limitar seus achados a artigos que falassem de jogos e PC e Sustentabilidade, ou mais especificamente aos artigos sobre jogos que fazem uso de PC no ensino de gestão de RS. Esses fatores reforçam a importância do tema sobre gestão de RS e o interesse dos pesquisados sobre os resultados da combinação de gamificação e PC na educação formal ou não.

Barbosa, Silva & Silva (2017) abordam em seu artigo o jogo digital Manguê Code. O objetivo do jogo é melhorar o ensino de PC para crianças do ensino fundamental, com idades entre 8 e 10 anos, aplicados à educação ambiental. O jogo aborda questões sobre a importância da preservação dos manguezais, no qual os alunos precisam libertar os caranguejos das gaiolas, coletar o lixo jogado no local e fazer a triagem deles, colocando nas respectivas lixeiras de coleta seletiva. Em cada fase, o jogador precisa liberar um item para cumprir a sua missão, sendo eles: a chave dos cadeados, uma mochila para recolher os lixos, e lixeiras para fazer a coleta seletiva e descarte correto. Para isso, ele precisa responder a um conjunto de perguntas em cada etapa para liberar o utensílio e poder realizar sua missão. Entretanto, o jogador não irá ele mesmo executar a tarefa, ele precisará programar o Eco Robô, personagem do jogo, usando blocos lógicos para completar a missão. Por exemplo, na primeira fase, depois de liberar a chave dos cadeados, ele terá 3 blocos lógicos para fazer com que o robô solte os caranguejos. São eles: andar até a gaiola. destrancar o cadeado e levantar a gaiola. Dessa forma, por meio dos conceitos de PC, os alunos aprendem como ser ambientalmente correto com relação aos manguezais.

Entre os artigos encontrados, Sousa Pires et al. (2018) apresentam o processo de validação do jogo digital EcoLogic. Essa solução faz uso de mecânicas de estilos de jogos de ação,



personagens e aplicação de quebra-cabeça para introduzir noções de educação ambiental aplicadas à coleta seletiva de RSU. Em um cenário baseado no minecraft, o jogador precisa descartar diversos tipos de resíduos corretamente, nas suas respectivas lixeiras, enquanto foge dos monstros que habitam o labirinto, em meio aos lixos, fazendo uso de PC para atingir os objetivos.

Já Neto, Virgolino, Ferreira, & Silva (2019) narram o uso de PC para desenvolver o jogo “Na onda do Pitiú”, com o objetivo de conscientizar sobre os impactos do despejo de lixo no rio Tocantins e a importância da coleta seletiva. O jogo foi desenvolvido por alunos do 4º e 5º ano do ensino fundamental, utilizando a plataforma Scratch, a qual não exige conhecimento de programação, apenas raciocínio lógico. Na narrativa, o personagem Pitiú precisa recolher todos os resíduos que ele encontrar no rio, ao longo de 10 fases, depois selecioná-los por tipo e descartá-los corretamente.

Nesse contexto vale uma reflexão sobre o tema resíduos ser amplamente utilizado, quando se busca abordar questões de sustentabilidade. Supõem-se que esse fato esteja relacionado a familiaridade de todos com a questão do lixo, pois em algum momento do dia as pessoas têm contato com ele.

Percebe-se que a literatura tem tratado o uso do PC no ensino de sustentabilidade, juntamente com abordagem baseadas em jogos. Uma dessas estratégias é a gamificação que faz uso de “elementos de design de jogos em contextos não relacionados com o jogo”, de acordo com Deterding et al. (2011, p.14). Essa abordagem permite criar experiências lúdicas, mas com objetivos claros, no qual o usuário poderá se divertir, enquanto aprende ou treina uma habilidade, em um ambiente com regras e papéis, estimulado por competição. Todas as experiências narradas objetivam ensinar conceitos de gestão sustentável de RSU de forma gamificada, usando o PC para facilitar e dividir em etapas o processo de conscientização sobre a problemática do descarte de resíduos incorretos, de tal forma que os alunos pudessem entender o padrão dos tipos de resíduos e auxiliá-los na tomada de decisão sobre o tipo de lixo e qual o melhor destino para ele.

Além disso, o enfoque de gamificação proporciona maior engajamento, ao passo que diminui a resistência para realizar uma tarefa, pois ela se torna divertida, sem ser algo totalmente livre, no qual só se faz o que imagina. Ou seja, não é o jogar por brincar, mas sim com um propósito (Deterding et al., 2011). De acordo com Toda et al. (2016), a gamificação apresenta uma boa adesão dos professores e dos alunos. No caso dos alunos, vale destacar que eles reconhecem os aspectos lúdicos da metodologia. Já, Qian & Clark (2016) destacam a importância e eficácia da abordagem gamificada no desenvolvimento das habilidades requisitadas no século XXI, com destaque para o pensamento crítico, colaboração e criatividade.

#### **4. Metodologia**

Esse estudo trata-se de uma Pesquisa Aplicada (PA), o qual desenvolveu um material didático, baseado na abordagem de PC para ensinar os princípios da LR de REEE de sucesso e os dilemas dos atores no processo de tomada de decisão, em suas diversas etapas, aplicando uma narrativa gamificada. A PA usa conhecimento existente, (Bickman, & Rog, 2008) para solucionar um problema de forma empírica, em ambientes amplos, complexos (Bickman, & Rog, 2008, Alegria, Almeida, Aratangy, & Victor, 2011),

altamente político e caótico, os quais exigem soluções imediatas e conclusivas (Bickman, & Rog, 2008). Além disso, possui caráter qualitativo, pois procurou entender se o conjunto de material didático construído, baseado no PC, facilitou o processo de transmissão do conhecimento sobre as diversas etapas e impactos da LR de REEE. A pesquisa qualitativa busca entender a percepção dos atores sobre um determinado tema (Yin, 2016).

#### 4.1 Desenvolvimento da aula

Para atender ao objetivo geral de pesquisa foi utilizado o modelo de design instrucional de Gagné, definidos em 9 passos, conforme apresentado na tabela 4.1, que oferece uma abordagem sistematizada para o planejamento de aulas (Kruse, 2009; Khadjooi, Rostami, & Ishaq, 2011). Para isso, de acordo com a teoria de Gagné, primeiro foi definido o resultado a ser obtido. Nesse estudo, como a aula irá se concentrar nos processos de decisão do consumidor de EEE, é importante desenvolver conhecimento sobre os impactos dos REEE, de tal forma que esse possibilite-o traçar estratégias que diminuam sua pegada ecológica e gerem atitudes sustentáveis, ao fazer escolhas adequadas nos processos de definição do design, uso e descarte dos seus EEE. Dessa forma, a aula sobre gestão de REEE irá contribuir na construção de habilidades intelectuais, estratégias cognitivas e atitudes dos alunos (Khadjooi, Rostami, & Ishaq, 2011).

**Tabela 4.1 Os 9 passos instrucionais de Gagné aplicados ao planejamento da aula de LR de REEE**

Passos	Aplicação na Aula
1. Ganhar atenção	Será apresentado a foto de uma criança em cima de uma montanha de lixo de EEE e a “órbita da morte” que apresenta 8 elementos presentes no EEE e o potencial de doenças causadas por eles. E feito a pergunta: Vocês sabiam que existem crianças trabalhando na reciclagem de REEE? Será que é perigoso?
2. Informar o aluno sobre o objetivo	Ao final desta aula você será capaz de fazer escolhas que diminuam seu impacto no consumo de EEE e entender quais são os elementos centrais para uma gestão eficaz de REEE.
3. Estimular a lembrança da aprendizagem de pré-requisitos	Utilizar 15 minutos para perguntar sobre coleta seletiva, a finalidade dos aterros, a qualidade dos EEE contrabandeados e/ou falsificados, o tempo de duração dos equipamentos hoje em dia, como eram os eletrodomésticos do tempo de suas avós e se conhecem a PNRS.
4. Apresentar o material de estímulo	O material foi preparado usando PC, de tal forma que após a sensibilização para as oportunidade e riscos dos REEE, o aluno entenda que o problema precisa ser dividido por atores e estágios, para que se obtenha sucesso na LR.
5. Fornecer orientação de aprendizagem	Em cada etapa da LR, para cada tipo de ator, será mostrado os impactos sustentáveis em cada tomada de decisão, apresentando resultados de pesquisas, relatórios e projetos pilotos, para que o aluno entenda a dinâmica da cadeia de suprimento circular.

6. Emergir a performance (prática)	Para garantir que o aluno entendeu o conteúdo abordado na aula e sabe aplicá-lo em outros cenários ou situações, foi desenvolvido o GreenTech, um jogo digital, no qual o aluno irá percorrer a trilha da LR de REEE, enquanto resolve diversos desafios ao longo de sua jornada.
7. Fornecer feedback	O feedback será instantâneo. Após responder a questão, ele saberá se acertou ou errou e terá uma nova chance para respondê-la. Além disso ele receberá um manual com dicas, possíveis erro e instruções para jogar.
8. Avaliar o desempenho	Ao final do jogo ele saberá quantas questões ele acertou. E pode saber qual foi desempenho diante dos colegas, ao consultar o rank do jogo.
9. Melhorar a retenção e transferência	Para melhorar o processo de retenção, questões relacionadas com esse tema serão inseridas em outras aulas, com a aplicação de questionários gamificados, como o Kahoot.

Fonte: Adaptado de Kruse (2009) e Khadjooi, Rostami, & Ishaq (2011)

O plano de aula desenvolvido pelo modelo de Gagné garantiu uma abordagem completa e sistematizada do ensino (Khadjooi, Rostami, & Ishaq, 2011) de LR de REEE. Os slides de apresentação da aula e o manual do jogo podem ser encontrados no link: <https://drive.google.com/drive/folders/1gY9jPNCOruyeQVYYkbmczdRMxoIDxnu9?usp=sharing> e o jogo no link: <https://escapefactory.me/#/play?code=mmr05qc4m4s63x2r>.

## 4.2 PC no ensino LR de REEE

O conteúdo da aula foi apresentado seguindo a estrutura de pensamento computacional, para facilitar a absorção dos conceitos, desafios e impactos da gestão dos REEE, e mostrar a relação entre fatores de risco e agravamento ambiental em todas as fases da gestão dos EEE, assim como a similaridade entre essas etapas, atores e padrões na tomada de decisão para melhorar os resultados da LR de REEE (Wing, 2006). A tabela 4.2 apresenta como essas etapas foram utilizadas na estrutura do conteúdo da aula.

**Tabela 4.2: PC aplicado ao ensino de LR de REEE**

PC	Apresentação/Aula	Estruturas Computacionais	Gestão dos REEE
Decomposição	Separar os atores da Cadeia de suprimentos e as etapas do ciclo de vida (Design, Uso e Descarte) que precisam ser considerada por todos atores para a melhor gestão dos REEE	Variáveis; Condicionais; Laços de Repetição;	Identificar os atores que compõem o ciclo de vida do EEE e suas etapas
Padrão	Reconhecer as características/padrões de cada etapa e o impacto da tomada de decisão de forma a obedecer uma hierarquia na gestão dos REEE		Apresentar as características de cada etapa do ciclo de vida do EEE e o papel da tomada de decisão de cada ator na gestão dos seus resíduos
Abstração	Identificar os principais fatores que impactam na gestão dos REEE, em cada etapa	Condicionais; Laços de Repetição;	Identificar os fatores críticos em cada etapa, e ser capaz de fazer a analogia do seu reflexo em

		Conjunção; Disjunção	cada etapa, para todos os atores
Algoritmo	Criar o algoritmo para tomada de decisão, com foco na melhor gestão dos REEE, baseados na hierarquia da gestão dos EEE e nos objetivos da RAE, nas etapas do ciclo de vida do EEE.	Condicionais; Laços de Repetição; Conjunção; Disjunção	Como proceder para obter o melhor resultado na Gestão do REEE e neutralizar o impacto do consumo.

Fonte: Elaborado pela autora. Adaptado de Sousa Pires et al. (2018).

### 4.3 Aplicação da gamificação

Para garantir o engajamento dos alunos e melhorar o processo de aprendizado, foi criado um questionário em formato de jogo digital, com diversos elementos de jogos (Hsiao, 2007; Deterding et al., 2011, Toda et al., 2016). Nele, os alunos percorrem um labirinto, buscando as estrelas, que dão acesso às questões. A figura 4.1 mostra a tela do jogo.

**Figura 4.1. Tela do Jogo Green Tech**



Fonte: Elaborado pela autora

Com o objetivo de amplificar os resultados do uso da gamificação no ensino de Gestão de REEE, foi utilizado o Método de 4 passos para gamificação de aulas, desenvolvido por Toda et al. (2016), o qual ajuda a sistematizar a escolha do conteúdo (1º Passo), por meio da análise das ementas de aula; estabelecer quais são os elementos de jogos que serão utilizados nas aulas (2º Passo); implementar o plano de aula (3º Passo), e; por último a validar o processo de gamificação e seus resultados na motivação e aprendizado (4º Passo). Neste trabalho, foram usados os Passos 1 e 2, já que o objetivo é validar o material desenvolvido. Por se tratar de uma aula apenas, o mapa conceitual do 1º Passo se resume a apresentação do conteúdo e a atividade gamificada para rever, fixar e motivar o processo de aprendizagem. O Passo 2 é apresentado na Tabela 4.3.

**Tabela 4.3: Elementos de gamificação no Jogo Green Tech**

<b>Nome da ação:</b> Jogo Green Tech	<b>Duração:</b> 20 minutos
<b>Propriedades:</b> Narrativa: o jogo faz parte do treinamento do aluno para ajudar o personagem WALL-E a acabar com os REEE e ocorre em um mundo fictício, o qual já venceu a batalha contra os REEE; Pressão: 20 minutos para encontrar e responder as 10 perguntas Decisões: qual será o percurso percorrido para que ele encontre as 10 estrelas/questão, em que momento	

responde as perguntas encontradas, para quais perguntas ele irá usar as dicas (só pode usar 3); Atividades cognitivas: responder as questões baseado na lógica apresentada na aula
<p><b>Feedback:</b>  Reputação: painel final com os jogadores organizados por ordem decrescentes de pontos  Pontos: cada pergunta vale 10 pontos  Conquistas: a pontuação, dividida por 10 indica o número de estrelas que ele conquistou  Progresso: o número de estrelas conquistadas</p>
<p><b>Comentários/Acompanhamento:</b>  Regras de pontuação - cada pergunta acertada valerá 10 pontos e contabilizará 1 estrela, os pontos serão convertidos em moedas digitais e utilizados para comprar perguntas extras na prova ou eliminação de uma das alternativas errada da questão. Durante o jogo, poderá ser usado só 3 dicas.</p>

Fonte: Elaborado pela autora. Adaptado de Toda et al. (2016).

#### 4.4 Avaliação do material didático

Após definir o plano de ensino, a estrutura da aula e os elementos de gamificação, e produzir o material didático, com slides de apresentação, quiz em formato de jogo digital e manual do jogo, foi realizada a avaliação desse material com base nas 10 heurísticas de Nielsen, conforme apresentado na tabela 4.4 (Nielsen, 1995), visando definir sua usabilidade, pela ótica da correta apresentação dos conceitos de LR de REEE, do uso explícito do PC no ensino do tema, para melhoria do processo de tomada de decisão do consumidor. Para tanto foram selecionados especialistas em sustentabilidade e/ou PC, os quais são aptos para avaliar a proposta. Todo material foi enviado para eles por meio dos links inseridos na descrição do formulário eletrônico de avaliação, que pode ser visualizado neste link: <https://forms.gle/cPd9o1nUwjLsV79UA>.

**Tabela 4.2: PC aplicado ao ensino de LR de REEE**

1ª - Visibilidade do status do sistema	6ª- Reconhecimento em vez de recordação
2ª - Relação entre o sistema e o mundo real	7ª - Flexibilidade e eficiência de uso
3ª- Controle e liberdade do usuário	8ª- Design estético e minimalista
4ª- Consistência e padrões	9ª- Ajude os usuários a reconhecer, diagnosticar e se recuperar de erros
5ª- Prevenção de erros	10ª- Ajuda e documentação

Fonte: Nielsen (1995, tradução nossa).

Para avaliação foi desenvolvido um questionário estruturado, com duas possibilidades de respostas. Na primeira, o respondente utilizou a escala de 5 pontos de likert, para avaliar o grau de atendimento da respectiva heurística, na qual 5 representa que o material atendeu completamente aquela heurística e 1 não atendeu nenhum dos aspectos dela. Para garantir a correta avaliação, antes da pergunta, era apresentado a sua conceituação. Esse campo de resposta foi definido como obrigatório. No segundo campo, definido como opcional, foi reservado um espaço para resposta aberta, com o objetivo de coletar sugestões de melhorias e/ou detecção de possíveis problemas na experiência e usabilidade do material. O questionário pode ser visualizado pelo link:

<https://forms.gle/NVitpuLk5YmKtRjH8>. É importante salientar que o procedimento não envolve a participação dos usuários, pois foi apresentado a especialistas. Os resultados foram tratados e analisados à luz das 10 Heurísticas de Nielsen (Nielsen, 1995).

## **5. Apresentação e discussão dos resultados**

Nesta seção os resultados da pesquisa são apresentados e discutidos a partir das 10 heurísticas de Nielsen. No total, 12 especialistas responderam ao questionário, o quais, em sua maioria, se enquadram exatamente nos dois construtos principais dessa pesquisa, pensamento computacional e sustentabilidade, e os outros são de áreas adjacentes ao tema, tendo assim capacidade para responder aos questionamentos. São eles, 5 especialistas de pensamento computacional (41,7%), 4 especialistas em sustentabilidade (33,3%), 1 especialista em computação aplicada à educação, 1 especialista em ensino de ciências e 1 especialista em matemática e pensamento computacional. É importante notar, que essa questão tinha 3 alternativas, 2 fechadas (especialista em pensamento computacional ou em sustentabilidade) e 1 aberta (outros), com campo para resposta curta.

### **5.1. 1ª Heurística: Visibilidade do status do sistema**

A primeira questão tratou da visibilidade do status do sistema, importante para situar o usuário sobre o status do sistema (Nielsen, 1995). Para isso, visou-se detectar se a aula apresentava uma sequência lógica, que permita identificar por quais elementos do conhecimento já se havia passado, assim como verificar se o jogo foi capaz de informar ao usuário em que estágio ele se encontrava e dar feedback adequados sobre pontuação, tempo restante e objetivos alcançados. Para 75% dos especialistas, o material apresentado atendeu plenamente à 1ª heurística, e 25% disse que quase plenamente. Entre as sugestões de melhoria e comentários, foi possível perceber que a totalidade gostou do encadeamento da proposta. Entretanto, ficou claro que é preciso criar algum elemento visual, como barra de progresso no jogo e na aula. Além disso, foi apontado como sugestão, a criação de um contador de estrelas coletadas (perguntas respondidas), já que, não fica claro quantas questões foram respondidas, pois o jogo desenvolvido apenas apaga do cenário as estrelas que foram acessadas e tiveram sua questão respondida. O seguinte comentário ilustra bem os itens a serem observados: “Nos slides para ficar ainda mais claro poderia ter o número da página (ex. 3/15). No jogo temos a barra de status, mas não fica claro quantas estrelinhas ainda faltam”. Nesse contexto, fica evidente a eficiência de dois recursos utilizados para o desenvolvimento do material, o PC (Wing, 2006) e design instrucional de Gagné, que permitiu sistematizar o conteúdo apresentado nos materiais (Kruse, 2009; Khadjooi, Rostami, & Ishaq, 2011).

### **5.2. 2ª Heurística: Relação entre o sistema e o mundo real**

Segundo Nielsen (1995) é importante que a linguagem do material utilizado seja familiar ao usuário, evitando jargões internos. Para isso, buscou-se verificar se termos utilizados eram compreensíveis aos alunos, assim como saber se os exemplos e imagens utilizados ajudavam na compreensão dos conceitos apresentados. De acordo com os respondentes,

essa heurística foi completamente atendida, recebem 5 pontos de 100% dos respondentes. Essa percepção reflete nos comentários, que foram muito próximos a este exemplo: “Todo o conteúdo é apresentado de forma clara e contextualizada”.

### **5.3. 3ª Heurística: Controle e liberdade do usuário**

A 3ª heurística verificou se usuário foi instruído de tal forma que tivesse controle na sua tomada de decisão, podendo percorrer caminhos diferentes, que o levasse a resultados parecidos e, ainda assim, fosse capaz de desfazer qualquer erro (Nielsen, 1995). Os resultados demonstram que o uso de PC na construção do material ajudou no processo de tomada de decisão, permitindo que o usuário aprenda, tanto com os erros e acertos, assim como permite que ele retorne ao estágio anterior, para que possa corrigir as suas ações e melhorar seu resultado, como se pode observar nestes 2 comentários: “Sim... O algoritmo orienta para isso” e “[..]o valor da proposta de aprendizagem está em "errar e aprender com os erros"”. Nesse contexto, 75% afirmam que o material atendeu completamente essa heurística e 25% quase que totalmente.

### **5.4. 4ª Heurística: Consistência e padrões**

Para garantir a consistência entre os materiais e ao longo da aula, foram utilizados os termos e elementos visuais de forma padronizadas, como no caso dos personagens, que assumiram os papéis de cada ator da LR de REEE e etapas do ciclo de vida do EEE, de forma a reforçar sobre o que estava sendo tratado (Nielsen, 1995). Os resultados apontam para o atendimento deste requisito, com 7 respondentes afirmando que atendeu completamente e 5, quase totalmente. Esse resultado evidencia uma das fragilidades da plataforma utilizada para desenvolvimento do jogo, que não permite a personalização total dos elementos visuais, como pode-se observar neste apontamento: “No jogo o WALL-E não aparece como personagem”. Entretanto, para contornar essa restrição, o jogo ocorreu em um cenário que representava outro planeta, no qual quem estava incubido de realizar a missão era o avatar do usuário e não o WALL-E. Além disso, seria muito importante ter colocado o página de siglas entre os primeiros slides, para melhorar a experiência do usuário em relação as abreviações utilizadas.

### **5.5. 5ª Heurística: Prevenção de erros**

Para evitar os erros, o design precisa eliminar elementos que possam induzir ao erro (Nielsen, 1995). Para isso, para isso objetivou-se criar uma estrutura de aula seguindo um padrão lógico e apresentação de possíveis erros que podem ocorrer na tomada de decisão. Os resultados demonstram que esse quesito foi atendido completamente, com 91,7% atribuindo a nota 5, com apenas uma nota 3.

### **5.6. 6ª Heurística: Reconhecimento em vez de recordação.**

A maioria dos respondentes afirma que o material atendeu completamente a essa heurística (83,3%) ou quase totalmente (16,7%), pois ao expor o usuário a diversos

exemplos e mostrar os ícones que representam desafios, os quais se repetem várias vezes no jogo.

### **5.7. 7ª Heurística: Flexibilidade e eficiência**

Para melhorar a experiência do usuário, é importante que o sistema seja flexível, permitindo que se escolha o que mais funciona para cada um (Nielsen, 1995). O uso de PC, para construção do conhecimento sobre REEE e os impactos do consumo de EEE, permitiu ao aluno reconhecer quais são os processos das 3 etapas do ciclo de vida do EEE e quais são os impactos das decisões sobre cada uma delas. Pois, ao dividir o problema em partes menores, o PC permite que o todo seja entendido de forma simples e racional, sem induzir ao usuário a resolver as questões de uma única forma, já que é possível reconhecer padrões, o que ajuda ao usuário a abstrair e criar um algoritmo para tomar decisões de forma lógica e adaptável (Wing, 2006). O mesmo ocorre no jogo, que apresenta diversos caminhos para chegar às estrelas/perguntas e permite que elas sejam respondidas em outro momento, para que o usuário avance nas questões, da forma que ele se sentir mais confortável. Esse fator é confirmado nos comentários deixados, como nesse exemplo: “Sim, o jogador tem muitas alternativas para criar uma experiência de aprendizagem rica e persistente” e nos pontos atribuídos ao atendimento da heurística, sendo que 66,7 disseram que ela foi atendida completamente e 33,3%, quase totalmente.

### **5.8. 8ª Heurística: Design estético e minimalista.**

De acordo com os respondentes, os elementos visuais, o design e os conteúdos apresentados na aula, no manual do jogo e no jogo foram essenciais para suportar a construção do conhecimento sobre LR de REEE e os impactos de cada tomada de decisão ao longo do ciclo de vida do EEE. Um dos especialistas declarou que “As imagens e demais elementos contribuem para criar impacto sensorial e assim ajudam na internalização do conhecimento”. Portanto, eles não foram inseridos apenas por questões estéticas, o que poderia distrair o usuário (Nielsen, 1995). Nesse contexto, 75% dos respondentes apontam que a 8ª heurística foi atendida completamente e 25% , quase que totalmente.

### **5.9. 9ª Heurística: Ajude os usuários a reconhecer, diagnosticar e se recuperar de erros.**

Os alertas apresentados pela Robô Eva no manual do jogo e os apresentados nos slides da 4ª etapa do PC ajudam os usuários entender quais são seus erros e o que eles devem fazer para se recuperar e/ou prevenir do erro. Para Nielsen (1995), devem ser apresentadas mensagens claras, indicando o problema e a possível solução para o mesmo. Os resultados mostram que “os alertas são adequados e auxiliam nas decisões”, conforme comentários



dos especialistas. Tanto que a maioria (83,3%) afirma que esse quesito foi atendido completamente, ou quase totalmente (16,7%).

### **5.10. 10ª Heurística: Ajuda e documentação.**

Segundo a 10ª heurística, é adequado pensar em uma documentação que apoie o aluno a executar com sucesso suas atividades (Nielsen, 1995). Nesse caso, além do manual, a ajuda mais importante foi o uso de PC para construir o conhecimento do aluno, dando a ele diversas alternativas no momento da tomada de decisão. Essa é uma das características essenciais do PC (Wing, 2006) Essa estratégia apresentou excelente resultado na opinião dos especialistas, que afirmam que o material ajuda o aluno na execução das tarefas e no entendimento do tema. O trecho a seguir exemplifica bem o ponto de vista deles, ao afirmar que “com essa abordagem, a autora permite que os estudantes entendam o fluxo e os impactos de cada etapa da cadeia dos REEEs, de forma lógica e generalizável, o que está em conformidade com o PC”. Para 91,7% dos respondentes essa heurística foi atendida completamente e 8,3%, ou seja, um dos especialistas afirmou que ela foi quase totalmente atendida.

## **6. Conclusões**

Esse trabalho teve como objetivo principal desenvolver material didático para o ensino de LR de REEE, baseado no conceito de PC e gamificação. O resultado da pesquisa demonstrou um alto índice de usabilidade do material construído, ao atender as 10 heurísticas de Nielsen, com uma média de 4,8 pontos atribuídos por cada especialista à cada heurística, em uma escala de 1 a 5. Esse resultado foi reforçado pelos diversos feedbacks positivos que os especialistas enviaram à autora, após testá-lo. Um exemplo pertinente a essa afirmação é o pedido de um dos respondentes, que solicitou permissão para usar o material em suas aulas de sustentabilidade.

Outro fato importante a ser destacado é sobre gamificação, que ajudou no engajamento voluntário dos especialistas. Ao avaliar o material, o respondente tinha acesso ao jogo, o qual poderia ser jogado uma vez, para testar a experiência, mais o painel de registro dos jogadores, que mostra o nome, tempo e pontuação de cada um, o qual registrou que a maioria dos avaliadores jogaram pelo menos 2 vezes o jogo, e paravam de jogar quando obtinham a pontuação máxima. Além disso, a maioria teceu elogios ao jogo nos comentários do questionário e enviaram mensagens parabenizando sobre o jogo. Isso corrobora Deterding et al. (2011), que afirma que a gamificação permite aumentar o engajamento na realização de uma tarefa, ao passo que reduz a resistência para executá-la.

Os resultados demonstram que o uso de PC aplicado ao ensino de LR de REEE permitiu que o material trouxesse clareza na apresentação dos conteúdos e entendimento das complexas relações e interesses envolvidos na gestão desses resíduos.

Esse conjunto de resultados permitiram responder a pergunta de pesquisa, sobre como o uso de PC pode ajudar no ensino de LR de REEE? Visto que o PC auxilia na solução de problemas complexos, ao dividi-los em partes menores, ajudando a criar algoritmos que apresentam diversas possibilidades de resolução, considerando diversas opções e desejos por determinados resultados (Wing, 2006), o seu uso ajudou a clarear as relações entre as

escolhas de cada uma das opções, fossem elas, a respeito do materiais utilizados, design, uso ou descarte, sobre cada etapa do ciclo de vida do EEE. Dessa forma, ao invés de decorar conceitos ou resultados descritos pela literatura, o aluno podia escolher o caminho desejado, considerando seus anseios e possibilidades. A observação desse comportamento se deu, dado aos comentários feitos pelos especialistas, que na sua maioria não estavam habituados com os termos LR de REEE, por serem de áreas de exatas. Grande parte dos especialistas, que não eram de sustentabilidade, afirmaram que aprenderam muito sobre o assunto, ao avaliar o material e que a experiência de uso foi muito agradável. E os especialistas em sustentabilidade elogiaram o encadeamento das ideias, que simplificou as explicações sobre os conceitos, variáveis e impactos.

A maior contribuição dessa pesquisa foi a aplicação de PC no de LR de REEE, dado que nenhum estudo sobre isso foi encontrado na revisão da literatura.

A maior limitação desse estudo foi a aplicação das 4 etapas do PC apenas para o consumidor. Dessa forma, para as próximas pesquisas visa-se aplicar o PC ao ensino de tomada de decisão aos outros atores da cadeia reversa, assim como avaliar a percepção dos alunos sobre os materiais desenvolvidos e seus resultados no aprendizado.

## Referências

- Alegria, R., Almeida, P., Aratangy, V., & Victor, B. (2011). *Teoria e Prática da Pesquisa Aplicada*. Elsevier Brasil.
- Augusto, E. E. F. (2014) "Logística reversa de computadores e celulares: Desafios e perspectivas para o modelo brasileiro". (Dissertação de mestrado) Centro Universitário da FEI, São Paulo, Brasil.
- Augusto, E. E. F., Demajorovic, J., & Melgarejo-Moreno, J. (2018). The impact of cooperation on the implementation of the 'descarte on WEEE reverse logistics pilot project in Brazil. S. Syngellakis, & J. Malgarejo-Moreno, *Urban Growth and circular economy*, 269-280.
- Baldé, et al. (2017) "The global e-waste monitor 2017: Quantities, flows and resources". United Nations University, International Telecommunication Union, and International Solid Waste Association. <https://collections.unu.edu/view/UNU:6341>. Acessado 10 out. 2020.
- Barbosa, A. F., Silva, T. S. C., & Silva, A. S. C. (2017) "Mangue Code: Um Jogo para promover o Ensino do Pensamento Computacional e a Educação Ambiental", In: XVI SBGames – Curitiba – PR, ISSN: 2179-2259.
- BBC. (2020) "Introduction to computational thinking". Disponível em: <https://www.bbc.com/bitesize/guides/zp92mp3/revision/>. Acessado em: 20 set 2020.
- Bickman, L., & Rog, D. J. (Eds.). (2008). *The SAGE handbook of applied social research methods*. Sage publications.
- Brasil. (2010) "Lei Nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010". Brasília, DF. <http://www.mncr.org.br/biblioteca/legislacao/leis-e-decretos-federais/Lei%20%2012.305-2010%20Politica%20de%20Residuos%20Solidos.pdf/view>. Acessado: 20 out. 2020.
- Brasil. (2020) "Decreto nº 10.240, de 12 de fevereiro de 2020". Brasília, DF. <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.240-de-12-de-fevereiro-de-2020-243058096>. Acessado: 20 out. 2020.
- Demajorovic, J., Augusto, E. E. F., & Souza, M. T. S. D. (2016) "Reverse logistics of e-waste in developing countries: challenges and prospects for the Brazilian model". *Ambiente & Sociedade*, 19 (2), 117-136.

- Demajorovic, J.; Augusto, E. E. F.; Souza, M. T. S. (2014) "Riscos à Saúde Pública e ao Meio Ambiente dos Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos". In: VI Encontro de Administração Pública da ANPAD (EnAPG), 2014, Belo Horizonte. VI Encontro de Administração Pública da ANPAD (EnAPG).
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011, September). From game design elements to gamefulness: defining "gamification". In Proceedings of the 15th international academic MindTrek conference: Envisioning future media environments (pp. 9-15).
- European Parliament, Council Of The European Union. (2012) "Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012: on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)". In Official Journal of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0019&from=EN>. Acessado 10 out. 2020.
- European Parliament, Council Of The European Union. (2003) "Directive 2002/96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on waste electrical and electronic equipment (WEEE)". In Official Journal of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32002L0096>. Acessado 10 out. 2020.
- Forti, V., Balde, C. P., Kuehr, R., & Bel, G. (2020) "The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential". [http://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2020/07/GEM\\_2020\\_def\\_july1\\_low.pdf](http://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2020/07/GEM_2020_def_july1_low.pdf). Acessado: 10 out. 2020.
- Hsiao, H. C. (2007, March). A brief review of digital games and learning. In 2007 First IEEE International Workshop on Digital Game and Intelligent Toy Enhanced Learning (DIGITEL'07) (pp. 124-129). IEEE.
- Khadjooi, K., Rostami, K., & Ishaq, S. (2011) "How to use Gagne's model of instructional design in teaching psychomotor skills". *Gastroenterology and Hepatology from bed to bench*, 4(3), 116.
- Kruse, K. (2009). Gagne's nine events of instruction: An introduction. Retrieved the, 10.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente. (2019) "Acordo Setorial para implantação de Sistema de Logística Reversa de produtos eletroeletrônicos de uso doméstico e seus componentes". Brasília, Brasil. <https://www.mma.gov.br/images/Acordo%20Setorial/Acordo%20Setorial%20-%20Eletroeletr%C3%B4nicos.pdf>. Acessado: 10 out. 2020.
- Neto, B. D. S. R., Virgolino, A. B., Ferreira, D. A., & Silva, M. V. B. (2019, November). Na Onda do Pitiú: Uma Abordagem de Educação Ambiental Gamificada no Contexto Amazônico. In Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE) (Vol. 30, No. 1, p. 813).
- Nielsen, J. (1995). 10 usability heuristics for user interface design. Nielsen Norman Group, 1(1). Disponível em: <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>. Acessado em: 10 out 2020.
- Puckett, J. et al. (2002) "Exporting harm: the high-tech trashing of Asia", The Basel Action Network. Silicon Valley Toxics Coalition, Seattle.
- Qian, M., & Clark, K. R. (2016). "Game-based Learning and 21st century skills: A review of recent research". *Computers in Human Behavior*, 63, 50-58.
- Santos, K. L. D. (2020). "Waste electrical and electronic equipment in macrometrópole paulista: legal framework and technology at the service of reverse logistics", *Ambiente & Sociedade*, 23.
- Schluep, Mathias et al. (2009) "Recycling from e-waste to resources. Sustainable Innovation and Technology Transfer Industrial Sector Studies", Bonn: UNEP-UNU, Solving the E-waste Problem (StEP), 200
- Sousa Pires, F. G., Melo, R., Machado, J., Silva, M. S., Franzoia, F., & de Freitas, R. (2018, October). "EcoLogic: um jogo de estratégia para o desenvolvimento do pensamento computacional e da consciência ambiental", In Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação (Vol. 7, No. 1, p. 629).
- Toda, A., Rafael, Y., Cruz, W., Xavier, L., & Isotani, S. (2016, November). Um processo de Gamificação para o ensino superior: Experiências em um módulo de Bioquímica. In Anais do Workshop de Informática

na Escola (Vol. 22, No. 1, p. 495). <https://br-ie.org/pub/index.php/wie/article/view/6856/4734>.  
Acessado em:01 out. 2020.

UNEP, PACE, ILO ITU, UNU & UNIDO. (2019) "A New Circular Vision for Electronics: Time for a Global Reboot".

Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33-35.

Yin, R. K. (2016). *Pesquisa qualitativa do início ao fim*. Penso Editora.