

ARENA REEE: Estratégia Gamificada de Ensino e Aprendizagem Sobre Gestão de Resíduos de Equipamento Eletroeletrônico

ARENA REEE: Teaching and Learning Gamified Strategy About Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Management

Gyovanna Gabrielly Nepon Silva¹, Marcele Elisa Fontana², Vilmar Santos Nepomuceno³

¹Departamento de Engenharia Elétrica – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
Recife, PE – Brasil

²Departamento de Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
Recife, PE - Brasil

³TADS/DACS – Instituto Federal de Pernambuco (IFPE)
Recife, PE – Brasil

gyovanna.nepon@ufpe.br, marcele.elisa@ufpe.br,
vilmarnepomuceno@recife.ifpe.edu.br

Resumo. *A crescente problemática do lixo eletrônico e sua disposição inadequada emergiram como questões relevantes na sociedade contemporânea. Isso ressalta a urgência de educar as próximas gerações sobre a compreensão dos impactos dos Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) e a eficácia dos processos de recuperação, reciclagem e disposição disponíveis para mitigar esses impactos ambientais. Este artigo apresenta o jogo ARENA REEE, uma abordagem estilo Arena desenvolvida com esse propósito. O jogo foi implementado e avaliado com alunos do ensino fundamental II e médio da rede pública, resultando em feedbacks positivos que confirmam o sucesso na consecução dos objetivos propostos.*

Palavras-chaves: *Lixo eletrônico, Gamificação, Ensino, Aprendizado.*

Abstract. *The growing issue of electronic waste and its improper disposal has emerged as relevant concerns in contemporary society. This highlights the urgency to educate future generations on understanding the impacts of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) and the effectiveness of available recovery, recycling, and disposal processes to mitigate these environmental impacts. This article introduces the ARENA WEEE game, an Arena-style approach developed for this purpose. The game was implemented and evaluated with students from the public elementary school II and high school system, resulting in positive feedback confirming the success in achieving the proposed objectives.*

Keywords: *Electronic Waste, Gamification, Teaching, Learning.*

1. Introdução

O consumo de aparelhos eletrônicos por diversos públicos tem aumentado conjuntamente ao aprimoramento da tecnologia utilizada em seu desenvolvimento, conseqüentemente, o crescimento da quantidade de aparelhos descartados, também chamado por lixo eletrônico (*e-lixo*). Conforme a definição da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial [ABDI, 2013], os equipamentos eletroeletrônicos (EEE) são todos aqueles produtos que dependem do uso de corrente elétrica ou de campos eletromagnéticos para funcionar. Em sua maioria são constituídos por componentes com a presença de metais pesados que podem poluir o ar, o solo e a água se descartado de forma inadequada [Vieira *et al.*, 2014].

No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), pela Lei nº 12.305/2010, estabelece a responsabilidade compartilhada, entre os diferentes envolvidos na geração dos resíduos (governo, indústria, varejo, consumidores, etc.), para a gestão integrada do ciclo de vida do produto, especialmente em o fim de sua vida útil, quando se apresenta na forma de resíduo sólido [Brasil, 2010]. Assim, a gestão correta de resíduos de equipamento eletroeletrônico (REEE), especialmente, por meio dos seis “R” (reusar, recuperar, reparar, recondicionar, remanufaturar e reciclar), ou destinação final apropriada, são fundamentais para o desenvolvimento sustentável da indústria, sociedade e da nação [Cai *et al.* 2022; Conti e Orcioni 2020; Potting *et al.* 2017].

Desta maneira, a conscientização acerca da gestão dos REEE é necessária para promover a sustentabilidade, especialmente sabendo que a maioria dos consumidores apresenta uma lacuna de conhecimento em relação à importância de lidar com o lixo eletrônico com cautela [Thukral *et al.* 2023]. Voltado aos profissionais do futuro, uma abordagem atual é o uso de jogos para educação, também conhecidos por jogos sérios, ou através do uso de elementos de gamificação no processo de aprendizagem. Estes fazem parte das metodologias ativas, onde os alunos passam a ser os protagonistas no ensino, deixando de ser mero receptor de informações, aumentando o pensamento crítico e desenvolvendo habilidades para resolver problemas dos indivíduos, enquanto eles recebem o conhecimento devido [Fontana *et al.* 2023; Hamari e Koivisto 2013; Papamichael *et al.* 2022].

A aprendizagem baseada em jogos auxilia a criar um ambiente onde as pessoas são intrinsecamente motivadas a se envolverem com a área em que a mudança de comportamento é desejada. Em comparação ao design e desenvolvimento de jogos digitais, criar um jogo de cartas colecionáveis personalizado tem requisitos e custos menores, os tornando mais acessíveis. Além disso, incentivam o desenvolvimento de várias habilidades interpessoais (*soft skills*), incluindo pensamento analítico, empatia, manipulação social, e comunicação [Callahan *et al.* 2019; Wee e Choong 2019].

Com isso, o objetivo deste artigo é apresentar uma adaptação de jogo estilo Arena como estratégia de ensino e aprendizagem sobre gestão de REEE, o ARENA REEE. Esta pesquisa se justifica por atender diretamente dois dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável [ODS 2024], do Brasil: nº 12 – Consumo e Produção Responsáveis, uma vez que o tema deste artigo vai ao encontro da gestão sustentável e ao uso eficiente dos recursos naturais, bem como ao ODS nº 4 – Educação de Qualidade, ao engajar os estudantes por via das estratégias de gamificação de maneira focada nos REEE, criando uma rede de conscientização efetiva nas questões do descarte dos REEE, promovendo

uma noção de sustentabilidade que pode vir a contribuir na gestão ambiental e redução das problemáticas do descarte indevido.

2. Referencial teórico

2.1. Gestão resíduos de equipamento eletroeletrônico (REEE)

A gestão de REEE é um desafio no Brasil. A desinformação e a ausência de um sistema adequado de destinação são alguns fatores que aumentam esse desafio [de Souza *et al.* 2016]. Utilizando métodos inapropriados, como queima ou lixiviação ácida, e até mesmo descartando-os a céu aberto, o REEE torna-se uma preocupação para a saúde pública devido à possibilidade de impactos ambientais, uma vez que dispositivos eletroeletrônicos descartados podem liberar componentes químicos, poluindo o solo e as águas subterrâneas [Saha *et al.* 2021]. Além disso, a gestão adequada destes resíduos, reaproveitando o material constituinte, leva a menor necessidade de extração de recursos naturais, minimizando o impacto ao meio ambiente [World Economic Forum – WEF 2019].

Assim, o processamento correto é uma questão muito importante para a economia e a segurança ambiental. Porém, REEEs são extremamente difíceis de manejar por conterem uma mistura de diversos componentes que vão de plásticos, metais e compósitos até algumas substâncias perigosas [Tsydenova e Bengtsson 2011]. A placa de circuito impresso (PCB), por exemplo, é considerada o principal componente encontrado no lixo eletrônico e em sua composição estão quase todos os elementos da tabela periódica [Robinson 2009]. Contudo a porcentagem desses componentes pode variar de acordo com o equipamento eletroeletrônico, em classificações visando as propriedades físicas, químicas e mecânicas, a fim de avaliar a resistência mecânica, condutividade elétrica e retardação para chamas [Ribeiro e da Silva 2012].

A aplicação do conceito de Economia Circular (EC) surge como solução para essa questão. A EC propõe abandonar o modelo tradicional de extrair, usar e descartar. Em vez disso, enfatiza o uso, reciclagem e reintrodução desses materiais na produção de novos produtos. Este modelo implica um fluxo socioeconômico e cíclico que substitui a ideia de “fim-da-vida” dos produtos e materiais, promovendo os 6 R’s [Park *et al.* 2020; Potting *et al.* 2017; Roudbari *et al.* 2021]. O jogo desenvolvido envolve vários dos conceitos da gestão adequada dos REEE e impactos gerados pelos REE. A utilização desses conceitos envolve vários níveis educacionais, desde a educação infantil até o ensino superior.

2.2. Gamificação para educação

A definição de gamificação é entendida como o uso de elementos de jogo em situações que busquem envolver indivíduos de maneira lúdica na resolução de problemas através de metas definidas [Deterding *et al.* 2011]. Em abordagens de aprendizado gamificadas, as regras dão estrutura à atividade de aprendizado e, através dos elementos definidos no jogo, estabelecem limites claros para as ações dos participantes, criando um entusiasmo em meio a competição, trazendo ludicidade e distinguindo-se de outras atividades de aprendizado mais rígidas [Boller e Kapp 2018].

Recentemente, a necessidade de prender a atenção e motivar os alunos, com uma experiência de aprendizagem envolvente que possa mantê-los focados na tarefa de

aprendizagem enquanto ela é aplicada tem crescido, e a motivação, especialmente por meio da competição, é considerada crucial na educação, influenciando a atenção e o esforço dedicados às atividades de aprendizado [Brophy 2013]. Desse modo, fica evidente porque o uso da gamificação em ambientes educacionais se concentra na motivação do aluno ou na participação em atividades. A gamificação na educação beneficentemente oferece oportunidades sérias de aprendizado de maneira lúdica; entretanto criar jogos eficazes é desafiador, exigindo resultados "sérios", como aprendizado do conteúdo programático [Ferdig 2018].

Ademais, a aprendizagem por meio de jogos oferece benefícios, como experiência ativa, aprendizado prático e interações sociais para os jogadores. Estratégias de jogos podem motivar e influenciar psicologicamente, incentivando mudanças de comportamento e o desenvolvimento de habilidades específicas, ou seja, o jogo pode ajudar no desenvolvimento das habilidades interpessoais (*soft skills*) [Hamari e Koivisto 2013].

3. Metodologia

Esta pesquisa é de caráter descritivo e exploratório. A parte descritiva permite uma análise dos dados coletados, possibilitando uma tipificação das características envolvidas. Somada a isso, a abordagem exploratória permite maior exposição dos aspectos pouco conhecidos ou pouco estudados do tema, contribuindo para a ampliação da familiaridade na área. O desenvolvimento do jogo seguiu o modelo proposto por Fontana *et al.* [2023], que, baseado no ciclo PDCA, prevê quatro etapas principais: **Plano** do jogo, **Jogar** ou desenvolver o jogo, **Verificar** a experiência e; **Agir** nas melhorias necessárias.

3.1. Plano do jogo

Segundo Fontana *et al.* [2023], o planejamento do jogo segue cinco etapas: (1) conhecer o público alvo e contexto; (2) definir objetivos de aprendizagem; (3) estruturar a experiência; (4) identificar recursos; (5) aplicar elementos de gamificação.

Em primeiro lugar deve-se destacar que o **público-alvo** desse jogo são alunos do ensino fundamental II, ensino médio, técnico e graduação. No **contexto** tem-se que esses alunos possuem, no geral, pouco acesso à informação sobre os impactos dos Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) e, principalmente, sobre os processos capazes de minimizar esses impactos ao meio ambiente. Em especial os alunos do ensino fundamental II e ensino médio. Ademais, o tema sustentabilidade está em voga e é importante estimular esse conhecimento nos profissionais do futuro. Portanto, o jogo foi planejado com **objetivo de aprendizagem** voltado à compreensão dos impactos dos REEE e da eficiência dos processos dos sistemas de recuperação, reciclagem ou destinação possíveis para minimizar esses impactos ao meio ambiente. Os **recursos** necessários para o jogo são: 14 Cartas de Defesa; 14 Cartas de Ataque; 12 Cartas da Sorte; 01 Tabuleiro Arena; e 02 Peões (pinos). Por fim, como **elementos** de jogo trabalha-se especialmente os *self-elements*, onde, ganha aquele que possuir maior pontuação ao final do jogo. Os templates do tabuleiro e cartas do jogo estão disponíveis pelo seguinte link: <https://sites.ufpe.br/deplug/2023/10/16/arena-reee/>

Um o protótipo do jogo foi aplicado com um grupo de 10 pessoas, sendo 08 graduandos em engenharia e 02 docentes, membros do grupo de pesquisa e extensão dos autores deste artigo. Estes jogadores receberam uma breve explicação sobre as regras,

objetivos e funcionamento do jogo em sua primeira versão. Quando o jogador joga o jogo, um conjunto de resultados de aprendizagem é gerado a partir da experiência global [Winn 2009]. Com isso em mente, para avaliar o protótipo do jogo desenvolvido, após a aplicação, foram coletados os feedbacks dos testadores. Com o intuito de aprimorar a experiência dos jogadores foram implementadas algumas alterações no jogo. A descrição do jogo (seção 4) considerou as melhorias sugeridas neste teste.

3.2. Verificando a experiência

A verificação da experiência foi realizada por meio de um pré-teste, observação *in loco* e aplicação de um questionário estruturado de autoadministração. O questionário consistiu em perguntas fechadas, utilizando uma escala Likert de 5 pontos (5- concordo totalmente a 1- discordo totalmente). As perguntas foram:

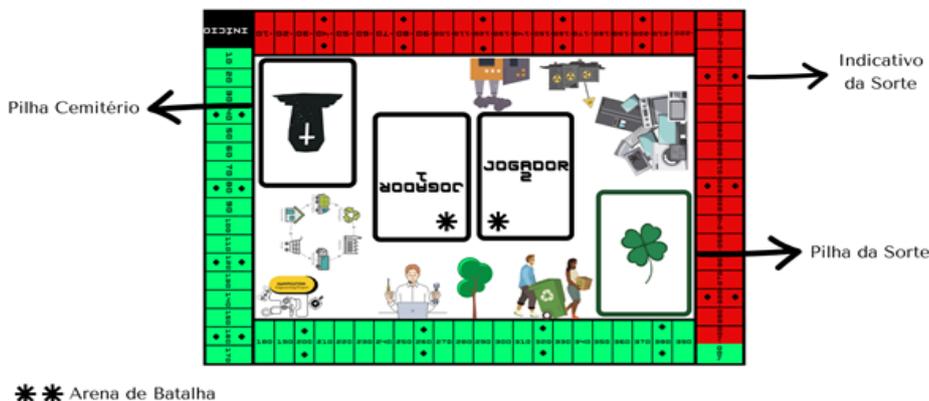
- 1) Na sua opinião, o jogo ARENA REEE atingiu o seu objetivo?
- 2) Para você, o jogo ARENA REEE foi divertido?
- 3) O jogo ARENA REEE te ajudou a interagir com seus colegas?
- 4) Você gostaria de aprender mais assuntos relacionados à sustentabilidade por meio de jogos?
- 5) O jogo te fez refletir sobre a problemática dos resíduos de equipamento eletroeletrônico (REEE)?

A participação como respondente deste questionário foi voluntária. Assim, ressaltamos que essa pesquisa segue os princípios éticos determinados pelo Conselho Nacional de Ética em Pesquisa - CONEP, pois esta pesquisa não faz experimentos com seres humanos e animais, requerendo apenas a percepção e opinião dos participantes. Além disso, foi garantido o completo anonimato dos participantes.

4. Arena REEE

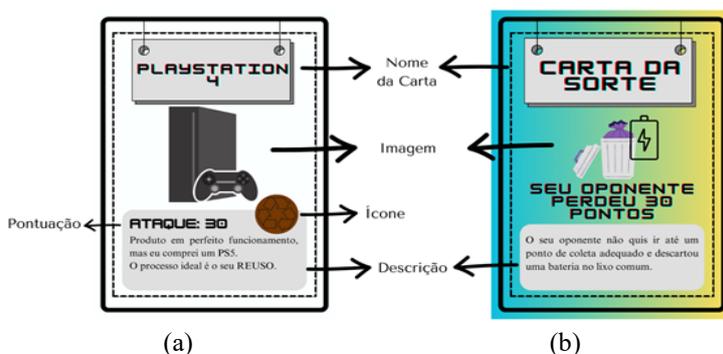
O jogo desenvolvido foi inspirado no “*Magic: The Gathering Arena*”, onde as partidas serão disputadas por dois jogadores que possuem cartas de ataque e defesa. Assim, para começar o jogo, as cartas de defesa e ataque devem ser embaralhadas separadamente. Então, cada jogador deve receber catorze (14) cartas, sendo sete (07) de Defesa e sete (07) de Ataque. Deve ser posta no tabuleiro (Fig.1) a pilha de cartas da sorte sobre o símbolo correspondente (). Posicione os peões sobre o tabuleiro em “INÍCIO”. O tabuleiro funciona como arena para as batalhas de cartas. Isso favorece o papel do docente como facilitador na criação de um ambiente lúdico [do Prado 2018]. As cartas de ATAQUE representam REEE em diferentes estágios. Assim, conforme a sua descrição um ou mais processos dos sistemas de recuperação, reciclagem ou destinação serão mais adequados. Por sua vez, as cartas de DEFESA representam justamente esses processos. A Figura 2(a) exemplifica uma carta de ataque, sendo as de defesa semelhante.

A pontuação de cada carta e os elementos de jogo descritos na sequência visam associar as relações entre os processos de defesa e os ataques dos REEE, de modo que apenas os processos adequados sejam capazes de combater os ataques dos REEE, conferindo melhor desempenho aos jogadores. A descrição das cartas levou em consideração a literatura [Cai *et al.* 2022; Conti e Orcioni 2020; Potting *et al.* 2017], como exemplifica o Quadro 1.



Fonte: Os autores (2024).

Figura 1. Tabuleiro do jogo



Fonte: Os autores (2024).

Figura 2. Exemplo de cartas do jogo: (a) carta de ataque; (b) carta da sorte

Quadro 1. Exemplo da descrição das cartas de ataque e defesa

CARTAS DE ATAQUE		CARTAS DE DEFESA		
Descrição	Ponto	Nome	Descrição	Ponto
Produto em perfeito funcionamento, apenas avarias na carcaça. O processo ideal é o seu REUSO .	30	Reuso	Trata-se de uma recuperação direta com baixo uso de energia, mas altamente dependente da qualidade do produto. O objetivo aqui é a revalorização do produto nas mãos de outro usuário.	40
Produto usado que aparenta bom funcionamento, mas apresenta um ruído incomum ao ser ligado que incomoda. O processo ideal é o seu REPARO .	50	Reparo	Processo básico com baixo uso de materiais e energia. Consiste em consertos simples. O objetivo aqui é a revalorização do produto, devolvendo a sua funcionalidade.	60

Fonte: Os autores (2024).

Os jogadores alternam-se em sucessivas batalhas, onde em cada batalha um jogador (ATACANTE) deve escolher uma dentre as suas cartas de ATAQUE para desafiar o seu oponente (DEFENSOR). Por sua vez, o oponente (DEFENSOR) deverá minimizar o ataque usando uma de suas cartas de defesa, preferencialmente a mais adequada. Na próxima batalha eles invertem os papéis de ATAQUE e DEFESA independentemente do resultado desta batalha.

Ambos os jogadores devem, SEMPRE, conjurar a carta que está jogando antes de depositá-la sobre o Tabuleiro, ou seja, ler em voz alta a descrição da carta, sob a pena de

perder o poder dela, dando vantagem ao seu oponente. Esta foi uma imposição verificada durante o pré-teste, para evitar que o jogo acontecesse de modo intuitivo apenas pela pontuação. As cartas já usadas devem ser reservadas na “pilha de cartas cemitério”, que representa que aquelas cartas, tanto de ataque quanto de defesa”, não têm mais poder naquela partida. Acaba o jogo quando um ou ambos os jogadores ficarem sem cartas de ataque e defesa.

Em cada batalha o DEFENSOR estará na vantagem, pois conhecendo a carta de ataque pode definir sua jogada estrategicamente. Assim, o sistema de pontuação foi criado de modo a “forçar” que ele jogue a defesa “ideal” (mencionada nas cartas de ataque), evitando duas situações:

- Descarte de uma carta defesa “fraca” quando percebe que irá perde. Em prol do entendimento do assunto abordado no jogo, deseja-se que o defensor jogue uma defesa mais próxima possível do processo ideal, ao invés de “gastar” as cartas de menor força. Por exemplo: Jogar uma defesa de “reuso” em uma pilha que deveria ser corretamente “descartada”, não atende ao senso de realidade. No entanto, a pilha poderia ser levada ao “ponto de coleta”, gerando um empate no jogo;
- Uso de uma carta com “força” superior ao processo ideal. Aqui significa que está sendo aplicado no REEE um processo admissível, mas com gasto energético muito alto quando comparado ao processo ideal. Por exemplo, um equipamento em ótimo estado que poderia ser “reusado”, mas optou-se por “reciclar”. Isso é admissível, mas o gasto energético para realizar a reciclagem mostrar que não é a melhor forma de agregação de valor nesse caso. Logo, aqui, poderia ser escolhido “reparo”, por exemplo, minimizando os custos envolvidos.

Portanto, a cada nova batalha deve se observar três condições:

1. Se a carta do ATACANTE for de **maior valor**, significa que o impacto negativo daquele REEE não é tratado pelo processo descrito na carta de defesa, portanto, o ataque ganhou. Assim, o ATACANTE SOMA ao seu placar a diferença entre os pontos das cartas de ataque e defesa daquela batalha;
2. Se o DEFENSOR jogar o **processo ideal**, sua carta apresentará exatamente 10 pontos a mais do que a carta do ATACANTE. Nesse caso, o DEFENSOR SOMA no seu placar esses 10 pontos;
3. Se a carta do DEFENSOR for de **maior valor**, porém não for o processo ideal, o DEFENSOR SUBTRAIR do seu placar a diferença entre as duas cartas da batalha.

Desta forma, quando mais adequado o processo de defesa for ao tipo de REEE, melhor será para a DEFESA.

Se numa partida um dos jogadores não conjurar sua carta, automaticamente, ele perde 30 pontos e a carta não conjurada, dando vantagem ao seu oponente por ter maior opção de cartas nas batalhas restantes. Os pontos são controlados diretamente no tabuleiro, movendo o peão correspondente. Quando o peão de um jogador cair em uma pontuação que contenha o símbolo de trevo () , esse deverá retirar uma carta de sorte (Fig.2b), ler a carta e cumprir o destino previsto nela. Após isso, coloque-a abaixo das demais cartas de destino. O jogador com maior pontuação GANHA o jogo, estando simbolicamente melhor posicionado em relação a área verde do tabuleiro por representar maior eficiência na defesa ao meio ambiente.

5. Resultados

O jogo desenvolvido foi aplicado em duas escolas: (a) a Escola Técnica Estadual (ETE) Porto Digital, em 10 de abril de 2024 a duas turmas do 3º ano do ensino médio e; (b) a Escola EREFEM Professora Odete Antunes, em 26 de abril de 2024, a turmas do 6º do ensino fundamental II ao 3º ano do ensino médio. Os alunos foram subdivididos entre os tabuleiros disponíveis, onde em cada tabuleiro um aluno de graduação em engenharia ficou responsável por conduzir e auxiliar os jogadores, como mostra a Fig.3. Antes de iniciar as partidas, os alunos receberam uma explicação breve sobre o objetivo do jogo e as suas regras. O manual com as regras ficou disponível a eles durante toda a experiência.



Fonte: Os autores (2024).

(a)

(b)

Figura 3. Imagens da aplicação do jogo in loco: (a) Escola Técnica Estadual (ETE) Porto Digital; (b) Escola EREFEM Professora Odete Antunes

5.1. Verificando a experiência: observação

Observando especificamente a experiência na escola ETE, o jogo foi aplicado como parte integrante de disciplinas da área ambiental, ou seja, houve um relacionamento entre o conteúdo ministrado pelas docentes da escola e o jogo Arena REEE. Com isso, observou-se interesse em jogar e aprender pela maioria dos alunos. Ao longo da experiência, foi observado que a duração média do jogo variou entre 10 a 15 minutos. Nessa experiência, o sistema de pontuação considerava apenas as condições 1 e 3, ou seja, ou o ataque ganha pontos (carta de ataque maior) ou a defesa perde pontos (carta de defesa maior). Vários alunos se mostraram “indignados” pelo fato da defesa sempre “perder”. Explicamos que o defensor está sempre na vantagem por visualizar a carta do atacante. Assim, o sistema de pontuação funciona como um controle para evitar que o jogador escolhesse uma carta que lhe concedesse maior pontuação, em detrimento do objetivo que é jogar a carta mais adequada. Os alunos entenderam a explicação e continuaram o jogo normalmente. Contudo, após análise deste fato, a condição 2, do processo ideal, foi adicionada resolvendo esse conflito.

Além disso, durante as primeiras partidas jogadas, observou-se que os alunos tinham bastante dúvidas sobre as regras e total desconhecimento sobre as cartas (assim como esperado). À medida que colegas foram jogando, aqueles que ficaram observando puderam memorizar o conteúdo das cartas e seu poder. Assim, observamos que as partidas subsequentes ficaram mais ágeis e os jogadores apresentaram maior controle sobre o poder de cada carta e o sistema de pontuação. Essa observação sugere que a experiência não apenas promoveu o aprendizado e memorização em tempo real durante o jogo, mas,

também, facilitou a aplicação de estratégias ao longo do tempo, à medida que os alunos adquiriram familiaridade com as dinâmicas do jogo e as interações entre as diferentes cartas de ataque e defesa.

Já na escola EREFEM, a dinâmica foi diferente. A escola recebeu vários projetos, como uma espécie de feira, em que os alunos se revezavam e visitavam todos os projetos no período regular das aulas. Em outras palavras, não houve uma relação direta com conteúdo ministrado em aula. Além disso, a dinâmica não permitiu uma introdução prévia sobre a problemática de resíduos eletroeletrônicos e a gestão ideal deles, como foi feita na escola ETE, houve apenas uma breve explicação do objetivo do jogo e seu modo de jogar. Com isso, observou-se baixo interesse pelo assunto que o jogo trata.

Ao observar a aplicação do jogo nas turmas do ensino fundamental foi notável um entusiasmo significativo por parte dos alunos. No entanto, somado ao entusiasmo também houve dificuldades. A regra do jogo, que exigia que os alunos falassem em voz alta o conteúdo das cartas, revelou dificuldades na pronúncia correta das palavras, bem como na compreensão das descrições das cartas e das regras do jogo. Para alunos do 9º ano a aplicação foi feita de forma tranquila e o jogo fluiu bem, mas para alunos do 6º e o 8º isso impactou negativamente na fluidez da jogabilidade, pelo tempo maior que levaram para entender as regras e na leitura das cartas, essa dificuldade resultou em uma média de duração mais longa, levando o jogo a terminar entre 15 a 20 minutos. Apesar da dificuldade, esses alunos mantiveram o entusiasmo e a competitividade durante o jogo, mas poucos alunos demonstraram curiosidade de fazer perguntas sobre o tema em si.

Já na experiência com as turmas do ensino médio, foi observado um melhor entendimento do funcionamento do jogo, resultando em uma jogabilidade mais fluida e uma média de duração de até 15 minutos. Enquanto os alunos do 1º ano demonstraram maior entusiasmo, os do 2º ano apresentaram maior desinteresse, o que tornou o jogo mais monótono para essa turma. Isso, provavelmente, devido ao não relacionamento com conteúdo ministrado no curso e falta de interesse pela temática. Em suma, as turmas que se destacaram foram as do 9º e 1º ano. Os alunos disseram que o jogo era divertido e realmente despertava o sentido competitivo deles, e alguns demonstraram maior entendimento e estratégia ao perceberem as possíveis cartas do oponente, ao identificarem os pares ideais para ganhar o jogo no próprio baralho. Um comentário recorrente foi o fato de que eles não tinham conhecimento sobre remanufatura antes do jogo, e um aluno relatou ter aprendido a diferença entre reuso e reciclagem durante as partidas.

5.2. Verificando a experiência: questionário

Considerando as duas experiências, no total foram obtidas 52 respostas válidas dos questionários dirigidos aos jogadores, sendo 17 do ensino fundamental II e 35 do ensino médio. A Figura 4 sumariza a opinião dos alunos respondentes.

No geral, percebe-se um feedback majoritariamente positivo, entre as respostas obtidas. A maioria concordou totalmente ou parcialmente que o objetivo do jogo foi atingido (1º pergunta), foi divertido (2º pergunta), ajudou a interagir com seus colegas (3º pergunta) e a refletir sobre a problemática dos REEE (4º pergunta). Ademais, os alunos, em sua maioria, afirmaram que gostaria de aprender mais assuntos relacionados à sustentabilidade por meio de jogos.

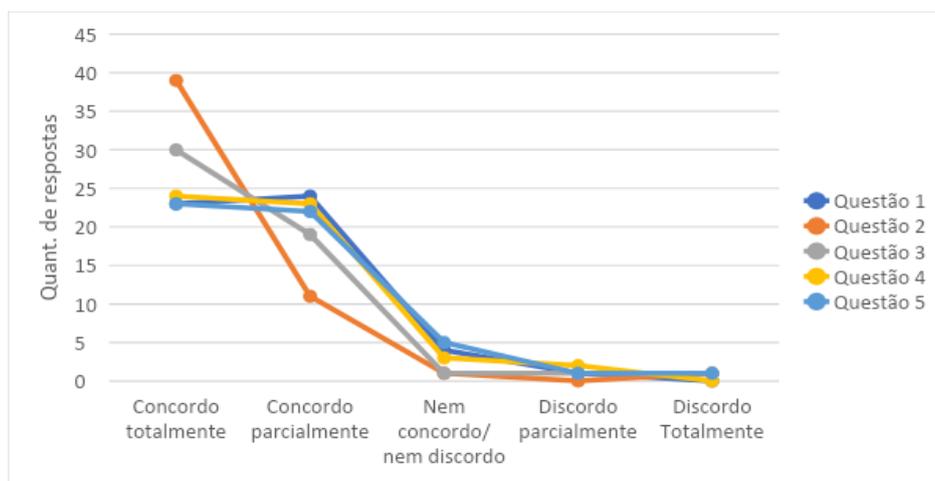


Figura 4. Respostas ao questionário

6. Conclusão

O jogo foi estruturado de maneira a integrar elementos e informações, incentivando os participantes a desenvolverem um entendimento intrínseco sobre as implicações de suas decisões no contexto da gestão de resíduos eletroeletrônicos (REEE). Após cada batalha, é presumido que haja um momento de reflexão entre os jogadores ao analisarem através de suas escolhas e observarem a natureza de cada carta do porquê ganharam ou perderam aquela partida. O jogo combina elementos de estratégia, sorte e conhecimento sobre o tema, nesse processo interativo o jogo contribui para a consolidação do aprendizado e promove uma abordagem mais reflexiva esperando que os jogadores também internalizem o conhecimento e compreensão de maneira a promover uma mudança efetiva de comportamento e atitude.

O jogo desenvolvido alcançou seu objetivo, ao passo que foi capaz de engajar os alunos de forma significativa e promover a aprendizagem. A reação positiva entre os alunos e a reflexão dos mesmos em relação ao que foi apresentado demonstram que o jogo foi capaz de contribuir para uma compreensão mais profunda e duradoura das questões relacionadas ao manejo responsável dos resíduos eletroeletrônicos.

No entanto, observou-se que o objetivo do jogo é atingido na sua plenitude quando há um prévio engajamento do aluno na temática, especialmente com o vínculo à disciplina do curso. Como futuros trabalhos, será ampliado o número de experiências para avaliar se uma explanação inicial sobre o conteúdo do jogo pode minimizar esse problema. Ademais, devido a problemas estruturais relativos à dificuldade da leitura, o jogo se mostra mais adequado para alunos a partir do 9º ano do ensino fundamental II. Futuros trabalhos, aumentando o número de experiências poderá confirmar ou não essa hipótese.

Agradecimento

Este trabalho recebeu apoio parcial da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código de Financiamento 001, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – bolsa PIBIT, Pró-Reitoria de Pesquisa (Propeq) – UFPE e Pró-Reitoria de Pós-Graduação (PROPG) - Edital nº 05/2024. Agradecimento especial aos alunos que participaram ativamente do jogo e responderam ao questionário.

Referências

- ABDI, Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (2013) “Logística reversa de equipamentos eletroeletrônicos: análise de viabilidade técnica e econômica”. https://www.comexresponde.gov.br/portalmDIC/arquivos/dwnl_1416934886.pdf
- Becker, K. (2021). What’s the difference between gamification, serious games, educational games, and game-based learning. In *Academia Letters*, 209(2).
- Brasil, Ministério do Meio Ambiente (2010) “Lei Nº12.305, de 2 de agosto de 2010: Institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos”. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm
- Boller, S. and Kapp, K. (2018), Jogar para aprender: tudo o que você precisa saber sobre o design de jogos de aprendizagem eficazes. São Paulo: DVS Editora.
- Brophy, J. E. (2013), *Motivating students to learn*. New York, NY: Routledge.
- Callahan, M. M., Echeverri, A., Ng, D., Zhao, J. and Satterfield, T. (2019) Using the Phylo Card Game to advance biodiversity conservation in an era of Pokémon. In *Palgrave Communications*, 5(1), pages 1-10.
- Cai, Y. J., Choi, T. M. and Zhang, T. (2022). Commercial used apparel collection operations in retail supply chains. In *European Journal of Operational Research*, 298(1), pages 169-181.
- Caserman, P., Hoffmann, K., Müller, P., Schaub, M., Straßburg, K., Wiemeyer, J., ... and Göbel, S. (2020). Quality criteria for serious games: serious part, game part, and balance. In *JMIR serious games*, 8(3), pages e19037.
- Conti, M. and Orcioni, S. (2020). Modeling of failure probability for reliability and component reuse of electric and electronic equipment. In *Energies*, 13(11), pages e2843.
- de Souza, R. G., Clímaco, J. C. N., Sant’Anna, A. P., Rocha, T. B., do Valle, R. D. A. B. and Quelhas, O. L. G. (2016). Sustainability assessment and prioritisation of e-waste management options in Brazil. In *Waste management*, 57, pages 46-56.
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: defining "gamification". In *Proceedings of the 15th international academic MindTrek conference: Envisioning future media environments*, pages 9-15.
- do Prado, L. L. (2018). Educação lúdica: os jogos de tabuleiro modernos como ferramenta pedagógica. In *Revista Eletrônica Ludus Scientiae*, 2(2), pages 26-38.
- Ferdig, R. E. (ed.). (2018). *Handbook of research on effective electronic gaming in education*. IGI global.
- Fontana, M. E., Nepomuceno, V. S., De Meneses, J. M., Pereira, F. F. R. and Willmersdorf, R. B. (2023). Modelo teórico para desenvolvimento de jogos sérios associado ao conteúdo curricular na educação superior em engenharia. In *Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção*.
- Hamari, J. and Koivisto, J. (2013). Social motivations to use gamification: an empirical study of gamifying exercise. In *ECIS*, 105(5), p. 18-19.

- Hungaro, T. A., Kurihara, A. C. Z. S., Pereira, A. S. and Saraiva, K. (2021). Jogos sérios e gamificação: um novo modelo para educação em saúde. In *Revista Eletrônica Acervo Saúde*, 13(9), pages e8540-e8540.
- Jacobs, R. S. (2020). “Serious games: Play for change”. In *The video game debate 2* (pp. 19-40). Routledge.
- ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU). (2024) “Sobre nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil”. <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>
- Papamichael, I., Pappas, G., Siegel, J. E. and Zorpas, A. A. (2022). Unified waste metrics: A gamified tool in next-generation strategic planning. In *Science of The Total Environment*, 833, pages e154835.
- Park, M., Jung, K. M. and Park, D. H. (2020). Warranty cost analysis for second-hand products under a two-stage repair-or-full refund policy. In *Reliability engineering & system safety*, 193, pages 106596.
- Potting, J., Hekkert, M. P., Worrell, E. and Hanemaaijer, A. (2017). “Circular economy: measuring innovation in the product chain”. Policy Report: *Planbureau voor de Leefomgeving*. <https://www.pbl.nl/uploads/default/downloads/pbl-2016-circular-economy-measuring-innovation-in-product-chains-2544.pdf>
- Ribeiro, F. D. and da Silva, J. S. (2012). Lixo eletrônico: estudo sobre a atual situação do lixo eletroeletrônico na cidade de Uruaçu. In *Revista Eletrônica de Ciências Humanas, Saúde e Tecnologia*, 1(2), pages 61-81.
- Robinson, B. H. (2009). E-waste: an assessment of global production and environmental impacts. In *Science of the total environment*, 408(2), pages 183-191.
- Roudbari, E. S., Ghomi, S. F. and Sajadieh, M. S. (2021). Reverse logistics network design for product reuse, remanufacturing, recycling and refurbishing under uncertainty. In *Journal of Manufacturing Systems*, 60, pages 473-486.
- Saha, L., Kumar, V., Tiwari, J., Rawat, S., Singh, J. and Baudhh, K. (2021). Electronic waste and their leachates impact on human health and environment: Global ecological threat and management. In *Environmental Technology & Innovation*, 24, pages e102049.
- Staller, M. S. and Koerner, S. (2021). Beyond classical definition: The non-definition of gamification. In *SN Computer Science*, 2(2), pages 88.
- Thukral, S., Shree, D. and Singhal, S. (2023). Consumer behaviour towards storage, disposal and recycling of e-waste: systematic review and future research prospects. In *Benchmarking: An International Journal*, 30(3), p. 1021-1072.
- Tsydenova, O. and Bengtsson, M. (2011). Chemical hazards associated with treatment of waste electrical and electronic equipment. In *Waste management*, 31(1), pages 45-58.
- Vieira, M. G., de Almeida Neto, A. F. and da Silva, M. G. (2014). Mechanisms of copper and mercury adsorption on bentonite clays from EXAFS spectroscopy. In *Chemical Engineering Transactions*, 39, pages 661-666.

- Wee, S. C. and Choong, W. W. (2019). Gamification: Predicting the effectiveness of variety game design elements to intrinsically motivate users' energy conservation behaviour. In *Journal of environmental management*, 233, pages 97-106.
- Winn, B. M. (2009), The design, play, and experience framework. Handbook of research on effective electronic gaming in education. IGI Global.
- WEF - World Economic Forum. (2019). “The Global Risks Report 2019”.
<https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2019>