



Metaverso para educação em desenvolvimento sustentável

Luís Antônio Licks Missel Machado¹, Teresinha Letícia da Silva¹, Liane Margarida Rockenbach Tarouco¹, Fabrício Herpich²

¹Programa de Pós-graduação em Informática na Educação - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) - Porto Alegre - RS - Brasil

²Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC – Araranguá – SC – Brasil

licksmisselmachado@gmail.com, leticiasilva.ufsm@gmail.com,
liane@penta.ufrgs.br, fabricio.herpich@ufsc.br

Abstract. *The article presents strategies and solutions for education in sustainable development and promotion of environmental awareness using the metaverse. It involves an ad hoc and thematic literature soughting information from this conceptual field to identify concepts and theorems in action for science teaching. The research supporting metaverse design decisions for use in the project Ecopila, in observation and experimentation phase, where results are approached from perspective of descriptive research. Metaverse or VR allows representing experiments that would not be possible in the classroom, providing opportunities for interaction with the ecosystem and scientific experimentation in a virtual environment.*

Resumo. *O artigo apresenta estratégias e soluções para educação em desenvolvimento sustentável com promoção da conscientização ambiental usando metaverso. Envolve revisão de literatura ad hoc e temática que buscou informações desse campo conceitual para identificar conceitos e teoremas em ação para ensino de Ciências. A pesquisa está embasando decisões de design de metaverso para uso no projeto Ecopila, em fase de observação e experimentação, onde os resultados são abordados na ótica da pesquisa descritiva. Constatou-se que o metaverso ou RV permite representar experimentos que não seriam possíveis em sala de aula, oportunizando interação com o ecossistema e experimentação científica em ambiente virtual.*

1. Introdução

Sustentabilidade é um tema bastante atual e relevante e está presente na BNCC (Base Nacional Comum Curricular) desde as competências gerais da educação básica. A décima competência geral indica “agir pessoal e coletivamente com autonomia, responsabilidade, flexibilidade, resiliência e determinação, tomando decisões com base em princípios éticos, democráticos, inclusivos, sustentáveis e solidários” (Brasil, 2018, p. 10). Também permeia as diferentes áreas e etapas da educação básica. Entendida como a capacidade de equilibrar as necessidades do presente, promovendo um uso dos recursos naturais que não comprometa as gerações futuras, a sustentabilidade, além de garantir a preservação do Planeta, é um dos pilares de condutas éticas, responsáveis e empáticas.

Na parte relativa ao ensino de Ciências a BNCC (Brasil, 2018, p. 329) estabelece que a compreensão do que seja sustentabilidade pressupõe que os alunos, além de entenderem a importância da biodiversidade para a manutenção dos ecossistemas e do equilíbrio dinâmico socioambiental, sejam capazes de avaliar hábitos de consumo que envolvam recursos naturais e artificiais e identifiquem relações dos processos atmosféricos, geológicos, celestes e sociais com as condições necessárias para a manutenção da vida no planeta.

Como elemento norteador para este tema, pode-se citar também, o que consta nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU e sua versão para o Brasil¹. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) são o plano compartilhado pelo mundo para acabar com a pobreza extrema, reduzir a desigualdade e proteger o planeta até 2030. Eles contemplam 17 objetivos relacionados na Figura 1.



Figura 1. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU

O Objetivo 12 da Agenda de Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, “Consumo e produção responsáveis” tem relação com a temática da reciclagem de lixo pois busca assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis. Um de seus sub itens propõe explicitamente reduzir substancialmente até 2030 a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso. Essa temática está sendo trabalhada em um projeto do Núcleo Socioambiental da ACI - Associação Comercial e Industrial de Montenegro e Parecí Novo, nominado Ecopila². O projeto Ecopila tem como meta conscientizar sobre a correta destinação dos resíduos, promovendo uma cultura de cuidado com o meio ambiente, e tem atuado realizando palestras e outras ações junto a crianças e adolescentes da rede de ensino. Foi estabelecida uma colaboração entre essa iniciativa e a pesquisa em desenvolvimento na UFRGS em termos de projeto de ambientes de realidade virtual (RV) voltados ao ensino e aprendizagem de Ciências, com vistas a especificar e implementar um ambiente de RV para uso na educação do desenvolvimento sustentável.

Para esse fim, constatada a motivação para promover a literacia ambiental (habilidade de tomar decisões informadas a respeito do meio ambiente visando o bem coletivo) e o engajamento em temas ambientais e a inspiração para ação conforme proposto por Freitas (2022) e Palma, Nascimento e Alves (2017), foi realizada uma primeira fase da pesquisa, de cunho bibliográfico para estabelecer apropriadamente o campo conceitual envolvido e os conceitos e teoremas em ação inerentes, conforme definido por Vergnaud (1990). Por se tratar de uma fase inicial de pesquisa não houve coleta de dados em testes na aplicação do metaverso.

O desenvolvimento sustentável é de extrema importância para garantir a qualidade de vida das gerações presentes e futuras, bem como a preservação do meio ambiente. Ele se baseia na ideia de satisfazer as necessidades atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades. Existem diversas maneiras de promover o desenvolvimento sustentável em diferentes áreas da

1 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil - <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>

2 Ecopila - <http://www.ecopila.com.br/>

sociedade, sendo a educação e conscientização uma das mais relevantes. Promover a educação ambiental e a conscientização sobre a importância do desenvolvimento sustentável é fundamental. Isso pode ser feito por meio de programas educacionais, campanhas de sensibilização, eventos e iniciativas que abordem questões ambientais e incentivem a adoção de práticas sustentáveis. Palma, Nascimento e Alves (2017) destacam a importância de uma educação pautada na sustentabilidade. Esses autores também destacam que os estudos sobre educação para a sustentabilidade, demandam uma mudança não só de conhecimento, prática e processo, mas também de paradigma envolvendo aprendizagem transformadora (Closs e Antonello, 2014), aprendizagem experiencial (Kolb, 2017), entre outras. Todavia, nem sempre existem condições para que este tipo de aprendizagem possa ser colocada ao alcance do público alvo em função de questões relacionadas com custo, temporalidade, localização e risco.

Por outro lado, o desenvolvimento tecnológico atual criou condições para a construção de ambientes simulados que reproduzem ambientes reais possibilitando uma forma de contato com os aspectos relevantes desse campo conceitual através da tecnologia de realidade virtual. Os metaversos se tornaram populares e representam atualmente uma tendência em termos de soluções para viabilizar aprendizagem ativa e experimental em situações que em condições reais teriam custo demasiadamente elevado, risco para os participantes ou para o próprio ambiente e inviabilidade temporal (fenômenos ocorrendo em períodos de tempo demasiadamente rápidos ou lentos para serem observados apropriadamente).

Em decorrência, o uso de metaverso pode ter uma importância significativa para a educação em desenvolvimento sustentável, pois oferece um ambiente virtual imersivo e interativo que pode melhorar consideravelmente a forma como as pessoas aprendem e colaboram. Dentre as vantagens e benefício do uso desse tipo de recurso na educação pode-se citar:

- **Experiências imersivas:** O metaverso permite criar ambientes virtuais que simulam situações do mundo real ou representam conceitos abstratos de forma visualmente estimulante. Um objetivo que a RV teve desde o seu início foi aumentar a autenticidade das experiências. Dado que os ambientes educacionais de RV fornecem experiências multissensoriais ricas e os interesses podem ser estimulados por contextos envolventes, a RV também pode ser usada para apoiar o desenvolvimento do interesse (Fink et al., 2023). Isso pode aumentar a capacidade de absorção e retenção de informações, tornando a aprendizagem mais envolvente e memorável. A contextualização que pode ser oferecida tem impacto na qualidade da aprendizagem. A contextualização desempenha um papel fundamental na aprendizagem, pois ela relaciona os conceitos e informações a situações reais, práticas ou significativas para os alunos. Ela busca conectar o conhecimento com a experiência e o contexto dos estudantes, tornando o aprendizado mais relevante, compreensível e aplicável.
- **Acesso global e inclusão:** O metaverso pode superar barreiras geográficas e econômicas, permitindo que estudantes de qualquer lugar acessem recursos educacionais e participem de atividades educacionais. Isso pode ampliar a oferta de educação de qualidade, especialmente para aqueles que enfrentam limitações físicas, sociais ou financeiras. A educação é um elemento fundamental para capacitar indivíduos e comunidades a entenderem e abordarem os desafios sociais, econômicos e ambientais enfrentados pelo mundo atualmente.
- **Colaboração e interação:** Os metaversos são espaços compartilhados onde os alunos podem interagir e colaborar com colegas e professores de maneiras diversas. Eles podem trabalhar juntos em projetos, realizar experimentos, participar de discussões e até mesmo simular eventos históricos.
- **Experimentação segura:** O metaverso proporciona um ambiente seguro para experimentar e cometer erros. Os alunos podem testar ideias, explorar conceitos

complexos e tomar decisões sem medo das consequências. Isso encoraja a criatividade, a curiosidade e o pensamento crítico.

- Acesso a recursos e especialistas: No metaverso, é possível acessar uma ampla gama de recursos educacionais, como bibliotecas digitais, museus virtuais, laboratórios simulados e palestras de especialistas em diferentes áreas. Isso amplia as oportunidades de aprendizagem e enriquece a experiência educacional dos alunos.

O presente artigo propõe-se a apresentar um conjunto de estratégias e soluções envolvendo metaverso para educação em desenvolvimento sustentável. Trata-se do resultado de uma pesquisa descritiva orientada pelo tema de pesquisa, conforme proposto por Gomes e Gomes (2020). O tema da pesquisa é a promoção da conscientização ambiental para o desenvolvimento sustentável usando metaverso. Envolve uma revisão de literatura *ad hoc* e temática que buscou na literatura existente as informações inerentes a este campo conceitual com vistas a identificar os conceitos e teoremas em ação, conforme proposto por Vergnaud (1990) e defendido por Moreira (2002) para o ensino de Ciências. O resultado desta pesquisa está sendo usado para embasar decisões de design de um metaverso para uso no âmbito do projeto Ecopila, cuja construção está em fase de observação e experimentação, e cujos resultados, sob a ótica de pesquisa descritiva, integram o presente artigo e servem de subsídio às suas conclusões.

2. Fundamentos teóricos

Para viabilizar o design de uma solução em termos de metaverso educacional para promover o desenvolvimento sustentável, em primeiro lugar é preciso determinar os contornos do campo conceitual envolvido. Vergnaud (*apud* Moreira, 2002) toma como premissa que o conhecimento está organizado em campos conceituais cujo domínio, por parte do sujeito, ocorre ao longo de um longo período de tempo, através de experiência, maturidade e aprendizagem (Vergnaud *apud* Moreira, 2002). Campo conceitual é, para ele, um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e, provavelmente, entrelaçados durante o processo de aquisição (Vergnaud *apud* Moreira, 2002). O campo conceitual contempla expressões conceito-em-ação e teorema-em-ação que designam os conhecimentos contidos nos esquemas e precisam ser elicitados para apoiar o projeto de uma solução seja qual for a tecnologia usada.

No campo conceitual do desenvolvimento sustentável, cabe salientar que a partir dos anos 1980, o termo deixou de ser referido como sinônimo de crescimento econômico, que passou a ser um de seus elementos (Hopwood, Mellor e O'Brien, 2005). De forma geral, é admitida a existência de três esferas que integram esse conceito de desenvolvimento sustentável: a econômica, a social e a ambiental (Moldan e Dahl, 2007).

Palma, Nascimento e Alves (2017) destacam que os estudos sobre educação para a sustentabilidade, demandam uma mudança não só de conhecimento, prática e processo, mas também de paradigma envolvendo aprendizagem transformadora (Closs e Antonello, 2014), aprendizagem experiencial (Kolb, 2017), entre outras. A aprendizagem transformadora objetiva transformações nos quadros de referência dos indivíduos, de modo consciente, por intermédio da reflexão crítica sobre pressupostos construídos de modo acrítico. A aprendizagem experiencial é considerada um processo contínuo fundamentado na reflexão que é continuamente modificada por novas experiências (reais ou virtuais). O ciclo começa quando um indivíduo se envolve em uma atividade, reflete sobre sua experiência, então deduz o significado da reflexão e, finalmente, coloca em ação a percepção recém-adquirida através de uma mudança de comportamento ou atitude. E esta é a meta a ser alcançada com a educação ambiental. Neste sentido, os indivíduos precisam desenvolver a literacia ambiental, ou seja, a

habilidade de tomar decisões informadas a respeito do meio ambiente, visando o bem coletivo.

O campo conceitual da literacia ambiental refere-se à compreensão e conhecimento necessários para entender, apreciar e agir de maneira responsável e sustentável em relação ao meio ambiente. Envolve a capacidade de compreender os princípios e conceitos básicos da ecologia, a interconexão dos sistemas naturais, os desafios ambientais enfrentados pela sociedade e as formas de promover a sustentabilidade. A literacia ambiental vai além do simples conhecimento dos fatos ecológicos e abrange a capacidade de aplicar esse conhecimento para tomar decisões informadas e participar de ações práticas que promovam a proteção do meio ambiente. Isso inclui entender as interações entre os seres humanos e o meio ambiente, bem como reconhecer as consequências de nossas ações e escolhas individuais e coletivas, capacidade de perceber e interpretar a saúde relativa dos sistemas ambientais e tomar as medidas necessárias para manter, restaurar ou melhorar a saúde desses sistemas.

Para ser considerada alfabetizada ambientalmente, uma pessoa precisa possuir quatro dimensões da literacia ambiental em vários graus (Freitas, 2022). Assim, o campo conceitual da literacia ambiental envolve as seguintes dimensões:

- **Conhecimento** - Ser alfabetizado ambientalmente requer conhecimentos em Ciências da Terra, sistemas físicos e ecológicos. Envolve a capacidade para reconhecer muitos dos termos básicos usados na comunicação sobre o ambiente e dar uma definição mesmo que simplificada dos seus significados.
- **Disposição** – Sensibilidade, atitude perante o meio ambiente, presunção da responsabilidade pessoal, autoeficácia, motivação e intenção para agir.
- **Competências** - Habilidades como identificar, analisar, avaliar, fazer julgamentos pessoais acerca dos problemas ambientais, fazer perguntas relevantes, argumentação, bem como criar e avaliar estratégias para resolver os problemas ambientais. Possuir a capacidade para usar os conhecimentos ambientais fundamentais, conceitos e aptidões mentais para formular posições de ação sobre assuntos ambientais particulares e no comportamento diário (Moreno e Mafra, 2019).
- **Comportamento ambientalmente responsável** - precisa ser do tipo inventivo, baseado em projetos práticos, que exijam a investigação de informações e criação de composições por parte dos próprios estudantes, com autonomia e protagonismo. Possui a capacidade para compreender perfeitamente assuntos ambientais; reunir e avaliar informação pertinente; examinar e escolher entre alternativas; tomar posições e ações para sustentar e desenvolver o conhecimento ambiental.

Todavia, como já salientado, nem sempre existem condições para que este tipo de aprendizagem possa ser colocada ao alcance do público alvo em função de questões relacionadas com custo, temporalidade, localização e risco. Nesse sentido, cabe investigar estratégias pedagógicas que permitam oferecer uma solução inovadora não apenas em termos da tecnologia usada, metaverso, como também em termos da arquitetura pedagógica delineada, possivelmente pautada pelas estratégias de aprendizagem transformadora e de aprendizagem experiencial.

3. O uso de metaverso na educação

O uso de metaverso para a educação pode revolucionar a forma como as pessoas aprendem e ensinam, proporcionando uma experiência educacional mais envolvente, inclusiva e personalizada em desenvolvimento sustentável. Ele abre novas possibilidades de aprendizagem e colaboração, conectando pessoas em um espaço virtual que transcende as limitações do mundo físico.

O metaverso tem sido reconhecido como uma das tecnologias com maior potencial atualmente, conforme relatório recente do Grupo Gartner (Nguyen, 2023) que aponta o impacto tecnológico do metaverso, em todas as áreas. Realidade Virtual, Realidade Aumentada, Realidade Mista e avatares usando Inteligência Artificial são indicadas neste relatório como as tecnologias que permitirão ampliar as experiências a serem vivenciadas pelos usuários. As Figuras 2a e 2b ilustram estas tecnologias.



Figura 2a. Virtual Human Interaction Lab da Universidade de Stanford

Fonte: Stanford News
<https://news.stanford.edu/2018/11/30/virtual-reality-aids-environmental-education/>



Figura 2b. IDEA Lab (Griffith University - Australia)

- Fonte: Solving problems with augmented reality -
<https://stem.griffith.edu.au/solving-problems-with-augmented-reality/>

As aplicações de um metaverso tem experimentado evolução gradual em vários setores, tais como jogos, entretenimento e negócios, possibilitando seu uso também para educação. Os mundos virtuais ou metaversos abriram novas possibilidades de inovação no processo de ensino-aprendizagem. Seu uso como ferramenta digital de apoio pedagógico tem inúmeras alternativas, algumas das quais serão analisadas neste artigo. Ao utilizar recursos do metaverso é possível simular, experimentar e explorar diferentes cenários e possibilidades, visualizar soluções propostas para promover o desenvolvimento sustentável e realizar ajustes iterativos de forma eficiente.

4. Trabalhos correlatos

A pesquisa sobre o uso de metaverso aumentou consideravelmente nos últimos 5 anos, tal como mostram dados sobre buscas no Google, que se pode obter no site Google Trends³. A produção de trabalhos relatando experiências envolvendo Realidade Virtual em atividades educacionais também aumentou e a experiência acumulada em todas as áreas aponta o crescente uso de metaversos na educação, em especial na área de ciências.

A educação em desenvolvimento sustentável pode ser especialmente favorecida pelo uso de metaverso, pelos motivos apontados anteriormente neste artigo. Alguns exemplos de resultados existentes são apresentados a seguir. A Figura 3 mostra a evolução das buscas sobre metaverso no Google.

³ Google Trends (<https://trends.google.com.br/>)



Figura 3. Gráfico de consultas sobre metaverso

Fonte : Google Trends (<https://trends.google.com.br/>)

O EcoLearn é um grupo de pesquisa educacional da Harvard Graduate School of Education que explora o uso de tecnologias imersivas avançadas para apoiar o aprendizado sobre a complexa dinâmica causal dos ecossistemas. Um dos projetos desenvolvidos é o ecoMUVE⁴, uma estratégia pedagógica que usa ambientes virtuais imersivos para ensinar alunos do ensino médio sobre ecossistemas e padrões causais. Grotzer et al. (2017) destacam que ajudar os alunos a aprender formas epistemologicamente autênticas de experimentação é um objetivo importante para a educação em ciências dos ecossistemas. A experimentação desempenha um papel crítico em ajudar os cientistas a passar da análise de padrões e tirar inferências desses padrões para a análise de causalidade. Ambientes virtuais de aprendizagem imersivos podem desempenhar um papel no aprimoramento da presença desses conceitos na sala de aula. No projeto ecoMUVE, mostrado na Figura 4 foram criadas condições para a construção de uma compreensão coerente sobre os padrões de causalidade dentro do sistema, proporcionando mecanismos para uma exploração mais profunda dos mecanismos causais.

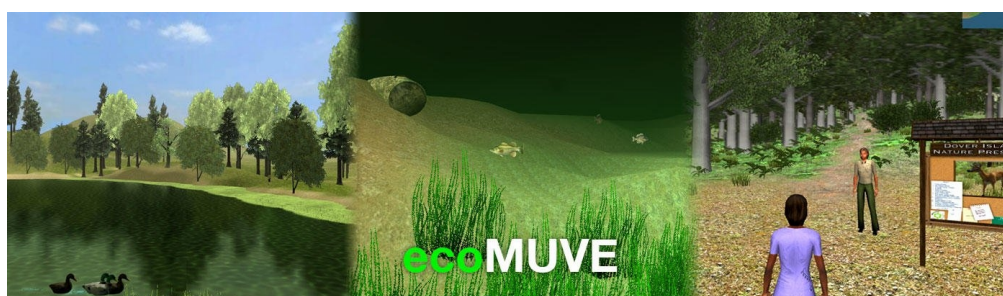


Figura 4. Projeto ecoMUVE da Universidade de Harvard

Fonte : Projeto ecoMUVE

A navegação no ambiente de Realidade Virtual desenvolvido no ecoMUVE incorpora não apenas a navegação pelo cenário mas o uso de ferramentas virtuais para realizar medições no ambiente (composição da água no lago, etc). Isso apoia o ensino de ciências proporcionando experiências de aprendizagem que se alinhem com práticas científicas autênticas e promovam o desenvolvimento da alfabetização científica que reconheça a complexidade inerente à pesquisa científica atual.

Dias et al. (2022) relatam o desenvolvimento de um jogo (Recycle Sempre), criado em um ambiente usando Realidade Virtual, visando promover a conscientização

4 ecoMUVE - <https://ecolearn.gse.harvard.edu/projects/ecomuve>

ambiental onde são apresentadas ao jogador informações relacionadas a Reciclar, Reutilizar, Repensar, Recusar e Reduzir. Na atividade o jogador tem como objetivo recolher o lixo espalhado no ambiente. O material incentiva que o jogador recicle e cuide do meio ambiente. Percebe-se que o objetivo do jogo é promover a disposição para ação, conforme definido por Freitas (2022).

Fauville et al. (2020) relatam diversos experimentos usando Realidade Virtual Imersiva (RVI) com vistas a promover a literacia ambiental. Destacam diversas razões que justificam o uso desse tipo de tecnologia tais como: as consequências da degradação ambiental serem difíceis de perceber, ocorrerem em locais distantes (temporal ou espacial) do causador, a dificuldade para experienciar o contato em primeira mão com a natureza que é essencial para desenvolver comportamento pró ambiental e ainda a dificuldade para realizar experimentos com a natureza (devido a distância, custo e risco). Destacam que, possibilitando aos usuários visualizar algo que de outro modo não seria visível, a tecnologia digital torna possível promover o engajamento com questões ambientais de forma mais específica e engajadora. A Realidade Virtual Imersiva, promovendo o sentimento de estar em um dado ambiente leva à presença social o que leva a disparar um novo comportamento social capaz de conscientizar uma nova perspectiva de compreensão sobre mudança climática promovendo a literacia ambiental em suas quatro dimensões: conhecimento, disposições, competências e comportamento ambientalmente responsável. Os trabalhos analisados no artigo de Fauville et al. (2020) averiguaram o impacto do uso de Realidade Virtual Imersiva nas três primeiras dimensões apenas. Os estudos analisados evidenciaram que a intenção de comportamento ambiental dos participantes dos experimentos de RVI foi significativamente maior do que o dos participantes que receberam material impresso e também foi maior do que o dos participantes que tiveram acesso a material baseado em vídeo.

Ronaghi (2022) descreve um amplo estudo no qual comprovou que o uso de Realidade Virtual tem maior impacto na mudança no comportamento sustentável do que quando outras estratégias/tecnologias são usadas. Ele destaca que esse resultado se deve ao fato de a RV apresentar vantagens em relação ao ensino tradicional, como redução de custos, redução de riscos, reprodutibilidade, alto controle sobre os procedimentos de treinamento e possibilidade de autoaprendizagem. A RV possibilita repetir experimentos sem depreciação de equipamento e com alta segurança. O autor destaca que o uso da tecnologia RV é compatível com modelos clássicos e comprovados de aprendizagem, como aprendizado experimental e aprendizado situacional, pois o usuário pode vivenciar diferentes situações em um ambiente virtual. O autor também categoriza a motivação para o uso da RV em fatores intrínsecos e pedagógicos. Os fatores intrínsecos incluem o aumento da diversão, e a motivação e os fatores pedagógicos incluem a aprendizagem e a participação baseadas em brincadeiras. A RV aprimora a capacidade cognitiva dos usuários e aumenta a atratividade devido a diferentes recursos visuais e de áudio.

5. Estudo de caso

Como resultado da pesquisa realizada foi estabelecido um conjunto de diretrizes norteadoras do desenvolvimento de uma solução usando metaverso para educação em desenvolvimento ambiental a ser usado no âmbito do projeto Ecopila para ampliar conscientização do público alvo sobre sustentabilidade e disposição para ações de promoção de medidas visando resguardar o meio ambiente.

Como teste piloto, foi estabelecido como meta o desenvolvimento de uma solução que apoiasse o campo conceitual da literacia ambiental no que se refere à compreensão e conhecimento necessários para entender, apreciar e agir de maneira responsável e sustentável em relação ao meio ambiente. A dimensão conhecimento da literacia ambiental, tal como proposto por Freitas (2022) foi selecionada como escopo

inicial e contempla promover a alfabetização ambiental. Isso demanda conhecimentos em Ciências da Terra, sistemas físicos e ecológicos, bem como a gestão de lixo. Envolve a capacidade para reconhecer muitos dos termos básicos usados na comunicação sobre o ambiente e dar uma definição mesmo que simplificada dos seus significados.

Adicionalmente foi agregado a promoção de um nível básico de competência, previsto na alfabetização ambiental tal como proposto por Freitas (2022). É almejado que a participação do estudante no metaverso contribua também para a sua disposição e o comportamento ambientalmente responsável tal como previsto na alfabetização ambiental.

Para nortear o desenvolvimento do metaverso foi essencial a definição e delimitação do campo conceitual, conforme definido por Vergnaud (1990). Isso levou à construção de um referencial incluindo os conceitos e os teoremas-em-ação pertinentes. Sites como Pragas e Eventos (2023) proporcionaram elementos para identificar os conceitos e teorema-em-ação. Também foram consideradas as estratégias de conscientização ambiental promovidas no âmbito do projeto Ecopila.

A partir de situações envolvendo problemas derivados da poluição ambiental pelo lixo urbano são instigadas reflexões sobre os fatores envolvidos e suas causas. Usando uma abordagem de aprendizagem baseada em problemas, foi delineada uma primeira atividade abordando problemas decorrentes de destinação incorreta dos resíduos tais como infestação por ratos. A figura 5 mostra o primeiro cenário construído.



Figura 5. Cena urbana com menina assustada por rato

A partir dessa representação inicial, uma segunda atividade foi criada dentro do ambiente virtual, visando promover o conhecimento sobre a realidade de um ambiente de gestão de lixo. Foram usadas imagens 360° para criar um cenário mais realístico e nele foram incluídos recursos multimídia interativos, bem como acessos para sistemas externos, tais como buscadores ou agentes conversacionais, tal como o Chat GPT, para que os estudantes pudessem elucidar dúvidas sobre os processos apresentados no metaverso.

Em uma cena posterior dentro do ambiente do metaverso desenvolvido, foi implementado um jogo onde o estudante precisa encaminhar para a lixeira correta os materiais que chegam às suas mãos. A medida que o jogador acerta ele recebe um *feedback* positivo, e caso erre, ele recebe uma mensagem para refletir e tentar novamente. Esse cenário é ilustrado na Figura 6.



Figura 6. Jogo de destinação correta de lixo

A plataforma de desenvolvimento usada para a criação do ambiente virtual foi o CoSpaces Edu, que é uma ferramenta de autoria de RV. A plataforma CoSpaces Edu oferece ferramentas de criação que permitem a personalização de ambientes, e os criadores podem projetar conteúdos para diferentes temas, organizados em cenas. O CoSpace pode ser acessado através do site (<https://edu.cospaces.io/Studio/Spaces>), via navegador Web em computadores pessoais, ou por aplicativo, em celulares ou *tablets*. Por sua característica interativa, também permite uma gama mais ampla de usos para o ambiente virtual desenvolvido. Seu uso pode alcançar uma participação mais popular e mais ativa nos conteúdos digitais. Adicionalmente é possível envolver os próprios estudantes/usuários na criação de novas situações ou alteração das existentes pois a ferramenta de autoria usada, Cospaces, foi desenvolvida para ser utilizada mesmo por crianças e pessoas sem formação em computação. A linguagem de programação por blocos visuais utilizada é intuitiva e pode ser aprendida pelos usuários leigos.

6. Conclusões

A pesquisa relatada neste trabalho destaca a importância da educação em desenvolvimento sustentável, delimita o campo conceitual inerente e aponta uma solução para o desenvolvimento de literacia ambiental, com ações que promovam a conscientização ambiental e a disposição para ações engajadas com a preservação ambiental, usando metaverso como recurso educacional.

Constatou-se que o uso de metaverso ou Realidade Virtual permite representar situações ou processos de experimentos ecológicos abrangentes que não seriam possíveis em sala de aula, devido a questões como curtos prazos para experimentação, custo desses recursos e acesso limitado a sistemas experimentais. Em contraste, os ambientes virtuais simulados imersivos fornecem uma oportunidade única para os alunos interagirem com os componentes do ecossistema de maneira experimental e conduzirem experimentos científicos autênticos em um ambiente virtual.

Um protótipo de uma solução utilizando metaverso para educação em desenvolvimento ambiental no contexto do projeto Ecopila foi descrito. A implementação deste protótipo serviu para testar as funcionalidades do ambiente Cospaces em termos de suas funcionalidade para permitir a criação de um ambiente usando realidade virtual, de baixo custo e com facilidade para desenvolvimento relativamente simples, embora possibilitando criar cenários com razoável grau de realismo.

Referências

Brasil. Base Nacional Comum Curricular. Brasília: MEC.
http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_si

- te.pdf. 2017.
- Closs, Lisiane Quadrado; Antonello, Claudia Simone. Teoria da aprendizagem transformadora: contribuições para uma educação gerencial voltada para a sustentabilidade. RAM. Revista de Administração Mackenzie, v. 15, p. 221-252, 2014.
- Dias, Anna Laura et al. Aplicativo Mobile em realidade virtual para educação ambiental. Environmental Science & Technology Innovation-ISSN 2965-1158, v. 1, n. 1, 2022.
- Fink, M. C., et al. "Authenticity and Interest in Virtual Reality: Findings from an Experiment Including Educational Virtual Environments Created with 3D Modeling and Photogrammetry." Frontiers in Education, vol. 8, 2023, doi:10.3389/educ.2023.969966.
- Fauville. Géraldine, Queiroz. Anna Carolina Muller. Bailenson, Jeremy N. Chapter 5 - Virtual reality as a promising tool to promote climate change awareness, In: Technology and Health. Edited by Jihyun Kim, Hayeon Song, Academic Press, 2020, Pages 91-108, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816958-2.00005-8>.
- Freitas, Fabiana Rossi da Rocha. O uso de dispositivos de realidade virtual para conexão de crianças e adolescentes com a natureza: análise de uma experiência com vídeos 360 graus em uma escola de ensino fundamental em Tese Programa de Pós-Graduação em Comunicação e Informação da UFRGS. Porto Alegre. 2022. <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/248599>.
- Grotzer, Tina A. et al. Teaching the systems aspects of epistemologically authentic experimentation in ecosystems through immersive virtual worlds. National Association for Research in Science Teaching (NARST), San Antonio, TX, 2017.
- Gomes, A. S.; Gomes, C. R. A. Classificação dos Tipos de Pesquisa em Informática na Educação. In: JAQUES, Patrícia Augustin; PIMENTEL, Mariano; SIQUEIRA, Sean; BITTENCOURT, Ig. (Org.) Metodologia de Pesquisa Científica em Informática na Educação: Concepção de Pesquisa. Porto Alegre: SBC, 2020. (Série Metodologia de Pesquisa em Informática na Educação, v. 1) Disponível em: <<https://metodologia.ceie-br.org/livro-1/>>.
- Hopwood, Bill; Mellor, Mary; O'Brien, Geoff. Sustainable development: mapping different approaches. Sustainable development, v. 13, n. 1, p. 38-52, 2005.
- Kolb, David A. Experiential learning: Experience as the source of learning and development. 2nd edition. FT press, 2014.
- Mayer, R. Multimedia learning. 3rd edition. New York: Cambridge University Press, 2021. Kindle Edition.
- Moldan, Bedrich; Dahl, Arthur Lyon. Challenges to sustainability indicators. Sustainability indicators. A scientific assessment, v. 1, p. 26, 2007.
- Moreira, Marco Antonio. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. Investigações em ensino de ciências. Porto Alegre. Vol. 7, n. 1 (jan./mar. 2002), p. 7-29, 2002.
- Moreno, Márcia; Mafra, Paulo. Literacia ambiental: Uma necessidade para uma sociedade ambientalmente ativa. EduSer, v. 11, n. 2, p. 66-76, 2019. <https://doi.org/10.34620/eduser.v11i2.133>.
- Nguyen , Tuong, Gartner Launches Metaverse Emerging Tech Impact Radar, Blog. <https://blogs.gartner.com/tuong-nguyen/2023/03/22/gartner-launches-metaverse-emerging-tech-impact-radar/>.
- Palma, Lisiane Celia; Nascimento, Luis Felipe Machado; Alves, Nilo Barcelos.

Educação Para Sustentabilidade: Bases Epistemológicas, Teorias e Exemplos na Área de Administração. 2017. Canoas, RS. IFRS - Campus Canoas, 2017. 172p.

Pragas e eventos. A relação entre os Resíduos Urbanos, as Pragas Urbanas e a Saúde Pública. Disponível em <https://www.pragaseeventos.com.br/relacao-entre-os-residuos-urbanos-as-pragas-urbanas-e-saude-publica/>.

Ronaghi, Mohammad Hossein. The effect of virtual reality technology and education on sustainable behavior: A comparative quasi-experimental study. *Interactive Technology and Smart Education*, n. ahead-of-print, 2022. <https://doi.org/10.1108/ITSE-02-2022-0025>.

Vergnaud. G.. La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10 (23): 133-170. 1990. https://www.gerard-vergnaud.org/GVergnaud_1990_Theorie-Champs-Conceptuels_Recherche-Didactique-Mathematiques-10-2-3.