

Educação Ambiental e Robótica Sustentável: A construção de robôs utilizando materiais recicláveis e resíduos eletrônicos no ensino fundamental.

Angela Maria de Souza
Secretaria Municipal de Educação
Cascavel, Brasil
angela.m.souza.br@gmail.com
0009-0001-1793-5289

André Augusto Bortoli
IFPR - Instituto Federal do Paraná
Cascavel, Brasil
andreaugustobortoli@gmail.com
0009-0008-6216-3602

Luciana Graciano
IFPR - Instituto Federal do Paraná
Cascavel, Brasil
luciana.graciano@ifpr.edu.br
0000-0003-3613-9760

Abstract—Environmental education is essential for the civic formation of children and to achieve the United Nations' Sustainable Development Goals (SDGs). This article describes the implementation of interactive educational activities in schools, aiming to introduce sustainability concepts through the construction of robots using recyclable materials. Inspired by the robot Wall-E, we suggest the creation of cardboard robotic models for 10-year-old students, promoting robotics practice and the use of recyclable materials and renewable energy sources. Complemented with updated literature and educational videos, this study highlights environmental education as fundamental for a sustainable future and the formation of citizens aware of global environmental challenges.

Keywords—recyclable Materials; Environmental Education; Robotics.

Resumo—A educação ambiental é essencial para a formação cívica das crianças e para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU. Este artigo descreve a implementação de atividades educativas interativas em escolas, visando introduzir conceitos de sustentabilidade por meio da construção de robôs com materiais recicláveis. Inspirado no robô Wall-E, sugerimos a criação de modelos robóticos de papelão para alunos de 10 anos, promovendo a prática de robótica e o uso de materiais recicláveis e fontes de energia renováveis. Complementando com literatura atualizada e vídeos educativos, este estudo destaca a educação ambiental como fundamental para um futuro sustentável e para a formação de cidadãos conscientes dos desafios ambientais globais.

Palavras-chave—materiais recicláveis; educação ambiental; Robótica.

I. INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico tem um papel fundamental na promoção da sustentabilidade, especialmente quando integrado à educação ambiental e alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, como educação de qualidade (ODS 4) e consumo e produção responsáveis (ODS

12), conforme discutido por Garlet et al. [1]. Nos últimos anos, a necessidade de práticas sustentáveis tem impulsionado educadores e pesquisadores a explorar abordagens pedagógicas que associem tecnologia e consciência ambiental [2]. A educação ambiental, amplamente reconhecida como essencial para a formação de cidadãos conscientes e preparados para os desafios do futuro [3], ganha novas possibilidades com a robótica, que proporciona aos alunos uma experiência prática e interdisciplinar [4], abordando conceitos de ciclo de vida, economia circular [5] e inovação sustentável.

Este artigo explora a robótica sustentável como metodologia educacional para minimizar o impacto ambiental e promover práticas ecológicas, como destacado por Sullivan et al. [6]. A proposta central do estudo é a construção de robôs a partir de papelão e resíduos eletrônicos, com inspiração no robô Wall-E, personagem que representa simbolicamente a reciclagem e a reutilização. Wall-E, como reciclador, é uma escolha tanto prática quanto inspiradora, ao permitir que os alunos construam um robô real utilizando materiais reutilizados. Por meio deste projeto, promove-se o aprendizado sobre o ciclo de vida dos produtos e a importância de práticas sustentáveis, ao mesmo tempo em que se desenvolvem habilidades técnicas [7].

A prática da robótica sustentável vai além do ensino sobre eficiência energética e uso de materiais recicláveis; ela também fomenta a conscientização ambiental e o desenvolvimento de competências em várias disciplinas, como apontado por Alimisis [8], como ciências, matemática e até artes, incentivando a criação de projetos interdisciplinares. No contexto escolar, a construção de robôs a partir de materiais recicláveis não só fortalece conhecimentos técnicos, mas também estimula a criatividade e o senso de responsabilidade ambiental dos estudantes [6]. Os alunos são levados a refletir sobre o im-

pacto de suas ações no meio ambiente e a buscar soluções inovadoras para problemas contemporâneos, consolidando uma mentalidade sustentável desde cedo [9]. Iniciativas como as do Instituto Federal do Pará exemplificam a integração entre robótica e responsabilidade social, segundo dados do Ministério da Educação [10]. O instituto desenvolve projetos para demonstrar o papel da robótica no cotidiano e sua relação com a educação e o meio ambiente [10]. A aplicação dessas práticas pedagógicas com materiais recicláveis fortalece nos alunos a compreensão do ciclo de vida dos materiais e os princípios de reduzir, reutilizar e reciclar [11]. A aplicação de práticas de robótica com materiais recicláveis em escolas contribui significativamente para a formação de cidadãos críticos e preparados para enfrentar desafios ambientais [2]. O uso de sucata na construção de robôs também desenvolve habilidades técnicas e criativas, como a resolução de problemas e o pensamento crítico [12]. Esta abordagem permite que os alunos entendam, de maneira tangível, as relações entre ciência, tecnologia e sustentabilidade, preparando-os para o século XXI com uma mentalidade inovadora e ecológica. Além dos benefícios diretos, a robótica sustentável promove uma cultura de inovação e responsabilidade, conforme apontado por Medeiros [13]. Ao serem incentivados a pensar de forma criativa e a utilizar materiais disponíveis de novas maneiras, os estudantes desenvolvem a habilidade de transformar desafios em oportunidades. Esta prática educacional não só amplia seus conhecimentos, mas também os prepara para serem líderes e inovadores comprometidos com a sustentabilidade. A integração dessas práticas no currículo escolar é essencial para formar uma geração ciente dos problemas ambientais e equipada com as ferramentas necessárias para propor e implementar soluções [14]. A incorporação de materiais recicláveis em projetos educacionais de robótica é uma abordagem que vai além do aprendizado técnico, desenvolvendo habilidades fundamentais, como criatividade e pensamento crítico [6]. A utilização desses materiais não só proporciona uma oportunidade para a expressão inventiva dos alunos, mas também abre espaço para discussões sobre temas relevantes de sustentabilidade e responsabilidade social [15], temas que, cada vez mais, fazem parte das preocupações educacionais no mundo contemporâneo. Em última análise, o estudo enfatiza a importância de uma abordagem educacional integrada, que combine o uso de tecnologia com práticas de sustentabilidade para formar jovens aptos a enfrentar desafios ambientais globais [3]. Esses desafios demandam, cada vez mais, soluções criativas e responsáveis que sejam economicamente viáveis e ecologicamente conscientes. A robótica sustentável, ao propor o desenvolvimento de robôs com materiais reutilizáveis, como sucata e papelão, introduz aos alunos conceitos de ciclo de vida dos materiais

e economia circular [5]. Essa prática promove o pensamento crítico, estimulando reflexões sobre o impacto ambiental do consumo e a importância de uma gestão consciente dos recursos naturais. Como proposta educacional, a robótica sustentável colabora para o desenvolvimento técnico dos alunos, conforme indicado por Kandlhofer et al. [7]. No entanto, vai além disso ao fomentar uma mentalidade voltada para a inovação responsável e a conservação ambiental. Esses projetos servem como um exemplo prático de como a robótica pode ser usada para estimular o engajamento ambiental entre os jovens, aumentando sua consciência sobre os impactos das ações humanas no planeta, como discutido por Silva et al. [2]. Este artigo, ao detalhar o projeto e os resultados observados, busca não apenas relatar uma experiência educativa, mas também inspirar outras instituições e educadores a adotarem iniciativas semelhantes. Isso reforça a importância de uma educação comprometida com um futuro mais sustentável, alinhando-se com a perspectiva de Jacobi sobre educação ambiental e cidadania [3].

II. EXPERIÊNCIA PRÁTICA

Nos últimos anos, a robótica sustentável emergiu como uma ferramenta inovadora para integrar tecnologia e educação ambiental no ensino fundamental, conforme discutido por Alimisis [8]. A prática oferece uma maneira prática de os alunos aprenderem sobre sustentabilidade e responsabilidade social. A utilização de materiais recicláveis em atividades de robótica promove a compreensão dos princípios de redução, reutilização e reciclagem [15], ao mesmo tempo que ensina conceitos básicos de robótica. O caderno de práticas Robótica com Sucata: Promovendo a Sustentabilidade, publicado pelo Ministério da Educação (MEC), detalha atividades pedagógicas que incentivam o uso de materiais reutilizáveis para criar robôs [16]. Essas atividades promovem o pensamento crítico dos alunos sobre o ciclo de vida dos produtos, inspirando uma reflexão profunda sobre o impacto ambiental do consumo excessivo. Baseando-se nessas iniciativas, o presente estudo propõe um projeto que integra robótica e sustentabilidade ao currículo de uma turma de 40 alunos do ensino fundamental, com idades entre 7 e 10 anos. As aulas, realizadas semanalmente com duração de duas horas, são estruturadas para ensinar conceitos de sustentabilidade por meio da construção de robôs inspirados no personagem Wall-E. Este personagem foi escolhido não só pela sua relevância cultural, mas também pelo simbolismo que carrega como reciclador, representando a importância da resiliência e da superação em tempos de crise ambiental. No início do projeto, os alunos são apresentados à história de Wall-E, um robô que tenta restaurar um planeta devastado pela poluição e consumo desenfreado da humanidade. Essa introdução ajuda a contextualizar a importância da preservação ambiental e sensibiliza os estudantes para os riscos associados

às mudanças climáticas e ao acúmulo de resíduos. Em seguida, os alunos discutem as causas do desastre ambiental retratado no filme, incentivando-os a imaginar cenários alternativos onde práticas sustentáveis poderiam ter evitado a catástrofe. Após essa introdução, os alunos são divididos em grupos e recebem materiais recicláveis, como papelão e resíduos eletrônicos, para recriar o robô Wall-E. Essa etapa do projeto estimula a criatividade e ensina sobre a reutilização de materiais, reforçando a importância da reciclagem e da gestão correta de resíduos. Durante a construção, os alunos aprendem sobre diferentes tipos de resíduos e como podem ser transformados em objetos úteis, promovendo uma educação ambiental prática. Ao manipular materiais como papelão e componentes eletrônicos, os alunos compreendem a importância da separação de resíduos e a possibilidade de reaproveitamento, reforçando temas frequentemente abordados de maneira teórica nas aulas de ciências. Na fase seguinte, os alunos adicionam movimento aos robôs usando componentes eletrônicos reciclados, como pequenos motores e sensores, conforme metodologia descrita por Alessandro et al. [17]. Essa etapa inclui ensinamentos básicos de robótica e eletrônica, desenvolvendo habilidades técnicas e lógicas nos estudantes [18]. A combinação de tecnologia com práticas sustentáveis demonstra como a robótica pode ser utilizada de forma ecologicamente responsável. Os alunos programam os robôs para realizar movimentos básicos, desafiando-os a pensar em maneiras criativas de aplicar esses conhecimentos na solução de problemas ambientais. Ao longo do projeto, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) são explorados por meio de atividades e discussões práticas [1], que ajudam os alunos a entenderem a importância do consumo consciente e da preservação ambiental. Essa abordagem interativa permite que os alunos relacionem os ODS com suas ações diárias, desenvolvendo um compromisso com práticas sustentáveis e uma visão ampliada sobre o impacto de suas escolhas no meio ambiente. A gestão inadequada de resíduos impacta diretamente o solo, a água e o ar, destacando a importância da reciclagem como uma prática essencial para minimizar esses efeitos, como discutido por Jacobi [3]. O projeto promove discussões colaborativas, onde os alunos analisam o impacto do desperdício e do consumo excessivo e propõem soluções criativas para problemas ambientais reais, como o manejo de resíduos eletrônicos. Essas atividades incluem debates sobre políticas ambientais e a responsabilidade compartilhada entre governos e cidadãos [15], promovendo o engajamento cívico e a conscientização ambiental. No contexto educacional, a robótica sustentável permite que os alunos desenvolvam uma série de competências essenciais para a cidadania, incluindo pensamento crítico, criatividade e habilidades de resolução de problemas, como evidenciado por Kandlhofer et al. [7]. Ao integrar

ciência, tecnologia e responsabilidade ambiental, o projeto oferece uma experiência de aprendizado interdisciplinar, que vai além dos conceitos técnicos e desperta o interesse dos alunos em atuar como agentes de mudança em suas comunidades. O processo de avaliação é contínuo e enfatiza a participação, a criatividade e a compreensão dos conceitos trabalhados. Os alunos apresentam seus projetos, compartilhando ideias e aprendizados, e participam de autoavaliações que promovem o autoconhecimento e a responsabilidade pelo próprio processo de aprendizagem. Esse formato incentiva a colaboração entre os estudantes e permite que reflitam sobre suas conquistas e desafios ao longo do projeto. Ao final, espera-se que os alunos não apenas entendam a importância da sustentabilidade e da reciclagem, mas também desenvolvam uma postura proativa em relação à preservação ambiental. O objetivo é formar cidadãos conscientes e comprometidos, capazes de aplicar os conhecimentos adquiridos em suas vidas e de influenciar positivamente suas comunidades. Com o aprendizado prático de robótica sustentável, o projeto visa capacitar os alunos para enfrentar os desafios ambientais do futuro, inspirando uma nova geração de líderes e inovadores comprometidos com a sustentabilidade. Ao combinar teoria e prática, este artigo destaca como a robótica sustentável pode enriquecer o currículo escolar e preparar os alunos para serem líderes no campo da sustentabilidade, promovendo uma educação ambiental sólida e alinhada com as necessidades globais contemporâneas.

III. METODOLOGIA

A metodologia adotada para este projeto integra conceitos de educação ambiental e robótica sustentável no currículo escolar, aplicando atividades práticas que estimulam a criatividade, o aprendizado técnico e o desenvolvimento de uma consciência ambiental, conforme descrito por Martinez et al. [19]. O projeto foi implementado em uma turma de 40 alunos do ensino fundamental, com idades entre 7 e 10 anos, e as atividades foram realizadas semanalmente em sessões de duas horas ao longo de um semestre letivo.

A. Planejamento das Aulas e Estrutura Pedagógica

As aulas foram cuidadosamente estruturadas em etapas progressivas, visando a introdução gradual e prática dos conceitos de sustentabilidade e robótica, de forma acessível e atrativa para os alunos [20]. Esse planejamento permitiu que, a cada sessão, os alunos fossem expostos a novas competências e desafios, enriquecendo seu aprendizado de maneira contínua e significativa. Cada sessão foi organizada com foco no desenvolvimento de três competências fundamentais: primeiro, a compreensão do ciclo de vida dos produtos e a importância do consumo consciente [5], destacando como as escolhas de consumo impactam o meio ambiente ao longo do tempo. Além

disso, as aulas estimularam o desenvolvimento de habilidades práticas em robótica e programação básica, aplicadas diretamente em projetos sustentáveis [12], permitindo que os alunos associassem o aprendizado técnico a questões ambientais reais. Finalmente, a estrutura das atividades incentivou a resolução de problemas de forma colaborativa e criativa [21], promovendo o trabalho em equipe, o pensamento crítico e a capacidade de inovar em soluções que utilizassem recursos de maneira responsável e sustentável.

B. Materiais e Ferramentas Utilizadas

Para a construção dos robôs de forma sustentável e acessível, foram escolhidos materiais recicláveis e componentes de baixo impacto ambiental, alinhando-se ao propósito de promover a conscientização ambiental e ensinar práticas de robótica sustentável. Entre os principais recursos, destacaram-se os materiais recicláveis, que incluíram papelão, sucata eletrônica, plásticos reaproveitados e outros itens coletados. Esses materiais foram integrados ao projeto para reforçar o aprendizado sobre reciclagem e reaproveitamento, além de incentivar o pensamento crítico dos alunos em relação ao ciclo de vida dos produtos e à importância da gestão de resíduos [15]. O uso desses itens também permitiu que os alunos experimentassem a criação de estruturas a partir de recursos reutilizáveis, conectando a teoria de sustentabilidade ao aprendizado prático. Além dos materiais recicláveis, foram utilizados componentes eletrônicos reciclados, como motores de baixa potência, sensores básicos e baterias recarregáveis, conforme descrito por Alessandro et al. [17], que possibilitaram o funcionamento dos robôs. Esses componentes forneceram uma oportunidade para ensinar sobre eficiência energética, um tema essencial em projetos de robótica sustentável, permitindo que os alunos compreendessem, de forma concreta, os benefícios de otimizar o uso de energia. Já a impressão 3D foi aplicada em peças específicas, como os encaixes das rodas e as conexões com os motores, e utilizou filamento de PLA, um material biodegradável, ainda que não reciclado. Essa técnica foi essencial para adaptar o design dos robôs às necessidades do projeto, além de introduzir os alunos ao uso de tecnologia de ponta e suas aplicações sustentáveis. Para a montagem dos robôs, foram usadas ferramentas de montagem acessíveis e seguras, incluindo tesouras, chaves de fenda e cola quente, que permitiram aos alunos manusear e montar as estruturas com precisão e segurança. Essas ferramentas foram escolhidas para garantir que o processo de construção fosse seguro e que os alunos pudessem desenvolver habilidades motoras e técnicas, reforçando o aprendizado prático e a confiança em suas habilidades manuais.

C. Tecnologias e Plataforma de Programação

Para a programação dos robôs, foi utilizado o Arduino IDE, uma plataforma acessível e de fácil compreensão, especialmente adaptada para a faixa etária dos alunos, o que permitiu que eles desenvolvessem comandos básicos e aplicassem diretamente os conceitos de lógica e automação. Ao longo das atividades, os alunos aprenderam a programar o movimento dos robôs e a integrar os motores e sensores de forma funcional, consolidando assim o entendimento prático dos princípios de eletrônica e robótica sustentável. A abordagem prática proporcionada pelo Arduino IDE possibilitou que os alunos tivessem uma introdução direta à programação e à robótica, uma prática essencial para o desenvolvimento do pensamento computacional, conforme destacado por Wing [18], permitindo que os robôs ganhassem vida de maneira envolvente e significativa.

D. Etapas do Projeto

As atividades foram cuidadosamente organizadas em etapas sequenciais, visando facilitar o aprendizado e o desenvolvimento dos robôs e abordando aspectos práticos tanto de sustentabilidade quanto de robótica. Essa divisão em etapas permitiu que os alunos assimilassem cada conceito de forma gradativa, consolidando o conhecimento à medida que avançavam na construção do robô. As principais etapas foram: Introdução e Sensibilização: O projeto começou com a apresentação do personagem Wall-E, que atuou como um facilitador para a compreensão dos conceitos de robótica sustentável, conforme discutido por Dias [22]. Essa introdução contextualizou o projeto no âmbito ambiental, abordando temas como o consumo excessivo, o acúmulo de resíduos e a importância da reciclagem. Dessa forma, os alunos foram estimulados a refletir sobre as práticas de consumo e a necessidade de adotar uma postura mais sustentável. Planejamento do Projeto e Distribuição dos Materiais: Após essa introdução reflexiva, os alunos foram organizados em grupos colaborativos e receberam os materiais necessários para a criação dos robôs, incluindo componentes eletrônicos e materiais recicláveis, como sugerido por Martinez [19]. Essa etapa foi fundamental para que cada grupo planejasse a estrutura de seu robô, promovendo a troca de ideias e o desenvolvimento de habilidades organizacionais e de trabalho em equipe. Construção da Estrutura: Com os materiais em mãos, os alunos passaram para a montagem da estrutura física dos robôs, usando predominantemente materiais recicláveis, como papelão e sucata eletrônica, enfatizando a importância do reaproveitamento conforme indicado na legislação educacional sobre sustentabilidade [15]. Esta fase permitiu que os alunos explorassem o uso criativo dos materiais e aplicassem conhecimentos adquiridos em sala sobre gestão de resíduos

e sustentabilidade. Incorporação de Eletrônica e Programação com Arduino: A etapa seguinte envolveu a integração dos componentes eletrônicos nos robôs e a programação das funções básicas com o Arduino IDE, seguindo as orientações de Alessandro et al. [17]. Os alunos aplicaram seus conhecimentos de programação para controlar movimentos e funções, transformando o robô em um projeto dinâmico. Por meio dessa experiência, aprenderam a ajustar comandos e a personalizar os movimentos, reforçando os conceitos de automação e controle eletrônico. Testes e Ajustes: Com a estrutura montada e a programação implementada, os alunos realizaram testes de funcionalidade para verificar o desempenho dos robôs. Essa etapa incluiu ajustes e melhorias baseadas no feedback dos próprios alunos e dos professores, o que tornou o processo colaborativo e prático. Este ciclo de testes e ajustes não só fortaleceu o entendimento técnico, mas também incentivou o desenvolvimento de uma mentalidade crítica e analítica. Apresentação e Reflexão: Na etapa final do projeto, os alunos apresentaram seus robôs para a turma e participaram de discussões sobre os conceitos de sustentabilidade que foram abordados ao longo do desenvolvimento. Refletiram sobre a importância da reciclagem e do consumo consciente, conforme argumentado por Ellen MacArthur Foundation [5], relacionando o aprendizado prático com questões globais de sustentabilidade. Esta fase de reflexão permitiu que os alunos consolidassem o conhecimento adquirido e considerassem como podem aplicar esses conceitos em suas vidas diárias.

IV. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A escolha dos materiais desempenhou um papel central para assegurar a sustentabilidade e o sucesso do projeto. Materiais recicláveis, como papelão e sucata eletrônica, foram priorizados com o objetivo de reduzir a geração de resíduos e minimizar o impacto ambiental, conforme indicado nas diretrizes para educação sustentável [15]. O uso desses materiais sustentáveis permitiu que os alunos refletissem sobre a importância de reutilizar e reaproveitar recursos, consolidando o aprendizado prático dos princípios de sustentabilidade. Para as peças específicas que demandavam maior precisão e durabilidade, como os encaixes das rodas e as conexões com os motores, foi utilizado o filamento de PLA na impressão 3D. Embora não reciclado, o PLA foi escolhido por ser um material biodegradável e altamente versátil, atendendo à necessidade de criação de peças personalizadas e duráveis, além de oferecer uma alternativa mais amigável ao meio ambiente. A utilização de métodos de fabricação, como a impressão 3D, também ressaltou a importância de um design modular e eficiente. Esse tipo de design permitiu que os robôs fossem facilmente adaptados e atualizados ao longo do tempo, eliminando a necessidade de descarte completo e facilitando a implementação

de melhorias específicas, como ilustrado nas Figuras ?? e ?. A modularidade do design foi particularmente útil durante a fase de testes e ajustes, pois possibilitou modificações precisas em componentes específicos dos robôs, prolongando sua vida útil. Essa abordagem modular não apenas promoveu a economia de recursos e energia, mas também incentivou os alunos a valorizar soluções duradouras e adaptáveis, refletindo os princípios da economia circular, conforme proposto pela Ellen MacArthur Foundation [5].



Fig. 1. Alunos envolvidos na construção do robô com materiais recicláveis.



Fig. 2. Alunos iniciando o processo de desmontagem de sucata eletrônica para garimpar peças reutilizáveis, aplicando na prática conceitos de reciclagem e sustentabilidade em robótica.

A. Processos de Fabricação

A utilização de impressão 3D com PLA foi essencial para a fabricação sob demanda das peças dos robôs, contribuindo de forma significativa para a minimização do desperdício de material e permitindo ajustes estruturais precisos. O filamento de PLA, além de ser biodegradável, ofereceu aos alunos uma

experiência prática de personalização de peças e design eficiente, viabilizando o uso de estruturas leves e resistentes — algo que seria difícil de alcançar com métodos de fabricação tradicionais. A impressão 3D possibilitou a exploração de configurações complexas e otimizadas, como o uso de treliças internas e geometrias orgânicas, que reforçaram a durabilidade dos robôs ao mesmo tempo em que reduziram a quantidade de material utilizado. Promovendo uma utilização mais eficiente dos recursos, a impressão 3D se mostrou decisiva para integrar princípios de sustentabilidade ao projeto, mesmo com um material não reciclado. Essa tecnologia não apenas permitiu maior liberdade de design, mas também se alinhou aos objetivos de sustentabilidade do projeto ao minimizar a necessidade de material adicional e otimizar o consumo de energia e recursos. A experiência com impressão 3D reforçou nos alunos a importância de buscar soluções técnicas que reduzam o impacto ambiental, mesmo em contextos de inovação e criação de novos produtos.

V. AVALIAÇÃO

A avaliação foi contínua e centrada na participação e no interesse demonstrado por cada aluno, conforme abordado por Torres [21]. Todos foram incentivados a contribuir com suas habilidades individuais em programação, construção ou sustentabilidade, valorizando a diversidade de conhecimentos no ambiente de aprendizado colaborativo. Ao final, cada aluno realizou uma autoavaliação, refletindo sobre o aprendizado adquirido e os desafios enfrentados ao longo do projeto. Esse processo promoveu o autoconhecimento e a responsabilidade, além de fortalecer o engajamento e a colaboração entre os alunos.

VI. RESULTADOS E IMPACTO

As atividades práticas envolvendo materiais recicláveis permitiram que os alunos aplicassem conceitos teóricos de robótica e sustentabilidade em cenários reais, ajudando-os a desenvolver habilidades práticas e técnicas, como o uso de ferramentas e o manuseio cuidadoso dos materiais. Esse aprendizado foi fortalecido por meio de discussões críticas sobre temas ambientais, incluindo os impactos negativos do consumo excessivo, conforme evidenciado no relatório do IPCC [23]. Essas discussões estimularam o pensamento analítico dos alunos, incentivando-os a explorar as causas das mudanças climáticas e refletir sobre a responsabilidade social e ambiental que temos como indivíduos e comunidade. Para fomentar o desenvolvimento de soluções inovadoras, os alunos foram organizados em grupos colaborativos, onde foram incentivados a pensar de maneira criativa e a desenvolver ideias que pudessem ser aplicadas em suas próprias comunidades. Esse ambiente de aprendizado não apenas fortaleceu suas habilidades de resolução de problemas,

mas também promoveu competências sociais essenciais, como comunicação, empatia e trabalho em equipe. Ao integrar debates teóricos com a prática da construção dos robôs, os alunos tiveram a oportunidade de visualizar, de forma tangível, como suas ações e escolhas podem gerar um impacto positivo no meio ambiente, promovendo uma nova geração de cidadãos mais conscientes e comprometidos com a sustentabilidade, como defendido por Jacobi [3].

VII. CONCLUSÃO

A integração da robótica sustentável na educação ambiental, conforme discutido no projeto "Educação Ambiental por Meio da Robótica Sustentável", representa não apenas uma inovação pedagógica, mas também uma resposta necessária e urgente aos desafios ambientais contemporâneos [8]. O uso de materiais recicláveis e resíduos eletrônicos para a construção de robôs no contexto da educação básica oferece uma oportunidade única e enriquecedora, permitindo que os estudantes desenvolvam habilidades técnicas e, ao mesmo tempo, cultivem uma consciência ambiental sólida e duradoura [6]. Por meio das atividades descritas, os alunos têm a chance de visualizar e compreender o impacto direto de suas ações no meio ambiente, internalizando a importância da reciclagem e do uso consciente dos recursos naturais, conforme enfatizado por Segura et al. [11]. Este projeto também destaca a relevância da Política Nacional de Resíduos Sólidos [15], mostrando na prática como a responsabilidade compartilhada pode ser implementada de forma educativa e eficaz. Ao aplicar conhecimentos de robótica para enfrentar problemas reais relacionados à reciclagem, o projeto ilustra como a tecnologia pode ser uma aliada poderosa na promoção de práticas sustentáveis, incentivando os alunos a pensarem em soluções que conciliem inovação e responsabilidade ambiental, conforme discutido por Eguchi [12]. Os resultados esperados vão muito além do desenvolvimento técnico dos alunos, abrangendo o fortalecimento de uma cultura de sustentabilidade entre jovens estudantes e preparando-os para se tornarem cidadãos responsáveis, proativos e comprometidos com a resolução de problemas ambientais, como argumentado por Medeiros [13]. Esse enfoque educacional não apenas responde aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente aqueles relacionados à educação de qualidade (ODS 4) e ao consumo e produção responsáveis (ODS 12) [1], mas também se configura como um modelo replicável e adaptável, que pode ser implementado em diferentes contextos educacionais. Com isso, o projeto se torna uma ferramenta valiosa para fomentar a conscientização ambiental e a inovação tecnológica sustentável em toda a sociedade, como destacado por Silva et al. [2], demonstrando que a robótica e a sustentabilidade podem, juntas, transformar o futuro educacional e ambiental de maneira significativa.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossa profunda gratidão aos alunos que participaram deste projeto, cujo entusiasmo e dedicação foram fundamentais para o seu sucesso. Você não apenas demonstraram um compromisso genuíno com a sustentabilidade, mas também inspiraram todos nós com sua criatividade e capacidade de inovação. A cada sessão, sua curiosidade e vontade de aprender nos lembraram da importância de investir nas futuras gerações como agentes de mudança. Esperamos que as lições aprendidas aqui continuem a guiar suas ações e decisões, e que vocês sigam sendo exemplos de consciência ambiental em suas comunidades. Muito obrigado por fazerem parte desta jornada em direção a um futuro mais sustentável.

REFERÊNCIAS

- [1] V. Garlet, F. V. Cezar, T. A. Beuron, L. V. Ávila, and L. R. da Rosa Gama Madruga, “Objetivos de desenvolvimento sustentável - ods,” *Journal on Innovation and Sustainability RISUS*, vol. 13, 2022.
- [2] A. P. Silva and R. P. d. Santos Junior, “Environmental education and sustainability: is an interdisciplinary integration between basic education and universities possible?” *Ciência & Educação*, vol. 25, no. 3, pp. 803–814, 2019.
- [3] P. Jacobi, “Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade,” *Cadernos de Pesquisa*, 2003.
- [4] F. B. V. Benitti, “Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review,” *Computers and Education*, vol. 58, 2012.
- [5] E. M. Foundation, “Founding partners of the ellen macarthur foundation 2013 circular economy towards the economic and business rationale for an accelerated transition,” 2013.
- [6] F. R. Sullivan, *The creative nature of robotics activity: Design and problem solving*, 2017.
- [7] M. Kandlhofer and G. Steinbauer, “Evaluating the impact of educational robotics on pupils’ technical- and social-skills and science related attitudes,” *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 75, 2016.
- [8] D. Alimisis, “Educational robotics: Open questions and new challenges,” *Themes in Science and Technology Education*, vol. 6, 2013.
- [9] M. C. S. Medeiros, M. da Conceição Marcolino Ribeiro, and C. M. de Arruda Ferreira, “Ambiental meio ambiente e educação ambiental nas escolas públicas,” *Âmbito Jurídico*, 2017.
- [10] Ministério da Educação, “Instituto desenvolve projeto de extensão sobre robótica,” <http://portal.mec.gov.br/component/tags/tag/32626-extensao>, 2024, acesso em: 19 de junho de 2024, às 15:35.
- [11] D. d. S. B. Segura, *Educação ambiental na escola pública: da curiosidade ingênua à consciência crítica*. Annablume, 2001, vol. 158.
- [12] A. Eguchi, “Educational robotics for promoting 21st century skills,” *Journal of Automation, Mobile Robotics and Intelligent Systems*, 2014.
- [13] M. C. S. Medeiros, M. d. C. M. Ribeiro, and C. M. d. A. FERREIRA, “Meio ambiente e educação ambiental nas escolas públicas,” *Âmbito Jurídico, Rio Grande, XIV*, no. 92, pp. 539–553, 2011.
- [14] R. Mendes and A. Vaz, “Environmental education within schools: revealing teachers’ experiences and perspectives,” *Educação em Revista*, vol. 25, pp. 395–411, 2009.
- [15] C. C. Brasil, “Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010,” *Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF*, vol. 3, 2010.
- [16] Ministério da Educação, “Robótica com sucata, promovendo a sustentabilidade,” <http://portal.mec.gov.br/component/tags/tag/32626-extensao>, Base Nacional Comum Curricular (BNCC), 2024, acesso em: 30 de outubro de 2024.
- [17] A. D’Ausilio, “Arduino: A low-cost multipurpose lab equipment,” *Behavior Research Methods*, vol. 44, 2012.
- [18] J. M. Wing, “Computational thinking,” *Communications of the ACM*, vol. 49, no. 3, pp. 33–35, 2006.
- [19] S. Martínez, “Invent to learn: Making, tinkering and engineering in the classroom,” in *2016 EDI*, 2016.
- [20] F. Hernández, *Transgressão e mudança na educação: os projetos de trabalho*. Artmed Editora, 2007.
- [21] P. L. Torres and L. M. M. Siqueira, “Educação virtual nas universidades: As contribuições da aprendizagem colaborativa,” *Revista Historia de la Educación Latinoamericana*, vol. 14, 2013.
- [22] G. F. Dias and S. Salgado, *Educação ambiental, princípios e práticas*. Editora Gaia, 2023.
- [23] I. P. on Climate Change (IPCC), *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, 2023.