

Fábio Lopes Brezolin

**O ENSINO DA QUALIDADE DO AR MEDIADO
PELA TECNOLOGIA IOT SOB A PERSPECTIVA
DA METACOGNIÇÃO**

Passo Fundo

2025

Fábio Lopes Brezolin

O ENSINO DA QUALIDADE DO AR MEDIADO
PELA TECNOLOGIA IOT SOB A PERSPECTIVA
DA METACOGNIÇÃO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, do Instituto de Humanidades, Ciências, Educação e Criatividade, da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção do título de doutor em Ensino de Ciências e Matemática, sob a orientação do professor Dr. Marco Antônio Sandini Trentin e coorientação da Profa. Dra. Cleci Teresinha Werner da Rosa.

Passo Fundo

2025

CIP – Catalogação na Publicação

B848e Brezolin, Fábio Lopes
O ensino da qualidade do ar mediado pela tecnologia IoT
sob a perspectiva da metacognição [recurso eletrônico] /
Fábio Lopes Brezolin. – 2025.
4 MB ; PDF.

Orientador: Prof. Dr. Marco Antônio Sandini Trentin.
Coorientadora: Profa. Dra. Cleci Teresinha Werner
da Rosa.

Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Matemática) –
Universidade de Passo Fundo, 2025.

1. Informática - Educação. 2. Educação ambiental.
3. Internet das coisas. 4. Metacognição. I. Trentin, Marco
Antônio Sandini, orientador. II. Rosa, Cleci Teresinha
Werner da, coorientadora. III. Título.

CDU: 004:37

Catalogação: Bibliotecária Juliana Langaro Silveira - CRB 10/2427

Fábio Lopes Brezolin

O ensino da qualidade do ar mediado pela tecnologia IoT sob
a perspectiva da metacognição

A banca examinadora abaixo, APROVA em 27 de março de 2025, a Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial de exigência para obtenção de grau de Doutor em Ensino de Ciências e Matemática, na linha de pesquisa Inovações pedagógicas par ao ensino de Ciências e Matemática.

Dr. Marco Antônio Sandini Trentin - Orientador
Universidade de Passo Fundo - UPF

Dra. Cleci Teresinha Werner Rosa - Coorientadora
Universidade de Passo Fundo - UPF

Dr. João Carlos Krause
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI

Dr. Márcio Aurélio Carvalho de Moraes
Instituto Federal do Piauí - IFPI

Dr. Juliano Tonezer da Silva
Universidade de Passo Fundo - UPF

Dra. Aline Locatelli
Universidade de Passo Fundo - UPF

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a todos que ajudaram e participaram nessa difícil jornada de trabalhar e estudar que enfrento todos os dias nos últimos 25 anos. Não teria sentido nenhum sem as palavras de incentivo que ouvi de amigos e colegas.

Aos professores que me encorajaram a vencer todos os desafios que apareceram pela frente e despertaram em mim o desejo de encorajar outras pessoas, uma das coisas mais valiosas que podemos ter na vida.

Aos estudantes que participaram das experiências com a Brezobomba que me inspiraram nesta pesquisa, incentivaram a buscar novos conhecimentos e me ensinaram uma nova maneira de ver o mundo por meio da Educação.

Para as mulheres da minha vida que me ensinaram
tudo, Solange, Alice e Priscila.

RESUMO

A pesquisa tomou como problemática a necessidade de promover a inserção da tecnologia nas práticas educativas, pautada na premissa de que este conhecimento constitui parte significativa do cotidiano dos estudantes, partindo da seguinte questão de pesquisa: Quais as potencialidades/oportunidades propiciadas pela tecnologia IoT para fomentar a consciência ambiental nos alunos por meio de atividades didáticas de natureza metacognitiva? Teve como objetivo analisar as contribuições de uma sequência didática mediada pela tecnologia IoT, utilizando atividades metacognitivas para despertar a consciência ambiental. Foi elaborado um produto educacional na forma de sequência didática que incluiu um dispositivo IoT, denominado “Brezobomba”, orientado a ofertar aos estudantes uma formação que promovesse a discussão do tema “qualidade do ar” mediado pela tecnologia IoT com o enfoque no ambiente escolar e em dados que refletissem a realidade do estudante. A sequência didática fundamentou-se na perspectiva teórica da metacognição, por meio das práticas em sala de aula das autoras Cleci Werner da Rosa e Michelene Chi. O local de aplicação do produto educacional foi o Colégio Estadual Eulina Braga, localizado no município de Passo Fundo (RS). A amostra de pesquisa constituiu-se de alunos do sexto ano do Ensino Fundamental, correspondendo a uma turma do turno matutino formada por 30 alunos. Em termos metodológicos, a investigação classificou-se como qualitativa e os instrumentos de produção de dados foram o diário de bordo e a ficha de observação registrada durante a aplicação da sequência didática em sala de aula. Para a análise dos dados coletados, buscou-se dialogar com o anunciado por Bardin (2011), sendo produzidas três categorias de análise: 1) Tecnologia na Sala de Aula; 2) Os conhecimentos sob o ponto de vista da Educação da Educação Ambiental e a Consciência ambiental; e 3) Interação entre os alunos experts e novatos, a influência no grupo e a construção de novos conhecimentos. A mediação das aulas pela tecnologia IoT apresentou potencialidades educacionais voltadas à realidade do aluno, sobretudo no que diz respeito à explicitação de momentos de evocação do pensamento metacognitivo individual de *expert* do aluno, observado pelo professor e orientou o aprender em sala de aula por meio das experiências da turma, oportunizando que os alunos respondessem de forma mais sofisticada e profunda na direção da complexidade de hipóteses para compreensão das questões de seu cotidiano relativas ao desenvolvimento da consciência ambiental. Concluiu-se que a constituição de um produto educacional, com estratégias pedagógicas voltadas para a sala de aula, que possibilitem contextualizar um tema plural, como qualidade do ar, articulando os diversos conhecimentos na perspectiva da metacognição, produziu um modo mais sofisticado de aprendizagem, em que o aluno tem ampliado seu poder de decisão no que se refere ao próprio aprendizado e ao desenvolvimento da consciência ambiental enquanto núcleo da Educação Ambiental, com a tecnologia mediando e potencializando metodologicamente o processo pedagógico. Esse material está disponível no site do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade de Passo Fundo e no site Educapes <http://educapes.capes.gov.br/handle/capes/972793>.

Palavras-chave: tecnologia; metacognição; IoT - internet das coisas; educação ambiental.

ABSTRACT

The research took as a problem the need to promote the insertion of technology in educational practices, based on the premise that this knowledge constitutes a significant part of students' daily lives, starting from the following research question: What are the potentialities/opportunities provided by IoT technology to foster environmental awareness in students through didactic activities of metacognitive nature? The objective was to analyze the contributions of a teaching sequence mediated by IoT technology, using metacognitive activities to raise environmental awareness. An educational product was developed in the form of a didactic sequence that included an IoT device, called “Brezobomba”, aimed at offering to the students a formation that would promote the discussion of the topic “air quality” mediated by IoT technology with a focus on the school environment and data that reflected the student's reality. The didactic sequence was based on the theoretical perspective of metacognition, through the classroom practices of authors Cleci Werner da Rosa and Michelene Chi. The educational product was applied at Colégio Estadual Eulina Braga, located in the city of Passo Fundo (RS). The research sample consisted of sixth-grade elementary school students, corresponding to a morning class of 30 students. In methodological terms, the research was classified as qualitative and the data production instruments were the logbook and the observation sheet recorded during the application of the didactic sequence in the classroom. To analyze the collected data, content analysis was sought, and three categories of analysis were subsequently produced: 1) Technology in the Classroom; 2) Knowledge from the point of view of Environmental Education and Environmental Awareness; and 3) Interaction between expert and novice students, the influence in the group and the construction of new knowledge. The mediation of classes through IoT technology presented educational potential focused on the student's reality, especially with regard to the explanation of moments of evocation of the student's individual expert metacognitive thinking, observed by the teacher and guided learning in the classroom through the class's experiences, enabling students to respond in a more sophisticated and profound way towards the complexity of hypotheses to understand the issues of their daily lives related to the development of environmental awareness. It was concluded that the creation of an educational product, with pedagogical strategies turned at the classroom, which make it possible to contextualize a plural theme, such as air quality, articulating the diverse knowledge from the perspective of metacognition, produced a more sophisticated way of learning, in which the student has expanded his decision-making power with regard to his own learning and the development of environmental awareness as the core of Environmental Education, with technology mediating and methodologically enhancing the pedagogical process. This material is available on the website of the Postgraduate Program in Science and Mathematics Teaching at the University of Passo Fundo and on the Educapes website <http://educapes.capes.gov.br/handle/capes/972793>.

Keywords: technology; metacognition; IoT - internet of things; environmental education.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Relação de Teses e Dissertações revisadas	48
Quadro 2 - Relação dos produtos educacionais revisados.....	50
Quadro 3 - Lista de componentes da Brezobomba.....	62
Quadro 4 - Cronograma de aplicação	87
Quadro 5 - Questionário Metacognitivo (1)	102
Quadro 6 - Questionário Metacognitivo (2)	104
Quadro 7 - Questionário Metacognitivo (3)	105
Quadro 8 - Quadro metodológico.....	108
Quadro 9 - Ficha de observação	110
Quadro 10 - Manifestação 1 do Aluno (B) sobre a Brezobomba	115

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes e elementos metacognitivos	26
Figura 2 - Problema #5 - Exemplo de Problema de Física.....	34
Figura 3 - Changes in the shared representation due to colaboration.....	36
Figura 4 - Fluxo de sangue desenhado por um estudante.....	37
Figura 5 - Arquitetura básica de dispositivo IoT.....	46
Figura 6 - Protótipo da Brezobomba	58
Figura 7 - Brezobomba com monitor	58
Figura 8 - Brezobomba Amarela	59
Figura 9 - Brezobomba frente.....	59
Figura 10 - Terceiro protótipo: Modelo 3D.....	60
Figura 11 - Modelo 3D ativo	60
Figura 12 - Primeiro protótipo para a placa da Brezobomba	61
Figura 13 - Impressão do primeiro protótipo.....	61
Figura 14 - Botão de conexão - internet	61
Figura 15 - Questionário inicial.....	63
Figura 16 - Questionário dos Alunos.....	63
Figura 17 - Questionário adaptado	64
Figura 18 - Segunda adaptação do questionário	65
Figura 19 - Exemplo de desenho livre.....	66
Figura 20 - Exemplo desenho livre com detalhes	66
Figura 21 - Exemplo de história desenvolvida pelo aluno	66
Figura 22 - Desenho livre - Esgoto.....	68
Figura 23 - Desenho livre - Poluição gerada por carros	68
Figura 24 - Desenho livre - Tartaruga	68
Figura 25 - Desenho livre - Bicicleta.....	68
Figura 26 - Robô conhecimentos prévios	70
Figura 27 - Robô funcionamento.....	71
Figura 28 - Desenho livre - Chaminé	73
Figura 29 - Desenho livre - Escola	73
Figura 30 - Desenho livre - Escola Chaminé.....	74
Figura 31 - Desenho livre - Escola Animais.....	75
Figura 32 - Registro dos dados	77

Figura 33 - Primeiro contato com o dispositivo	78
Figura 34 - Discussões sobre como funciona	78
Figura 35 - Discussões sobre a experiência.....	78
Figura 36 - Registro dos dados	78
Figura 37 - Produto educacional elaborado para a Tese.....	82
Figura 38 - Organização dos encontros	83
Figura 39 - Vista aérea da cidade de Passo Fundo	87
Figura 40 - Escola Eulina Braga.....	88
Figura 41 - Pátio da Escola.....	89
Figura 42 - Pátio da Escola - vista interna.....	89
Figura 43 - Sala de aula	90
Figura 44 - Exemplo de notícia (queimadas).....	93
Figura 45 - Atividade de desenho.....	93
Figura 46 - Reação aluno.....	96
Figura 47 - Reação da turma.....	96
Figura 48 - Atividade na internet.....	98
Figura 49 - Testes Plataforma.....	99
Figura 50 - Alunos investigando na internet	99
Figura 51 - Brezobombas em ação	100
Figura 52 - Desenho telejornal	101
Figura 53 - Desenho usina de reciclagem.....	118
Figura 54 - Dados Brezobomba Goiás	120
Figura 55 - Escola Jandaia Goiás	121
Figura 56 - Rua movimentada na frente da escola	122
Figura 57 - Desenho Árvores	124
Figura 58 - Atividade no Grupo A	125
Figura 59 - Cartaz Grupo A: “A Natureza”	126
Figura 60 - Cartaz Aluno (B).....	127
Figura 61 - I. Atividade no Grupo B	128
Figura 62 - II. Atividade no Grupo B	129
Figura 63 - Cartaz Grupo B	129
Figura 64 - Cartaz Grupo C: “A Usina”	130
Figura 65 - Cartaz Grupo D: “Sem Título”	131
Figura 66 - Cartaz Grupo D: “A Poluição”	132

Figura 67 - Cenário tecnologia IoT em sala de aula sem estratégias metacognitivas	133
Figura 68 - Cenário tecnologia IoT em sala de aula com estratégias metacognitivas.....	134
Figura 69 - Cenários lado a lado.....	135

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CO ₂	Dióxido de carbono
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior
EA	Educação Ambiental
IoT	<i>Internet do Things</i> ou Internet das Coisas
UEM	Universidade Estadual de Maringá
UFAC	Universidade Federal do Acre
UFF	Universidade Federal Fluminense
UFMG	Universidade de Minas Gerais
UFMT	Universidade Federal do Mato Grosso
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
UNB	Universidade de Brasília
UNESP	Universidade Estadual Paulista
UNICENTRO	Universidade Estadual do Centro Oeste

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1	A perspectiva cognitivista da aprendizagem.....	22
2.2	Metacognição	24
2.2.1	<i>Pessoa, tarefa e estratégia</i>	26
2.2.2	<i>Planificação, monitoramento e avaliação.....</i>	27
2.2.3	<i>Estratégias de aprendizado com foco na metacognição.....</i>	28
2.3	Alunos <i>experts</i> e novatos na visão de Michelene Chi.....	32
2.4	Educação Ambiental no Brasil.....	38
2.4.1	<i>Educação ambiental na formação da consciência ambiental do aluno.....</i>	41
2.5	Educação e a Internet das Coisas - IoT	43
2.6	Revisão de Estudos	48
3	PRODUTO EDUCACIONAL.....	54
3.1	Entendimento de produto Educacional.....	54
3.2	Origem do produto educacional - a Brezobomba.....	56
3.3	Relato dos estudos iniciais	62
3.3.1	<i>O primeiro estudo: a mediação pela tecnologia</i>	67
3.3.2	<i>O segundo estudo: avaliando o perfil metacognitivo pelo desenho inicial</i>	69
3.3.3	<i>O terceiro estudo: a sequência didática.....</i>	71
4	RELATO DA APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL.....	80
4.1	Aplicação da sequência didática: relato dos encontros.....	86
4.1.1	<i>Cronograma de aplicação da sequência didática.....</i>	86
4.1.2	<i>Contexto de aplicação da sequência didática.....</i>	87
4.1.3	<i>Participantes do estudo.....</i>	90
4.1.4	<i>Descrição dos encontros</i>	91
4.1.4.1	<i>O primeiro encontro - Organizando as ideias.....</i>	91
4.1.4.2	<i>O segundo encontro - Articulando conhecimentos e a tecnologia</i>	94
4.1.4.3	<i>O terceiro encontro - Conectado com os Alunos</i>	96
4.1.4.4	<i>O quarto encontro - Os exploradores</i>	99
4.1.4.5	<i>O quinto encontro - Avaliação da aprendizagem</i>	105
5	PESQUISA	107
5.1	Características da pesquisa	107

5.2	Instrumentos de coleta de dados	108
5.2.1	<i>Ficha de observação</i>	<i>109</i>
5.2.2	<i>Diário de bordo (aula ou classe)</i>	<i>110</i>
5.3	Cuidados éticos	111
5.4	Análise dos dados.....	111
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	113
6.1	<i>Categoria Tecnologia na sala de aula.....</i>	113
6.2	<i>Categoria Os conhecimentos sob o ponto de vista da Educação Ambiental e a Consciência ambiental</i>	117
6.3	<i>Categoria Interação entre os alunos experts e novatos, a influência no grupo e a construção de novos conhecimentos</i>	123
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	136
	REFERÊNCIAS	142
	APÊNDICE A - O que vamos discutir?.....	157
	APÊNDICE B - Animação roteiro com instruções.....	164
	APÊNDICE C - Como construir seu aparelho	165
	APÊNDICE D - Testes de montagem	166
	APÊNDICE E - Ficha de observação.....	168
	ANEXO A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE	169
	ANEXO B - Carta de autorização da Escola	170
	ANEXO C - Termo de Assentimento Livre e Esclarecido – TALE	171

1 INTRODUÇÃO

Minha¹ trajetória acadêmica teve início na graduação em Análise e Desenvolvimento de Sistemas e na observação sobre a minha própria dificuldade em aprender disciplinas complexas de tecnologia, que exigiu desenvolver estratégias de aprendizado gradualmente mais elaboradas, experiência que despertou meu interesse sobre como integrar tecnologias à prática de sala de aula.

Buscando uma maior qualificação profissional, realizei três especializações em Gestão de Negócios, Controladoria, e por fim, Finanças. Caminho que me levou ao curso de Mestrado em Computação Aplicada na Universidade de Passo Fundo e a participação nos projetos de pesquisa: “Grupo de Estudo de Ciências Exatas, da Terra e Engenharia Aplicada ao Ensino” e “Robótica Educacional Livre”, assim como no projeto de desenvolvimento “Artefatos Tecnológicos na Educação Básica” do grupo de pesquisa LATACI.

Atualmente sou Analista de tecnologia no Banco do Brasil, lugar em que sou responsável por estudar tendências em tecnologia. Aplico na prática profissional os processos metacognitivos de planificar, monitorar e avaliar meu aprendizado, contexto que me fez observar, de forma detalhada, a potencialidade de promover discussões para resolução de problemas orientada por perfis de comportamento metacognitivo de *expert*, indicando que o grupo tende a produzir respostas mais adequadas e efetivas a problemas quando o debate é desenvolvido sob a perspectiva de bons solucionadores de problemas.

Estas percepções oportunizaram um diálogo entre a minha atividade profissional e a área de Educação, assim como uma discussão teórica mais profunda, que agora, no doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade de Passo Fundo, orienta minha investigação quanto às potencialidades da tecnologia como mediadora do aprendizado pela perspectiva da metacognição.

A tecnologia tem um papel relevante na vida dos estudantes em um mundo cada vez mais conectado. Promoveu novas formas de leitura, escrita, interação e comunicação, gerando profundas mudanças, em diversas áreas do conhecimento e, em especial, no ambiente escolar e na forma de entender e conduzir a aprendizagem, potencializando novas estratégias didáticas bem como novas formas de conduzir o processo de ensino. Pensadores como Lévy (1993) e

¹ Nesse capítulo introdutório, em parte, definiu-se em usar a 1ª pessoa do singular em todas as narrativas que apresentassem a vivência deste autor-pesquisador (assim será nomeado o autor desta tese). O discurso apresentado nos demais capítulos foram escritos na 3ª pessoa do singular.

Castells (2007), referem-se à tecnologia como fonte de um ambiente único no processo de mediação e na constituição do pensamento dos sujeitos.

Entre as mudanças de comportamento que a tecnologia difundiu, a atuação em comunidade e a possibilidade de coletivizar inquietações individuais, particularmente a questão ambiental, mereceu especial atenção. Inicialmente abordada como um tema restrito à área científica, pelos caminhos digitais, foi rapidamente se tornando uma inquietação das redes sociais.

Entretanto, na prática de sala de aula, não se percebe a adaptação da Educação Ambiental (EA) aos cenários de novas tecnologias, situação que é evidenciada pela escassez de pesquisas e dificuldade de adaptação aos conteúdos que permanecem, na maioria das vezes, restritos ao uso do livro didático, desconsiderando as potencialidades de utilizar os recursos da internet como imagens, sons e animações e o potencial de motivar alunos e professores, transformando a sala de aula em espaços dinâmicos, motivadores e atrativos.

O presente estudo teve sua gênese no trabalho de conclusão do curso de graduação em Análise de Sistemas, em 2009, do autor desta tese, que apresentava o potencial da tecnologia como provocadora do processo de aprendizagem. Os resultados preliminares apontaram para estudantes que, apresentados a novos temas, demonstravam maior interesse pelos conteúdos mediados pela tecnologia, gerando maior participação e sugerindo a potencialidade da aplicação da experiência em novas hipóteses e cenários.

Aliando o uso da tecnologia na EA, em 2017, o mesmo autor concluiu um mestrado em Computação Aplicada, no qual projetou e desenvolveu um dispositivo IoT -Internet das Coisas - para monitoramento de variáveis ambientais. Esse artefato digital era capaz de capturar dados de análise do ar, e foi a partir dessa experiência que surgiu a possibilidade de encaminhar o protótipo para a escola como possibilidade concreta de interesse, participação e engajamento de alunos e professores em torno de um projeto pedagógico.

Buscava-se, então, conhecimentos teóricos sobre a Educação, oportunidade que aconteceu para o pesquisador em 2019, no Programa de Pós-Graduação em Ciências e Matemática. Esta oportunidade contemplava o diálogo entre o uso da tecnologia IoT e a educação no contexto escolar. Em especial, no objetivo geral do programa, que oportuniza a realização de pesquisa, associada a práticas de intervenção pedagógica e na forma que o programa intervém na sociedade, atuando na melhoria do ensino e da aprendizagem na prática de sala de aula.

O novo olhar, no viés de ensino e pesquisa, constituiu um processo de ensino-aprendizagem alicerçado na valorização dos conhecimentos e das experiências trazidas pelos

alunos como determinantes para a aquisição de um novo conhecimento. Esse intenso processo percebia os alunos mais conscientes na aquisição dos conhecimentos e capazes de regular, avaliar e propor ações didáticas orientadas por estratégias metacognitivas.

Somado a isso, o ensino mediado pela tecnologia IoT incluía a compreensão do funcionamento do artefato bem como o conjunto de atividades com vistas na aquisição do conhecimento específico, que no caso era a qualidade do ar. A autonomia do aluno construída ao longo do processo possibilitou a ele que estabelecesse consigo um diálogo permanente, refletindo sobre o processo e resolvendo os problemas que surgiram no percurso do processo. Desta forma, o professor como mediador do processo educacional e o aluno desempenham papéis ativos no processo de aprendizagem e são responsáveis por ele.

A temática da presente tese decorreu da prática, através da observação do cotidiano de trabalho em tecnologia e da percepção de que os inúmeros avanços tecnológicos modificaram profundamente a forma de o ser humano se relacionar no mundo. Todavia, é possível perceber uma grande contradição: o conhecimento sobre tecnologia não consegue adentrar na sala de aula.

As inesgotáveis fontes de informação da internet, são temas intransponíveis para a realidade limitada de sala de aula, em que o conhecimento tecnológico está distante de professores e alunos. Evidencia-se um grande paradoxo: de um lado, o aluno, que deseja ter acesso ao conhecimento gerado pela inovação tecnológica e, de outro, a escola, que apresenta recursos completamente inadequados para este tipo de aprendizado que, mais complexo, exige maior número de recursos e dedicação de professores, já sobrecarregados com as atividades tradicionais.

Considerando o papel importante dos recursos didáticos como forma de intervenção e efetivando o papel de professor e aluno e suas relações, alinha-se a essa perspectiva, a Base Nacional Comum Curricular (Brasil, 2017, p. 9), promulgada no Brasil em 2017, que prevê o uso das tecnologias digitais na educação:

Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva (Brasil, 2017, p. 9).

Com base nestes entendimentos, no interesse crescente dos estudantes pelo tema ambiental e visando criar uma prática de educação que integrasse o uso de tecnologia de fácil acesso, baixo custo e complexidade, à realidade escolar foi iniciado um projeto de educação

fundamentado na Lei Federal nº 9.795, de 27 de abril de 1999, em seu artigo 2º que afirma: “A Educação Ambiental é um componente essencial e permanente da educação nacional, devendo estar presente, de forma articulada, em todos os níveis e modalidades do processo educativo, em caráter formal e não formal” (Brasil, 1999).

O sentido da EA é instruir pessoas com preocupações ambientais com objetivo de promover a conservação e preservação (Hardin, 1968), aspectos que se distanciam do uso comum de tecnologia, a qual orienta para um pensamento simples de busca de funcionalidade e de execução de tarefas, que “desconectam” o seu uso para a solução de problemas da realidade do estudante.

Neste sentido, observou-se a oportunidade de desenvolver práticas educativas oportunizadas pelo uso da metacognição (Flavell; Friedrichs; Hoyt, 1970) em que a observação de um pensamento mais reflexivo, com foco na solução de problemas, permitiria orientar o aluno para a construção de relações entre os seus conhecimentos e o ambiente. Esta proposta de estudo se nasceu da profunda inquietação nas aulas de EA sobre a qualidade do ar que, pela complexidade, recebiam desprezo da academia na construção de materiais didáticos especializados, fato que se confirmou durante essa pesquisa pela quase inexistência de recursos didáticos.

Esse desafio de trabalhar sem estratégias que orientem o aluno a pensar sobre sua realidade apresenta-se na sala de aula pelo uso de respostas extremamente genéricas e descontextualizadas sobre a qualidade do ar. Em especial, foi a observação da vinculação exagerada de poluição à existência de fumaça, que distancia o aluno da vida real, tornando o estudante um mero espectador da realidade, vislumbrou-se a oportunidade de analisar alternativas a este cenário de ausência de soluções tecnológicas para o ensino do ar, considerando que os avanços da tecnologia devem orientar o caminho do estudante para a apropriação crítica desses novos meios (Kenski, 2018).

Cotejando os conceitos do pensamento metacognitivo e as atividades práticas com artefatos IoT, notou-se a predominância de dois perfis de alunos: em um primeiro grupo, encontram-se os alunos que apresentam respostas rápidas às questões contextualizadas - ou os que possuem relação com a sua experiência pessoal. O segundo grupo procura iniciar imediatamente o domínio da tecnologia, geralmente produzindo respostas mais demoradas e com maior complexidade.

Surgia aí uma necessidade: desenvolver uma sequência didática para contemplar o conteúdo ambiental mediado pela tecnologia IoT no sentido de aliar conhecimentos e possibilitar novas estratégias de aprendizagem, constituindo-se, assim, um produto educacional.

Destarte, surgiu a possibilidade de intervenções didáticas focadas no desenvolvimento de um pensamento mais reflexivo e vinculadas aos processos metacognitivos.

O desenvolvimento da sequência didática por meio de um produto educacional fundamentado pelas teorias da metacognição apontou como potencial a sua utilização em diferentes disciplinas, em especial as disciplinas da área de Ciências Exatas, em que as respostas a problemas são norteadoras das práticas de sala de aula.

Em temas transversais, como educação, tecnologia e EA, a complexidade inerente às múltiplas interações entre essas áreas exige uma abordagem objetiva e bem delimitada. Dada a amplitude de tais temas, é fundamental simplificar a pesquisa, priorizando aspectos essenciais e focando em recortes específicos que permitam uma análise aprofundada dentro dos limites metodológicos e temporais da tese. Essa simplificação não significa reduzir a relevância do estudo, mas sim garantir que a investigação seja viável, coerente e capaz de gerar contribuições concretas para o campo acadêmico e prático.

Neste sentido, acreditou-se na necessidade de adequar a intenção da tese aos objetivos estabelecidos no regimento do PPGECM, conforme citado no Art. 2º, que trata das práticas de intervenção pedagógica alinhadas ao desenvolvimento de produtos educacionais para a melhoria do ensino e da aprendizagem, que possui um caráter prático. Por essa razão, a fundamentação teórica foi apresentada de forma objetiva, sem se estender além do necessário.

Destaca-se que a abordagem prática do produto educacional e sua profunda relação com a prática de sala de aula diferenciaram a estrutura de apresentação dos elementos da tese, privilegiando a visão sobre a construção do produto e os relatos dos encontros que forneceram subsídios para a especialização dos instrumentos de coleta de dados e da metodologia que foi aplicada.

Essa caracterização da pesquisa teve como objetivo facilitar a apropriação -também por pesquisadores de outras áreas do conhecimento, como engenheiros ou analistas de sistemas, que notoriamente demonstram interesse em ensinar -de princípios transdisciplinares que possam beneficiar seus projetos. Em especial, buscou incentivar pesquisadores que tenham interesse em integrar seus conhecimentos à educação.

Por outro lado, a pesquisa possuiu limitações ao exigir do professor um olhar apurado e presente sobre o comportamento do aluno, o qual implica a participação da turma e o interesse em discutir hipóteses. Apontou também a necessidade de esforço do professor, estrutura física, quantidade de alunos adequada para a prática do estudo. No caso prático, a oportunidade de compartilhar os dados web do produto educacional em duas turmas de forma remota para

promover discussões não se mostrou viável pela impossibilidade de promover debates à distância.

Dentre os diversos pontos de vista da metacognição, a pesquisa de Rosa (2011) envolvendo atividades experimentais de Física tem especial influência, pela identificação entre os perfis *novato* e *expert*, que foram relevantes para os primeiros ensaios e para o desenvolvimento dos estudos e das atividades experimentais realizadas. A perspectiva da metacognição aproximou-se pelo viés da aprendizagem - pela tomada de consciência do aluno sobre seus próprios conhecimentos e a conseqüente capacidade de regular suas ações, e pelo viés da Educação Ambiental - enquanto processo pedagógico e inerente à Educação Básica.

No entanto, a EA desempenha um papel essencial na formação de uma consciência crítica e responsável em relação ao meio ambiente. Ao abordar temas como a qualidade do ar, os estudantes desenvolvem uma percepção mais ampla dos impactos ambientais gerados pelas atividades humanas e da importância de adotar práticas sustentáveis. Integrar a EA ao contexto escolar pode promover a conscientização sobre questões ambientais urgentes, como a poluição do ar e seus efeitos na saúde e no clima.

Além disso, a utilização de tecnologias para monitoramento da qualidade do ar pode tornar o aprendizado mais dinâmico e próximo da realidade dos alunos, despertando maior interesse e engajamento. Dessa forma, superar a resistência à interdisciplinaridade e ao uso da tecnologia na educação é essencial para formar cidadãos mais conscientes e preparados para os desafios ambientais do presente e do futuro.

Para a avaliação do processo da metacognição foi utilizada a observação do comportamento do aluno, em que este, gradativamente, deve demonstrar sua capacidade de compreender seu aprendizado. Por exemplo, nas atividades, o aluno deve ter cada vez mais capacidade de resolver problemas com menor necessidade de orientação do professor. Para a avaliação do aprendizado, foram consideradas e analisadas as falas dos alunos, o envolvimento na execução dos trabalhos individuais ou em grupo e a resolução dos exercícios dados e contidos no produto educacional inicial aplicado.

Os estudos teóricos embasaram a apresentação de uma sequência didática permeada pela tecnologia IoT, que permitia ao aluno acessar seu conhecimento prévio em outras áreas do saber com os objetivos de: a) criar condições de o estudante articular o novo conhecimento, b) desenvolver seu potencial de habilidades e suas aptidões para ações testadas na prática. Esse processo de ensino-aprendizagem parte da definição de objetivos e de estratégias e da definição de etapas testadas e avaliadas de forma permanente por alunos e professores.

Diante do exposto, a questão principal da presente tese foi: Quais são as potencialidades/oportunidades propiciadas pela tecnologia IoT para fomentar a consciência ambiental nos alunos por meio de atividades didáticas de natureza metacognitiva?

O objetivo geral da pesquisa foi analisar as contribuições de uma sequência didática mediada pela tecnologia IoT, utilizando atividades metacognitivas para despertar a consciência ambiental. Os objetivos específicos foram:

- Analisar o uso da tecnologia IoT para mediação do aprendizado em sala de aula e sua potencialidade para estimular os estudantes na formulação e discussão de hipóteses mais complexas;
- Elaborar e avaliar um produto educacional na forma de uma sequência didática apoiada pela tecnologia IoT, que permitisse ao estudante desenvolver consciência ambiental na perspectiva da sua realidade;
- Avaliar as contribuições da sequência didática para o fomento do ensino de ciências e sua aplicabilidade didática, considerando o uso de tecnologia à luz da metacognição;
- Criar um recurso educativo em forma de material de suporte docente, focado em Educação Ambiental e empregando artefato IoT.

O produto educacional elaborado e aplicado trata-se de um material de apoio construído no formato de um documento de apoio para utilização de um artefato IoT sofisticado, capaz de capturar dados relativos à qualidade do ar e vinculá-los a uma plataforma WEB. O dispositivo foi desenvolvido durante mais de 10 anos com objetivo específico de ser intuitivo para estudantes do Ensino Fundamental.. Entre as atividades estudadas foi proposta a discussão da realidade da sala de aula e uma gradativa alteração de percepção do tema quanto à discussão da aplicação do artefato IoT em outras escolas.

Em termos metodológicos, na tese, optou-se por uma investigação de abordagem qualitativa associada a uma intervenção em contexto educativo, recorrendo à utilização dos seguintes instrumentos: ficha de observação e preenchimento do diário de bordo pelo pesquisador ao final de cada encontro. Tais instrumentos foram analisados a luz da Análise do Conteúdo de Bardin (2011).

A presente tese foi estruturada em capítulos que integram, além da presente introdução, outros cinco assim identificados: o segundo capítulo destinou-se à discussão das perspectivas teóricas do estudo, dentre elas, aspectos associados à aprendizagem a partir do cognitivismo e da Metacognição, bem como sobre as tecnologias no ensino e aspectos associados à Educação

Ambiental. No terceiro capítulo, foi apresentado o produto educacional, mostrando sua origem, estudos iniciais na forma de primeiras aplicações e o aporte teórico que fundamentou a sua aplicação no Ensino Fundamental. No quarto capítulo, foi apresentado o relato da aplicação do produto educacional. O quinto capítulo tratou do detalhamento da pesquisa, elucidando suas características, instrumentos de coleta de dados, cuidados éticos e análise dos dados. O sexto capítulo apresentou os resultados e discussões, revelando as categorias de análise. Por fim as considerações finais apresentam os principais resultados observados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Aprender, palavra derivada de *aprehendere*, e do significado de apropriar-se, indica o desafio de incorporar novos conhecimentos a um repertório de experiências prévias. Tal compreensão levou a estruturar os aportes teóricos desta tese a partir da perspectiva da Metacognição, da relação entre alunos *expert* e novatos, das discussões envolvendo a Educação Ambiental e da perspectiva dos estudos sobre o uso educacional da Internet das Coisas -IoT. Ao final do capítulo, foi estruturada uma revisão de estudos sobre teses, dissertações e produtos educacionais como subsídios à construção dos elementos de pesquisa que propiciassem respostas apropriadas à questão de pesquisa da tese.

2.1 A perspectiva cognitivista da aprendizagem

A discussão sobre os processos cognitivos da aprendizagem partiu das contribuições de Jean Piaget. Nascido em 1896, o biólogo e psicólogo suíço Jean Piaget (1977), a partir de um método próprio de investigação, observou como o sujeito percorre o caminho de um conhecimento mais simples para um conhecimento mais complexo, iniciando um novo campo de estudo da teoria do conhecimento que denominou de Epistemologia Genética. Na sua visão, o conhecimento seria o resultado de interações entre o sujeito e o objeto.

Do ponto de vista de Piaget (1978), a definição de inteligência está relacionada à busca dos processos mais fundamentais de interação entre a pessoa e o meio, e da ação desses dois processos que compõe um mecanismo de organização e adaptação. Piaget (1999) ao propor duas dimensões de inteligência, como organizadora de processos e como função de adequação ao meio, apresenta o conceito de equilíbrio e de desenvolvimento cognitivo como a capacidade de resolver problemas cada vez mais complexos.

A idealização de um ensino inteligente, não limitado aos conteúdos acadêmicos, mas a uma maneira de ensinar, foi o atributo fundamental da teoria de Jean Piaget (1978), em que a aprendizagem não se resume à memorização. Trata-se de um processo complexo que envolve aspectos cognitivos, afetivos e sociais, que promove a emancipação do sujeito, que caminha para tomar decisões cada vez mais rápidas e eficientes, possibilitando formas variadas de combinações dos próprios conhecimentos e comportamentos.

A teoria de Jean Piaget (1977), a Epistemologia Genética, voltada para a interação entre o sujeito e o meio propõe que as crianças passam por distintos estágios de desenvolvimento, sendo estes: sensorio motor (0-2 anos), pós-operatório (2-6 anos), operatório concreto (6-11) e

operatório formal (acima de 12 anos) em que apresentam esquemas mentais cada vez mais complexos. Os estágios de desenvolvimento possibilitam identificar características gerais sobre os pensamentos dos estudantes.

O Estágio Sensório-Motor, que compreende a idade aproximada de 0 a 2 anos, tem como principais características as ações de inteligência motora, em que se revelam os reflexos inatos do bebê, o mundo aqui e agora, ausência de linguagem, pensamentos nos estágios iniciais e nenhuma noção de realidade objetiva. Observa-se que neste estágio ocorre o desenvolvimento das noções de espaço, tempo, causalidade que servem de estabelecimento de relações entre funções esquemas.

O estágio Pré-operacional, compreendido entre 2 e 7 anos, é dividido em duas fases: a primeira pré-conceitual (2-4 anos), caracterizada pelo pensamento egocêntrico e raciocínio dominado pela percepção; a segunda, intuitiva (4-7 anos) em que as soluções são rasas, intuitivas e não lógicas.

O estágio das Operações Concretas, compreendido entre 7 e 11 anos, apresenta ações mais elaboradas como a capacidade de conservar, lógicas de classe e relações, compreensão de números, pensamentos ligados ao concreto e o desenvolvimento de reversibilidade no pensamento. Por fim, o estágio das Operações Formais, abrangendo as idades de 12 a 15 anos, aponta um pensamento generalista completo, pensamento proposicional, capacidade de lidar com hipóteses e o desenvolvimento forte de idealismo.

Na sua concepção, o aluno traz uma estrutura cognitiva, conceitos relevantes que aparecem no processo de ensino-aprendizagem pela descoberta e pela recepção. Entende-se que, na organização cognitiva, os indivíduos têm caráter conceitual, quer dizer, os conceitos se organizam de forma hierárquica de acordo com diferentes graus de abstração e generalização. À medida que os conceitos interagem com outros conhecimentos e experiências, tornam-se mais complexos. Esses conhecimentos prévios considerados pelo professor servirão de base para a adesão de novos conceitos e enriquecem a estrutura cognitiva do aluno, colaborando para a construção de conceitos e ideias fortes, que poderão ser acessados posteriormente.

A prática, em que o conhecimento parte da realidade do aluno, servindo de ponto de referência para novos conhecimentos, é apoiada por Georghiadis (2004) inferindo que o distanciamento da realidade de sala de aula reduz as discussões entre o grupo e sua influência na aprendizagem. Estudos demonstram que alunos que compreendem o seu próprio pensamento e analisam o processo de aprendizagem de forma sistemática são mais competentes em compreender as informações e obter melhores desempenhos.

2.2 Metacognição

A palavra cognição, de origem *cognoscere*, que significa conhecer, refere-se a conjunto de fenômenos mentais que orientam o pensamento, processos como a memória, raciocínio e tomada de decisões, entre outros, fazem parte de uma construção complexa que orienta o comportamento das pessoas. A metacognição apresenta um sentido mais profundo ao tema, ao abordar a consciência do sujeito sobre sua própria cognição.

Os estudos da metacognição surgem na década 1970. Partem da consciência do sujeito sobre o que ele sabe e o que não sabe e trazem uma nova perspectiva para a aprendizagem ao oferecer ao aprendiz o acesso ao conhecimento em um sistema que compreende informação estruturada, planejamento e criação de competências a partir da sua própria estrutura cognitiva.

O conceito de metacognição surge na pesquisa do psicólogo John Flavell (1976), em seu artigo “*Metacognitive aspects of problem solving*”, com as primeiras referências ao conhecimento metacognitivo com base nos próprios processos e produtos de natureza cognitiva. John Flavell conceituou a metacognição como o conhecimento, a consciência e o controle que cada pessoa exerce sobre os seus processos cognitivos. Ele disponibilizou estratégias de gestão e controle para o aluno sobre o seu próprio pensamento, oferecendo alternativas para o entendimento, motivação, desenvolvimento de competências e para a melhoria do processo de ensino e de aprendizagem.

A escola tradicional baseada em conteúdos fragmentados, na memorização, na exposição verbal, na avaliação da aprendizagem somente na ótica do professor tem sido confrontada por novas metodologias que permitam a participação efetiva do aluno no processo de aprendizagem, de aprender a aprender. As novas abordagens promovem o engajamento de alunos e professores na construção do conhecimento, na prática transdisciplinar, na reestruturação de práticas pedagógicas e, principalmente na monitoração desse processo.

Segundo Hartman (2001), a aquisição de um novo conhecimento e as habilidades cognitivas são facilmente percebidas em domínios e áreas específicas. Schraw e Sperling (1994) e Meliones e Sampson (2018) consideram, no processo de aprendizado, a possibilidade de identificar alunos mais propensos a se envolver em um processo consciente e a considerar múltiplas estruturas de decisão para formular uma resposta. Da mesma forma, eles são mais receptivos às sugestões e à possibilidade de incorporar as experiências a decisões posteriores.

Na visão de Flavell, Miller e Miller (1999), as competências de o sujeito administrar, monitorar e regular as atividades podem ser aplicadas para a solução de diferentes tarefas e comportamentos, trazendo o entendimento de metacognição como a consciência do sujeito

sobre seus próprios conhecimentos, associados à regulação do seu sistema cognitivo na execução de tarefas, a fim de atingir um determinado objetivo. Trevisan (2021) percebe que essa relação ocorre, geralmente, atrelada a ações que possam influenciar os sujeitos.

Para Rosa (2011) a ativação do pensamento metacognitivo consiste na relação entre o sujeito e a tomada de consciência sobre seus conhecimentos adquiridos por meio de experiências, caracterizando os conhecimentos que ele tem sobre seus próprios conhecimentos. Somado a isso, a autora menciona a posterior operacionalização de processos que resultam no controle sobre as ações, visando atingir o objetivo inicialmente proposto. Esse processo é representado pelo controle executivo e autorregulador ou habilidades metacognitivas que se referem à capacidade do estudante em planejar, monitorar e avaliar suas ações frente ao objetivo.

Em outras palavras e recorrendo ao anunciado por Rosa (2011, p. 57, grifo da autora), a metacognição pode ser entendida como:

[...] o conhecimento que o sujeito tem sobre seu conhecimento e a capacidade de regulação dada aos processos executivos, somada ao controle e à orquestração desses mecanismos. Nesse sentido, o conceito compreende dois componentes: o conhecimento do conhecimento e o controle executivo e autorregulador.

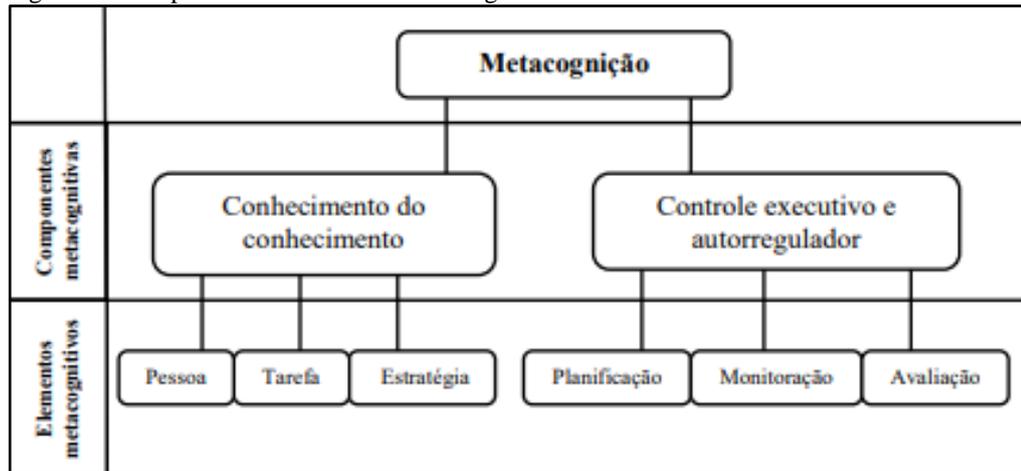
Esse entendimento trazido pela autora parte dos estudos do psicólogo estadunidense John Flavell, considerado o pioneiro nos estudos em metacognição, com a parceria de Ann Brown, psicóloga americana que se dedicou a estudos envolvendo as operações que enfatizam a leitura e compreensão de textos. Embora haja divergências com relação à definição de metacognição, Zohar e Barzilai (2013) apontam como unânime o reconhecimento do pioneirismo em tratar do assunto, sendo que é a partir dessa contribuição que o tema ganha importância nas pesquisas em psicologia e em educação, entre outras áreas. O caráter amplo e de natureza multifacetada da metacognição remete à ampliação de possibilidades para áreas que podem se beneficiar dela, trazendo vários sentidos para o termo, o que dificulta estabelecer uma “teoria metacognitiva”².

Essa polissemia não impede que o termo esteja ligado ao anunciado por Flavell, que representa a tomada de consciência sobre os próprios processos cognitivos e sua posterior autorregulação. As diferenças entre os autores acabam por ocorrer no modo como estruturam esse conceito, trazendo diferenças nos componentes e elementos. Diante dessas diferentes

² O entendimento sobre a existência de uma “teoria metacognitiva” ainda apresenta divergências na literatura, dessa forma não entraremos nessa discussão e adotaremos para o presente estudo, a especificação de ser um conceito ou um constructo do campo da psicologia.

possibilidades, tendo como pano de fundo o contexto educacional e, particularmente, apoiando-se na realização de atividades de natureza prática, o presente estudo recorre a Rosa (2011) de modo a fundamentar a proposta de intervenção nos componentes e elementos anunciados pela autora. A Figura 1 apresenta um esquema em que esses componentes e elementos são identificados.

Figura 1 - Componentes e elementos metacognitivos



Fonte: Rosa, 2011, p. 58.

Em termos de componentes, a figura ilustra a existência de duas vertentes: o conhecimento do conhecimento e o controle executivo e autorregulador. O primeiro encontra-se associado ao que Flavell (1979) infere como o conhecimento que o sujeito tem sobre si no que se refere a aspectos associados a uma pessoa (conhecimento declarativo), tarefa (conhecimento processual) e estratégia (conhecimento condicional) e, também, ao modo como essas interferem no resultado da tomada de consciência sobre a ação. Segundo Rosa (2011), no segundo componente, encontra-se o detalhado por Brown (1978), que abrange mecanismos de controle executivo e autorregulador quando se projeta e realiza a tarefa. Esse componente envolve operações de planificação, monitoração e avaliação das realizações cognitivas, o que foi adotado como elementos metacognitivos por Rosa (2011). A seguir, detalham-se os seis elementos mencionados na Figura 1.

2.2.1 Pessoa, tarefa e estratégia

Na percepção de Flavell (1979), o conhecimento é estruturado em elementos independentes, quais sejam: pessoa, como as ideias e os princípios que o sujeito tem sobre si e na relação com o outro; tarefa, como a atividade que é confrontada com seus conhecimentos; e

estratégia, como o momento em que o sujeito questiona o que deve ser feito para alcançar o seu objetivo.

O elemento pessoa indica como os indivíduos atuam sobre a percepção de si e a relação com os outros. É o momento em que ocorre uma autoavaliação de suas próprias capacidades e limitações, pondo-as em prática a fim de alcançar o objetivo de uma tarefa. Segundo Flavell (1979), esse elemento é responsável por comunicar o conteúdo da consciência pessoal para os outros por meio do ato de refletir, tirar conclusões e fazer atribuições sobre as relações entre os resultados da ação.

Para Ribeiro (2003) o conhecimento da variável pessoa subdivide-se em três categorias: intraindividual, ao identificar suas próprias capacidades e competências; interindividual, ao reconhecer a diferença entre si próprio e outros; e por fim, ao conhecimento universal, que diz respeito ao conhecimento comum e dominante de uma cultura.

O conhecimento das tarefas diz respeito ao conhecimento do sujeito tem sobre a natureza e os critérios da atividade, é e responsável por organizar as informações. O elemento tarefa, de acordo com Rosa (2011), representa a abrangência, a extensão e as exigências envolvidas na sua realização.

Flavell considera que existem tarefas mais fáceis de serem executadas, enquanto outras demandam mais tempo e elementos mais complexos, o que pode ser desmotivante. O fato de a tarefa representar um desafio maior por estar muito acima da capacidade de ser resolvida acaba por infligir no aluno o sentimento de incapacidade de realizá-la. Flavell, Miller e Miller (1999) explicam que a tarefa pode ser subdividida em duas: uma está vinculada à natureza da informação que o sujeito encontra e processa em qualquer atividade cognitiva e a outra, associada à natureza da exigência da tarefa.

O terceiro elemento do conhecimento sobre o próprio conhecimento é a estratégia, na qual o aluno questiona o que precisa ser feito, reflete sobre isso e decide quais os melhores caminhos para chegar ao seu objetivo, construindo, de acordo com sua percepção pessoal, quais caminhos seguir para aprender. Segundo Efklides, Samara e Petropoulou (1999), a definição do elemento estratégia traz o conhecimento sobre um conjunto de ações, as respectivas condições de utilização, quando e por que as ações devem ser tomadas.

2.2.2 Planificação, monitoramento e avaliação

O aluno, ao tomar consciência de seus conhecimentos, é conduzido à etapa da operacionalização da ação, a fim de atingir o seu objetivo, que sempre é de natureza cognitiva.

De acordo com Rosa (2011), esses elementos são ratificados por Brown (1978, 1987) e representam os mecanismos de controle executivos. Eles são organizados em operações de planificação, monitoração e avaliação. A partir do domínio desses três elementos, o sujeito é capaz de prever estratégias hábeis, que permitam decidir se as mesmas devem ser mantidas ou corrigidas em sua prática.

Rosa (2011) compreende a planificação como o conjunto de ideias e a previsão do caminho a ser percorrido para se alcançar o objetivo. Portanto, planificação consiste em pensar, com antecipação, como, quando e por que agir no sentido de obter seus objetivos, por meio de uma sequência de ações que conduza a uma solução. Cabe ao aluno decidir a forma de executar a tarefa conforme o com o objetivo a ser atingido.

Na mesma abordagem, Desoete (2008) aponta o monitoramento, que controla a execução e verifica constantemente os processos, reorganizando as estratégias com vistas a alcançar o objetivo. Para Brown (1978) citado por Rosa (2011), é o momento em que os alunos estão construindo novos conceitos, avaliando suas hipóteses, reconhecendo os desvios e, dessa forma, voltando ao plano original ou fazendo os acertos que se fizerem necessários para atingir o objetivo. O monitoramento pode ser descrito como o controle autorregulado das habilidades usadas durante as ações a fim de identificar problemas e modificar planos.

O terceiro elemento metacognitivo, associado ao controle executivo e autorregulador, é a avaliação, que possibilita ao aluno identificar e refletir sobre os resultados encontrados e agir sobre eles, muitas vezes revendo o caminho trilhado para chegar até eles. Essa avaliação pode ser definida por critérios específicos e vinculada a cada atividade.

Para Efklides (2008), embora a metacognição geralmente é reconhecida como um processo individual, há evidências de que também atua em contextos colaborativos e interações afetivas na regulação do comportamento.

2.2.3 Estratégias de aprendizado com foco na metacognição

A metacognição entendida como um processo que auxilia a aprendizagem, logra efeitos positivos na educação, possibilitando que os alunos se tornem mais independentes/autônomos e eficazes em seus estudos.

A metacognição apresenta-se em diferentes áreas do conhecimento, todavia é na educação que as pesquisas têm mostrado uma aplicação direta e imediata em termos de aprendizagem. Schaw e Dennison (1994) desenvolveram um instrumento na forma de

questionário trazendo situações em que os sujeitos mostram qual o grau de consciência metacognitiva de cada um.

Esse estudo na forma de um inventário de consciência metacognitiva mostra que cada sujeito utiliza de forma diferente e em proporção variada esse pensamento, inferindo que se ela é um diferencial na aprendizagem, a escola precisa se preocupar em mostrar aos estudantes como ativá-lo.

Sobre isso, Perkins (2008) mostrou a existência de quatro níveis de aprendizes em relação ao pensamento metacognitivo: tácito, ciente, estratégico e reflexivo. Os “tácitos” não têm ciência de seu conhecimento metacognitivo, mas o utilizam sem perceber. Os aprendizes “cientes” têm ciência de alguns dos tipos de pensamento que possuem, mas ainda não recorrem a ele de forma deliberada ou planejada. Aprendizes “estratégicos” organizam seu pensamento aplicando estratégias que os ajudam a aprender.

Por fim, os aprendizes “reflexivos”, que adotam uma abordagem estratégica e ao mesmo tempo refletem sobre sua aprendizagem enquanto ela acontece, monitorando seu avanço e quaisquer estratégias que estejam utilizando. O uso diferenciado do pensamento metacognitivo pelos sujeitos, embora um modo de pensar inerente à espécie humana, leva a que busquemos na literatura características presentes naqueles que utilizam de forma mais consciente essa forma de pensar e ao final logram êxito em seus objetivos.

Partindo do pensamento de que a metacognição se embasa na consciência das pessoas sobre os seus conhecimentos, do seu modo de construir o seu pensamento, ela se apresenta para a educação como uma estratégia de aprendizagem ao propor ao aluno a elaboração e a promoção de ações a partir de seus conhecimentos. Rosa (2014) ratifica tal pensamento quando discorre sobre o sentido da metacognição para aprendizagem, que oportuniza ao aluno pensar sobre os conhecimentos e definir ações pertinentes que serão controladas ao longo do processo.

O uso de estratégias metacognitivas permite aos alunos compreenderem as especificidades que envolvem a solução de problemas: as dificuldades, as opções e a avaliação sistemática do processo de aprendizagem. Ao perceber o comportamento e a ação do aluno nas atividades, o professor poderá valorizar aspectos positivos do aprendido, apontar rotas interessantes, possibilitando um aprendizado mais eficiente.

Na visão de Weinstein e Mayer (1986), as estratégias de aprendizagem referem-se a comportamentos e pensamentos que o estudante utiliza, durante a aprendizagem, com o objetivo de influenciar o seu processo de codificação para conceituá-la. As estratégias com foco na metacognição para Xavier (2022) caracterizam-se pela adoção de mecanismos que os professores e pesquisadores utilizam com o intuito de estimular e/ou desenvolver processo

metacognitivos nos estudantes de modo que, uma vez provido destas capacidades, possam melhorar seu aprendizado.

Pozo (2004) demonstra que o aluno deve ter domínio sobre seu aprendizado. Ao perceber que o planejamento antecede a ação, tornando-se indispensável para desenvolver um processo de conhecimento. Ele deverá ter consciência sobre seus mecanismos de aprender: determinar saberes, competências e habilidades que garantam esse processo e a sua adequação a realidade. A construção de métodos de ensino pode ser conduzida, gradualmente, pelo professor na resolução de problemas abertos, dividindo o conhecimento metacognitivo em dois sentidos: declarativo, saber sobre as atividades e o procedimental, saber como implantar e utilizar o próprio conhecimento. Uma forma mais positiva de aprendizagem acontece quando os elementos seguem uma hierarquia dos mais fáceis para os mais complexos.

Veiga *et al.* (2019) consideram a metacognição uma resposta positiva em relação ao ensino, apontando relatos de aumento da qualidade de ensino, de oportunizar os estudantes de adquirir novas estratégias de aquisição de conhecimento, de promover a capacidade de autogerenciar seu aprendizado, transferi-lo para outros âmbitos da sua vida e promover a interação entre os atores do processo de aprendizagem.

Aliando a educação e tecnologia, os pensadores Borkowski, Reid e Kurtz (1984) consideram a metacognição pertinente para tratar de conteúdos complexos e repetitivos. Diferentemente dos modelos tradicionais, a metacognição possibilita ações didáticas baseadas na descoberta de princípios científicos e na sua exploração, consideradas como estratégia “mão na massa”, cujo desenvolvimento se embasa na consciência dos alunos sobre os próprios processos de aprendizagem.

A aptidão do sujeito para a aquisição do saber supõe a consciência que ele tem sobre as suas habilidades, competências, possibilidades e limitações, elementos imprescindíveis para definir a estratégia com clareza e adequar as ações aos objetivos e metas para atingi-la. O controle e a regulação dos processos de cognição constituem um sujeito ativo no desenvolvimento das atividades, independentemente das intercorrências do processo. Da mesma forma, a insegurança e a ansiedade podem significar obstáculos para atingir a estratégia estabelecida.

No contexto da educação mediada pela tecnologia, Carroll (1987) compreende que a variedade de estratégias de aprendizado experimentadas entre os alunos permite identificar um perfil de aluno que, frente a um problema, constrói seu conhecimento, organizando as suas ações e avaliando o tempo necessário para chegar a uma solução. Proust (2010), ao abordar a capacidade de monitoramento e organização das próprias capacidades pelo aluno estabelece um

modelo implícito de metacognição. O aluno submetido à realização de uma tarefa complexa pode se sentir incapaz de solucioná-la, mas ao buscar um caminho alternativo, ao monitorar sua possibilidade e alternativas, poderá solucionar tarefas desafiadoras.

As propostas experimentais, entretanto, nem sempre são consenso. Para Rosa *et al.* (2021), atividades não convencionais em sala de aula ou de caráter experimental têm sido duramente criticadas por apresentarem soluções rasas que não estimulam o processo de reflexão por parte do aluno. Outras questões são passíveis de discussão, como a participação do aluno no processo de aprendizagem, não devendo ficar restrita à execução de roteiros ou o desafio proposto ao estudante não deve ser maior do que a sua capacidade de execução.

Chi *et al.* (1989) e Larkin (1983) analisam no campo do ensino de Física, o modo como os estudantes resolvem problemas, trazendo aspectos que mostram que aqueles que se servem dessa forma de pensamento atingem níveis de aprendizado mais aprofundado e são capazes de resolver problemas mais complexos. Nesse estudo, os autores identificaram a forma de atuação e estratégia de aprendizado utilizada por alunos na soluções de problemas, identificando dois grupos de alunos: os “novatos”, que respondem rápida e superficialmente as questões propostas, utilizando pausas entre as respostas e geralmente falhando em identificar soluções apropriadas a problemas complexos e não sabendo explicar quais estratégias foram aplicadas, e os “especialistas” ou “experts”, que respondem de forma mais profunda, tendo mais possibilidades de respostas corretas. Como estratégia, na maioria das vezes, partem para a solução somente após terem estabelecido uma representação mental do problema, entre outros aspectos que caracterizam um pensamento metacognitivo.

Ainda sobre as estratégias de aprendizagem, Rozencwajg (2003) mostra que no âmbito educacional há uma dificuldade em termos de instrumentos para avaliar o pensamento dos estudantes, o que tem dificultado o avanço nos estudos em metacognição. Para Georghiadis (2004), por se tratar de um processo interno, e não um comportamento aberto, a metacognição é intrinsecamente difícil de ser avaliada, porém, se considerada como um entendimento de conhecimento, pode-se detectá-lo no aluno de forma indireta, perguntando-lhe diretamente ou oportunizando uma explicação sobre seus procedimentos. Essa dificuldade, como destacado por Santos (2007), também é identificada quando se trata de avaliar processos cognitivos que tenham uma relação com o contexto social, como é o caso do estudo em desenvolvimento nesta tese.

Passos, Corrêa e Arruda (2017) apontam a existência de ferramentas de apoio que possam auxiliar na identificação dos processos metacognitivos dos estudantes durante suas ações. Segundo esses autores, a utilização de elementos visuais para avaliação do perfil

metacognitivo do aluno permite desenvolver novos estudos com o uso de recursos computacionais, possibilitando aplicações dos métodos sob novas perspectivas.

A metacognição e a autorregulação compreendem uma outra forma de pensar no processo de aquisição da aprendizagem, uma nova forma de aprender. Nesse universo, o aluno atua como agente ativo no processo da construção do conhecimento e como o moderador do processo. Mesmo que a aprendizagem envolva inter-relações e que estas envolvam os alunos, eles serão o destaque na metodologia.

Os alunos estarão envolvidos no processo de aprendizagem em dois aspectos importantes: a motivação e a consciência. O primeiro justifica as mudanças comportamentais que ocorrem a partir dos novos conhecimentos e as possibilidades de aprender. A segunda abordagem, a consciência, representa a capacidade de autonomia do aluno na aquisição do saber, da sua capacidade de identificar e atuar de acordo com suas responsabilidades, suas habilidades em desenvolver conhecimento e atividades na condução da aquisição do saber.

A metacognição se apresenta quando o aluno reconhece tanto suas potencialidades, como as suas dificuldades, que não podem ser um impeditivo na aquisição do saber. O aluno estabelece estratégias para resolver as questões que envolvem esse processo avaliando as etapas e as perspectivas, aliando dois movimentos importantes, a motivação (vontade de aprender) e a superação do desafio. A autorregulação torna-se presente a partir do momento em que o aprendiz estabelece uma relação de mediação entre a motivação, a necessidade de aprender e a superação do desafio.

2.3 Alunos *experts* e novatos na visão de Michelene Chi

Os caminhos do aprendizado e as diferenças entre as soluções apresentadas pelos estudantes orientaram a pesquisa da professora Michelene Chi, que tem como objetivo identificar como professores podem ser mais efetivos no ensino de conceitos complexos especialmente em Física, Ciências e Engenharia.

A formação da professora Michelene Chi, em matemática (1970) e, posteriormente, em psicologia (1975) pela Universidade Carneige-Mellon, espelha a interação de conhecimento entre duas áreas que trabalham em conjunto: educação e psicologia. Essas áreas manifestam-se nas suas pesquisas, nas quais estudantes manipulam materiais instrucionais que os estimulem a um aprendizado de forma ativa e aprofundada.

Entre suas publicações mais importantes na temática, que está sendo discutida, destaca-se o artigo publicado em 1981 e intitulado “*Categorization and representation of physics*

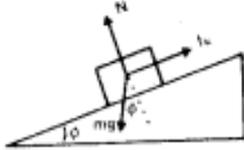
problems by experts and novices”, em que a autora identifica o processo de abstração dos problemas de Física por estudantes e os caminhos que os estudantes escolhem para sua resolução. Notoriamente esse caminho, para os alunos denominados por ela de experts, foi o da abstração de conceitos de Física, enquanto para os “novatos”, outra denominação trazida pela autora, é a representação literal³. Desta forma, separam-se os estudos posteriores a esta publicação nos fundamentos epistemológicos entre o perfil de aprendizado de expert.

No artigo “*Expertise in problem solving*” de uma obra organizada por Chi, Glaser e Rees (1982), relata uma investigação sobre as dimensões que compõe as habilidades cognitivas de responder problemas, na qual a inteligência pode ser definida como a posse de conhecimento útil e acessível. Os estudos são fundamentados em diferenças qualitativas na solução de problemas de Física, avaliados por uma perspectiva qualitativa em que os estudantes por meio de protocolos de gradativo aumento de complexidade são apresentados a resolver um problema em que o conhecimento para sua solução não está explícito, exigindo que o aluno elabore e proponha hipóteses para sua solução.

Os estudantes, de posse do protocolo do problema proposto, são apresentados às regras. Por meio de uma explicação (taxonomy), conceituação (physics) e pelos caminhos que devem ser solucionados (protocols), como pode ser exemplificado na Figura 2, apresenta o problema #5, do estudo Chi, Glaser e Rees (1982), que representa um dos problemas de Física escolar reais em que os estudantes têm de interpretar e buscar uma solução, apresentando diferentes caminhos cognitivos para obter soluções efetivas.

³ O termo “expert” é considerado na literatura e a partir dos trabalhos de Michele Chi como aqueles que apresentam diferentes estratégias para resolução de problemas. Os “novatos” representam aqueles que ainda estão em processo de construção, enquanto os “experts” indica bons resolvidores de problemas, como descreve Rosa, Rosa e Ribeiro (2018).

Figura 2 - Problema #5 - Exemplo de Problema de Física

EXPERT R. E. (PROBLEM #5)		
TAXONOMY OF EPISODES	PHYSICS	PROTOCOLS
*QUALITATIVE ANALYSIS (INFERENCES)	Constant velocity \rightarrow Frictional force Frictional force opposes force due to weight of block *Friction \rightarrow Coefficient of friction \sim angle ϕ	"There must be a frictional force retarding the motion because otherwise the block would accelerate down the plane under the action of its own weight...the angle ϕ must be related to the coefficient of friction somehow."
DRAWING FREE BODY DIAGRAM		"You would have a normal force perpendicular to the plane, the weight down, and the force of kinetic friction would lie along the plane...the angle between the weight vector and the normal to the plane is also angle ϕ ."
GENERATE EQUATIONS	$mg \sin \phi - f_k = 0$ $N - mg \cos \phi = 0$ $f_k = \mu_k N = \mu_k mg \cos \phi$	"For motion down the plane would be mg times $\sin \phi$ minus f which is retarding things and that's equal to zero. For motion perpendicular to the plane, you would have the normal force acting upward, but $mg \cos \phi$ acting downward or into the plane and those two things sum to zero. The only relation you need in addition is that the force of kinetic friction is μ times the normal and is therefore μ times $mg \cos \phi$."

Fonte: Chi *et al.*, 1982, p. 36.

No artigo "*The role of knowledge on problem solving and consumer choice behavior*", Chi (1983a), ao particularizar o estudo sobre a heurística do espaço, entre um estado inicial não resolvido e um objetivo final, para solução de um problema delimitado, demonstra a importância de soluções mais acuradas e que a organização do conhecimento permite aos alunos expert a habilidade de "ver" diferentes possibilidades facilitando o processo diagnóstico ou de escolher a melhor solução intuitivamente. Destaca-se que este estudo não apresenta um modelo de melhores escolhas, mas uma chave de como novatos podem desenvolver condições apropriadas para desenvolver seus conhecimentos.

Ainda em 1983 no artigo "*Knowledge-derived categorization in young children*", a mesma autora (Chi, 1983b) evidencia que alunos novatos e experts tem diferente formas de categorizar seus conhecimentos, mesmo em exemplos simples como descrever uma imagem. As estruturas de organização são novamente apresentadas no artigo "*How knowledge is*

structured and used by expert and novice children”, de Gobbo e Chi (1986), em que os autores indicam que a integração entre os estudantes de diferentes perfis influencia a habilidade de usar o conhecimento.

No livro *“The nature of expertise”*, de Chi, Glaser e Farr (1988), discutem os conceitos e as relações entre os modelos cognitivos de aprendizado e o desenvolvimento de habilidades para lidar com problemas complexos, para demonstrar como as escolhas dos estudantes são construídas. São apresentados testes correlacionando o uso de habilidades em ações práticas. Destacam-se as diferenças apresentadas na digitação de textos, em que os experts, mesmo digitando com menor velocidade, possuem estratégias de escolha de teclas, como digitar duas letras em sequência com o mesmo dedo, apresentando um menor número de erros e melhores resultados.

No artigo *“Learning from examples via self-explanations”*, Chi (2018), apresenta uma abordagem com interesse em como o texto do professor é convertido em procedimentos e em habilidades, indicando que os estudantes têm maior interesse em exemplos que estimulem a reflexão e em como podem usar o que aprenderam. No mesmo ano, o artigo *“Self-explanations: How students’ study and use examples in learning to solve problems”*, de Chi et al. (1989), limita o escopo à natureza das explicações dos estudantes e a relação entre o entendimento do domínio dos problemas e as explicações construídas.

No artigo *“Constructing self-explanations and scaffolded explanations in tutoring”*, Chi (1996), descreve o diálogo entre um tutor e um estudante no estudo de Física, aponta que o uso de exemplos e de auto explicações permitem ao tutor identificar mal-entendidos e fazer orientações didáticas.

Ao considerar a relação entre a construção do conhecimento de forma individual ou compartilhada, o artigo *“Construction of shared knowledge during collaborative learning”*, Jeong e Chi (1997), discutem que ao compartilhar os resultados de suas atividades os estudantes constroem modelos de aprendizado mais efetivos.

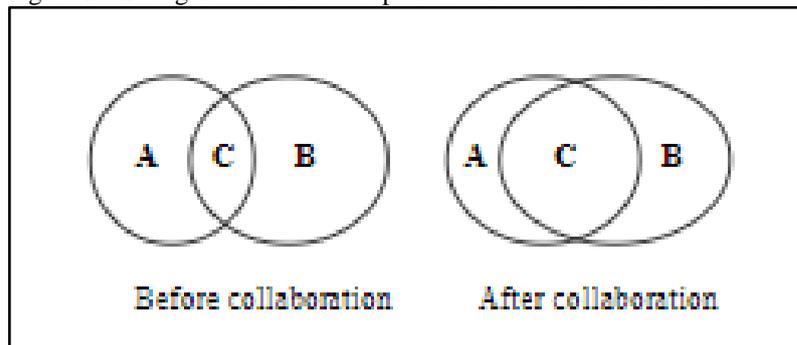
Da mesma forma e indagando quanto às possibilidades de analisar dados qualitativos em análise das discussões verbais, o artigo *“Quantifying qualitative analyses of verbal data: a practical guide”*, Chi (1997), discorre sobre a possibilidade de avaliar processos cognitivos pela análise da discussão verbal, considerando crianças novatas e experts, utilizando método de oito passos funcionais, a saber:

1. Redução ou amostragem dos protocolos;
2. Segmentação dos protocolos reduzidos ou amostrados (às vezes opcionais);
3. Desenvolver ou escolher um esquema de codificação ou formalismo;

4. Operacionalização do registro de evidências nos documentos;
5. Representação do formalismo mapeado (opcional);
6. Buscar padrões no formalismo mapeado;
7. Interpretação dos padrões;
8. Repetir todo o processo, em um tamanho de amostra diferente (opcional).

Ao proporem o aprendizado colaborativo e a pesquisa, no artigo “*Does collaborative learning lead to the construction of common knowledge?*” Jeong e Chi (2000), consideram que estudantes de Biologia ao estudarem um texto sobre o aparelho circulatório, quando analisados em grupos, possuem uma significativa melhora no aprendizado do conhecimento. Na construção de hipóteses os alunos em dupla (A e B) podem construir e rever seu próprio conhecimento individualmente, produzindo conhecimento em comum (C), porém quando colaboram entre si, a representação em comum aumenta, enquanto as representações exclusivas diminuem, como pode ser visto na Figura 3.

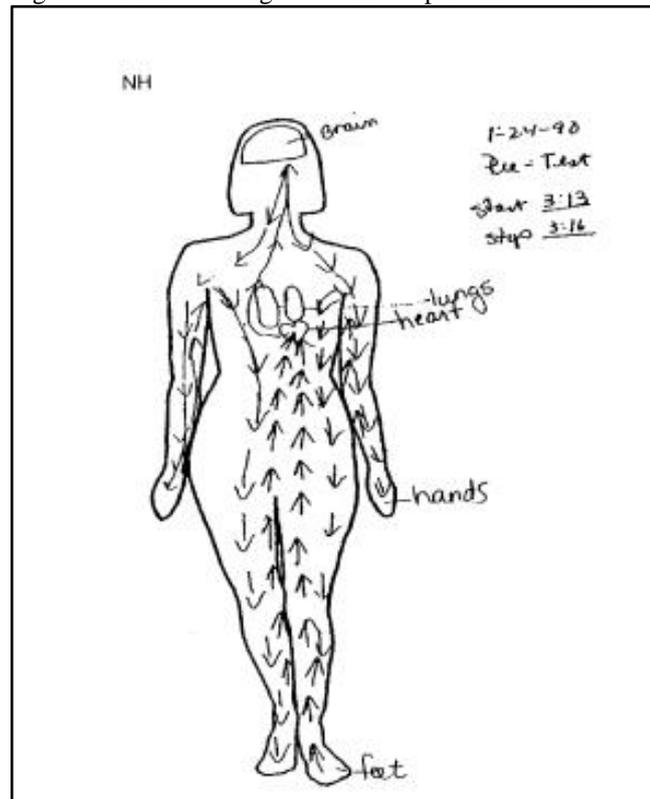
Figura 3 - Changes in the shared representation due to collaboration



Fonte: Jeong e Chi, 2000, p. 2.

No artigo “*Self-explaining expository texts: The dual processes of generating inferences and repairing mental models*”, Chi (2000), ao analisarem estudantes de Biologia estudando um texto de sobre o aparelho circulatório, apresenta evidências de que os estudantes ao participarem de atividades como desenhar, resolver problemas, fazer resumos ou discutirem sobre um conhecimento, executam um processo de reorganização própria, muitas vezes construindo conceitos diferentes dos apresentados nos livros ou pelos professores. Os estudantes, ao representarem o sistema circulatório, expuseram diferentes hipóteses e soluções a perguntas simples, respondendo com representações sofisticadas ao conhecimento estudado (Figura 4), demonstrando diferenças substanciais entre o conhecimento inicial apresentado no texto e o desenho final produzido, em que o aluno foi capaz de esboçar os conceitos estudados orientado pelas orientações do problema.

Figura 4 - Fluxo de sangue desenhado por um estudante



Fonte: Chi, 2000, p. 234.

A dificuldade de ensinar conceitos da área de Ciências Exatas é por Chi (2000) no artigo “*Cognitive understanding levels*”, de uma obra editorada por Kazkin. A autora observa a dificuldade de estudantes em responder perguntas justificando não entenderem o que está sendo questionado. A atribuição de respostas ingênuas não tem como origem uma escolha aleatória dos estudantes, mas a construção de esquemas não especializados que exigem modelos apropriados para resolução de um problema para temas complexos, dinâmicos ou abstratos.

Os estudos mencionados nessa subseção e que se referem às pesquisas de Michelene Chi e seus colaboradores evidenciam a diferença de pensamento entre *experts* e novatos, trazendo que aqueles que se apoiam em ações como a de tomar consciência sobre si, de planejar, gerenciar seu próprio pensamento e proceder a reflexões avaliativas ao final, logram mais êxito nas atividades desenvolvidas ou em alcançar seu objetivo. Esses estudos mostram a importância de, em sala de aula, o professor identificar aqueles que apresentam uma maior capacidade para resolver problemas e as potencialidades de promover diálogos e integrações com aqueles considerados novatos e que estão em processo de construção do seu conhecimento.

Nessa mesma linha de estudo e resumindo as contribuições de Chi e colaboradores, seguem as proposições de Taasoobshirazi e Farley (2013) em seus estudos, que mostram a diferença dos *experts* para os novatos na resolução de problemas em Física.

Esses autores revelam que as diferenças estão basicamente na forma de pensar e agir dos experts que: i. procedem à construção de modelo da situação; ii. recorrem a elementos conceituais para compreender o problema; iii. verificam semelhanças e diferenças entre os problemas; planejam como resolver o problema; iv. estimam o resultado; usam estratégias para ‘trás e para frente’; v. estruturam equações adicionais e verificam se elas são pertinentes; vi. monitoram e avaliam cada passo executado quanto ao objetivo; vii. iniciam pelas partes menos complexas e com menor carga cognitiva na memória de trabalho e viii. avaliam o resultado encontrado para retornar ao problema e verificar a coerência. Tais aspectos podem servir de referência para a construção de situações didáticas que possibilitem que os novatos recorram a essa forma de pensamento e com isso obtenham mais êxito em suas aprendizagens.

Para Tanner (2012) embora o uso de tarefas individuais específicas para ensinar estratégias metacognitivas aos alunos seja uma abordagem explícita, os debates em sala de aula oferecem uma maneira dinâmica e interativa de integrar a metacognição ao processo de aprendizagem. Os debates também criam um ambiente propício para que os estudantes reconheçam momentos de confusão e ajustem suas estratégias cognitivas com base no diálogo com os colegas.

Com o intuito de apresentar uma abordagem estruturada para a compreensão da metacognição, organizando e classificando seus diferentes aspectos, Pina Tarricone, no livro *The Taxonomy of Metacognition* (2011), discute a aplicação desses conceitos em contextos de ensino e aprendizagem. A autora destaca a importância da autorreflexão, do monitoramento dos próprios processos cognitivos e da adaptação estratégica para aprimorar a aprendizagem e a resolução de problemas.

Além disso, a obra explora a relação entre metacognição e áreas como inteligência, criatividade e pensamento crítico, enfatizando sua relevância no desenvolvimento do pensamento autônomo. Tarricone argumenta que uma compreensão sistemática desse conceito pode aprimorar práticas pedagógicas, fortalecer a aprendizagem autorregulada e promover o desenvolvimento de habilidades cognitivas avançadas.

2.4 Educação Ambiental no Brasil

Nesta seção, são apresentados conceitos que compõe a problematização da EA no Brasil⁴. Fundamenta-se que a prática da EA necessita de uma rede mais complexa de

⁴ Considerando que a Educação Ambiental tem caráter interdisciplinar, refletido na forma que a pesquisa é conduzida, apresentando diferentes perspectivas e pontos de vista.

conhecimentos que as disciplinas escolares costumam a propor aos estudantes, produzindo diferentes pontos de vista. Para esta pesquisa opta-se por delimitar a EA sob o ponto de vista do estudante em sala de aula sobre o problema ambiental.

Fundamenta-se que o referencial teórico foi orientado para resolver problemas sob a perspectiva dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável -ODS, com ênfase: a) no objetivo 3: “3 - Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades”, b) na meta 3.9 que versa: “Até 2030, reduzir substancialmente o número de mortes e doenças por produtos químicos perigosos, contaminação e poluição do ar e água do solo” e c) no Indicador 3.9.1: “3.9.1 - Taxa de mortalidade por poluição ambiental (externa e doméstica) do ar” (IPEA, 2025).

Considera-se ainda que, ao definir a perspectiva do estudante sobre a EA, fundamenta-se a complexidade do tema e a necessidade de articular conhecimentos. Para Reigota (2009) a EA possui uma abordagem de tema de cunho político, social e cultural, definindo “meio ambiente” como uma relação constante entre aspectos naturais e sociais que acarretam processos de criação cultural e tecnológicos. Segundo Almeida (2022), a questão ambiental tem um viés político e complexo; na educação brasileira, em especial, pela sua tímida estrutura científica e pelo medo de críticas prejudicarem o desenvolvimento econômico decorrente do agronegócio.

A expressão “Educação Ambiental”, segundo Dias e Salgado (2023), foi utilizada pela primeira vez em 1965 na Inglaterra, tendo seu conceito e entendimento acompanhando mudanças nas relações entre a sociedade e o ambiente ao longo do tempo. No Brasil, a Política Nacional de Educação Ambiental, regida pela Lei nº 9.795 (Brasil, 1999), definiu EA como “os processos por meio dos quais o sujeito e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente”.

Para Mezzomo (2015), a necessidade de diálogo entre diversas áreas para estabelecer pressupostos epistemológicos comuns nas atividades de ensino e pesquisa exige o desenvolvimento de práticas interdisciplinares com linguagem adequada visando prover uma abordagem eficiente entre a EA e o aluno. Por outro lado, observa-se um crescimento no interesse de atividades interdisciplinares nas atividades de ensino e pesquisa para compreensão dos problemas ambientais.

Agrava-se o cenário pela falta de instrumentos pedagógicos apropriados para a EA e pelas dificuldades de acesso a materiais didáticos adequados e baseados na ciência e em pesquisas recentes. Ao negligenciar a perspectiva da EA no fazer pedagógico, observa-se o

delineamento de um discurso superficial que não se converte em práticas capazes de fazer germinar inquietações. De certa forma, evidencia-se uma falta de sintonia entre o teorizado e o real, que fica limitado aos conhecimentos específicos da disciplina em sala de aula. O aluno não tem contato com uma prática integrada à sua realidade que estimule mudanças de atitude, como o consumo ético e responsável.

Segundo Koehler (2014) a abordagem da EA, considera um processo criativo que estimule o trabalho em grupo e promova um aprendizado por meio da prática. A EA tem como desafio estabelecer uma relação tanto com as demais disciplinas como com o cotidiano do aluno. Os projetos de EA, entretanto, têm um caráter prático se o aluno estabelecer uma relação com seu cotidiano e adotar condutas positivas em sua vida social (Barros *et al.*, 2010).

No contexto da EA, de modo geral, os alunos desconhecem a temática da qualidade do ar. Mesmo ao tratar de assuntos frequentes, como características do ar na sua realidade ou a relação entre conceitos básicos, como da sua formação, temperatura e umidade, esta condição do aluno dificulta, para o professor - mesmo reconhecendo a importância e atualidade do assunto -, estabelecer relações do conteúdo escolar com a realidade do aluno.

Para Esganzela (2014), o ensino do tema “qualidade do ar” não se limita aos livros-textos, mas em diferentes suportes, para que professor e alunos possam ter acesso a diversas informações. Entretanto, o assunto é negligenciado na maioria dos materiais didáticos; pois não se encontra uma grande variedade deles acessíveis para a educação básica. Segundo Esganzela e Barros (2015), apesar de estar no escopo de conteúdos da Termodinâmica, o estudo sobre o ar não consta da maior parte dos materiais didáticos utilizados no Brasil.

Um olhar atento para o estudo da qualidade do ar no contexto ambiental permite verificar, na literatura disponível, um caráter excessivamente científico de classificação e documentação de fenômenos. No espaço da temática ambiental, Soares e Vasconcelos (2018) apontam que a tecnologia pode auxiliar docentes na prática escolar, seja para divulgar condutas que provocam danos ao meio ambiente, seja para disseminar o conhecimento na implementação da EA.

Para Lopes e Abílio (2021) a EA aponta para uma educação ambiental que, ao invés de se concentrar exclusivamente em problemas de larga escala, deve priorizar ações práticas e cotidianas, promovendo a conscientização e o envolvimento direto dos alunos com o meio ambiente. Também nesta direção, Reigota (2009, p. 35) afirma que:

A educação ambiental não deve estar baseada na transmissão de conteúdos específicos, já que não existe um conteúdo único, mas sim vários, dependendo das faixas etárias a que se destinam e dos contextos educativos em que se processam as atividades. (...) O conteúdo mais indicado deve ser originado do levantamento da problemática ambiental vivida cotidianamente pelos alunos e que se queira resolver. Esse levantamento pode e deve ser feito conjuntamente pelos alunos e professores.

Também Ruscheinsky *et al.* (2002, p. 76) afirmam que:

A EA pode se constituir num espaço revigorado da vida escolar e da prática pedagógica, reavivando o debate dentro e fora da escola. Esta permite uma maior conexão com a realidade dos educandos, possibilitando uma ação consciente e transformadora das posturas em relação ao mundo e aos semelhantes. De uma maneira geral, aproxima os estudantes dos conteúdos programáticos, pois leva-os a perceber a proximidade da teoria com a realidade, bem como a riqueza de sua mútua fecundação.

Para Bandeira e Ibiapina (2014) a EA, em um sentido mais amplo, trata de “uma ação intencional que acontece em diferentes lugares e tempos” (p. 111), ressaltando que: “todos nós desenvolvemos prática educativa, independentemente do contexto, da concepção filosófica e pedagógica [...] (p. 111) São diversas as modalidades que assumem a prática educativa, sejam intencionais ou não intencionais, formais ou não formais, escolares ou extraescolares [...]” (p. 112).

Assim, a adoção de práticas para trabalhar os conceitos em sala de aula por meio de técnicas de discussão tem amparo na capacidade de o aluno identificar e agregar experiências individuais e coletivas presentes no seu cotidiano. Trabalhar o tema não se limita a reconhecer os riscos a que alguém está sujeito, mas na formação de uma atitude proativa de prevenção.

2.4.1 Educação ambiental na formação da consciência ambiental do aluno

Esta seção dedica-se à retomada dos elementos relativos à consciência ambiental, com objetivo de ser compreendida no âmbito da EA e considerando como a prática deste pensamento a capacidade do aluno reconhecer e atuar sobre a sua realidade. Em geral, o comportamento humano que tem impacto negativo no meio ambiente é originado de uma distorção cultural, orientada como tendência individual de se posicionar, equivocadamente, contra um equilíbrio harmônico entre as pessoas e o meio ambiente em benefício próprio. Assim, promover uma mudança de pensamento que oriente os indivíduos a pensarem coletivamente, por meio de uma reflexão própria que considera o impacto ambiental de suas ações é denominado consciência ambiental.

Para Tolfo (2019) a EA constitui um processo que permite aos indivíduos explorarem questões relacionadas ao meio ambiente, envolvendo-se na resolução de problemas e promovendo a adoção de medidas para aprimorar as condições ambientais. Como resultado desse processo, as pessoas desenvolvem uma compreensão mais aprofundada das questões ambientais e adquirem habilidades que possibilitam tomar decisões informadas e responsáveis.

Schlegelmilch *et al.* (1996) definem consciência ambiental como um construto multidimensional composto por elementos cognitivos, atitudinais e comportamentais. Em uma perspectiva mais usual, no cotidiano, esta consciência orienta pautas como crescimento econômico *versus* proteção ambiental que exigem, para além de se tomar partido de um lado na discussão, a capacidade de entender os impactos e os efeitos das decisões.

Para Fryxel e Lo (2003) a consciência ambiental abrange também o quanto as pessoas estão preocupadas com suas responsabilidades para a proteção ambiental e o desenvolvimento sustentável. Desta forma, de acordo com Dunlap e Jones (2002) observa-se que o nível de consciência que as pessoas têm sobre o meio ambiente pode influenciar diretamente sobre seus comportamentos, levando por exemplo, a adotar atitudes e comportamentos de consumo sustentável e de reciclagem, entre outros.

Segundo Segura (2001) a escola é o espaço que deve estimular a discussão das questões ambientais contribuindo para a aquisição do conhecimento que irão orientar o uso adequado dos recursos naturais, bem como atuar de forma consciente em sociedade. Para Lopes e Abílio (2021) é necessário reconhecer a EA não apenas como uma ferramenta para mudar comportamentos, mas um processo que visa a emancipação humana, implica entendê-la como uma prática interconectada entre os problemas ambientais e sociais existentes.

No Brasil a Lei nº 9795/99 (Brasil, 1999), que aborda os princípios básicos da EA, orienta que a formação da consciência ambiental deve ser trabalhada como conteúdo na educação formal, pois se entende que para se formar a consciência ambiental, ou seja, uma mudança de valores e condutas por parte dos alunos, é necessário que a prática pedagógica seja realizada de forma articulada entre as diferentes disciplinas, de modo interdisciplinar. Nesse sentido, também para Reigota (2009) a consciência ambiental, conhecimento, comportamento, competências, capacidade de avaliação e participação são princípios norteadores da concepção de EA devendo ser discutidos no contexto escolar.

A consciência ambiental oportuniza o desenvolvimento de um espírito de responsabilidade e solidariedade entre os indivíduos e as sociedades. Sob esta perspectiva a EA tem papel fundamental na formação de estudantes capazes de se posicionarem frente aos assuntos relativos ao meio ambiente de uma maneira favorável ou desfavorável. Para Garrett

Hardin (1968, p.1243-1248), ecologista americano: “Educação ambiental é o aprendizado para compreender, apreciar, saber lidar e manter os sistemas ambientais na sua totalidade”.

Para Joslim e Roma (2017), a EA não se restringe ao ambiente físico, é também construída pelo ambiente cultural que o estudante está inserido: o aluno conhece, se identifica, para depois desejar cuidar. Ao explorar a própria região, o estudante, desenvolve uma percepção própria que é possível melhorar e modificar o ambiente, sendo eles conscientizados como participantes da ação e responsáveis pelos resultados concretos a serem alcançados.

Ainda, segundo Joslim e Roma (2017), a EA não deve se preocupar exclusivamente em repassar conteúdos acadêmicos, mas perceber o aluno com ser dotado de saberes, na qual a educação é um ato que envolve o ser humano holisticamente, ou seja, em todos os seus aspectos, sejam físicos, cognitivos ou morais. Para Jacobi (1998) torna-se cada vez mais necessário consolidar novos paradigmas educacionais para oportunizar aos estudantes observar a realidade sob diferentes perspectivas e isso supõe a formulação de novos objetos de referência conceituais e, principalmente, a transformação de atitudes.

Ainda de acordo com Jacobi (1998) o principal eixo da consciência ambiental deve buscar, acima de tudo, criar atitudes e comportamentos na sociedade, estimulando a mudança de valores individuais e coletivos, sensibilizando as pessoas que uma cidadania abrangente está articulada com a forma através da qual se relaciona com o meio ambiente. Cabe à EA buscar diálogos significativos entre os aspectos ambientais e as práticas educativas, evitando abordagens superficiais, reducionistas e isoladas.

2.5 Educação e a Internet das Coisas - IoT

As potencialidades do aproveitamento de tecnologia no ambiente escolar são de grande valor para o aperfeiçoamento das estratégias de ensino pelos docentes como também para aumentar o interesse e a interação dos alunos (Carvalho; Oliveira, 2016). A escola atual vivencia um contexto de inovações tecnológicas com a integração contínua de novas formas de pensar, organizar e construir o conhecimento nos ambientes educacionais, mudança que preocupa em especial quanto à formação de novos conhecimentos dos estudantes, exigindo novas habilidades de aprendizado. Segundo a visão de Papert (1988), sob o ponto de vista pedagógico, a utilização de um artefato externo é fundamentada pela construção de conhecimento por meio da internalização das ações dos estudantes, processo que permite integrar as práticas pedagógicas ao cenário tecnológico atual.

O fascínio gerado por incorporar a tecnologia na escola tem se intensificado e apresentado novos contextos, inspirando educadores no desenvolvimento de estratégias inovadoras e motivadoras nas diversas áreas do conhecimento. Deci e Ryan (2010) reconhecem na tecnologia a ferramenta de desenvolvimento de aspectos internos do estudante, como autonomia, competência e relacionamento com os colegas. Para os pensadores, o fascínio dos estudantes pela tecnologia tem um papel cada vez maior no desenvolvimento de habilidades, como autonomia, e de competências relacionadas ao mundo digital.

Ainda sobre o desenvolvimento das próprias habilidades, segundo Bers (2020), o aluno, ao organizar ações para resolver problemas mediado pela tecnologia, desenvolve a sua capacidade de entender a natureza do seu aprendizado. As respostas que derivam desse conhecimento geram satisfação na realização da tarefa e emoções positivas, como engajamento e curiosidade.

Takahashi (2000) compreende que incluir o aluno no contexto digital não significa apenas ensinar sobre habilidades básicas, mas conduzi-lo na construção de conhecimentos que permitam utilizar novos saberes em interesses individuais e comunitários, com responsabilidade e senso de cidadania. Para Cardoso, Almeida e Silveira (2021), existe a necessidade de inserção de atividades práticas pedagógicas que contemplem o uso de tecnologia em sala de aula. Já Brandão (1993) e Hess, Assis e Viana (2019) pensam em formas de introduzir a tecnologia de forma gradual no ambiente escolar. Eles ressaltam que essas novas abordagens preparam os futuros profissionais adequadamente para o competitivo mercado de trabalho. Para Silva *et al.* (2019), o aluno necessita fazer o entendimento do funcionamento da tecnologia para usufruir as oportunidades que ela oferece.

Entende-se a importância de garantir aos jovens aprendizes sobre tecnologia. Isso está posto na BNCC (Brasil, 2017). A ideia é que os estudantes possam ser capazes de atuar em uma sociedade em constante mudanças, daí advém a importância de prepará-los para profissões que ainda não existem, para usar tecnologias que ainda não foram inventadas e para resolver problemas que ainda não são conhecidos. É preciso o desenvolvimento de competências do aluno no sentido de compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais.

Voltando ao olhar para a sala de aula, Fredrickson (1998) aponta barreiras que distanciam a teoria da prática e alguns problemas, como a falta de preparação dos professores. Elenca-se, ainda, a limitação de recursos para adquirir equipamentos didáticos. A limitação do espaço físico aponta para a necessidade de estabelecer novos formatos e estratégias que promovam a efetiva inserção da tecnologia na escola.

As tecnologias saíram do monopólio de especialistas e passaram a integrar o mundo social contemporâneo, como afirmam Conte, Habowski e Rios (2019). Ao fazer parte da realidade da escola, essa adaptação ao uso didático apresenta incertezas e ambivalências, servindo de facilitador para a exclusão tecnológica.

Para Pinheiro *et al.* (2019), as diversas experiências demonstram que a tecnologia pode promover um ambiente de aprendizado agradável e interativo. Segundo Cunha e Giordan (2012), os estudantes em geral apresentam conceitos elaborados sobre tecnologia, utilizando, inclusive, terminologia. No que se refere à ciência, presente no contexto escolar, os alunos a percebem como um conteúdo distante do seu cotidiano.

Para Martinelli, Zaina e Sakata (2019), percebe-se resistência dos docentes na condução de novas tecnologias em atividades em sala de aula, por não fazer parte do cotidiano escolar tradicional. Nesse sentido, surge a necessidade de abordagens práticas para envolver positivamente os professores nas ações voltadas ao ensino da tecnologia.

O termo de IoT, segundo Reinfurt *et al.* (2016), é amplo e pretende identificar objetos físicos capazes de se conectar e cooperar entre si para realizar tarefas. Essa habilidade de comunicação potencializa a utilização destes equipamentos em diferentes perspectivas educacionais, em que mesmo alunos não experientes em tecnologia podem interagir com uma infinidade hipóteses e oportunidades.

Diferentemente dos equipamentos eletrônicos tradicionais, a IoT, segundo Silva (2016) pode compartilhar seus recursos de forma colaborativa ao mesmo tempo. Oportuniza, também, uma conveniente independência de localização para seu funcionamento, transpondo limitações. Segundo Carvalho, Andrade e Oliveira (2018) e Garrett (2010) em alguns casos suas ações podem ser invisíveis, tanto do ponto de vista do ambiente como do usuário.

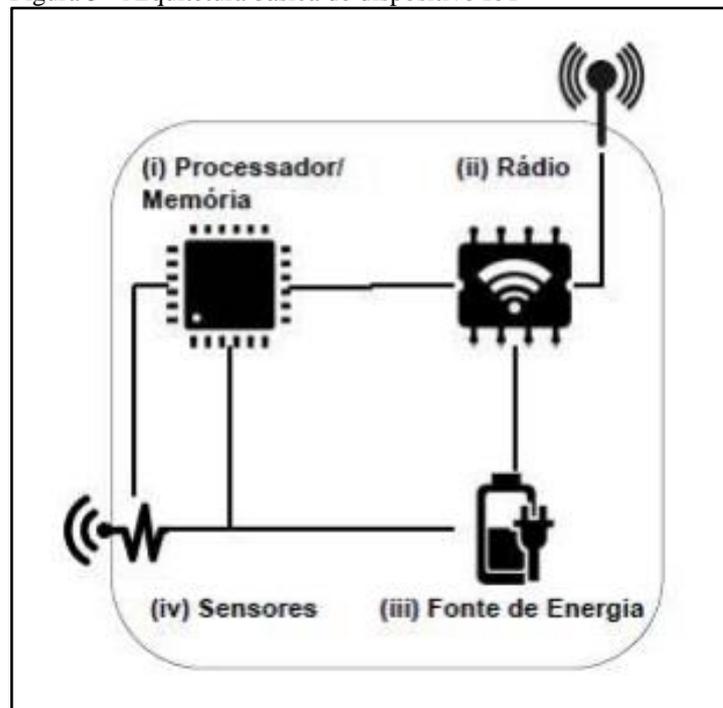
Fica evidente para Chagas, Furtado e Lisboa (2018) a tendência de adotar a tecnologia em alunos com idades cada vez menores, inclusive de estimular o uso de dispositivos por eles. Concluem Almeida *et al.* (2018) que a diversidade de interação dos alunos com os dispositivos em infinitos contextos de uso torna a avaliação do paradigma IoT complexo, podendo ser confundido como um serviço oferecido, e não uma tecnologia a ser explorada. Fantin (2018) ressalta, ainda, que o uso inadequado dos dispositivos móveis pode atuar negativamente sobre o desenvolvimento infantil.

Na visão de Chahid, Benabdellah e Azizi (2017) e Tan *et al.* (2017), os dispositivos IoT têm capacidade de exercer funções fundamentais de um sistema computacional, como: inicializar, capturar dados, processar, executar atividades e, por fim, transferir os dados para um serviço de internet, compartilhando capacidade de integrar dados com o uso de sons,

imagens, vídeos e textos. Dibitonto *et al.* (2019) concordam que a IoT oportuniza a construção de artefatos de forma rápida, ágil e autônoma, habilidades cada vez mais necessárias para a vida contemporânea, o que leva educadores a considerarem seu ensino desde as séries iniciais do Ensino Fundamental.

Segundo Santos *et al.* (2016), os elementos técnicos da tecnologia IoT, a arquitetura básica de dispositivos IoT é composta de quatro elementos: processamento/memória, comunicação, energia e sensores. A figura 5 apresenta a integração entre os componentes.

Figura 5 - Arquitetura básica de dispositivo IoT



Fonte: Santos *et al.*, 2016, p. 7.

Quanto à criação de materiais educacionais com a tecnologia IoT, Houde e Hills (1997) apontam que a aparência de protótipos deve considerar três dimensões: *papel*, *aparência* e *implementação*. Na dimensão papel, os elementos devem ser agrupados em blocos, simplificando a construção do circuito para reduzir o tempo gasto em tarefas preparatórias. Na dimensão aparência, é considerada a manifestação em um domínio físico e uma camada de visualização na internet coordenada por uma programação. Por fim, a dimensão de implementação trata do artefato tangível e perceptível pelos alunos.

Destaca-se que a dificuldade de equilibrar conhecimento técnico e conceituação é um tema recorrente nos estudos de IoT na educação. Aprender como e entender o porquê é uma tarefa difícil no desenvolvimento de um artefato IoT. A introdução a conceitos de hardware e

software requerem muitas horas para desenvolver habilidades e conhecimento para incorporar um conceito a um artefato que possa ser usado para educação.

Por outro lado, Mariana Silva (2017) informa sobre diversas experiências acompanhadas de uma metodologia didática adequada para o Ensino Fundamental com vistas ao uso da IoT. Ela atua no desenvolvimento e no protagonismo do aluno, mostrando ganhos além do objetivo de aprender a operar uma tecnologia. Valetta, Grinkraut e Basso (2017) também ressaltam o uso da tecnologia de forma crítica e criativa, considerando a interação com o artefato de modo concreto e virtual. Para tal, indicam maior flexibilidade na organização das atividades e apoio aos professores no percurso da construção do conhecimento.

Segundo Blikstein e Wilensky (2006), os exemplos práticos mostram que, ao combinar recursos didáticos virtuais e físicos, os alunos são capazes de reconhecer detalhes dos conteúdos que não são percebidos quando apresentados isoladamente, despertando a curiosidade em utilizar o conhecimento em outras situações do mundo real. Rafael Silva de Amorim *et al.* (2017) admitem que a IoT pode ser utilizada em ambientes de sala de aula para aumentar a eficiência no ensino-aprendizagem, possibilitando aos alunos interagir com outros alunos e democratizando a utilização de dispositivos educacionais em sala de aula. Ribeiro (2017) argumenta que muitos estudantes apontam o uso da IoT em sala de aula como tema pouco debatido, com restrições de uso na escola e fora do cronograma do currículo, carecendo de estratégias mais adequadas à realidade de sala de aula.

Os modelos tradicionais de ensino com trabalhosa coleta manual se contrapõem aos ambientes de aprendizagem com dados obtidos em tempo real. Além disso, o professor pode promover discussões em torno dos fenômenos apoiado no ambiente virtual. Por outro lado, a relação entre os componentes de um sistema IoT tem papel central na compreensão do seu funcionamento, embora eles passem a impressão de tratar de elementos separados.

Entende-se ser de extrema relevância integrar saberes de forma interdisciplinar, contemplando tecnologia e disciplinas da área de ciências, compreendendo a inclusão digital de forma gradual para que ele possa analisar, refletir e compartilhar o processo de aprendizagem na perspectiva de sua autoconstrução como sujeito autônomo e competente.

Considerando as diferentes visões dos autores citados acima, observa-se mudanças relacionadas aos processos pedagógicos, tanto na necessidade de qualificação técnica quanto carência de elementos culturais no ambiente escolar.

2.6 Revisão de Estudos

Esta sessão analisa a produção acadêmica em teses e dissertações brasileiras do componente Educação na perspectiva do Ensino Ambiental, identificadas no Catálogo de Teses e Dissertações da Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), o objetivo deste estudo é estabelecer um diálogo com trabalhos anteriores sobre o tema, identificando estas obras pelo uso dos descritores “educação” AND “ensino ambiental” AND “ar”, não sendo restringido período de publicação. Ao realizar a busca foram localizadas 37 produções, sendo selecionadas 8 (oito) pesquisas, 2 (duas) teses e 6 (seis) dissertações com conteúdo didático próximo à questão de pesquisa da presente tese. O Quadro 1 apresenta esses estudos de modo a identificar inicialmente o título do estudo, a seguir a autoria, tipo de produção e o ano.

Quadro 1 - Relação de Teses e Dissertações revisadas

Dissertação/ Tese	Autor	Produção/ Instituição	Ano
Educação Ambiental Baseada no Lugar com Realidade Aumentada: métodos e diretrizes para a transposição didática no desenvolvimento e uso de aplicativos	KRAUSE, Frederico Coelho	Tese - UNB	2019
Comunidades de Líquens e níveis de monóxido de carbono (CO) como indicadores de qualidade do ar em três áreas no município de Belo Horizonte/MG	MORAIS, Vergílio Silva de Alvarenga	Dissertação - UFMG	2019
Qualidade do Ar como tema gerador no ensino de Química na Educação de jovens e adultos	NEVES, Sérgia Rossana Sabino	Dissertação - UFF	2016
Arborização Urbana como instrumento para a Educação Ambiental na formação continuada de Professores de Educação de Jovens e Adultos na Modalidade Especial	LUSTOSA, Aparecida Alves dos Santos	Dissertação - UEM	2020
Uma Experiência em Educação Ambiental: Re-Desenhando o Espaço e as Relações Escolares	VILAS-BOAS, Dinabel Alves Cirne	Dissertação - UFPB	2002
Representação Ambiental de alunos do Ensino Fundamental. Implantação da Agenda 21 em Escola Pública Municipal de Batatais/SP	POZZA, Didier David	Tese - UFSCar	2006
A Poluição Ambiental no município de Santa Gertrudes (SP): um estudo com professores da rede municipal de ensino	SGOBI, Talita Martins de Oliveira	Dissertação - UNESP	2022
Ensino de tópicos básico da teoria em Física Ambiental no ensino médio com recursos de tecnologia da informação e comunicação	DORILÉO JUNIOR, Gonçalo Gonçalves	Dissertação - UFMT	2011

Fonte: Autor, 2024.

A primeira pesquisa (Krause, 2019) intitulada *Educação Ambiental Baseada no Lugar com Realidade Aumentada: métodos e diretrizes para a transposição didática no desenvolvimento e uso de aplicativos* norteia como contexto a necessidade de conservação do meio ambiente e a importância da Educação Ambiental baseada no lugar de vida do estudante.

Krause (2019) afirma que: “quando os indivíduos não são capazes de identificar e situar os determinantes da qualidade ambiental no contexto em que vivem, têm limitado seu poder de atuação para conservação e exigência de melhorias frente à sua comunidade e o poder público”.

O estudo *Comunidades de Líquens e níveis de Monóxido de Carbono CO como indicadores de Qualidade do Ar em três áreas no município de Belo Horizonte/MG* (Moraes, 2019), traz uma abordagem que busca a introdução à prática científica, para propiciar aos estudantes a vivência na avaliação ambiental e o conhecimento do ambiente antrópico em que vivem, utilizando a coleta de dados pelos alunos.

Por sua vez, a pesquisa *Qualidade do Ar como tema gerador no Ensino de Química na Educação de jovens e adultos* (Neves, 2016), conclui que a articulação entre a temática ambiental, qualidade do ar e os conhecimentos científicos contribuíram para a superação dos obstáculos na prática do ensino de química, destacando-se como fundamental para esta articulação a mediação realizada no sentido de viabilizar a interação e as reflexões que levaram a ampliação dos conhecimentos.

Na pesquisa intitulada *Arborização Urbana como instrumento para a Educação Ambiental na formação continuada de Professores de Educação de Jovens e Adultos na Modalidade Especial* (Lustosa, 2020), percebeu-se que através de organização do trabalho promoveu alterações nas práticas docentes. Os professores, que antes usavam como tecnologias pedagógicas apenas caderno, lápis e a rotina, passaram a fazer a articulação entre as disciplinas, trocas de ideias e projetos relacionados a Educação Ambiental.

Na investigação *Uma Experiência em Educação Ambiental: Re-Desenhando o Espaço e as Relações Escolares* (Vilas Boas, 2002), observou-se uma participação ativa dos alunos sob os temas da questão ambiental, em que os alunos orientados por uma discussão desenvolveram propostas de reorganização do espaço escolar. As hipóteses escolhidas pelos alunos além de estabelecer o compromisso da turma com a tarefa, despertaram novas competências.

A Tese *Representação Ambiental de alunos do Ensino Fundamental. Implantação da Agenda 21 em Escola Pública Municipal de Batatais/SP* (Pozza, 2006), aborda a concepção dos termos no ensino ambiental por parte dos alunos entre 09 e 15 anos, mostrando não existir nesta idade uma visão única da relação entre o ser humano e o meio ambiente, produzindo nos estudantes diferentes formas de contextualizar os danos ambientais e sugerir soluções.

A dissertação *A Poluição Ambiental no município de Santa Gertrudes (SP): um estudo com professores da rede municipal de ensino* (Sgobi, 2022), evidencia uma observação detalhada sob a perspectiva dos professores quanto a dificuldade em abordar a poluição do ar na escola, a falta de formação adequada e a dificuldade em encontrar pesquisas científicas sobre

poluição do ar no âmbito municipal, indicando a necessidade de adequar os conteúdos de Educação Ambiental para contemplar questões específicas dos municípios.

A observação da dissertação *Ensino de tópicos básico da teoria em Física Ambiental no ensino médio com recursos de tecnologia da informação e comunicação* (Dorileo Junior, 2011), apresenta as oportunidades da utilização de tecnologia para apresentação de conceitos de física, em especial, a dificuldade dos alunos em responder perguntas sobre umidade e sua relação com a qualidade do ar.

As oito obras analisadas estão relacionadas ao tema pesquisado. Embora não abranjam toda a produção científica disponível, elas servem como referências valiosas para direcionar pesquisas que visam observar o comportamento dos estudantes em sala de aula.

Quanto à necessidade de um aprofundamento considerando a utilização de produtos educacionais em diferentes abordagens da Educação Ambiental foi efetuada uma nova pesquisa, utilizando descritores “educação” AND “ensino ambiental” AND “produto educacional”, sendo restringido ao período 2014 a 2021. Como resultando, foram obtidas 143 produções, nas quais foi observada a relevância com a pergunta de pesquisa e a aplicação na prática de sala de aula, selecionado 5 (cinco) produtos educacionais apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Relação dos produtos educacionais revisados

Dissertação e produto educacional	Autor / Produção/ Instituição	Público-alvo	Ano
Material de estudo para o ensino da umidade relativa do ar Título do Produto: Material de estudo para o ensino da umidade relativa do ar	ESGANZELA, João Américo. Dissertação - UFMT	Alunos do 6º ano Ensino Fundamental	2014
Ensino de conceitos de termodinâmica: estação meteorológica como possibilidade de aprendizagem em Física Título do Produto: Estação Meteorológica	CONTIN, Rita de Cássia Dissertação - UFMT	Alunos do 9º ano do Ensino Fundamental	2017
Pensamento complexo e Educação Ambiental crítica na formação continuada de professores nas escolas públicas do município de Campina do Simão/PR Título do Produto: A Educação Ambiental na sala de aula: Construção e Aplicação de Projetos	MAZUREK, Daniel Dissertação - UNICENTRO	Formação de professores	2020
O estudo da produção energética: Educação Ambiental por meio do construcionismo Título do Produto: Sequência didática envolvendo Educação Ambiental e Robótica Educacional	MARON, Luís Henrique Pupo Dissertação - UEM	Alunos do Ensino Médio	2021
A problematização como uma metodologia de ensino e aprendizagem para a Educação Ambiental: um olhar sobre as concepções dos educadores de Ciências da Natureza do Ensino Médio Título do produto educacional: A Educação Ambiental sob a ótica da problematização utilizando o Arco de Magueréz: Guia de orientação para o Educador	NASCIMENTO, Ana Emylli da Silva Dissertação - UFAC	Formação de professores	2021

Fonte: Autor, 2024.

O produto educacional “*Material de estudo para o ensino da umidade relativa do ar*”, de João Américo Esganzela (2014), conforme o título anuncia, aborda a umidade relativa do ar na perspectiva da construção direcionada para professores que atuam em Educação Básica. As aulas, foram planejadas a partir do interesse e das informações disponibilizadas pelos alunos, considerando experiências do dia a dia do clima de sua região. Destacam-se, no processo pedagógico, a motivação e o interesse deles em agregar novas informações às investigações. O produto educacional e as aulas planejadas com a utilização do psicrômetro demonstraram aos alunos e professores uma opção interessante de como se pode agregar o conteúdo de física térmica no ensino da qualidade do ar. Os alunos têm oportunidade de agregar a sua bagagem de conhecimentos e outras informações pertinentes, com base científica e interesse regional.

No produto educacional “*Estação Meteorológica*”, Rita de Cássia Contin (2017) demonstra a utilização de uma estação meteorológica como forma de mediar o aprendizado de alunos do nono ano do Ensino Fundamental. Considerou-se o diálogo permanente entre as ideias expostas simbolicamente e os conhecimentos prévios dos estudantes, o que constituiu um processo envolvendo a física térmica. O produto educacional contribuiu para que professores que ministram a disciplina de ciências, sem formação específica, se sintam mais seguros ao desenvolver tópicos complexos em Física. Para os alunos, foi a oportunidade de contribuir com as suas vivências pessoais sobre um espaço conhecido e significativo para eles. Essa experiência poderá contribuir para que temas exclusivos do livro didático sejam abordados de outra forma, como o uso da estação meteorológica, uma experiência motivadora e interessante.

Para Daniel Mazurek (2020), o produto educacional “*A Educação Ambiental na sala de aula: Construção e Aplicação de Projetos*”, aborda a necessidade de uma reflexão sobre a complexidade da EA e as suas diferentes abordagens. Também aponta para a necessidade de viabilizar projetos que ampliem a reflexão e a ação de professores sobre o tema, bem como o desenvolvimento de práticas pedagógicas em relação às questões socioambientais e regionais. Destacam-se, ainda, discussões em torno da aproximação da teoria com a prática, contribuindo de forma significativa para o aprimoramento crítico e o reconhecimento histórico e cultural que orienta a prática socioambiental.

Luís Henrique Pupo Maron (2021), em “*Sequência didática envolvendo Educação Ambiental e Robótica Educacional*”, abordou a teoria construcionista de Papert (1986) e relacionou o aporte teórico e a formação do sujeito ecológico. Ele utilizou o artefato tecnológico educacional desde a coletas de dados até para a obtenção de informações para análise do aspecto emocional dos alunos. Ao abordar a geração e o consumo de energia, o autor considerou o viés

afetivo do processo ensino-aprendizagem. Nesse processo de integração entre o produto educacional e o aluno, a pesquisa teve interesse na experiência afetiva do aluno, na motivação para o tema “Educação Ambiental”. Se num primeiro os alunos refletiam sentimentos de medo e insegurança, na sequência, ao serem apresentados ao tema e terem espaço de análise e fala, esses sentimentos foram substituídos por alegria, contagiando o grupo. Em destaque, a frase de um colega em relação ao conhecimento prévio a constar: “essa é a placa, o controlador, é o nosso cérebro onde vai ficar o código, onde vai ficar as coisas” (Maron, 2021, p. 45).

O produto educacional “*A Educação Ambiental sob a ótica da problematização utilizando o Arco de Maguerez: Guia de orientação para o Educador*”, de Ana Emylli da Silva Nascimento (2021), apresenta a problematização como forma pedagógica. Embasa-se na solução de problemas comuns, pontuando e relacionando os aspectos locais e globais que afetam a realidade do aluno. A pesquisadora destaca que, ao observar a realidade e reconhecer os desafios, esse interage, observa, analisa, soluciona e modifica a sua relação com ela. Essa interação aprofundada pelas informações estabelece um significado para a sua aprendizagem. Nascimento, em seu estudo, reconhece as dificuldades dos professores em desenvolver a metodologia devido à carência de fundamentação científica, de domínio do conteúdo ou de planejamento estratégico. Ao mesmo tempo, atribui à formação contínua uma possibilidade positiva e assertiva de dirimir essas questões.

Ao proceder a análise dos textos, evidencia-se haver em comum que os pesquisadores utilizaram a tecnologia como uma nova forma de aprendizado, que não se limita à ludicidade. Contin (2017) demonstra que os alunos se sentem ativos e estimulados a mostrar os seus conhecimentos quando apresentados à tecnologia em sala de aula. Esganzela (2014) sugere que a educação não se limite ao livro didático e aponta para a necessidade de avaliar os artefatos na prática escolar. Além disso, incentiva a construção de produtos educacionais complexos, que possam atender a demanda dos conteúdos da sala de aula e que mantenham o aluno motivado, como o trabalhado na qualidade do ar.

Maron (2021) apresenta as percepções que teve em sua dissertação, enquanto pesquisador, sobre elementos ainda pouco trabalhados. São elas as sensações e os sentimentos que decorrem do contato com a tecnologia: medo, insegurança, desconforto, entre outros. Trata-se de temas que envolvem educação e emoções do aluno mediados pela tecnologia, o que é abordado na seção “Educação e experiência”.

Em sua dissertação, Nascimento (2021) apresenta que os educadores na área de Ciências reconhecem a importância de os alunos serem estimulados a refletir sobre a realidade em que estão inseridos. Outro fator relevante de mencionar é a importância de se buscar alternativa e/ou

soluções de problemas para a realidade do aluno, ampliando o conhecimento, a visão e as possibilidades de novas ações.

A revisão de estudos dos produtos educacionais evidenciou a sua aplicação como amparo para o desenvolvimento de conceitos mais complexos para a EA. Em geral, a experimentação analisada por estes estudos, indica uma perspectiva em que o aluno adquire novos conhecimentos ao falar sobre sua própria realidade.

Os cinco produtos educacionais analisados estão alinhados com o tema da pesquisa, destacando sua aplicação contextos específicos, dificultando a potencialidade de serem replicados em outras realidades escolares. Embora os instrumentos de registro estejam disponíveis, eles apresentam limitações no formato do registro e observação do comportamento dos alunos.

3 PRODUTO EDUCACIONAL

Neste capítulo é apresentado o produto educacional da presente tese, que envolveu desde a construção de um dispositivo tecnológico até a sequência didática, compreendendo sua aplicação em condições reais de ensino. Para isso, revelou-se inicialmente o entendimento de produto educacional; sua origem e o relato de suas aplicações iniciais, na forma de ensaio realizado com estudantes do Ensino Fundamental.

3.1 Entendimento de produto Educacional

Os produtos educacionais, na percepção de Roland *et al.* (2004), reúnem recursos visuais lúdicos para a representação do mundo, o que é considerado seu potencial de ser facilitador da proposta pedagógica. Essa visão foi reforçada pelas pesquisas de Reinoso *et al.* (2017) e Rose, Björling e Cakmak (2019), que destacam a capacidade de compreender os conceitos relacionados com o mundo real pela brincadeira, em ambiente agradável que estimule a interação entre os alunos.

Ao combinar a experiência e a prática escolar, Bacich e Moran (2018) demonstram que o professor poderá trabalhar com métodos didáticos, estimulando o pensamento dedutivo e desenvolvendo habilidades. Dearden e Finlay (2006) consideram que essas experiências por parte do estudante favorece uma melhor relação entre os conteúdos e sua aplicação em novos contextos.

As diferentes linguagens são amplamente utilizadas na educação como facilitadores do processo de ensino e aprendizagem, com destaque especial para áreas consideradas mais complexas, como é o caso das Ciências. A utilização das diversas linguagens possibilita o diálogo com diferentes sistemas e estabelece relações com conhecimentos prévios dos alunos. Nesse processo, não existe diferença entre a expressão linguística formal ou a utilização de metáforas.

Segundo Santos (2022) nem todos os conteúdos escolares poderão ser associados a uma experiência. Entretanto, essa prática contribui para que os alunos se apresentem mais receptivos em aulas teóricas e favorece ao aluno o exercício da criatividade na elaboração de estratégias e na resolução de problemas.

Os produtos educacionais proporcionam, segundo Brito e Madeira (2017), espaços de cooperação e trabalho em equipe e a valorização da experiência do aluno. Esses ambientes

podem concorrer para o trabalho de situações-problemas, exigindo uma atitude positiva dos alunos, estimulando o debate e a organização do pensamento em grupo.

A experiência do aluno não compreende uma atitude passiva, mas uma série de processos ativos, que exigem hábitos inteligentes, respostas sofisticadas e complexas. Na visão de McCarthy e Wright (2007), a experiência do aluno com o produto educacional supõe uma ação consciente. Tanto Garrett (2010) como Prensky (2008) consideram uma participação ativa na experiência a possibilidade de os próprios alunos identificarem as dificuldades ou as soluções no processo de aprendizagem.

No pensamento de Booth *et al.* (2016), a aprendizagem é um processo coletivo, que visa desenvolver soluções coletivas tomando para si o papel de desenvolvedor das soluções. A participação do aluno na experiência com os produtos educacionais permite ao professor propor atividades interativas que estimulem a participação do estudante. Segundo Schuhmacher, Schuhmacher e Ropelato (2019), a proposta com os produtos educacionais oportuniza trabalhar com a tecnologia, além de compreender conceitos ligados às ciências físicas, químicas e matemáticas.

Na visão de Carroll (1987), os alunos, ao construir novos conhecimentos mediados por produtos educacionais, têm o reconhecimento de suas experiências prévias na perspectiva de descobrir novos caminhos ou obter orientação dos colegas mais experientes.

Para Silva (2019), os produtos educacionais devem estimular o aluno a entender o funcionamento da tecnologia, descobrir como ela funciona para procurar usá-la de forma adequada, obtendo o melhor que ela pode oferecer. Brito e Madeira (2017) apontam que a falta de um processo apropriado pode contribuir para resultados inconclusivos ou negativos. Observa-se que na computação existe carência na competência de desenvolvimento de sistemas focados na experiência das pessoas.

Para Plauska e Damaševičius (2014), a utilização de produtos educacionais que envolvam *software* e *hardware* podem ser utilizados com o objetivo de um ensino contextualizado, mantendo o interesse do aluno como forma de motivação. Antila e Lui (2011) reconhecem que sistemas com diferentes interfaces e dispositivos (*software* e *hardware*) carecem de métodos apropriados que possibilitem ao aluno visualizar as suas ações como um todo.

Ao definir métodos e estratégias para produtos educacionais, Avila *et al.* (2017) afirmam que ambos devem corresponder às experiências do aluno. O trabalho com conceitos, habilidades e competências relacionados à aprendizagem na escola tem se mostrado um desafio complexo. Rodrigues e Fortes (2019) destacam a importância de novos estudos de avaliação de sistemas

que atuem em diferentes contextos devido ao crescimento acelerado das possibilidades de aplicação relevantes no campo da acessibilidade, em que a integração entre interfaces tangíveis e virtuais tem potencializado o número de propostas para inclusão de alunos ao ambiente escolar.

Segundo Nacke e Deterding (2017) e Ferreira *et al.* (2016), dentre os esforços para superar esses problemas de compreensão dos sistemas, as soluções apontam para a utilização de técnicas de gamificação como forma de promover maior engajamento e participação dos alunos com vistas a potencializar a aprendizagem nas mais diversas áreas.

A perspectiva multidisciplinar de desenvolver produtos educacionais centrados na experiência do aluno por si só é complexa, gerando diversas interpretações e análises. De forma geral, apresenta a possibilidade de interagir com a tecnologia de forma intuitiva.

Leiva *et al.* (2019) apontam para o exemplo da técnica de representação visual dos elementos como forma de reduzir ao máximo a perda de informações e retrabalhos durante a utilização do produto educacional. Segundo Abrahão (2012), a representação significativa por meio de vídeos e imagens auxilia na compreensão narrativa e mobiliza o conhecimento do mundo do aluno.

Na percepção de Tavares e Ribeiro (2016), a representação visual dos elementos oportuniza contar histórias de forma sistematizada e representar os conhecimentos por meio de uma narrativa, tornando o aluno o criador de produtos e de uma técnica eficiente de organização, expressão e difusão do pensamento. Segundo Papert (1994), o estudante constrói algo de um jeito próprio e que faça sentido para ele, e esse arcabouço de conhecimento serve de ancoragem para os novos conhecimentos, orientado por padrões e aprendizagens que ocorrem durante a interação com os produtos educacionais.

A partir do entendimento teórico realizado projeta-se um produto educacional que se ocupa de trazer uma sequência didática voltada a estudar a qualidade do ar em uma perspectiva de Educação Ambiental. Para isso foi desenvolvido um dispositivo denominado de “Brezobomba” tornando-se o subproduto da sequência didática que o circunscreve na forma como se projeta sua utilização em contexto educacional.

3.2 Origem do produto educacional - a Brezobomba

O produto educacional associado à tese referiu-se a uma sequência didática elaborada, cujo objetivo foi ensinar aspectos ambientais associados à qualidade do ar. Foi necessário percorrer um caminho envolvendo sua organização didática e a elaboração de um protótipo na

forma de um dispositivo (Brezobomba), utilizado durante as atividades integradoras da sequência didática.

A Brezobomba foi produto de discussões práticas e experiências que evoluíram visando favorecer a prática pedagógica no ambiente escolar. Com este objetivo foram realizadas atividades experimentais em uma escola que integra o sistema particular de ensino de Passo Fundo -RS nos anos de 2021 e 2022.

A motivação para o desenvolvimento deste equipamento foi um rápido resgate da inclusão da tecnologia na vida da filha do pesquisador e autor da tese que, antes do processo de escolarização, já utilizava com intimidade dispositivos eletrônicos, como *smartphone*, sempre motivada e questionadora. Para cada obstáculo que ela encontrava nessa experiência, gerava novas hipóteses para desvendar. Esse interesse resultou na parceria para a construção de protótipos rudimentares e no grande interesse de compreender como ocorre a aprendizagem quando mediada pela tecnologia.

O aparato experimental denominado “Brezobomba” foi constituído como um dispositivo IoT que permite a captura e visualização dos dados por meio de sensores e com capacidade de conexão com a internet. Na sua origem, já estava definida a intenção e a definição de sua função como auxiliar no processo de aprendizagem na Educação Ambiental, pela importância dessa abordagem na formação de ideias e ações desenvolvidas na escola. O caráter prático do projeto oportunizou a participação nas aulas de Ciências, em recorrência, em uma escola da rede particular no município de Passo Fundo/RS, com alunos do sexto e nono ano do Ensino Fundamental.

Na primeira proposição, a Brezobomba foi organizada para conduzir a ação dos estudantes de forma intuitiva, visando estimular a autonomia do aluno em interagir com a tecnologia em sala de aula e discutir o tema da EA sob seu próprio ponto de vista. No projeto original da Brezobomba (Figura 6), foi desenvolvido um dispositivo físico numa cápsula construída com o reaproveitamento do casco de um extintor de incêndio.

Figura 6 - Protótipo da Brezobomba



Fonte: Autor, 2024.

O objetivo foi permitir que os estudantes realizassem suas primeiras experiências com a tecnologia, supondo que eles percebam semelhanças entre o dispositivo e suas experiências com os dispositivos eletrônicos do seu cotidiano. Ao introduzir os elementos de tecnologia, como o monitor (*display*), que pode ser visto na Figura 7, oportunizou-se uma atenção não esperada com os alunos, instigando-os a compreender seu funcionamento. Neste processo de descoberta, percebeu-se a Brezobomba como um meio pelo qual o aluno poderia fundamentar seus conhecimentos, refazer caminhos e avaliar o próprio processo de aprendizagem.

Figura 7 - Brezobomba com monitor



Fonte: Autor, 2024.

A possibilidade de usar um dispositivo que retratasse os dados da sua realidade gerou, de forma espontânea, nos alunos, um ambiente de interesse e debate sobre como o protótipo inicial poderia ser aproveitado.

Na segunda proposição, as dúvidas dos alunos em observar os elementos internos que possibilitavam seu funcionamento, incentivou o segundo protótipo desse artefato: a Brezobomba Amarela, apresentada nas Figuras 8 e 9. Disposto de um acesso interno lateral, o modelo permitiu que o aluno tivesse acesso aos elementos eletrônicos em funcionamento. No segundo protótipo, foram testadas as tecnologias de tela colorida e o *Touchscreen*, considerando a aproximação dos alunos com essas tecnologias no seu cotidiano, notoriamente com os *smartphones*. Essa percepção, por fim, não foi confirmada, uma vez que a Brezobomba era percebida como um artefato didático, um dispositivo com fins científicos.

Figura 8 - Brezobomba Amarela



Fonte: Autor, 2024.

Figura 9 - Brezobomba frente



Fonte: Autor, 2024.

O objetivo didático da visualização dos elementos internos foi possibilitar ao aluno dois momentos de compreensão do dispositivo e de formulação de hipóteses: inicialmente em como a tecnologia IoT foi capaz de capturar os dados e transmitir para internet, e em seguida como os dados refletem a realidade da escola.

A terceira proposição, originada da experiência trazida pelas atividades em sala de aula, mostrou a necessidade de desenvolver um modelo mais fácil de ser manuseado e transportado pelos alunos e professores. O terceiro protótipo construído foi a Brezobomba Azul, apresentada nas Figuras 10 e 11, modelada em 3D e impressa em filamento.

Figura 10 - Terceiro protótipo: Modelo 3D



Fonte: Autor, 2024.

Figura 11 - Modelo 3D ativo

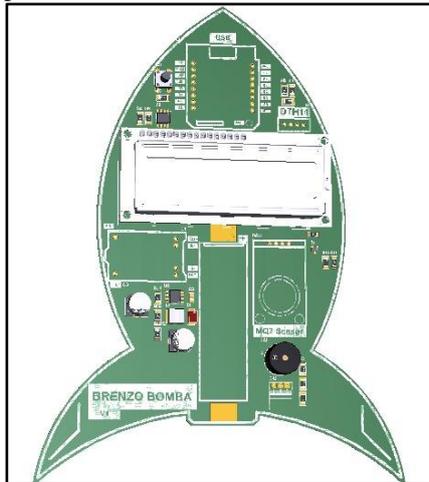


Fonte: Autor, 2024.

O objetivo de ser mais prático e manuseável pelos professores e alunos não se mostrou didaticamente relevante, sendo que os alunos perceberam características de um brinquedo infantil, algo corriqueiro e comum, produzindo pouco interesse para gerar discussões mais complexas pelo tema. Esta experiência no desenvolvimento dos protótipos e os testes em sala de aula evidenciaram a necessidade de desenvolver um dispositivo que representasse, na concepção dos alunos, um *artefato científico*. A possibilidade de os alunos visualizarem os elementos internos forneceu para eles a clara ideia de um elemento para estudos. Desse conjunto de experimentações evoluiu *uma nova proposta de pesquisa*, a saber, avaliar a mediação da tecnologia pela manifestação metacognitiva dos estudantes: como eles perceberam que a Brezobomba participou do seu processo de aprendizagem.

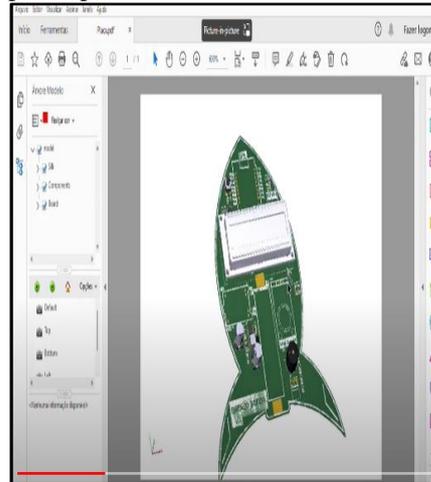
Por fim, na quarta proposição, o dispositivo adotou uma perspectiva totalmente científica (Apêndice C), constituída por uma placa eletrônica especializada desenvolvida e indicada nas Figuras 12 e 13, em que o aluno fosse capaz de identificar seus elementos de funcionamento (monitor, sensores e bateria) instintivamente, possibilitando que a ele que atue de forma autônoma para organizar seu aprendizado.

Figura 12 - Primeiro protótipo para a placa da Brezobomba



Fonte: Autor, 2024.

Figura 13 - Impressão do primeiro protótipo



Fonte: Autor, 2024.

Ainda que apresentando um modelo de construção sofisticado e com novas funcionalidades chegando à prática de sala de aula, verificou-se a dispersão da turma quanto às discussões sobre o tema proposto, quando da conexão do dispositivo com a internet. Para incentivar a autonomia dos alunos, foi construído um botão de conexão em que (Figura 14) quando o aluno conseguisse conectar o dispositivo a internet, o botão ficaria habilitado para tocar uma música curta, indicando que a ação foi executada com sucesso. Para auxiliar os professores e alunos foi produzida uma animação como roteiro de orientação (Apêndice B).

Figura 14 - Botão de conexão - internet



Fonte: Autor, 2024.

Na sua versão mais recente, a Brezobomba foi projetada para ser intuitiva em sua construção e de fácil replicação. Para facilitar esse processo, apresentamos uma lista de componentes, incluindo sugestões de produtos e preços referentes a março de 2025.

Quadro 3 - Lista de componentes da Brezobomba

Componente	Sugestão	Quanto custa?	Ações
Processador	<i>ESP8266</i> <i>ESP32</i> <i>Arduíno</i>	R\$ 50,00	Receber os dados dos sensores processar localmente, exibir no monitor, gerenciar a conexão com a WEB e enviar os dados para a Plataforma
Monitor	<i>Diversas</i>	R\$ 35,00	Apresentar visualmente os dados no dispositivo físico
Sensores	<i>Sensor MQ-135(CO₂)</i> <i>Sensor DHT11</i> <i>(umidade e temperatura)</i>	R\$ 30,00 R\$ 15,00	Capturar os dados do ambiente e enviar para o processador
Bateria	<i>Diversas</i>	R\$ 30,00	Permitir que o dispositivo seja portátil

Fonte: Autor, 2024.

Em conclusão às diversas potencialidades técnicas do dispositivo, observou-se uma maior adequação entre os conteúdos didáticos propostos e o aluno, quando este percebeu de forma intuitiva os elementos eletrônicos, criando suas próprias hipóteses de funcionamento e se apropriando da tecnologia como forma de resolver problemas para a sua realidade.

3.3 Relato dos estudos iniciais

A partir da construção da Brezobomba, procedeu-se a realização de dois estudos iniciais desenvolvidos com o dispositivo em turmas de Ensino Fundamental. Os estudos envolveram a produção de dados por meio do uso de questionários aplicados a alunos e professores visando registrar as percepções sobre seu o aprendizado, bem como a produção de desenhos.

O primeiro estudo vinculou-se à investigação que ocorreu em uma *escola particular* no município de Passo Fundo - RS, com a participação de 10 alunos de uma turma de sexto ano do Ensino Fundamental. Este estudo foi realizado em dois momentos. O primeiro, durante o mestrado do pesquisador (2016-2017) em que o objetivo foi discutir sobre o dispositivo em sala de aula e durante apresentações voltadas para a tecnologia. O segundo, durante o doutorado (2020-2023) visando *analisar o aprendizado dos alunos* com apresentação orientada sobre a qualidade do ar.

Inicialmente, para as primeiras experiências durante o período do Mestrado em Computação Aplicada em 2017, foram utilizados questionários com perguntas diretas (sim/não) para os professores após a apresentação do dispositivo Brezobomba em sala de aula. Esta experiência inicial de sistematização dos dados possibilitou os primeiros registros da pesquisa e as potencialidades para uso na escola. Entretanto, conforme demonstra a Figura 15, as perguntas muito direcionadas ao professor não possibilitaram discussão e/ou apresentação de sugestões. As respostas não reverteram em resultados para entender as práticas pedagógicas.

Figura 15 - Questionário inicial

Questão	Opinião do Professor
1 - Você acredita que o aluno pode perceber que os dados exibidos são representações reais da qualidade do ar e não um jogo fictício?	Sim
2 - A interface web contém elementos acessíveis e compreensíveis aos alunos?	Sim
3 - Você considera que os alunos teriam interesse ao interagir com esse tipo instrumento?	Sim
4 - Você acredita que poderia utilizar esse tipo de instrumento para mais atividades em sala de aula?	Sim

Fonte: Autor, 2024.

Em uma segunda investigação, integrando o tema ambiental aos questionamentos (Figura 16), por se tratar de perguntas mais complexas em comparação com os primeiros testes, ficou explícito que *os alunos com idades semelhantes apresentavam diferentes estratégias de construção do conhecimento*. O primeiro aluno avaliado apresentou um entendimento do protótipo como uma espécie de alarme, enquanto um segundo aluno rapidamente soube explicar detalhes do funcionamento do sistema, dando exemplos e sugestões de uso em outras circunstâncias e de outras formas. Ambos verbalizaram satisfatoriamente. Após essa situação, ficou evidente a necessidade de uma forma mais estruturada de registro para avaliar as percepções dos alunos quanto ao próprio aprendizado.

Figura 16 - Questionário dos Alunos

Questão	Aluna de 9 anos	Aluna de 11 anos
1 - O aluno entendeu qual é a funcionalidade da interface web?	Sim	Sim
2 - O aluno percebeu que os elementos visuais da interface web apresentavam variáveis ambientais sobre o ar?	Não	Sim
3 - O aluno percebeu como a interface web exibia as informações capturadas no sistema?	Não	Sim
4 - O aluno identificou como explorar a interface web?	Não	Não
5 - O aluno entendeu que se tratava de um dispositivo móvel que poderia ser levado além da sala de aula?	Sim	Sim
6 - O aluno considerou a plataforma como um dispositivo útil?	Sim	Sim
7 - O aluno percebeu o potencial de aplicação da plataforma em conteúdos de sala de aula?	Não	Não

Fonte: Autor, 2024.

Na terceira observação, os alunos receberam um questionário adaptado com imagens e *emoticons* (Figura 17). A primeira questão era relativa à preferência de dispositivos que escondem dispositivos dentro de peças de montar, aguardando o tempo de resposta. A segunda questão, sobre a importância do uso da tecnologia *touchscreen* para o dispositivo e, por fim, as duas últimas questões sobre a preferência dos alunos sobre os dois modelos.

Um primeiro grupo de alunos respondeu de forma mais rápida aos questionamentos. Mesmo sem muita reflexão, a resposta foi dada. Os demais alunos aguardaram para responder, demonstraram dúvidas se deveriam ter ou não respondido rapidamente. O primeiro grupo teve interesse em alterar suas respostas após ter ouvido as dúvidas dos alunos que responderam mais calmamente ao questionário.

Figura 17 - Questionário adaptado

	I	II	III	IV
				
		X	X	
				X
	X			
				
				
				

Fonte: Autor, 2024.

Na quarta observação, algumas mudanças foram realizadas. Por exemplo, foi definida uma estratégia com menor número de opções de concordância e mais perguntas curtas, que disponibilizassem tempo para discussões entre os alunos.

Foi utilizado um novo modelo, diminuindo a coluna de aceitação em cinco níveis entre “discordo” e “concordo” e substituindo a primeira linha por um número que representava uma pergunta presente em uma lista que seria feita em voz alta.

Nesta experiência, os alunos tiveram o cuidado de esperar os questionamentos para marcar as respostas. Também esperaram as discussões na turma para tomar a sua decisão. Nesse

contexto, observou-se que, em geral, a turma fez, entre si, uma avaliação sobre o próprio aprendizado. Os alunos discutiram sobre o tema, indicando a adaptação do método didático. E mais: apontaram que a metodologia estimulou a reflexão do aluno em grupo.

Entretanto, ficou evidente que o grupo de alunos com respostas mais complexas não manteve o grau de interesse, diminuindo a participação. O caso que mais chamou a atenção foi o de uma aluna que participou ativamente das discussões e não terminou de preencher o teste. Ao manter o foco na complexidade do dispositivo, ela se mostrou frustrada em simplesmente expor suas percepções em um questionário.

Para a quinta experiência, relativa a como integrar os dois grupos de estudantes (respostas rápidas e respostas reflexivas), os testes foram propostos com um modelo de pergunta direta (Figura 18). Adicionalmente no verso da folha, o aluno poderia responder às suas percepções sobre como o dispositivo se relaciona com o problema da qualidade do ar por meio de desenhos livres, sendo uma representação explícita dos significados atribuídos durante as aulas.

Figura 18 - Segunda adaptação do questionário

	1	2	3	4	5	6	7
5							
4							
3							
2							
1							
ESUMA							

Fonte: Autor, 2024.

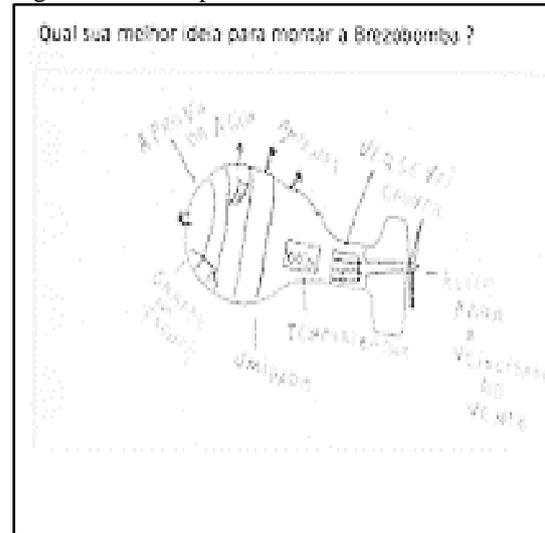
Observou-se, nesse modelo de teste, que os alunos se sentiram confortáveis em desenvolver sua própria estratégia, ou seja, fazer o desenho utilizando o tempo disponível da maneira que achassem mais adequada. Eles gerenciaram o tempo, inclusive, para incluir mais detalhes sobre os elementos discutidos em grupo. O resultado foi positivo, pois os alunos demonstraram mais hipóteses no mesmo cenário proposto, extrapolando as suas considerações iniciais, como pode ser visto nos exemplos ilustrados nas figuras 19 e 20, quando lhes foi solicitado que desenhassem suas percepções de forma livre e espontânea.

Figura 19 - Exemplo de desenho livre



Fonte: Autor, 2024.

Figura 20 - Exemplo desenho livre com detalhes



Fonte: Autor, 2024.

A sexta experiência envolveu o tema da EA sobre a qualidade do ar. Cada aluno elaborou a sua própria história sobre a qualidade do ar e o meio ambiente. Ficou estabelecido que o aluno relacionaria os elementos que já tivesse conhecimento e organizaria uma história em quadrinhos (Figura 21).

Figura 21 - Exemplo de história desenvolvida pelo aluno



Fonte: Autor, 2024.

A proposta apresentou dificuldades de realização em sala de aula, provavelmente em razão do tempo reduzido planejado para que os alunos entendessem a atividade; também pela realização, que demonstrou a compreensão superficial sobre o tema pelos alunos. Não aconteceu a discussão em sala de aula, o que promoveu o isolamento dos estudantes e a geração de informações e ideias de forma individualizada.

Essa metodologia não correspondia ao objetivo de promover debates. Na avaliação, foi percebida a necessidade de propor uma linguagem mais simples para que o aluno conseguisse interferir mais, bem como trabalhar melhor o seu tempo, uma vez que as respostas não demonstraram um aprimoramento da compreensão sobre o tema.

3.3.1 O primeiro estudo: a mediação pela tecnologia

Nesta seção foi descrita a aplicação das atividades práticas que serviram de base para o desenvolvimento da sequência didática e do produto educacional. Como forma de registro dos comportamentos dos alunos, foi utilizado o diário de aula contendo as falas dos estudantes que poderiam refletir o comportamento metacognitivo de *expert*.

A prática educativa que fundamentou esta pesquisa foi realizada na cidade de Passo Fundo, cidade localizada no norte do estado do Rio Grande do Sul, no mês de setembro de 2020. O experimento foi realizado na Escola St. Patrick, da rede particular de ensino, situada no centro da cidade. A instituição atendia cerca de 350 estudantes desde a Educação Infantil ao Ensino Fundamental II, compreendendo alunos de seis anos (6) de idade até 16 anos.

A escola apresentava infraestrutura diferenciada com salas confortáveis e materiais necessários disponíveis. A escolha desta escola para os estudos iniciais se deveu à proximidade do pesquisador com os professores da escola e por estes já conhecerem a pesquisa que foi executada na escola durante o mestrado.

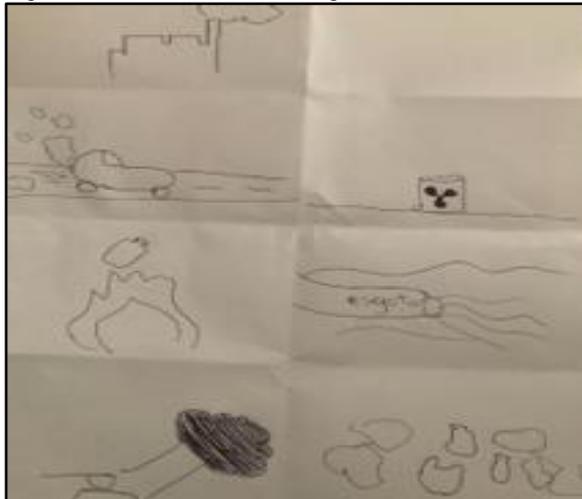
A investigação ocorreu no período da pandemia de COVID-19, período em que a escola estava realizando aulas remotas, e contou com a participação voluntária de 10 (dez) alunos. Para execução da atividade, a Brezobomba foi deixada na escola e um estudante a levou para sua casa dias antes da aula.

No dia da aula os alunos receberam uma rápida explicação sobre o objetivo da aula e uma introdução sobre o tema da qualidade do ar. Na sequência, foram apresentados ao dispositivo e seu funcionamento. Observou-se que a discussão sobre o funcionamento do dispositivo teve papel direcionador sobre o debate, uma vez que as hipóteses de como ele poderia se conectar com a internet, ao mesmo tempo, geravam discussões sobre o tema da qualidade do ar.

Os estudantes foram convidados a desenhar, de forma espontânea, aspectos que consideraram importantes e significativos sobre o tema da qualidade do ar e enviar as fotos dos desenhos para o professor. Durante o tempo desta atividade, os alunos continuaram a discutir hipóteses sobre o meio ambiente relacionando com suas preocupações a respeito de outros

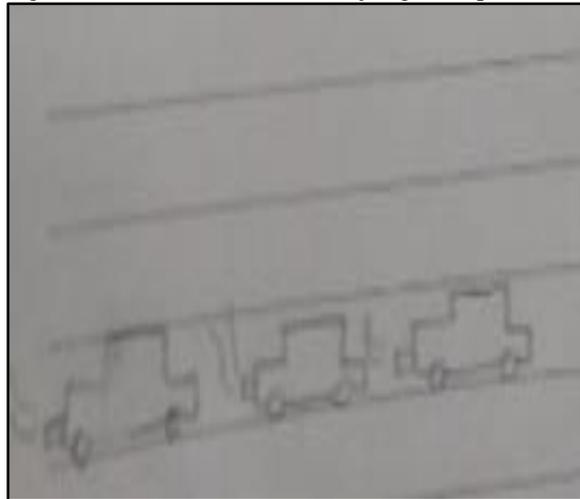
temas, como a poluição da água. Essas discussões estão apresentadas na Figura 22, retratando um esgoto, e na Figura 23, retratando a poluição causada pelos carros.

Figura 22 - Desenho livre - Esgoto



Fonte: Autor, 2024.

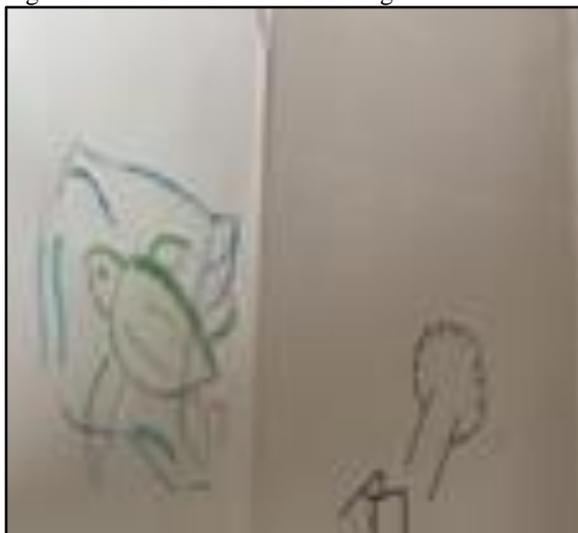
Figura 23 - Desenho livre - Poluição gerada por carros



Fonte: Autor, 2024.

O debate entre os estudantes, ocorrendo fora do escopo dos temas inicialmente apresentados, gradativamente foi se tornando mais complexo, trazendo novas hipóteses e alternativas para combater a poluição. Como exemplo, um dos desenhos apontou para a questão que envolve a ameaça às tartarugas e a bicicleta surgiu como opção para dirimir a poluição do ar (Figuras 24 e 25).

Figura 24 - Desenho livre - Tartaruga



Fonte: Autor, 2024.

Figura 25 - Desenho livre - Bicicleta



Fonte: Autor, 2024.

Percebeu-se que a tecnologia potencializa um ambiente de debate mais complexo, que exige dos alunos maior participação do grupo na busca de soluções de problemas em comum. Mesmo que não se apresentem os conteúdos de forma tradicional, o aluno precisa desenvolver estratégias próprias e em grupo para resolver o problema.

A experiência do desenho inicial se mostrou uma alternativa de atividade de implementação, permitindo uma rápida aproximação do conteúdo proposto com a turma. Entretanto, sob o ponto de vista da pesquisa, não foi possível verificar o pensamento metacognitivo de planificação, monitoramento e avaliação durante a atividade, gerando dúvida se desenhos mais elaborados ou com maior número de detalhes são produzidos pelo debate em sala de aula ou por experiências prévias do aluno sobre o tema.

3.3.2 O segundo estudo: avaliando o perfil metacognitivo pelo desenho inicial

Aprofundando as percepções do primeiro estudo, a teoria epistemológica de Piaget (1978) quanto às fases pós-operatória (2-6 anos) e operatória concreta (6-11 anos) possibilita identificar características gerais sobre os pensamentos dos estudantes. Em relação à segunda investigação apresentada nesta sessão e referenciada pela imagem 16, foi proposta uma atividade com alunos de menor idade.

A prática educativa foi executada na mesma escola do primeiro estudo, no mês de março de 2021, de forma presencial e voluntária, com 24 (vinte e quatro) alunos do primeiro ano do Ensino Fundamental com idades entre 6 e 7 anos.

No dia da aula os alunos foram apresentados a um dispositivo, com o formato de um pequeno carrinho controlado por meio de um *smartphone*, introduzindo aos estudantes as funções de execução de pequenas tarefas, como ir para trás e para a frente, ligar a luz ou emitir um som de buzina. Essa experiência produziu opiniões interessantes e diversificadas, mas em comum com os estudantes antes avaliados: a diferenciação de que não se tratava de um brinquedo, mas de artefato tecnológico.

Os alunos foram convidados a desenhar de forma livre como poderiam criar seu próprio robô. Foram orientados na direção de que os desenhos evidenciassem detalhes e um pensamento mais complexo, evitando desenhos simples, por exemplo: bonecos de palitinhos. Foi apresentada a necessidade de criar “poderes” (funções), exigindo que antes de desenhar o aluno refletisse sobre suas escolhas.

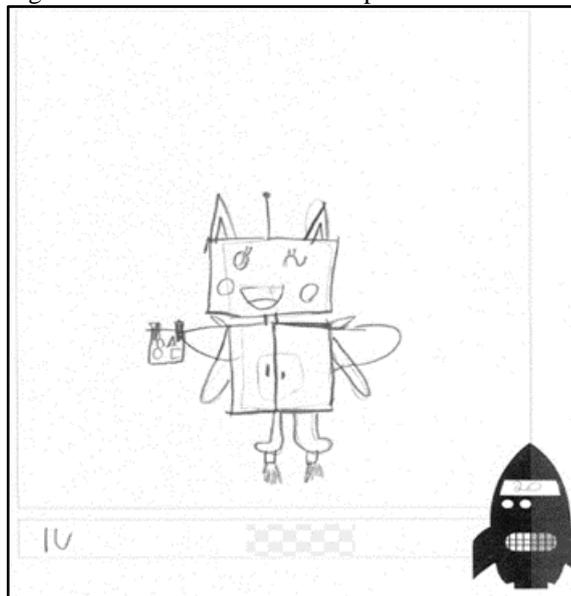
Moreira (2011) afirma que os alunos, ao utilizarem o desenho como recurso, têm a possibilidade de demonstrar conhecimentos adequados que lhes permitam atribuir significado

a novos conhecimentos. Eles utilizam estratégias de organização dos conhecimentos que servirão de esteio para o novo conhecimento, tendo como objetivo a incorporação do significado.

Percebeu-se inicialmente a falta de afinidade entre a tarefa e as hipóteses apresentadas. Dez alunos não apresentavam relação entre a proposta de funções e o robô, o que evidenciou que nesta idade o comportamento do aluno mediado pela tecnologia ainda não está madura o suficiente para produzir debates entre a turma.

Dos quatorze desenhos relacionados, percebeu-se uma grande incidência (13/24) de referências aos elementos “antena” e “cabeça quadrada”, sendo essa a característica que indicava o reconhecimento do robô. Por fim, nove alunos sugeriram o uso de mãos com garras, o que indica, na percepção dos alunos, que o robô deve executar uma função ou desempenhar uma atividade, não apenas ir para frente e para trás, indicando conhecimentos prévios do tema e não hipóteses formuladas para solução do problema de criar seu robô, como pode ser observado na Figura 26.

Figura 26 - Robô conhecimentos prévios



Fonte: Autor, 2024.

Sete alunos desenharam ou fizeram referência aos circuitos, identificando a percepção de “como” o robô deve funcionar, como pode ser visto na figura 27. Por fim, observa-se entre estes alunos, durante os debates, que apenas uma apresentou hipótese que se referiu à potencialidade de uma bateria (percussão), estabelecendo relação com a função de buzina, extrapolando as hipóteses propostas para atividade.

Figura 27 - Robô funcionamento



Fonte: Autor, 2024.

Ainda que o desenho livre não se apresente como instrumento de coleta de dados adequado para pesquisa, tem grande potencialidade na organização de estratégias para solução de problemas e incorporação de significados, como pode ser identificado nos registros das falas dos participantes dos primeiros encontros (Apêndice D).

A experiência sob o ponto de vista da observação do comportamento metacognitivo de novato e *expert*, mostrou-se inconclusiva, uma vez que o desenho, quando analisado isoladamente, não apresenta elementos suficientes para identificar ou evocar as ações metacognitivas que possam ser monitoradas.

3.3.3 O terceiro estudo: a sequência didática

Os resultados preliminares do primeiro e segundo estudos orientaram a construção do produto educacional, dentro do recorte no qual o professor deve, a partir da observação do aluno, apresentar organizadores que permitam a conexão entre o que o aluno sabe e um novo conhecimento.

Limitar o produto educacional a uma perspectiva de criação de novos significados, para solução de problemas, não descaracteriza o processo pedagógico envolvido, porém possibilita a especialização da sequência didática que oportuniza ao professor orientar o aprendizado da turma e estimular novos significados sobre temas que são debatidos.

A prática educativa que fundamentou esse terceiro estudo foi discutida, durante as disciplinas remotas e presenciais do Doutorado no Programa de Pós-graduação em Ensino de Matemática e Ciências, entre o pesquisador e a professora mestranda Fernanda Batista, que

demonstrou interesse na aplicação dos testes pilotos do produto educacional na sua escola no interior do estado de Goiás.

A potencialidade de observar dados diferentes sob perspectivas sociais diversas e de localidades distantes, como uma escola pública do interior do país, proporcionou uma ação em conjunto para discutir formas de estruturar os encontros para que pudessem ser executados de forma remota.

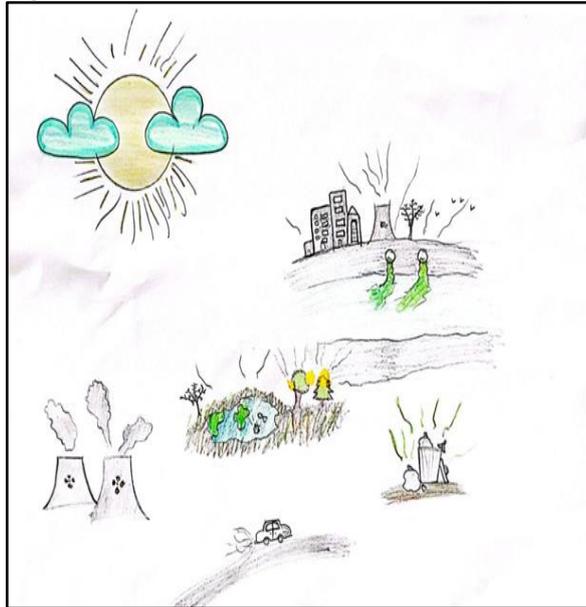
O terceiro estudo foi realizado no mês de abril de 2023, na cidade de Jandaia (GO) em cooperação os alunos do 4º ano e professores da rede municipal de Jandaia, nas Escola Professora Elza Rodrigues Troncoso Cunha e do Instituto de Educação Francisco Moura. O objetivo foi observar de maneira prática como a tecnologia poderia ser aplicada para monitorar a qualidade do ar e promover uma compreensão mais profunda desse tema em sala de aula.

Para o terceiro estudo, que ocorreu durante as aulas regulares de ciências com o tema da Educação Ambiental, a professora apresentou a pesquisa da Brezobomba aos alunos e após uma breve explicação teórica sobre a qualidade do ar e sua influência na saúde humana e ambiental, foi discutida a importância de monitorar a qualidade do ar e como a poluição do ar afeta a vida cotidiana.

Como atividade deste primeiro encontro os alunos foram convidados a produzir desenhos com a sua percepção do problema de forma livre. Por se tratar de uma escola localizada em um centro urbano com menor circulação de carros em relação à realidade dos estudantes do primeiro estudo, o tema da qualidade do ar teve significado próprio. A diversidade de significação refletiu-se em desenhos que deram sentido à utilização do dispositivo IoT para enfrentar o “problema” da chaminé da fábrica, e não a fumaça do carro.

A influência da tecnologia, que se torna um elemento central na discussão dos alunos, pode ser observada no exemplo do desenho detalhado da Figura 28, destacando relações importantes entre o produto educacional e a percepção do estudante, em que o aluno utiliza o sol do site da Brezobomba, e contextualiza com diversas chaminés da sua realidade. Percebeu-se que esta oportunidade de adaptar um novo conhecimento é uma estratégia frequentemente utilizada pelos alunos na tentativa de acomodar novas hipóteses à sua realidade.

Figura 28 - Desenho livre - Chaminé



Fonte: Autor, 2024.

A mesma estratégia revelada na Figura 29, porém na estrutura de “quadrinhos”, já apresentada nos relatos dos estudos iniciais, na qual o estudante “adaptou” sua percepção do nome do projeto (Brezobomba) à discussão do problema da qualidade do ar, desenhando uma bomba que está com o pavio ligado e próxima de explodir.

Mesmo apresentando propostas criativas nos problemas estruturados em quadrinhos, em nenhum experimento esta estratégia de desenho do problema fomentou debates em sala de aula pelos colegas, fazendo contraponto à utilização de elementos visuais da plataforma (sol, nuvem e balões) que são utilizados como conexões entre os dados e o conhecimento.

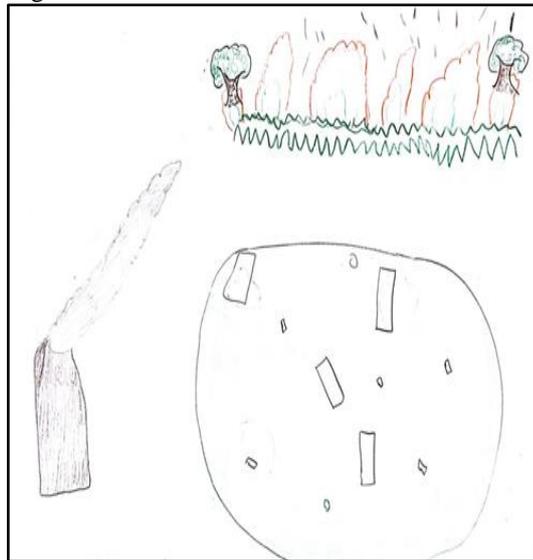
Figura 29 - Desenho livre - Escola



Fonte: Autor, 2024.

Retomando a preocupação com o elemento chaminé, é possível observar que mesmo nos desenhos com “menor complexidade” - como na Figura 30, e que poderiam em um primeiro momento demonstrar um comportamento metacognitivo de novato -, os desenhos apresentam preocupações em comum entre os estudantes, as quais foram construídas em desenhos individuais. Porém, a atividade foi discutida em grupos, nos quais os alunos entre si discutiam as regras do problema.

Figura 30 - Desenho livre - Escola Chaminé

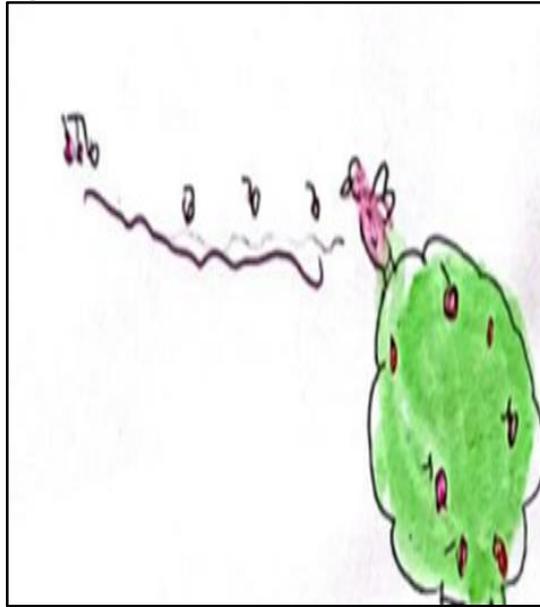


Fonte: Autor, 2024.

A observação do pesquisador para a utilização de pequenas explicações por parte do professor e o “dar tempo” para os alunos desenvolverem suas percepções sobre dos seus próprios problemas permitiu que, nos encontros posteriores, os alunos reconhecessem o processo de debate como forma de buscar uma solução em conjunto.

Reforçou-se essa percepção em desenhos que abordam diferentes formas de ver o problema, como no exemplo da Figura 31, em que o problema da qualidade do ar foi refletido na preocupação do estudante com a influência da poluição na vida dos animais.

Figura 31 - Desenho livre - Escola Animais



Fonte: Autor, 2024.

A percepção dos alunos sobre a potencialidade de ver os dados da sua realidade por meio da tecnologia IoT na internet consolidou a percepção do pesquisador quanto à necessidade de segregar o segundo e o terceiro encontro em ações diferentes: no primeiro, os alunos deveriam ser estimulados a propor em grupo hipóteses de como a Brezobomba funciona, construindo coletivamente um novo conhecimento; no terceiro, a capacidade de discutir cenários de diferentes locais onde a Brezobomba apresentava dados.

Esta sequência de ações do aluno, em que se alternaram prévios e novos conhecimentos, proporcionou que o aluno metacognitivo *expert* apresentasse hipóteses não limitadas às propostas tradicionais esperadas em sala de aula e estas propostas, em sua maioria, foram apropriadas pela turma e debatidas.

Os alunos foram divididos em grupos e foram encarregados de realizar medições em diferentes locais da escola e da cidade. Eles usaram a Brezobomba e os sensores para coletar dados sobre temperatura, umidade e nível de CO₂ em áreas internas e externas.

O Instituto de Educação Francisco Moura seguiu o cronograma no período vespertino realizando as medições em três ambientes, sendo o primeiro no Lago Municipal Lambari, onde os alunos tiveram a oportunidade de acompanhar a temperatura em área arborizada e bem úmida próximo à margem do lago. Nesse ambiente, o grupo teve a experiência de observar os sensores fazendo a medição e anotaram em seu bloco de estudos os dados coletados. Já no ambiente do lixão, os alunos que realizaram a medição puderam compará-las com as anotações do grupo anterior e identificaram alteração no nível de CO₂ e de temperatura devido ao volume de matéria

em decomposição. Vale ressaltar que os alunos que realizaram a medição no lixão estavam devidamente seguros e orientados para ficarem somente próximos ao ônibus devido ao ambiente insalubre.

No terceiro ambiente, visitou-se a fazenda Cachoeirinha, destinada à criação de gado. Os alunos em grupos foram acompanhados pela professora regente do 4º ano, pela coordenadora Núbia Rodrigues Moreira e pelo zootecnista responsável pela propriedade e manejo com o gado. O grupo teve a oportunidade de medir a temperatura e a quantidade de CO₂ próximo à cama do gado, forrada com serragem. Nesse ambiente, os alunos perceberam maior temperatura e aumento do nível de CO₂ em comparação com a estação da ordenha e com o pátio, devido à sua localização próxima a uma represa, um local bastante arborizado. Na fazenda Cachoeirinha os alunos puderam compreender o processo de produção de queijo muçarela, desde a ordenha do leite até o produto. Eles realizaram a experiência de ver a ordenha do gado e o transporte feito em latões por um trator que carregava o leite para o laticínio. Eles ficaram maravilhados, pois, tiveram a oportunidade de apreciar a natureza preservada em uma propriedade que visa o desenvolvimento sustentável. Na oportunidade o zootecnista explicou o caminho realizado pelos resíduos das fezes, destinado para a “chorumeira” e curtido para ser reaproveitado na forma de adubo orgânico para a pastagem. Além de terem a oportunidade de aproveitar a brisa fresca da fazenda ele se divertiram com bezerros dóceis. O zootecnista explicou como funciona o espaço do bezerreiro e o manejo com os animais.

A segunda etapa da aula prática com a Brezobomba foi realizada no turno matutino com os alunos da Escola Municipal Professora Elza Rodrigues Troncoso Cunha. Esse momento foi oportuno para realizarmos as medições nas praças da cidade, sendo visitadas a Praça São Sebastião, Praça Central, Lago Municipal e o lixão. A experiência da escola Elza foi muito interessante e bem participativa, pois ao serem divididos os grupos, foi especificado que além de fazer as medições, fariam também um vídeo explicativo relatando os resultados das medições nos ambientes visitados e comparar os dados entre os grupos.

Chegando à instituição, foi realizado um experimento com a participação do motorista do transporte escolar. Foi solicitado a ele que acelerasse o ônibus por alguns minutos e a surpresa para os estudantes foi terem a oportunidade de observar no visor da Brezobomba o nível de CO₂ e a temperatura sendo elevados de acordo com o tempo de funcionamento e com a aceleração do ônibus. Eles registraram os níveis antes e depois do experimento e puderam comparar e comprovar que a ação humana tem interferência direta para o bem-estar do meio ambiente. Após a coleta de dados, os alunos foram reunidos para discutir e analisar as informações obtidas. Os alunos compararam os resultados das medições em diferentes locais

(Figura 32) e levantaram questões interessantes sobre as variações observadas. A aula prática com a Brezobomba foi um grande sucesso. Os alunos não apenas puderam aplicar conceitos teóricos em um contexto real, mas também desenvolveram habilidades práticas, como coleta de dados, análise e trabalho em equipe. Além disso, a experiência despertou seu interesse pela tecnologia IoT e pela importância da qualidade do ar.

Figura 32 - Registro dos dados



Fonte: Autor, 2024.

Destacou-se ainda a seguinte percepção da professora: *“Os alunos ficaram visivelmente entusiasmados com a perspectiva de utilizarem essa tecnologia inovadora”*.

No retorno para cidade os alunos, eufóricos com tanta novidade, vieram conversando e comentando sobre as experiências e alguns alunos, em sua alegria, diziam que a aula, o passeio foi maravilhoso. Gostaram tanto que alguns estudantes queriam levar a Brezobomba para casa, para mostrar para família e fazer as medições no quintal de casa.

A segunda atividade do terceiro estudo consistiu na apresentação do dispositivo IoT para a turma e teve como objetivo observar os alunos quanto à forma que construíam novos conhecimentos frente à uma nova tecnologia.

A atividade denominada *“Articulando conhecimentos”*, em que os alunos poderiam sanar as suas dúvidas, está ilustrada nas Figuras 33 e 34. A atividade foi estruturada para que os alunos sugerissem hipóteses tanto sobre como o dispositivo poderia funcionar bem quanto sobre seus componentes.

Figura 33 - Primeiro contato com o dispositivo



Fonte: Autor, 2024.

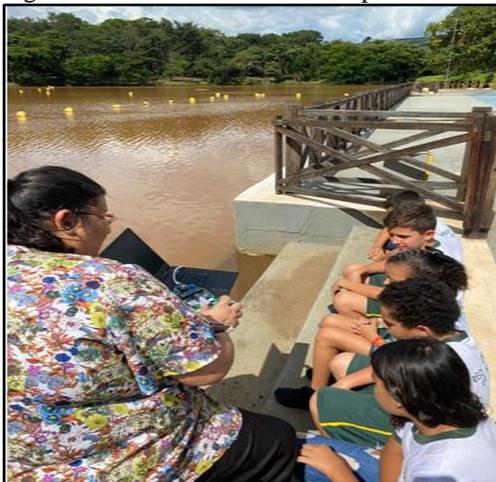
Figura 34 - Discussões sobre como funciona



Fonte: Autor, 2024.

No quarto encontro do terceiro estudo, denominado “Os exploradores”, os alunos realizaram, sob orientação da professora, mas de forma autônoma, a tarefa de registro em diferentes ambientes - como pode ser observado nas Figuras 35 e 36 -, confrontando sobre as hipóteses planejadas em sala de aula.

Figura 35 - Discussões sobre a experiência



Fonte: Autor, 2024.

Figura 36 - Registro dos dados



Fonte: Autor, 2024.

Concluindo este terceiro estudo, destacou-se a percepção sobre a experiência da investigação. Mesmo sob perspectivas diferentes - na relação com a escola urbana, com maior ou menor incidência do uso de automóveis, a partir de conhecimentos iniciais diferentes dos alunos, notoriamente o exemplo da origem da fumaça que tem a representação modificada (carros ou fábrica) -, a construção dos encontros sucedeu-se dentro do mesmo processo gradativo de buscar o conhecimento e propor hipóteses com a mediação do dispositivo.

Evidenciou-se a manifestação positiva dos estudantes e dos professores em ter uma aula fora da escola que permitisse perceber o mesmo problema sob diferentes perspectivas. Para a pesquisa, esta investigação permitiu correções na sequência didática e na organização dos encontros, relatadas nos próximos capítulos.

4 RELATO DA APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Este capítulo irá explorar de maneira mais aprofundada a aplicação do produto educacional, incluindo seu cronograma, o contexto em que está inserido, os participantes envolvidos e uma descrição dos encontros realizados. A partir dos estudos realizados e relatados no capítulo 3, procedeu-se o desenho da atividade que envolveu a utilização da Brezobomba a partir de uma sequência didática, caracterizando o produto educacional da presente tese. Esse produto educacional caracterizou-se como um material de apoio a professores de Ciências para abordar a temática relativa à qualidade do ar a partir do uso da IoT.

Para que esta sequência didática oportunizasse a prática em sala de aula e a sua replicação em diferentes contextos, destaca-se a observação dos comportamentos dos alunos quando da apresentação do dispositivo ao apresentam um pensamento mais presente a sua realidade que pode ser explorado para outras práticas didáticas.

A organização dos encontros teve como objetivos de aprendizagem para os alunos:

1. Compreender o tema da qualidade no contexto do meio ambiente, conectando situações reais e significativas às suas próprias experiências por meio do diálogo.
2. Conhecer a Brezobomba e entender sua relação com os temas discutidos previamente, promovendo a interação com diferentes conhecimentos e explorando conceitos sobre as propriedades do ar e o papel da tecnologia na análise ambiental.
3. Utilizar os conhecimentos adquiridos nos encontros anteriores para propor soluções às problematizações iniciais, aplicando a plataforma web como ferramenta de apoio e mediação.

O material de apoio, na forma de uma sequência didática, tomou como referencial a perspectiva cognitivista envolvendo o uso de estratégias metacognitivas. Além disso, o estudo envolveu uma organização didática que contemplou a abordagem investigativa, particularmente apoiada nos estudos de Sasseron e Carvalho (2016), como forma de inserir a investigação científica enquanto elemento estruturante da ação dos alunos.

A sequência didática no campo da relação ensino-aprendizagem compreende a estratégia de ensino planejada e desenvolvida com base em conceitos científicos. Essas estratégias combinam tanto o interesse como o saber prévio dos alunos, viabilizando uma reflexão sobre como os sujeitos interagem e o que aprendem sobre temas propostos.

Sasseron (2018) destaca a importância de evitar a percepção de que a investigação está vinculada diretamente ao planejamento de atividades, em que as práticas científicas e as práticas epistêmicas são consideradas, encontrando relação intrínseca com as interações possibilitadas.

Nesse sentido, adaptar o referencial teórico à abordagem tecnológica da realidade da sala de aula exigiu a reflexão e a reformulação da sequência didática.

A abordagem investigativa compreendeu uma visão didática no campo do Ensino de Ciências com vistas à formação de um pensamento lógico e objetivo na leitura da realidade, o qual pressupõe o engajamento efetivo dos alunos na discussão, na proposição de alternativas para solução de um problema, no debater de ideias, articulando-se à perspectiva da construção do conhecimento. Considerando que a relação entre o aluno e o conhecimento acontece pela intervenção ativa daquele sobre o seu processo de aquisição do conhecimento, fez-se necessário propor ações que trouxessem o protagonismo para os estudantes, tornando-os agentes construtores de seu conhecimento.

Além disso, a sequência didática considerou os três modelos de autonomia gradativa propostos por Rosa (2014) - autonomia controlada, vigiada e avaliada -, na qual há transferência gradativa de responsabilidade do professor para o aluno. Nesse modelo, que vem ao encontro da abordagem investigativa, especialmente o anunciado por Sasseron e Carvalho (2016), as primeiras ações partem do professor que orienta e estimula a aprendizagem de várias formas, propondo articulações entre os saberes e auxiliando o aluno a transpor obstáculos, com vistas ao aprender melhor.

A partir desses elementos e tendo como referencial a necessidade de que os estudantes assumissem o protagonismo de modo articulado com a ativação do pensamento metacognitivo, foi elaborada uma sequência didática constituída de cinco encontros com duração de 4 horas por encontro, considerando ainda o tempo de interação dos alunos com o dispositivo de forma livre. Estes encontros foram assim nomeados: a) “Organizando as ideias”; b) “Articulando conhecimentos e a Tecnologia”, c) “Conectado com os alunos”, c) “Os exploradores” e d) “Avaliação de aprendizagem”.

O produto educacional apresentado na tese teve origem nas experiências vivenciadas com o uso da Brezobomba em sala de aula - descritas no Capítulo 3-, bem como nas compreensões teóricas apresentadas, constituindo material de apoio aos professores. Esse material é de livre acesso e pode ser encontrado no site do programa e no portal EduCapes.

A Figura 37 ilustra a capa do produto educacional.

Figura 37 - Produto educacional elaborado para a Tese



Fonte: Autor, 2024.

O produto educacional foi composto pelas seguintes partes: Apresentação; Educação ambiental e Qualidade do Ar; Tecnologia e Metacognição; O primeiro encontro - Organizando as ideias; O segundo encontro - Articulando conhecimentos e a tecnologia; O terceiro encontro - Conectado com os Alunos; O quarto encontro - Os exploradores; O quinto encontro - Avaliação da aprendizagem (Figura 38).

Figura 38 - Organização dos encontros

Planejando os encontros

Organizando as Ideias
Etapa / Ações
Professor: Apresentação do tema da qualidade do ar, causas e problemas.
Ações didáticas: Nuvem de palavras e desenho inicial.

Articulando conhecimentos
Etapa / Ações
Professor: Apresentação da atividade de monitoramento do ar.
Ações didáticas: Discussão sobre o que é a tecnologia IoT e como pode ser usada.

Conectado com os alunos
Etapa / Ações
Professor: Apresentação da Brezobomba conectada com a internet.
Aluno: Produzir um texto curto, individualmente, sobre a qualidade do ar na escola. Discutir coletivamente e criar um texto em comum.
Ações: A partir do texto, planejar a atividade de monitoramento do ar fora da sala de aula.

Exploradores - Atividades de campo
Etapa / Ações
Aluno: Fazer os registros e construir suas hipóteses de forma autônoma.

Avaliação de Aprendizagem
Etapa / Ações
Alunos: Discutir as diferenças entre as primeiras hipóteses e os resultados do quarto encontro.

Encerramento
Etapa / Ações
Retomada do desenho inicial e debate do aprendizado mediado pela tecnologia IoT.
Alunos: Produzir em grupo um cartaz e apresentar o que aprenderam.

20

Fonte: Autor, 2024.

O primeiro encontro - intitulado *Organizando as ideias*, teve como objetivo apresentar aos alunos o tema da qualidade do ar no contexto do meio ambiente, partindo de situações reais e significativas, estabelecendo um diálogo de suas experiências com o tema. Este encontro também teve como intuito fazer um resgate do saber ambiental dos alunos aprendido na Educação Básica. As atividades partiram da apresentação verbal geral sobre o tema do ar.

Essa primeira orientação, em que o professor teve o papel central na introdução do tema da qualidade do ar, representou também a orientação das atividades para os alunos no sentido da exigência de sua participação ativa, sem descrever os encontros ou a utilização do artefato ou da plataforma WEB, para que o estudante, de forma autônoma, descobrisse e desenvolvesse suas próprias hipóteses sobre a tecnologia e o tema.

A primeira atividade, denominada “nuvem de palavras”, teve como objetivo delimitar o tema e teve origem na prática de sala de aula observada. Frequentemente, os alunos do Ensino Fundamental apresentam dificuldade de compreender do que se trata o tema da qualidade do ar, apresentando, geralmente, conhecimentos prévios sobre a qualidade da água, tema que oportuniza maior facilidade didática, uma vez que é possível utilizar recursos visuais para mostrar para os alunos a diferença entre água poluída e água potável.

A atividade “nuvem de palavras” pode ser utilizada também por meio de aplicativos WEB, oportunizando flexibilidade para a realização desta atividade no ensino remoto, em que

o aluno ou a escola, possuindo o dispositivo fisicamente, poderia realizar esta atividade de forma coletiva. Em sala de aula podem ser utilizadas também folhas de cartolina ou mesmo o registro de palavras no quadro durante os debates com os estudantes.

A segunda atividade “o desenho inicial”, intensamente debatida nesta tese, constituiu o momento em que os alunos apresentaram suas hipóteses sob a forma de desenho livre, oportunizando ao professor a observação de diferentes comportamentos dos estudantes no modo de administrar o tempo, decidir quais os temas que gostariam de discutir, observando ainda se os alunos expressavam ideais generalistas sobre o tema ou que envolvessem a busca de uma solução.

O segundo encontro -intitulado *Articulando conhecimentos e a tecnologia*, teve como objetivo apresentar a Brezobomba interligando-a com os temas discutidos na primeira aula, promovendo a interação do estudante com diferentes conhecimentos, introduzindo conceitos de sobre a origem e composição do ar e sobre como a tecnologia pode fornecer informações acerca do meio ambiente.

Este encontro, que envolveu a prática com o artefato IoT, apresentou uma característica didática diferente das práticas tradicionais de sala de aula. Sua intenção primordial foi que os estudantes de forma autônoma, perguntassem sobre o artefato e fizessem a relação com o primeiro encontro, entendendo que o seu funcionamento oportunizava novas hipóteses voltadas à realidade.

Neste contexto, coube ao professor oportunizar a todos os alunos participarem da atividade, destacando que geralmente os alunos, por não conhecerem a tecnologia, desenvolvem interesse em participar desta atividade em grupo, aceitando argumentações criativas ou claramente fora do tema. Ressalta-se que a ação de promover debates em sala de aula e orientar a discussão, mesmo que possa ser percebida como uma aula pouco elaborada, exige preparação prévia do professor para compreensão e entendimento do grupo, que neste momento tinha um objetivo comum: entender como o dispositivo funcionava.

O terceiro encontro -intitulado *Conectado com os Alunos*, teve como objetivo organizar os conhecimentos dos encontros anteriores para solução das problematizações iniciais com a mediação da plataforma WEB. Neste encontro, os alunos, ao procurarem o termo “brezobomba” de forma livre na internet, encontravam os dispositivos também em outras escolas, auxiliando na contextualização do tema da qualidade do ar, gerando um conhecimento totalmente novo diante da possibilidade de comparar os dados da sua sala de aula com outra realidade.

A necessidade de relacionar as novas informações com os temas discutidos no primeiro e segundo encontro oportunizou um momento único no aprendizado do aluno, abrindo espaço para que construísse sua nova realidade, momento em que o estudante precisou entender as razões pelas quais a qualidade do ar mensurada pelo dispositivo da “sua” escola era diferente do outro, e quais hipóteses para solução desse desafio ele poderia produzir.

A atividade de produzir um texto curto sobre o que foi aprendido na sala de aula, também desenvolvida neste encontro, não era avaliativa e teve como objetivo a obtenção de um tempo para que o estudante pudesse refletir sobre os novos conhecimentos. Na prática, os alunos escreviam em dupla, momento em que observavam o que o colega estava desenvolvendo. Neste momento, os estudantes argumentavam sobre conceitos simples, representado em falas, como no exemplo - “como você esqueceu de falar sobre os carros” -, ou quando acrescentaram experiências, como no exemplo de fala: “eu já vi uma árvore derrubada na estrada”.

O quarto encontro -intitulado *Os exploradores*, teve como objetivo transferir o controle estratégico de planejar, regular e avaliar a Brezobomba para os alunos, estimulando a autonomia no pensamento e na sua forma de tomar decisões. Constituiu o momento em que o estudante levou o conhecimento desenvolvido sobre a qualidade do ar para o mundo real. Essa atividade não teve como objetivo que o aluno identificasse as propriedades do ar ou reconhecesse parâmetros técnicos. Antes, tratou-se do momento desenvolvido para que o estudante testasse suas hipóteses e o pensamento desenvolvido nos primeiros encontros, confrontando-os com a sua realidade.

Ainda, esse encontro teve a intenção de promover a discussão sobre a qualidade do ar além de ideias sobre como a utilização da tecnologia pode mudar a realidade das pessoas, desenvolvendo a consciência do aluno sobre sua realidade. A atividade de registrar os dados mostrou-se intuitiva, uma vez que os alunos necessitavam dos dados para validar suas propostas, ação que foi evidenciada por afirmações vindas dos alunos, como por exemplo: “perto da árvore é melhor por que é fresco”, ou “no estacionamento é pior o ar, os carros estão lá”.

O quinto encontro -intitulado *Avaliação da aprendizagem*, teve como objetivo verificar a capacidade e potencialidade do estudante para externalizar seus conhecimentos, representando a constatação por parte do estudante, das teorias científicas, de modo a serem analisadas corrigidas ou complementadas pelo professor.

Neste encontro, foi realizado o debate sobre as diferenças apresentadas no primeiro encontro e as ideias colocadas no desenho inicial, bem como as hipóteses apresentadas inicialmente e os registros da prática do uso do artefato IoT. A atividade de encerramento deste

encontro intencionou que um grupo de estudantes organizasse os materiais e estratégias necessárias para, de forma autônoma, produzir um cartaz que revelasse o que poderiam fazer para melhorar a qualidade do ar.

4.1 Aplicação da sequência didática: relato dos encontros

A sequência didática que representa o produto educacional da presente tese foi organizada em encontros, de modo a buscar um diálogo com a teoria apresentada no segundo capítulo, incluindo os elementos vinculados à abordagem investigativa e os três modelos de autonomia gradativa propostos por Rosa (2014). Desta forma, as atividades da sequência didática foram orientadas cronologicamente de menor para maior complexidade, visando o aumento da autonomia do estudante sobre seu aprendizado, ou seja, inicialmente com pouca autonomia, buscando gradativamente, no último encontro, a autonomia total.

Com a sequência didática elaborada esperava-se que o aluno, depois do aprendizado, fosse capaz de a) expressar a problemática da qualidade do ar sob sua perspectiva e b) identificar desafios e oportunidades na sua realidade.

4.1.1 Cronograma de aplicação da sequência didática

Para o desenvolvimento dos cinco encontros e a consequente aplicação do produto educacional, foi organizada uma sequência de atividades - já descritas anteriormente - e que seguiram o cronograma apresentado no Quadro 4. Nele, é possível perceber a transferência de responsabilidades do professor para o aluno à medida que os encontros avançavam.

Quadro 4 - Cronograma de aplicação

Encontro	Data	Título	Etapa / Ações	Duração
1	23/09/24	<i>Organizando as ideias</i>	<u>Professor</u> : Apresentação do tema da qualidade do ar causas e problemas. <u>Ações didáticas</u> : nuvem de palavras e desenho inicial.	4 horas
2	24/09/24	<i>Articulando conhecimentos</i>	<u>Professor</u> : apresentação da Atividade de monitoramento do ar. <u>Ações didáticas</u> : discussão sobre o que é a tecnologia IoT e como pode ser usada.	4 horas
3	25/09/24	<i>Conectado com os alunos</i>	<u>Professor</u> : apresentação da Brezobomba conectada com a internet. <u>Aluno</u> : produzir um texto curto, individualmente sobre a qualidade do ar na escola. <u>Aluno</u> : discutir coletivamente e criar um texto em comum. A partir do texto devem planejar a atividade de monitoramento do ar fora da sala de aula.	4 horas
4	26/09/24	<i>Exploradores</i>	Atividades de campo <u>Aluno</u> : devem fazer os registros e construir suas hipóteses de forma autônoma.	4 horas
5	27/09/24	<i>Avaliação de aprendizagem</i>	<u>Alunos</u> : discutirem as diferenças entre as primeiras hipóteses, e os resultados do quarto encontro. Ação de produzir um cartaz com o que aprenderam. Encerramento, retomada do desenho inicial e debate do aprendizado mediado pela tecnologia IoT.	4 horas

Fonte: Autor, 2024.

4.1.2 Contexto de aplicação da sequência didática

A prática educativa que fundamentou esta pesquisa foi realizada na cidade de Passo Fundo (Figura 39), cidade localizada no norte do estado do Rio Grande do Sul, considerada um polo regional importante no que se refere à Economia, à Saúde e à Educação. Da mesma forma, a cidade fomenta projetos, propostas e ideias nas diversas áreas do conhecimento. Nesse espaço, convive uma população de diferentes procedências, cultura e origem étnica.

Figura 39 - Vista aérea da cidade de Passo Fundo



Fonte: Prefeitura Municipal de Passo Fundo, 2024.

No que se refere à educação/cultura, a cidade conta com uma rede importante de escolas particulares e públicas, instituições de Ensino Superior e eventos que ocorrem sistematicamente. O experimento foi realizado na Escola Estadual de Ensino Médio (EEEM) Professora Eulina Braga (Figura 40), situada na Rua Uruguai, Bairro Petrópolis. No momento da realização do estudo, a instituição atendia cerca de 350 estudantes desde os anos iniciais do Ensino Fundamental até as turmas de Educação de Jovens e Adultos (EJA), compreendendo alunos de seis anos (6) de idade até adultos de cinquenta e cinco (55), apresentando realidades e contextos sociais muito diferentes dos alunos.

Figura 40 - Escola Eulina Braga



Fonte: Secretaria da Escola, 2024.

Com uma história de 66 anos, a instituição apresentava um prédio conservado e limpo, com salas confortáveis e materiais necessários disponíveis. A escola contava com pátio amplo (Figuras 41 e 42), biblioteca, sala de leitura, laboratórios de Ciências e Informática, auditório, refeitório. Percebeu-se uma gestão presente, que se refletiu na fluidez de informações, em ações rápidas e pertinentes construindo um clima adequado para aprendizagem.

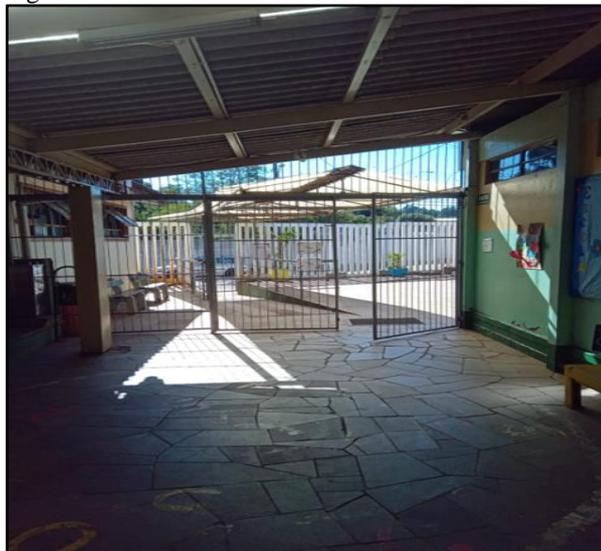
A sala de aula *maker*, na qual foi aplicado o produto educacional, possuía ar-condicionado, televisão grande e um notebook conectado à *internet*, que ficavam na frente da classe, possibilitando que os alunos pudessem interagir com o mediador e com o aluno condutor, sugerindo as ações que ele deveria assumir.

Figura 41 - Pátio da Escola



Fonte: Secretaria da Escola, 2024.

Figura 42 - Pátio da Escola - vista interna



Fonte: Secretaria da Escola, 2024.

A escolha da Escola Eulina Braga deu-se pelo fato de esta ser uma escola estadual com restrições de infraestrutura e realidades econômicas diversas dos estudantes. Esse espaço, referência para o pesquisador, que realizou o ensino médio na cidade de Passo Fundo (RS) em escola pública com características assemelhadas, representou uma oportunidade de produzir um estudo que contemplasse essa realidade. A oportunidade refletiu uma jornada de estudos e dedicação que teve como objetivo oportunizar a jovens estudantes uma proposta de aprendizagem que agregou conceitos de metacognição e inserção da tecnologia na prática de sala de aula, como deveria ser o direito de toda a criança.

4.1.3 Participantes do estudo

As atividades de aplicação do produto educacional ocorreram entre 23 e 27 de setembro de 2024, tendo como participante uma turma de sexto ano com 30 alunos matriculados com 11 anos de idade, em sua maioria, e alguns casos de alunos mais velhos. Para os testes foram selecionados 21 alunos, sendo 13 alunos e 8 alunas, considerando os alunos que estiveram presentes em todos os encontros, como pode ser visto na Figura 43.

Figura 43 - Sala de aula



Fonte: Autor, 2024.

A turma selecionada para aplicação da sequência didática foi a do sexto ano do Ensino Fundamental, constituída por 30 alunos, 21 do sexo masculino e nove do sexo feminino, com a faixa etária variando de 11 a 15 anos. A escolha da turma para aplicação da sequência didática considerou, entre outros aspectos, o fato de que a professora e alunos demonstrarem interesse em interagir com novas formas de aprendizagem.

Foi realizada a definição do comportamento metacognitivo dos alunos através da percepção do pesquisador. As hipóteses construídas nas experiências anteriores de utilização da Brezobomba (Apêndice A) oportunizaram a seleção de dois alunos, designados por “Aluno (A)” e “Aluno (B)”, os quais foram acompanhados de modo mais próximo, no sentido de especial atenção aos seus comportamentos para a execução de tarefas em grupo. A análise dos encontros foi realizada a partir da observação desses dois alunos com comportamento metacognitivo de *expert*.

4.1.4 Descrição dos encontros

A seguir, serão detalhados os encontros realizados com base na aplicação do produto educacional, destacando os principais aspectos abordados, as metodologias utilizadas e os resultados obtidos. Serão apresentados os desafios enfrentados durante o processo e as contribuições dessa experiência para a aprendizagem.

4.1.4.1 O primeiro encontro - Organizando as ideias

O primeiro encontro teve como objetivo apresentar o tema aos alunos e envolveu duas atividades: a nuvem de palavras e o desenho inicial. Essas atividades foram orientadas pelo modelo de atividade de “autonomia controlada”, caracterizada pelo controle e avaliação por parte do professor. Nesse encontro, a tomada de decisão e orientação cabem ao professor e devem ser observadas e discutidas, sendo a sequência sistematizada a partir da contextualização do conhecimento ambiental, identificação do objetivo do estudo da qualidade do ar, construção de hipóteses por meio do desenho inicial e pelo resgate dos conhecimentos prévios.

Objetivou-se uma aproximação da teoria com a investigação, momento em que os estudantes puderam se familiarizar com os conhecimentos e foram orientados sobre as atividades. Esse momento consistiu na formulação de perguntas sobre o conteúdo, exposição de situações, problemas e discussões sobre o contexto ambiental.

Como atividade deste encontro foi proposta a construção de hipóteses com relação ao tema da qualidade do ar em duas ações: 1) a nuvem de palavras, ação em que os estudantes construíram em conjunto um agrupado de termos a partir de seus conhecimentos prévios, atuando como um espaço para externalizar seus saberes e 2) o desenho inicial, atividade que caracterizou um momento de exposição das ideias prévias, em que os alunos expressaram de forma livre os elementos do tema que possuíssem familiaridade com sua realidade, os quais foram recuperados no quinto encontro com a avaliação de aprendizagem. Segundo Taylor (1994), esse tipo de atividade oportuniza que o aluno possa ampliar os seus conhecimentos com a utilização de organizadores de avanço. Neste contexto, o desenho inicial reduziu o número de hipóteses irrelevantes e melhorou a compreensão do tema.

Além disso, esse momento teve especial importância em termos metacognitivos, pois a familiaridade dos estudantes em comunicar ideias por meio de desenhos, estimulou a participação do grupo e oportunizou respostas genuínas que possuíssem relação com o elemento

pessoa da metacognição, em que o estudante identifica as relações entre os conhecimentos e sentimentos que possui e o objeto de estudo.

Ainda, tem-se que, segundo Pagel e Neves (2024), a aplicação de métodos variados possibilita a maior argumentação no debate sobre o tema da qualidade do ar, reforçando o valor educativo destas metodologias em conjunto, principalmente em se tratando do público infantil que ainda possui suas formas de comunicação em desenvolvimento.

O primeiro encontro teve como intenção organizar conhecimentos prévios da turma para os próximos encontros, através da técnica do desenho inicial e das discussões em que os estudantes deveriam perceber espontaneamente a proposta de como resolver o problema da qualidade do ar.

O encontro teve início com a apresentação, por parte da professora titular e do pesquisador, da proposta de atividades sobre a qualidade do ar. Na sequência, os alunos se mostraram interessados, por se tratar de uma atividade que seria executada na sala de aula *maker*. Os alunos também se mostraram interessados pelo tema e fizeram diversas perguntas sobre ele.

Os alunos voluntariamente se apresentaram para auxiliar na organização da sala e receberam um conjunto contendo: caneta, lápis, borracha e dois adesivos da Brezobomba para cada aluno, material necessário para executar as atividades.

Os alunos iniciaram as discussões propondo diversas hipóteses, a saber: *Como podemos saber se o ar está poluído? O cheiro pode ser um indicador? O cheiro do ar poderia avisar que está poluído? Como a fumaça das queimadas que acontecem longe chega em todo Brasil?*

Os alunos não limitavam o tema à poluição do ar, mas demonstraram ter conhecimentos sobre outras formas de poluição, que atingem a natureza em geral. Acompanhavam as notícias semanalmente e verbalizavam com propriedade seus conhecimentos sobre o tema.

O tema da qualidade do ar, amplamente abordado nas mídias, atual e motivador, propiciou debate interessante e intenso, evidenciando pontos de vista diversos. Na sua maioria, os alunos relacionaram a qualidade do ar com as queimadas de florestas que estavam sendo noticiadas na televisão durante a semana. Nos debates, outras visões sobre qualidade do ar foram se constituindo (Figura 44).

Figura 44 - Exemplo de notícia (queimadas)



Fonte: Jornal Hoje - Rede Globo, s.d.

Buscando relacionar a questão nacional com o ambiente onde cada aluno vive, o pesquisador questionou os alunos sobre a sua realidade. A conversa foi orientada por parâmetros que se traduziram por perguntas introdutórias, a saber: “Quando você fala em poluição do ar, você pensa em ...”, “Que características podem ser atribuídas ao ar?”, “Como é o ar onde você mora?”

O debate teve muita participação da turma, as opiniões eram complementadas pelos próprios alunos. Quando questionados, eles respondiam objetivamente ou verbalizavam que não sabiam. No final, o mediador complementou as informações.

A partir dessa discussão, os alunos participativos receberam folhas em branco para execução do desenho livre, contemplando o tema norteador: qualidade do ar. Mesmo sendo uma atividade individual, os alunos interagiram sugerindo os elementos que poderiam ser desenhados ou não estariam no escopo do tema (Figura 45).

Figura 45 - Atividade de desenho



Fonte: Autor, 2024.

Os desenhos apresentaram os diferentes pontos de vista dos alunos. Durante a execução da tarefa, os alunos sugeriram diferentes formas de execução da atividade, estimulando novas ideias e orientando os colegas a pensarem de outras formas.

Os desenhos, diferentemente dos estudos iniciais, apresentaram grande incidência de representações de árvores e fogo, reforçando a percepção que os alunos relacionaram o tema da aula às notícias e pela forma que elas foram apresentadas, que coincidiu com as queimadas que ocorreram em diferentes estados do país e a fumaça alcançou inclusive o município de Passo Fundo/RS durante o mesmo período desta atividade.

4.1.4.2 O segundo encontro - Articulando conhecimentos e a tecnologia

O segundo encontro teve como objetivo apresentar a tecnologia IoT aos estudantes e compreendeu a atividade de discussão sobre como era possível utilizar o dispositivo Brezobomba para monitorar a qualidade do ar na escola, instigando que avaliassem a necessidade da importância do equipamento para realizar a tarefa. Para promover a articulação entre o primeiro encontro e a Brezobomba, foram retomadas as hipóteses apresentadas pelos alunos, assim como os conhecimentos necessários para a realização da tarefa do quarto encontro.

Como atividade deste encontro, ocorreu a vivência com a tecnologia, em que foram enfatizadas as argumentações com os alunos por meio da investigação de uma ferramenta científica. Coube ao professor identificar os elementos revisitados e conferir-lhes maior coesão e sentido.

No campo da metacognição essa etapa foi associada ao conhecimento da *tarefa* e da *estratégia*, de modo a identificar as ações necessárias para a atividade de monitorar o ar da escola: temperatura, umidade e concentração de CO₂. Os alunos, ao perceberem os componentes do dispositivo, foram instigados a propor hipóteses para a utilização da Brezobomba, estruturando outro elemento metacognitivo - de *planificação*-, que compreendeu a organização das etapas necessárias para o atendimento da tarefa.

No segundo encontro, os alunos, já divididos em grupos, iniciaram a apresentação dos desenhos. Logo no início do encontro, os alunos sugeriram que os desenhos fossem reunidos por abordagem e cada aluno falasse sobre o seu desenho. A proposta não se mostrou viável já que a turma era muito grande e os alunos não mantinham a atenção durante muito tempo na explicação dos colegas. A apresentação de cada grupo criou condições para que os alunos se mantivessem atentos, interessados e aprofundassem as informações sobre o tema norteador.

Para a atividade seguinte foi combinada a apresentação do dispositivo nomeado pelo pesquisador como Brezobomba. Após um tempo de observação, o pesquisador identificou para os alunos os componentes do protótipo que permitem o seu funcionamento. Os alunos realizaram participações interessantes ao serem questionados sobre a função dos sensores e bateria, realizando questões como: *“ele seria conectado à Internet?”*.

No primeiro momento, os alunos manusearam a Brezobomba ainda desligada, questionando o seu funcionamento: *“não acredito que funcione”*, mostrando pouca expectativa no uso do dispositivo. Os grupos compartilham suas dúvidas, levantaram hipóteses e tentaram respondê-las. Alguns alunos buscaram informações em outros grupos.

Quando o dispositivo foi ligado, toda a turma se movimentou para frente da sala de aula para ver os dados. Houve um grande envolvimento de todos: os alunos falavam de situações reais em tempo real. As perguntas se sucederam: *“como podemos usar?”*, *“Quando?”*, *“Os dados podem ser usados?”*, *“Esses dados podem ser comparados aos de outras escolas?”*, *“De outros locais?”*. Essas perguntas foram respondidas pelos próprios colegas e, algumas vezes, as respostas foram complementadas pelo pesquisador.

No momento final do encontro, um grupo de alunos sugeriu reservadamente: *“poderíamos ter aulas sobre dispositivo todo dia? Seria uma coisa útil de se estudar na escola, diferente das aulas de computação que não são feitas para aprender coisas novas”*.

Chamou a atenção quando uma aluna, ao compartilhar sua experiência para outra aluna que não estivera na aula anterior, afirmou: *“já estávamos falando da poluição do ar na última aula”*. Ela explicava para colega a preparação anterior para o conhecimento e manuseio da Brezobomba.

A qualidade do ar foi apresentada, produzindo hipóteses e ideias das mais simples às mais complexas. A proposta de aprendizagem trabalhou os conceitos da metacognição, em que pela inserção da tecnologia na prática pedagógica, ao apresentar a Brezobomba e a os dados coletados no site, orientado por meio das perguntas sobre o tema, estimularam e contribuíram para que o aluno progressivamente construísse a autonomia no seu pensamento (Figuras 46 e Figura 47).

Figura 46 - Reação aluno



Fonte: Autor, 2024.

Figura 47 - Reação da turma



Fonte: Autor, 2024.

4.1.4.3 O terceiro encontro - Conectado com os Alunos

O terceiro encontro, regido pelo modelo de atividade de “autonomia vigiada”, teve como objetivo permitir que os estudantes tomassem decisões, avaliando-as, e buscassem a retomada do próprio conhecimento e da atividade a ser desenvolvida. Essa atividade consistiu na retomada dos conhecimentos do segundo encontro em um novo cenário, desafiando os alunos a proporem soluções de como poderiam atuar em conjunto com outras pessoas para atender ao desafio ambiental.

Diferente do que ocorreu no segundo encontro, nesta atividade, não coube apresentar de forma explícita os conhecimentos aos estudantes, mas mediados pela plataforma, os alunos em grupo deveriam identificar sozinhos e discutir como a internet poderia ser utilizada para enfrentar os problemas da qualidade do ar na escola. Essa foi uma etapa investigativa, associada à seleção de materiais e informações.

A conectividade do dispositivo com a internet possibilitou uma infinidade de alternativas ao utilizar imagens, sons e vídeos, potencializando um ambiente em que o aluno constrói suas experiências. Segundo Silva (2019), os estudantes possuem diversos estilos de aprendizagem e sua relação com conteúdos digitais é influenciada pelo uso de conteúdo multimídia, como imagens, vídeos e sons. Essa diversidade de materiais permite obter o interesse de um maior número de alunos.

O objetivo deste encontro foi propor um novo cenário, no qual o aluno identificaria os dados do segundo encontro na internet articulando-os aos dados em um ambiente visual e conectado. Segundo Deterding *et al.* (2011) o destaque desta atividade encontra-se no fenômeno

cultural que integrou os recursos visuais e lúdicos ao cotidiano das pessoas, estimulando novas hipóteses e possibilidades de ação na sua realidade.

A atividade proposta aos estudantes nesse encontro consistiu em duas ações. A primeira, uma escrita individual, em que eles deveriam descrever o que poderiam fazer pela qualidade do ar e, uma segunda ação, em que deveriam construir em grupo qual seria o texto mais adequado, avaliando por consenso as melhores propostas. O desafio dos alunos, além de procurar ou produzir uma mídia, imagem, animação e vídeo, foi criarem um texto que pudessem apresentar para outros alunos. O uso da escrita permitiu ao estudante refinar e consolidar novas ideias com os conhecimentos prévios.

Esse momento pode ser associado aos elementos *planejamento* e *monitoramento* na perspectiva da metacognição, uma vez que requer do estudante ações de planejar que permitam a ele monitorar ou gerenciar seus próprios conhecimentos em função de um objetivo estabelecido. Esses elementos devem atuar no sentido de oportunizar que os estudantes avaliem possíveis distorções e desvios de medida, e ter certeza de que a atividade proposta e seu objetivo foram compreendidos.

Para finalizar este encontro, foi necessário avaliar se os estudantes refletiram e se, de fato, possuíam condições para executar a tarefa do quarto encontro, de monitorar o ar em ambientes próximos da sua realidade.

A próxima etapa da aplicação do produto educacional, no seu terceiro encontro, contou com a apresentação do vídeo que demonstrava a conexão da Brezobomba com a *Internet*, abrindo a possibilidade para que cada aluno participasse desse exercício individualmente. Desta forma, foi conectado um *notebook* a uma televisão grande, que possibilitasse que todos os alunos visualizassem esse processo (Figura 48).

Figura 48 - Atividade na internet



Fonte: Autor, 2024.

Designado por cada grupo, em combinação prévia, um aluno conduziu o experimento. Ocorreu que o escolhido de um dos grupos chegou atrasado, o que fez com que o próprio grupo conduzisse a substituição rapidamente. A agilidade com que aconteceu a troca demonstrou a organização e motivação do grupo para a atividade com o *notebook*.

O grupo discutiu, ainda, sobre estratégias de conectar o dispositivo na *internet*. Os alunos sugeriram pesquisa *online* sobre a conexão ou de forma livre a partir do termo Brezobomba. Quando alguns alunos encontraram o vídeo de orientação sobre o protótipo na internet, compartilharam-no, imediatamente, com os demais colegas. Eles reconheceram e verbalizaram as diversas possibilidades que a *internet* imprime à pesquisa, através das informações que disponibiliza. Alguns alunos foram mais rápidos na busca, ao que um aluno afirmou: “*eu acho aqui de tudo*”, ao passo que outro aluno completou: “*até sobre a Brezobomba*”.

Observou-se que o vídeo encontrado de forma autônoma pelos estudantes na *internet* gerou um sentimento de participação efetiva da sala de aula (Figura 49 e Figura 50). A atividade complementar para o terceiro encontro teve dois momentos: a realização de um pequeno registro individual sobre a preservação da qualidade do are, na sequência, o grupo de alunos formulou um texto em conjunto.

Entretanto, dois alunos comunicaram ao pesquisador em particular que não escreviam e, portanto, não poderiam participar da atividade. Por opção do pesquisador, e considerando que a participação de toda a turma teve caráter relevante para permitir a observação do comportamento metacognitivo dos alunos, a atividade não foi executada.

Figura 49 - Testes Plataforma



Fonte: Autor, 2024.

Figura 50 - Alunos investigando na internet



Fonte: Autor, 2024.

4.1.4.4 O quarto encontro - Os exploradores

No quarto encontro, foi proposta uma atividade fora da sala de aula e de “autonomia avaliada”, em que o professor apresentou a contextualização e o objetivo aos estudantes, deixando as demais etapas sob sua responsabilidade. Essa etapa foi importante, pois oportunizou momentos de reflexão e de discussão sobre as atividades que os estudantes estavam executando. Neste encontro, a contextualização do problema foi executada pelo aluno, cabendo ao professor apenas conduzir a turma e auxiliar nas dúvidas. Os estudantes eram responsáveis pela organização de seus grupos de trabalho e pela formulação das hipóteses, pelas decisões e pela definição do espaço onde ocorreria a experiência. O espaço físico poderia ser as áreas que

circundavam as escolas, praças, centro da cidade, áreas verdes, dentre outros, para obter dados reais sobre a qualidade do ar: umidade, temperatura e concentração de CO₂.

A resolução prática de um problema permitiu aos alunos explicações causais para os fenômenos analisados. Os dados coletados serviram de base para cotejar com as hipóteses levantadas, dados relativos a outros espaços ou desenvolver novas pesquisas. Cada grupo elaborou a sua apresentação para divulgação e comentários para a turma.

Essas experiências com IoT, adequada ao Ensino Fundamental e acompanhada pela metacognição, demonstraram o protagonismo do aluno utilizando a tecnologia de uma forma crítica e inovadora. Neste sentido, a mediação pelo dispositivo IoT conduziu a abordagem didática, entre o aluno e o conhecimento.

As atividades fora de sala de aula constituíram estratégia para relacionar a teoria com a prática, podendo ser consideradas como alternativas à aula tradicional, uma vez que possibilitaram a concretização dos conhecimentos, propiciando a interação e troca de experiência dos estudantes. No campo do ensino ambiental, as atividades possibilitaram um maior convívio com o meio ambiente, além de interações com a natureza de forma agradável.

O quarto encontro teve como objetivo colocar em prática os conhecimentos adquiridos nos encontros anteriores e permitir aos alunos testarem o que aprenderam. Mais do que operar uma tecnologia, os alunos foram agentes ativos no processo da construção do conhecimento.

A proposta de atividade fora de sala de aula não foi recebida com entusiasmo pela turma, pois a escola não possuía um amplo espaço aberto onde os alunos se sentissem confortáveis para fazer os testes. Desta forma, a sala de aula foi o lugar escolhido para capturar os dados.

Os alunos demonstraram interesse no site, clicando nas Brezobombas que estavam ativas em outras localidades, como mostra a Figura 51.

Figura 51 - Brezobombas em ação



Fonte: Autor, 2024.

Os estudantes passaram a discutir e a estabelecer a metodologia adaptada para comparar os dados capturados em sala de aula com os dispositivos que estavam em lugares remotos: os 2 (dois) dispositivos localizados em Florianópolis (SC), local onde são fabricadas as Brezobomba, e outro em Jandaia (GO), local do terceiro estudo. Os dados diferentes possibilitaram a elaboração de hipóteses que foram discutidas para estabelecer a relação entre a “sua” Brezobomba e a dos “outros”.

Sobre as Brezobombas, inclusive as localizadas em Florianópolis (SC), as hipóteses também foram discutidas e contestadas. Num primeiro momento, os alunos apontaram a possibilidade do mau funcionamento do dispositivo. Mas com a discussão entre os grupos, novas ideias foram aparecendo e os alunos foram percebendo que cada ambiente disponibiliza os dados de CO₂ no momento, e que a distância incide em dados e justificativas afins.

O mediador apontou que a nuvem de fumaça das queimadas que pairava sobre a cidade de Florianópolis naqueles dias poderia ser uma dificuldade para o entendimento dos sensores, isto é, os dados incomuns não seriam captados naquele momento. A explicação gerou a resposta incisiva de um aluno, que retomou a atividade do primeiro encontro, dizendo que: *“era isso mesmo que ele queria ter dito com o desenho, mostrar um jornalista falando sobre a nuvem”*. Ao retomar o desenho do aluno, foi possível observar detalhes mais complexos que as discussões iniciais propostas pelo estudante, como o formato de televisão ao redor da cena, a postura do apresentador e uma tela que poderia ter as informações de nuvem (Figura 52).

Figura 52 - Desenho telejornal



Fonte: Autor, 2024.

O último encontro teve como objetivo observar como os estudantes com diferentes perfis interagiam entre si para resolver um problema em grupo e apresentar uma solução dentro de um determinado prazo. Dessa forma, para identificar os grupos, foram utilizadas letras maiúsculas (A, B, C, D e E).

O clima para aprendizagem foi se constituindo com respostas diretas e claras, tanto para responder às questões simples quanto às mais complexas, estabelecendo uma parceria de confiança entre quem ensinava e quem aprendia e alternando essas funções ao longo do processo. Na prática, coube ao pesquisador/mediador contribuir com informações ou complementações relativas às respostas dos alunos.

Esse debate inicial explorou as habilidades metacognitivas, que os alunos foram reconhecendo nos desafios seguintes. A turma de 21 alunos, de forma espontânea, organizou-se em cinco grupos.

As propostas iniciais não foram aceitas pelos alunos, gerando uma dinâmica diferente. O desenho não é uma dinâmica usual, mas interessou a turma. Eles demonstraram autonomia para tomar as decisões de como executar as tarefas: a turma foi dividida em três grupos grandes e dois menores e rapidamente se organizaram para trabalhar. Providenciaram o material: lápis comum, lápis de cor, cartolina.

Os Grupos maiores A, B e C foram organizados pela própria turma. Decidiu-se o desenho a partir do tema e na visão dos alunos. Na observação do pesquisador, deveria haver pelo menos um aluno com o comportamento metacognitivo em cada grupo, o que possibilitaria analisar a interação entre os alunos do grupo sob a perspectiva de alunos novatos e *experts*.

Os Grupos D e E, com menos componentes, demonstraram maior dificuldade na organização. Os grupos apresentaram diferentes estratégias de organização para optar por uma menos elaborada. Estabeleceram os desenhos a serem desenvolvidos. Essa dificuldade inicial foi observada pelo pesquisador no início da execução das atividades. O Questionário metacognitivo (1) (Quadro 5) foi respondido pelo grupo antes de iniciar a atividade.

Quadro 5 - Questionário Metacognitivo (1)

Pergunta	
(1)	Como vocês pensaram em organizar as atividades?
(2)	Por onde irão começar?
(3)	Que etapas vocês definiram para o desenvolvimento do experimento?
(4)	O grupo dispõe do material necessário para o trabalho?

Fonte: Autor, 2024.

Os Grupos A, B e C apresentaram, rapidamente, diferentes estratégias a partir do desenho, da apresentação, da análise e do contato com o artefato tecnológico. Os alunos demonstraram interesse em participar da proposta e interagir com o protótipo. A questão inicial foi levantar junto aos alunos as suas ideias sobre a qualidade do ar. Como a primeira proposta foi o desenho, a sua realização foi o desafio. O grupo decidiu sobre a procedimento, quer dizer, como seria a primeira apresentação: em desenho único, na mesma cartolina ou o desenvolvimento do tema na cartolina partilhada mostrando diversos aspectos?

O Grupo A optou pelo desenho único com a colaboração de todos. O Grupo B elaborou um mapa, dividindo em diversos momentos a cartolina. A discussão entre os elementos deste grupo evidenciou-se como um desenho de “floresta”, em que todos começariam a desenhar imediatamente.

No Grupo B foi elaborado um mapa em que seriam divididos os espaços da cartolina e as tarefas. Essa discussão não foi proposta pelo aluno metacognitivo (B), mas este atuou propondo diversas hipóteses para execução das tarefas do grupo.

No Grupo C, a discussão foi rápida e determinada pelos integrantes que estavam em um subgrupo com maior quantidade. Nesse grupo, o aluno com perfil metacognitivo não teve oportunidade de discutir o problema, limitando-se a acompanhar o trabalho como observador. Observou-se que o aluno com comportamento metacognitivo, que definiu o tema “a floresta”, da mesma forma, deu início à atividade.

Os Grupos identificados como D e F necessitaram de maior tempo para iniciar os desenhos. Demonstraram a relevância da execução, do planejamento, de discussão do problema e consideraram as diferentes hipóteses discutidas.

Observou-se que entre alunos o tema ambiental foi instigante e motivou discussões interessantes. As informações que o grupo trouxe além de atualizadas foram relevantes e os dados, reais. A seca, as queimadas e a enchente foram mencionadas nos debates.

A etapa seguinte foi a apresentação dos trabalhos. De certa forma, os alunos estavam preparados para falar sobre o seu trabalho e tiveram que analisar um dos demais grupos. As apresentações iniciaram demonstrando certa timidez por parte dos alunos, mas aos poucos foram se concentrando no trabalho e desenvolveram a análise sobre a sua produção. Durante a apresentação, outras ideias surgiram e foram identificadas, através de frases como: “*a gente não lembrou na hora*”.

Para o desenho o grupo contou com diferentes materiais para executar a tarefa, como canetinha, lápis de cor extras, régua e tesouras. Foi consenso no grupo que era necessário material para desenvolver o desenho. A distribuição e acesso ao material também foi motivo de

discussão, mas quando as questões foram esclarecidas e entendidas a atividade passou ser o foco.

O Questionário Metacognitivo (2) foi respondido pelo grupo durante a execução da atividade experimental (Quadro 6).

Quadro 6 - Questionário Metacognitivo (2)

Pergunta	
(1)	Por que vocês escolheram esses elementos para representar no desenho?
(2)	O que vocês sabiam sobre esses elementos no que se refere a qualidade do ar?
(3)	Você está gostando de participar da atividade? Por quê?
(4)	Você gostou de como o grupo organizou a atividade? O que você faria diferente?

Fonte: Autor, 2024.

Os grupos tiveram facilidade de explicar seus desenhos e as suas ideias. Muito à vontade, executaram a tarefa com as referências, conversando e debatendo durante a atividade. Ao falar sobre os elementos do desenho, os grupos verbalizaram que procuraram representar as ideias que consideraram mais importantes na visão de cada um e quando acharam outras ideias que fossem mais relevantes, alteraram o desenho.

As respostas da pergunta (1) (“Por que vocês escolheram esses elementos para representar no cartaz?”) mostraram que todos os grupos estavam engajados em realizar a atividade e tiveram facilidade de explicar suas ideias. Mesmo os Grupos com menor número de elementos (Grupos D e E), que apresentaram dificuldades iniciais com a organização e a definição das ações, souberam explicar as hipóteses do que gostariam de apresentar com grande quantidade de detalhes.

As respostas da pergunta (2) (“O que vocês sabiam sobre esses elementos no que se refere a qualidade do ar?”) revelaram que, embora se acreditasse que as diversas hipóteses debatidas durante as aulas fossem apresentadas, neste momento da resolução do problema não foi o que ocorreu, indicando que os estudantes, no momento da execução da atividade, não estavam dispostos debater o tema.

As respostas da pergunta (3) (“Você está gostando de participar da atividade? Por quê?”) e da pergunta (4) (“Você gostou de como o grupo organizou a atividade? O que você faria diferente?”), em geral, foram caracterizadas por entusiasmo e alegria, revelando que o aluno se identificava como um bom desenhista. Em geral, os alunos se mostraram confiantes e participativos neste momento, independente da condição de terem desenhado mais ou menos. Os alunos mostravam que faziam parte do desenho com pequenos detalhes que estavam sob sua condução.

O Questionário Metacognitivo (3) foi respondido ao final da atividade de apresentação. (Quadro 7).

Quadro 7 - Questionário Metacognitivo (3)

Pergunta	
(1)	Descreva como fizeram o desenho?
(2)	Poderia ter sido feito outro?
(3)	Poderia identificar outras possibilidades?
(4)	Dê um título ao cartaz e justifique:

Fonte: Autor, 2024.

Os Grupos A, B e C apresentaram os cartazes com a participação de todos os alunos.

Os alunos Grupo D não se sentiram à vontade para apresentarem o trabalho na frente da sala de aula. Sentiam-se desconfortáveis, uma vez que são alunos do “fundão” e possuíam idade maior que a média da turma. Sentiam-se, ainda, inibidos para fazer apresentações para toda turma. Mesmo assim, foram muito participativos e apresentaram o cartaz na classe.

O Grupo E apresentou o desenho ao mesmo tempo em que explicou sua opção por uma estratégia de desenho incremental, com o objetivo de contar uma história por meio da modalidade de história em quadrinhos.

4.1.4.5 O quinto encontro - Avaliação da aprendizagem

O processo de avaliação das atividades exigiu não apenas a criação de instrumentos avaliativos, mas também um olhar atento a construção do conhecimento do estudante. Dentro da perspectiva da tecnologia IoT a complexidade desse momento de avaliação intensificou-se, trazendo consigo novas perspectivas e desafios que exigiram uma observação mais próxima da percepção do estudante sobre o próprio conhecimento. Para Rosa (2014), a *avaliação*, no âmbito escolar, representa as informações que o professor necessita para verificar a eficácia da aprendizagem, devendo avaliar a expectativa diante do desempenho em uma determinada tarefa.

O momento final representou o fechamento da ação desenvolvida e a conclusão. A proposta era a de que, como alternativa à tradicional apresentação de resultados, fossem discutidas as diferenças entre o conhecimento apresentado no desenho inicial, revisando as ações que levaram os alunos a escolherem diferentes hipóteses no quarto encontro, e como foi feita essa compreensão do conhecimento.

Neste encontro, os estudantes, já adotando um pensamento mais sofisticado e reflexivo sobre o tema, organizaram-se em grupos e produziram um cartaz que refletisse as discussões realizadas em encontros anteriores. Essa construção coletiva revelou diferentes perspectivas e ideias, evidenciando que os debates promovidos geraram novos conhecimentos.

O confronto das hipóteses com o encontrado foi uma forma de avaliação metacognitiva, uma vez que os estudantes puderam tomar consciência do caminho percorrido, das atividades desenvolvidas e se os resultados representavam possibilidade de solução ao problema inicialmente apresentado. Esse momento assumiu relevância dentro de um processo que buscou trazer a reflexão como possibilidade de construção de conhecimento e especialmente, no caso do estudo, de uma conscientização ambiental sobre a qualidade do ar.

5 PESQUISA

Este capítulo tem por objetivo apresentar a pesquisa, abordando sua fundamentação teórica, os instrumentos selecionados para produção dos dados e o procedimento para análise dos dados. Os dados discutidos no próximo capítulo foram apresentados dentro de categorias, seguindo o anunciado por Bardin (2011).

5.1 Características da pesquisa

O objetivo principal desta tese foi analisar as contribuições de uma sequência didática mediada pela tecnologia IoT, utilizando atividades metacognitivas para despertar a consciência ambiental. A pesquisa desenvolvida foi de caráter qualitativo, uma vez que o processo de construção científica em Educação compreende diferentes pontos de vista, envolvendo experiências e comportamentos, indicando uma abordagem investigativa predominantemente interpretativa do pesquisador.

Nesse sentido, Haguete (1988) reconhece que a pesquisa qualitativa em Educação permite que, entre outros pontos, o pesquisador identifique as singularidades do entendimento pessoal dos participantes, assim como estabelece a relação entre a natureza do problema proposto e a compreensão do fato a ser analisado. Nesse caso em particular, o estudo permitiu analisar os resultados e desenvolver o tema, a Educação Ambiental, sob uma nova abordagem metodológica que envolve a metacognição e a tecnologia IoT e observar como o processo acontece em uma escola de Ensino Fundamental.

Triviños (1987) afirma que a pesquisa qualitativa constitui método adequado para o estudo e a ordenação dos objetivos no que se refere à investigação sobre o cotidiano educacional, permitindo identificar ações que podem passar despercebidas pelos próprios envolvidos como os alunos e professores. Segundo Turato (2003), os dados gerados por esta abordagem, por serem essencialmente descritivos, possibilitam novas hipóteses e significados.

Nesse sentido, também Bogdan e Biklen (1994, p.16) afirmam que “os dados recolhidos são designados por qualitativos, o que significa ricos em pormenores descritivos relativamente a pessoas, locais e conversas, de complexo tratamento estatístico”. Ainda de acordo com estes autores, a abordagem qualitativa é também denominada naturalista “porque o investigador frequenta os locais em que naturalmente se verificam os fenômenos nos quais está interessado, incidindo os dados recolhidos nos comportamentos naturais das pessoas” (Bogdan; Biklen, 1994, p. 17) e em suas interações com o meio e os demais, em que constroem seus repertórios

de significados. Bogdan e Biklen (1994, p. 11) afirmam ainda que a investigação qualitativa se originou de um campo inicialmente dominado por práticas de mensuração e elaboração de testes de hipóteses variáveis, alargando-se “para contemplar uma metodologia de investigação que enfatiza a descrição, a indução, a teoria fundamentada e o estudo das percepções pessoais”.

5.2 Instrumentos de coleta de dados

A fim de responder ao questionamento desta pesquisa, a saber, analisar as contribuições de uma sequência didática mediada pela tecnologia IoT, utilizando atividades metacognitivas para despertar a consciência ambiental, foi sistematizada uma sequência de investigações necessárias para análise do comportamento dos estudantes.

Para facilitar a compreensão dos instrumentos metodológicos utilizados, o Quadro 8 apresenta um resumo detalhado que identifica cada instrumento, seu objetivo, o momento de aplicação e a forma de análise dos dados coletados.

Quadro 8 - Quadro metodológico

Instrumento	Objetivo	Momento de Aplicação	Forma de Análise
Diário de bordo	Registrar observações e reflexões do professor-pesquisador	Durante todas as etapas da intervenção	Análise qualitativa e interpretativa das anotações e percepções sobre a prática docente
Fichas de observação	Acompanhar o comportamento dos estudantes e as interações	Durante a aplicação da sequência didática	Classificação por categorias (participação, colaboração, compreensão etc.)
Produções dos alunos	Avaliar a aprendizagem e compreensão dos conceitos trabalhados	Ao final das etapas ou atividades específicas	Análise de conteúdo com base nos objetivos pedagógicos e indicadores de aprendizagem
Registros audiovisuais	Apoiar a observação com imagens e sons das atividades em sala	Durante as atividades práticas	Transcrição e análise interpretativa de episódios relevantes

Fonte: Autor, 2024.

Os estudos iniciais na forma de piloto e apresentados no capítulo anterior possibilitaram observar que, dentro da questão de pesquisa, quanto à mediação da tecnologia IoT, a utilização de questionários fechados se mostra adequada para uma análise individual do aprendizado dos estudantes. Entretanto, as atividades em sala de aula, foram percebidas pelos professores como distrações, prejudicando a sequência dos conteúdos previstos nos encontros.

Tais aspectos serviram de referência para a elaboração de um dos instrumentos a ser utilizado durante a aplicação do produto educacional apresentado nesta tese - a ficha de

observação. O segundo instrumento a ser utilizado foi o diário de bordo. Ambos os instrumentos foram apresentados na sequência.

5.2.1 Ficha de observação

A observação direta como método investigativo deste estudo foi realizada por meio de uma ficha de observação (Apêndice E). Marconi e Lakatos (2003) mencionam que a observação direta costuma ser classificada como assistemática, quando feita de forma livre e sem qualquer planejamento prévio. Reconhecida como muito útil nas etapas iniciais da pesquisa, pode, através das suas definições, fundamentar uma observação direta sistemática, em que se necessitam de artefatos e instrumentos para mensuração dos dados coletados.

A escolha pela abordagem da observação direta permitiu dar atenção para nuances das ideias dos estudantes e o processo de aprendizado em sala de aula, conectando-se e revelando a progressão do entendimento sobre o conteúdo, bem como a interação com a prática do professor, possibilitando documentar as atividades pedagógicas por um tempo prolongado e definido, sem atrapalhar as atividades práticas.

A construção da ficha de observação foi realizada com o intuito de avaliar processos cognitivos pela análise da discussão verbal, considerando crianças novatas e *experts*, utilizando o discutido por Chi (1989). Inicialmente, foi colocada a pergunta feita aos alunos bem como os objetivos da discussão, seguido por um quadro no qual foi possível ao pesquisador registrar os comportamentos dos estudantes em sala de aula. O Quadro 9 apresenta a ficha de observação utilizada, dividida em três campos: manifestação do estudante *expert*, manifestação da turma e registro do pesquisador.

Quadro 9 - Ficha de observação

Qual foi o problema proposto e como foi resolvido?	
Objetivo: Registrar se foi identificado o problema a ser resolvido, o interesse e entendimento da turma, dificuldades e o planejamento.	
Manifestação Aluno <i>Expert</i>	
Manifestação da Turma - Consenso	
Registro Pesquisador	
Como a Brezobomba ajudou a resolver o problema?	
Objetivo: Avaliar se a Brezobomba era necessária, as novas hipóteses que ela proporcionou em relação ao primeiro encontro e se ela interferiu no resultado.	
Manifestação Aluno <i>Expert</i>	
Manifestação da Turma - Consenso	
Registro Pesquisador	

Fonte: Autor, 2024.

5.2.2 Diário de bordo (aula ou classe)

O diário de bordo é uma ferramenta de coleta de dados utilizada também em pesquisas educacionais, especialmente em estudos qualitativos. Trata-se de um registro contínuo das experiências, reflexões e observações feitas pelo pesquisador durante o desenvolvimento de sua pesquisa. Ao servir como instrumento de coleta de dados, o diário de bordo permite que o pesquisador registre, de maneira reflexiva e detalhada, seus pensamentos sobre o processo de ensino-aprendizagem, as interações com os participantes da pesquisa e os contextos em que a pesquisa está sendo realizada. De acordo com Alves (2004, p. 224) “o diário pode ser considerado como um registro de experiências pessoais e observações passadas, em que o sujeito que escreve inclui interpretações, opiniões, sentimentos e pensamentos, sob uma forma espontânea de escrita, com a intenção usual de falar de si mesmo”. Assim, de acordo Cañete (2010, p.70):

[...] a realização de um documento de classe leva o professor a: a) perceber quais são os seus critérios de avaliação; b) perceber que tipo de intervenção dirige a cada criança ou em cada situação (se estimula, facilita, observa o que ocorre etc.); c) constatar o que vê e conceitualizar (a partir do que sabe sobre as crianças).

Na presente tese, o diário de bordo possibilitou o registro das observações do pesquisador sobre o comportamento dos alunos durante as atividades propostas, complementando a ficha de observação para a coleta dos dados.

5.3 Cuidados éticos

Para o desenvolvimento da pesquisa foram realizados os cuidados éticos necessários. Todavia, para o desenvolvimento do estudo foi obtido inicialmente para o desenvolvimento da sequência didática o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Anexo A), enquanto para os testes, a autorização da escola, a Carta de autorização da Escola (Anexo B) e aos responsáveis dos alunos participantes da pesquisa, a assinatura do Termo de Assentimento Livre e Esclarecido para menores de idade (Anexo C).

5.4 Análise dos dados

Para a análise dos dados coletados oportunizada pela aplicação do produto educacional e dos instrumentos mencionados anteriormente, buscou-se dialogar com o anunciado por Bardin (2011), que orienta a necessidade de organização da pesquisa nas fases de pré-análise, exploração e tratamento dos dados para que ao final forneça uma categorização dos dados adequada, fundamentados pelos referências teóricos, que oriente sua interpretação final.

A autora ratifica a importância de o tema escolhido pelo pesquisador ser pertinente à área de conhecimento e para quem se destina o estudo. De forma que a pesquisa não represente uma visão singular, mas contribua para a diversificação das ideias e para a abordagem de questões de interesse coletivo.

Num primeiro momento, a autora sugere que o material coletado pelo pesquisador seja reunido para posterior leitura criteriosa e análise do pesquisador neste trabalho. A pré-análise, que antecede a exploração do material, compreende a centralização do conteúdo dos dados realizados no momento da coleta, sem a interferência do pesquisador. O passo seguinte, indicado pela autora, consiste na “exploração do material”, quando o pesquisador, verificando cada entrevista, busca a interpretação das mensagens contidas, significando as diferentes respostas.

Essa fase da análise, que a autora denomina como “tratamento dos resultados”, consiste na organização da sequência das respostas, sistematizada por categorias de análise, com as adequadas inferências e interpretações. A análise final, portanto, estabelece um cotejo entre os manifestos dos entrevistados e a da base literária exposta na revisão da literatura. Segundo Bardin (2011), é necessário estabelecer categorias específicas de análise de acordo com os instrumentos empregados.

As categorias de análise da tese foram produzidas *a priori*, quer dizer, antes da coleta de dados realizada por meio da ficha de observação e do diário de bordo. Assim, foram elaboradas três categorias de análise, a saber: 1) Tecnologia na Sala de Aula; 2) Os conhecimentos sob o ponto de vista da Educação da Educação Ambiental e a Consciência ambiental; e 3) Interação entre os alunos experts e novatos, a influência no grupo e a construção de novos conhecimentos. As categorias foram explicitadas no capítulo a seguir.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As categorias de análise produzidas foram: Tecnologia na sala de aula; Os conhecimentos sob o ponto de vista da Educação Ambiental e a Consciência ambiental; e Interação entre os alunos experts e novatos, a influência no grupo e a construção de novos conhecimentos. Estas categorias foram estruturadas a partir dos dados extraídos do diário de bordo e da ficha de observação (Apêndice E), em que foram registrados esses comportamentos apresentados pelos alunos.

Nas seções seguintes, serão explicitadas as categorias de análise encontradas.

6.1 Categoria *Tecnologia na sala de aula*

A categoria de análise Tecnologia na sala de aula referiu-se ao comportamento dos estudantes na interação com a tecnologia IoT, especificamente em situações relativas à apropriação do conhecimento sobre o funcionamento do dispositivo e como esta apropriação pode estimular um pensamento mais complexo para a proposição de soluções para problemas da sua realidade.

No que diz respeito ao comportamento dos estudantes relativo à apropriação do conhecimento sobre o funcionamento do dispositivo, destacaram-se as capacidades de elaborar perguntas e de mobilizar conhecimentos prévios sobre a tecnologia. Os questionamentos realizados pelos alunos revelaram que estes tinham conhecimentos previamente elaborados sobre a tecnologia, os quais necessitam ser reconhecidos pelo professor e pela estratégia didática utilizada. Durante a realização do segundo encontro, por exemplo, os alunos realizaram participações interessantes ao serem questionados sobre a função dos sensores e da bateria, realizando perguntas como: “ele seria conectado à Internet?”. Essa percepção vai ao encontro do proposto por Cunha e Giordan (2012) de que os estudantes em geral apresentam conceitos elaborados sobre tecnologia, utilizando, inclusive, terminologia, mas no que se refere à ciência, presente no contexto escolar, os alunos a percebem como um conteúdo distante do seu cotidiano.

Ainda neste segundo encontro, houve um grande envolvimento de todos os alunos, problematizando os conhecimentos sobre a função da tecnologia em tempo real, sucedendo-se perguntas sobre: “como podemos usar? Quando? Os dados podem ser usados? Esses dados podem ser comparados aos de outras escolas? De outros locais?”. Nascimento (2021) destaca que, ao observar a realidade e reconhecer os desafios, o aluno interage, observa, analisa,

soluciona e modifica a sua relação com ela. Essa interação aprofundada pelas informações estabelece um significado para a sua aprendizagem.

Também relativo ao comportamento dos estudantes quanto à apropriação do conhecimento sobre o funcionamento do dispositivo, foi revelada a percepção sobre a capacidade de os alunos construírem novos sentidos sobre a finalidade da tecnologia na sala de aula e no ambiente escolar. Como exemplo, tomou-se o momento final do segundo encontro, quando um grupo de alunos sugeriu reservadamente: “poderíamos ter aulas sobre dispositivo todo dia? Seria uma coisa útil de se estudar na escola, diferente das aulas de computação que não são feitas para aprender coisas novas”. Retoma-se aqui a menção à Fredrickson (1998), quando aponta barreiras para o uso da tecnologia em sala de aula. Essas barreiras, como a falta de preparação dos professores, distanciam a teoria da prática. Elenca-se, ainda, a limitação de recursos para adquirir equipamentos didáticos e a limitação do espaço físico, a qual aponta para a necessidade de estabelecer novos formatos e estratégias que promovam a efetiva inserção da tecnologia na escola. Também, o mencionado por Ribeiro (2017) quando argumenta que muitos estudantes -tais como os alunos da presente pesquisa - apontam o uso da IoT em sala de aula como tema pouco debatido, com restrições de uso na escola e fora do cronograma do currículo, carecendo de estratégias mais adequadas à realidade de sala de aula.

No que se refere ao modo como a apropriação do funcionamento do dispositivo pode estimular um pensamento mais complexo na proposição de soluções para problemas da sua realidade, houve a percepção de aumento de complexidade nas hipóteses elaboradas pelos alunos atreladas à resolução de problemas que envolviam o funcionamento do dispositivo. Como exemplo, destacou-se a reação do Aluno (A), aluno com comportamento metacognitivo, quanto à falta de um teclado para digitar a senha no dispositivo, sugerindo que a solução seria digitar a senha por meio do notebook, hipótese que, mesmo sendo pouco intuitiva, era a real solução do problema. Contin (2017) demonstra que os alunos se sentem ativos e estimulados a mostrar os seus conhecimentos quando apresentados à tecnologia em sala de aula.

Ainda, do ponto de vista metacognitivo, foi significativo o direcionamento dado pelo aluno expert na atividade de apresentação da Brezobomba. Durante a atividade, o pesquisador recebeu várias hipóteses dos alunos para resposta do “como” o dispositivo funcionava. Este tipo de problema despertou o interesse e suscitou respostas que foram se tornando mais complexas entre o início da discussão e a atividade de conectar com a internet.

O Aluno (B), aluno com comportamento metacognitivo, identificou que havia uma rede disponível chamada Brezobomba no seu celular, quando percebeu a demora da turma para fazer a conexão com a rede do dispositivo pelo ícone do computador. Esta afirmação do Aluno (B)

foi muito semelhante a um exemplo de registro de respostas de expert (Apêndice D) em que o estudante afirmava que: “a Brezobomba está fora e dentro e eu estou lá dentro”. Deci e Ryan (2010) reconhecem na tecnologia a ferramenta de desenvolvimento de aspectos internos do estudante, como autonomia, competência e relacionamento com os colegas. Para estes autores, o fascínio dos estudantes pela tecnologia tem um papel cada vez maior no desenvolvimento de habilidades, como autonomia, e de competências relacionadas ao mundo digital. O Aluno (B), assim, de forma autônoma e espontânea, usou a ideia de conexão com o celular para resolver os problemas. Suas respostas podem ser identificadas no Quadro 10.

Quadro 10 - Manifestação 1 do Aluno (B) sobre a Brezobomba

Pergunta: Pesquisador	<i>Como a Brezobomba pode ser conectada?</i>
Aluno (B):	<i>“tem de ter um jeito sim, caso não tenha, clica no ícone de conexão do computador” “a Brezobomba está aqui dentro do meu celular!!”</i>

Fonte: Autor, 2024.

No quarto encontro, os alunos demonstraram interesse no site, clicando nas Brezobombas que estavam ativas em outras localidades. Eles passaram a discutir e a estabelecer uma metodologia adaptada para comparar os dados capturados em sala de aula com os dispositivos que estavam em lugares remotos: os 2 (dois) dispositivos localizados em Florianópolis (SC), local onde são fabricadas as Brezobomba, e outro em Jandaia (GO), local do terceiro estudo. A partir da identificação da diferença entre os dados das diferentes Brezobombas, os alunos elaboraram hipóteses que foram discutidas para estabelecer a relação entre a “sua” Brezobomba e a dos “outros”.

Durante a aplicação da sequência didática, observou-se que esses comportamentos oriundos do pensamento metacognitivo foram mais evidentes a partir da apropriação do conhecimento sobre o funcionamento do dispositivo. Esta apropriação não ocorreu de forma isolada, mas em relação, desde o primeiro encontro, com a tecnologia IoT e o tema da qualidade do ar. Foi possível observar, assim, o que afirma Takahashi (2000). O autor menciona que incluir o aluno no contexto digital não significa apenas ensinar sobre habilidades básicas, mas conduzi-lo na construção de conhecimentos que permitam utilizar novos saberes em interesses individuais e comunitários, com responsabilidade e senso de cidadania.

A organização ocorrida no primeiro encontro, por exemplo, em que a atividade de desenho inicial foi aplicada, propiciou a organização preliminar, pelo aluno, dos seus conhecimentos, tomando como ponto de partida a sua própria realidade e construindo hipóteses

sobre a relação entre a tecnologia IoT e o tema da qualidade do ar. Porém, hipóteses rudimentares, ainda sem complexidade significativa.

Esse novo conhecimento adveio da apropriação do funcionamento sobre o dispositivo, mas não se reduziu ao dispositivo isoladamente. Antes, relacionou o novo conhecimento com o de experiências anteriores, envolvendo a relação do aluno com a sua sala de aula e estimulou a construção de novas hipóteses e cenários. Um exemplo foi encontrado no terceiro encontro, quando o grupo discutiu sobre estratégias para conectar o dispositivo na internet. Os alunos sugeriram pesquisa online sobre a conexão ou, de forma livre, a partir do termo Brezobomba, o que revela a maior complexidade na elaboração e na sugestão de hipóteses para a solução dos problemas encontrados na realidade. Na visão de Carroll (1987), os alunos, ao construir novos conhecimentos mediados por produtos educacionais, têm o reconhecimento de suas experiências prévias na perspectiva de descobrir novos caminhos ou obter orientação dos colegas mais experientes.

Diante da sugestão das estratégias, quando alguns alunos encontraram na internet o vídeo de orientação sobre o protótipo, compartilharam, imediatamente, com os demais colegas. Eles reconheceram e verbalizaram as diversas possibilidades que a internet imprime à pesquisa, para a obtenção de informações. Alguns alunos foram mais rápidos na busca, afirmando: “*eu acho aqui de tudo*”. E outro aluno completou: “*até sobre a Brezobomba*”. Também no terceiro encontro, observou-se que o vídeo encontrado de forma autônoma pelos estudantes na internet gerou um sentimento de participação efetiva da sala de aula, o que vai ao encontro do que afirma Bers (2020) ao mencionar que o aluno, ao organizar ações para resolver problemas mediado pela tecnologia, desenvolve a sua capacidade de entender a natureza do seu aprendizado. As respostas que derivam desse conhecimento geram satisfação na realização da tarefa e emoções positivas, como engajamento e curiosidade.

Esses comportamentos são extremamente dinâmicos e podem ser estimulados pelo professor na busca de um consenso, quando observadas respostas mais complexas sob o ponto de vista da tecnologia. Observou-se que as diversas hipóteses da turma para solução de um problema comum em grupo, geralmente são lideradas pelos estudantes *experts*, que contestam soluções que fogem do objetivo, indicando o caminho para solução em grupo. O papel do professor na evocação deste comportamento de liderança do aluno expert, todavia fica evidente e vai ao encontro do que afirma Chi *et al.* (1989) ao indicar que os estudantes têm maior interesse em exemplos vindos dos professores que estimulem a reflexão e em como podem usar o que aprenderam.

Percebeu-se ainda que a apropriação do conhecimento sobre o funcionamento do dispositivo estimulou um pensamento mais complexo para a proposição de soluções para problemas da realidade durante o segundo encontro, quando ao explicarem uns aos outros sobre o funcionamento do dispositivo, evidenciou-se a capacidade de os alunos para compartilharem conhecimentos, ensinando os demais colegas sobre a realidade. Neste encontro, uma aluna ao compartilhar sua experiência para outra aluna que não estivera na aula anterior, afirmou: “*já estávamos falando da poluição do ar na última aula*”, enquanto explicava para colega a preparação realizada na aula anterior sobre as funcionalidades, conhecimento e manuseio da Brezobomba. Ficou evidente também a percepção de que a apropriação sobre o funcionamento do dispositivo não ocorreu de forma isolada, mas sim conectada ao tema da poluição do ar. Os alunos, assim, atribuíram novos sentidos ao dispositivo, suscitando comportamentos mais complexos na comparação relativa a estes entre o início dos encontros e as discussões da atividade mediada pelo dispositivo, como o compartilhamento de conhecimentos.

6.2 Categoria *Os conhecimentos sob o ponto de vista da Educação Ambiental e a Consciência ambiental*

A categoria de análise Os conhecimentos sob o ponto de vista da Educação Ambiental e a Consciência ambiental referiu-se ao comportamento do aluno quanto à capacidade de utilizar dados em tempo real em sala de aula que refletissem a realidade da própria escola e compará-los com: a) conhecimentos que ele já possuía ou b) com outras escolas e ambientes, articulando ao aprendizado um pensamento mais complexo sobre sua relação com o meio ambiente.

As atividades de organização do conhecimento através do desenho inicial, no primeiro encontro, revelaram que os alunos evocaram discussões propondo diversas hipóteses, a saber: Como podemos saber se o ar está poluído? O cheiro pode ser um indicador? O cheiro do ar poderia avisar que está poluído? Como a fumaça das queimadas que acontecem longe chega em todo Brasil? Os alunos não limitavam suas questões à poluição do ar, mas demonstraram também ter conhecimentos sobre outras formas de poluição que atingem a natureza de forma geral. Acompanhavam as notícias semanalmente e verbalizavam com propriedade sobre o tema.

Especificamente sobre a qualidade do ar, este tema - amplamente abordado nas mídias, atual e motivador-, propiciou debate interessante e intenso, evidenciando pontos de vista diversos. Na sua maioria, os alunos relacionaram a qualidade do ar com as queimadas de florestas que estavam sendo noticiadas na televisão durante a semana.

O pesquisador percebeu que, em um grupo, durante a atividade de desenho, todos estavam desenhando árvores e fogo. Neste momento, o Aluno (B), com perfil metacognitivo perguntou ao pesquisador: “Eu poderia desenhar um vulcão, já que no desenho dos colegas tinha fumaça, mas pouca quantidade e um vulcão gerariam muito mais fumaça”. Como resposta, foi indicado que o objetivo era tratar da realidade da escola e o pesquisador não conhecia nenhum vulcão próximo que pudesse usar como referência. O Aluno (B) produziu um desenho simples, como pode ser visto na Figura 53, e quando questionado se seria o vulcão, respondeu prontamente: “Não, isso é uma montanha de material reciclado, eu trabalhei na usina de reciclagem no ano passado e se os materiais não são separados corretamente apodrecem e estragam o ar” (Figura 53). Percebeu-se a capacidade de abstração do Aluno B ao extrair das duas explicações o princípio geral de que gases poluem o ar, pois tanto vulcões quanto montanhas de material reciclado inadequadamente seccionados e separados podem emití-los, indo ao encontro do que afirma Chi, Feltovich e Glaser (1981) relativa à capacidade de abstração de conceitos de Física para os alunos denominados por ela de experts, enquanto para os “novatos”, outra denominação trazida pela autora, é a representação literal.

Figura 53 - Desenho usina de reciclagem



Fonte: Autor, 2024.

Inicialmente, as representações sobre a natureza e o ambiente, realizadas pelos alunos nos desenhos, indicavam o conhecimento prévio destes alunos sobre a questão ambiental, adquiridos mormente através da mídia televisiva, bem como a motivação para falar e aprender sobre o tema. Os desenhos realizados, diferentemente dos estudos iniciais, apresentaram grande

incidência de representações de árvores e fogo, reforçando a percepção que os alunos relacionaram o tema da aula às notícias e pela forma que elas são apresentadas. A relação entre o conhecimento apresentado pelos alunos e a mídia televisiva aponta para o que afirma Para Reigota (2009) ao mencionar que a EA possui uma abordagem de tema de cunho político, social e cultural, definindo “meio ambiente” como uma relação constante entre aspectos naturais e sociais que acarretam processos de criação cultural e tecnológicos.

O tema ambiental foi instigante e mobilizou os alunos em termos dos conhecimentos prévios sobre qualidade do ar. As informações que o grupo trouxe além de atualizadas foram relevantes, com dados da realidade do país: a seca, as queimadas e a enchente foram mencionadas nos debates. Todavia, verificou-se também a capacidade de relacionar o tema da qualidade do ar com a própria realidade, como no caso do aluno que inicialmente desenhou um vulcão e, após o questionamento do mediador, explicou sobre a montanha de material reciclado, realidade mais próxima de sua vivência concreta.

O comportamento dos alunos relativo à capacidade de comparação dos dados sobre a qualidade do ar permitida pela utilização da Brezobomba (tecnologia IoT) evidenciou a grande dificuldade de os alunos relacionarem os conteúdos escolares da EA com a sua própria realidade. Os alunos conseguiram identificar os dados e estabelecer relações em que estes poderiam ser utilizados para respostas a problemas menos aprofundados, porém não perceberam com clareza como utilizar no seu cotidiano. Essa dificuldade apresentada pelos alunos pode ser devida ao diagnóstico de que a EA tem como desafio estabelecer uma relação tanto com as disciplinas escolares como com o cotidiano do aluno.

Conforme Soares e Vasconcelos (2018) a EA é reconhecida como um tema transversal. Boa parte dos conceitos aprendidos na escola não faz sentido para um número significativo de estudantes, o que se torna relevante, considerando que o conhecimento científico é base para a solução de problemas. Os projetos de EA, entretanto, têm um caráter prático se o aluno estabelecer uma relação com seu cotidiano e adotar condutas positivas em sua vida social (Barros *et al.*, 2010), desafio que pode ter como possível norteador a integração de dispositivos IoT na prática pedagógica de sala de aula.

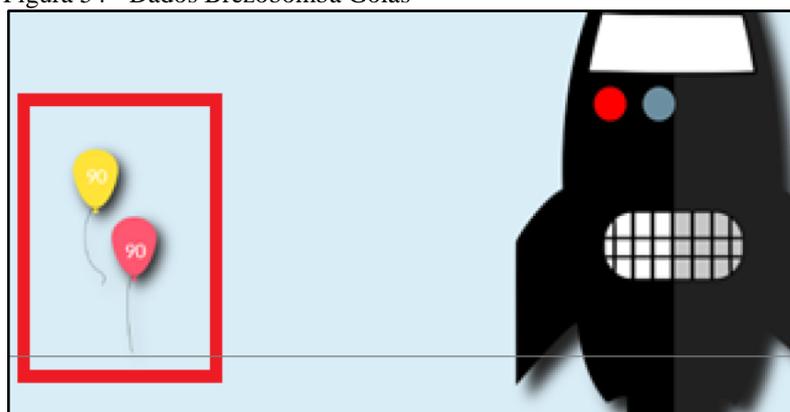
Observou-se nos momentos iniciais dos encontros a dificuldade de desenvolvimento do tema da EA em sala de aula, surgindo questionamento do pesquisador se a conscientização esperada levaria os alunos na direção de refletirem e tomarem posição frente aos problemas ambientais da sua realidade. A dificuldade apresentada pelos alunos também pode ser percebida na condução do tema pelos professores, responsáveis pela proposição de hipóteses para os questionamentos dos alunos. Tais hipóteses criadas pelos professores nem sempre são as

melhores soluções para os problemas da realidade do aluno. Logo, ao identificar diferentes realidades, por meio da tecnologia IoT e discutir suas hipóteses em grupo, as reflexões ambientais a construção do conhecimento amplifica-se em sentido reflexivo e em complexidade. Sato (2003) afirma a necessidade de uma EA que reflita a própria trajetória do aluno e não como uma prática educativa qualquer, o que vem ao encontro do afirmado por Koehler (2014) na direção de estimular o trabalho em grupo e o aprendizado por meio da prática.

Inicialmente, a turma formulou hipóteses superficiais para os dados, que refletiram um processo de perceber o quanto já sabiam, porém com o objetivo de estruturar soluções simples e rápidas para o problema, que não são compatíveis com o nível de complexidade apresentado nos debates dos encontros anteriores. Frente ao novo conhecimento dos dados, foi possível perceber que os alunos *experts* aguardavam a definição de regras para que pudessem atuar na solução, não sendo mais os protagonistas nas discussões das ideias. A ausência da autorregulação do grupo, em especial nas atuações de monitoramento das hipóteses mais improváveis, claramente afetou a capacidade de adquirir e compreender o tema proposto.

Notou-se, então, a dificuldade no debate sobre os dados da qualidade do ar. Os alunos contestaram os dados: a Brezobomba da sala de aula apresentava 180 de CO₂ enquanto a Brezobomba do estado de Goiás, 90 de CO₂ (Figura 54). Os alunos comentaram que não era possível o ar estar “mais” poluído, já que “o ar da escola era limpo”.

Figura 54 - Dados Brezobomba Goiás



Fonte: Autor, 2024.

Os alunos apresentaram reflexões menos complexas que nos encontros anteriores. Durante o debate, a turma não aceitava que o ar poderia ser pior na sua escola que em outra. O pesquisador insistiu no debate, com o objetivo que os alunos acomodassem os conhecimentos adquiridos e iniciassem a construção de novas representações.

Partindo da premissa que os dados refletiam o terceiro estudo inicial na escola, que estava localizada em um centro urbano menor e em um local mais arborizado, inclusive com mais árvores dentro da escola - fato que é facilmente percebido na Figura 55-, foi questionado se esta não poderia ser uma das hipóteses para a diferença entre os dados.

Figura 55 - Escola Jandaia Goiás



Fonte: Autor, 2024.

Novamente a proposta foi negada, o que faz referência ao trabalho de Krause (2019) quanto à falta de participação da comunidade quando não é capaz de identificar a qualidade ambiental com o contexto em que vive. Por outro lado, a condição apresentada pelos alunos permite problematizar no sentido do que afirma Chi (2000). A autora evidencia a dificuldade de estudantes de responderem perguntas por não entenderem o que está sendo questionado. A atribuição de respostas ingênuas não tem como origem uma escolha aleatória dos estudantes, mas a construção de esquemas não especializados que exigem modelos apropriados para resolução de um problema para temas complexos, dinâmicos ou abstratos.

Fundamentado, mais uma vez, pela revisão de estudos de Neves (2016) de viabilizar reflexões para a ampliação dos conhecimentos, o pesquisador questionou se o fato da escola ser localizada em frente a uma rua com grande movimentação de carros - como pode ser facilmente identificado na Figura 56 -, e a relação se os desenhos do primeiro encontro que apresentavam muitos carros, que eles mesmo desenharam, não poderiam ser uma causa direta para os dados de CO₂.

Figura 56 - Rua movimentada na frente da escola



Fonte: Secretaria da Escola, 2024.

Este tipo de discussão destacou a importância do uso dos dados reais em sala de aula para a educação ambiental, estabelecendo conclusões sustentáveis para um debate qualificado. Observou-se a importância do acesso aos estudos e às informações que possam desenvolver e avançar na questão da consciência sobre a importância da preservação ambiental.

A escola torna-se elemento importante no que se refere ao tema da preservação ambiental quando oportuniza ao aluno, ao captar dados em diferentes ambientes, compará-los, estabelecendo relações da sua própria escola com outras escolas ou ambientes, atrelando ao processo diversos saberes e informações. Foi possível perceber que as atividades de organização do conhecimento que iniciaram com o desenho inicial e tornaram-se mais complexas com a utilização da Brezobomba, com a produção de hipóteses além da apropriação isolada de conceitos. A presença do dispositivo criou condições voltadas para o estímulo de uma consciência ambiental mais próxima da realidade e dos conhecimentos da turma.

A inserção da tecnologia na mediação do aprendizado em sala de aula do Ensino Fundamental constitui exigência social, visto que os estudantes verbalizam a necessidade de práticas educativas que estejam articuladas com a sua realidade. Nesse contexto, afirma-se o total distanciamento das pesquisas em educação na direção das potencialidades da tecnologia IoT na articulação com a EA, sobretudo pela ausência de presença formal nos currículos, no como são organizadas as disciplinas denominadas “tradicionais”, apontando para uma fragmentação do conhecimento e um distanciamento realidade do aluno. Tristão (2008, p. 20) corrobora com esta perspectiva afirmando que “a relação entre meio ambiente e educação para a cidadania assume um papel cada vez mais desafiador demandando a emergência de novos saberes para apreender processos sociais que se complexificam em riscos ambientais que se intensificam” e indo também ao encontro do que afirma Mezzomo (2015) quanto à vital importância das práticas interdisciplinares.

Também, as dificuldades da EA podem estar articuladas à falta de professores especializados, ausência de projetos ambientais nas escolas e pela escassez ou inexistência de atividades práticas relacionadas ao tema. Em agravamento, evidencia-se também o tímido interesse das Universidades em incorporar o tema à pesquisa pelo seu caráter transdisciplinar em contraponto às disciplinas especializadas que notoriamente oportunizam maior destaque acadêmico, na direção do que afirma Almeida (2022).

O desconhecimento, em geral, do tema da qualidade do ar por alunos e professores, também motivou a adoção de novas práticas para trabalhar em sala de aula, fundamentada em um menor uso de exemplos de caráter excessivamente científico para alunos do Ensino Fundamental, com ênfase naqueles orientados pelos conhecimentos da turma. Os alunos, por meio da sua realidade, buscaram interpretar os conteúdos e tentaram apresentar respostas aos desafios no contexto ambiental em que realmente são inseridos.

As análises indicaram que os estudantes, ao interagirem com o dispositivo IoT e refletirem sobre os dados coletados, demonstraram um processo de tomada de consciência sobre a poluição do ar e seus impactos sociais. Tal envolvimento vai ao encontro da Educação Ambiental crítica, pois promoveu não apenas a aquisição de conhecimentos, mas também o engajamento em discussões éticas e políticas sobre o meio ambiente e as ações humanas.

6.3 Categoria *Interação entre os alunos experts e novatos, a influência no grupo e a construção de novos conhecimentos*

A categoria *Interação entre os alunos experts e novatos, a influência no grupo e a construção de novos conhecimentos* refere-se à observação das soluções propostas pelos alunos por meio de apresentação de hipóteses socializadas no quinto encontro. Os resultados mais complexos e desenvolvidos foram identificados nos grupos que tiveram maiores interações entre os seus componentes e os alunos metacognitivos, revelando maior quantidade de detalhes e hipóteses criativas e extrapolando os conhecimentos inicialmente apresentados.

A percepção do pesquisador, relacionando as hipóteses construídas nas experiências anteriores de utilização da Brezobomba (Apêndice A), oportunizou selecionar dois alunos, designados por “Aluno (A)” e “Aluno (B)” que foram acompanhados de modo mais próximo, no sentido de especial atenção aos seus comportamentos para a execução de tarefas em grupo. A análise dos encontros foi realizada a partir da observação desses dois alunos com comportamento metacognitivo de expert.

O comportamento dos alunos, incentivados pelo produto educacional, indicou a ativação do pensamento metacognitivo de *expert*, em especial, na proposta de hipóteses. As ações dos alunos para a resposta do problema, quando este foi apresentado em grupo, representaram variadas manifestações, que se diferenciaram no que tange à análise individual, possibilitada pelos elementos metacognitivos *pessoa*, *tarefa* e *estratégia*. Todavia, para este estudo, voltado ao potencial do ensino mediado pela tecnologia IoT, foram registradas diferentes estratégias dos estudantes na comunicação com o grupo para o *planejamento*, *monitoramento* e *avaliação*.

No quarto encontro, no Grupo B, foi elaborado um mapa em que seriam divididos os espaços da cartolina e as tarefas. Essa proposição não partiu do aluno metacognitivo (B), mas este atuou sugerindo diversas hipóteses para execução das tarefas do grupo. No Grupo C, a discussão foi rápida e determinada pelos integrantes, que estavam em um subgrupo mais numeroso. Nesse Grupo (Grupo C), o aluno com perfil metacognitivo não teve oportunidade de discutir o problema, limitando-se a acompanhar o trabalho como observador. Este aluno, todavia, definiu o tema “a floresta” para o grupo e, da mesma forma, deu início à atividade.

Ainda no quarto encontro, os Grupos A, B e C apresentaram os cartazes com a participação de todos os alunos. Os alunos Grupo D não se sentiram à vontade para apresentarem o trabalho na frente da sala de aula. Sentiam-se desconfortáveis, uma vez que são alunos do “fundão” e possuíam idade maior que a média da turma. Sentiam-se, ainda, inibidos para fazer apresentações para toda turma. Mesmo assim, foram muito participativos e apresentaram o cartaz na classe.

O aluno (A) executou as tarefas do desenho inicial em um primeiro grupo (Figura 57), sem demonstrar dificuldades ou interesse em questionamentos sobre o trabalho, não demonstrando comportamento de *expert* no primeiro encontro.

Figura 57 - Desenho Árvores



Fonte: Autor, 2024.

A partir do momento que o Aluno (A) percebeu a organização da atividade e a possibilidade de propor hipóteses para solução dos problemas, ela assim agiu, propondo diversas soluções mais elaboradas.

Na primeira atividade do primeiro encontro o Aluno (B), mostrou-se interessado em entender o porquê da atividade da qualidade do ar. Discutindo com os colegas, percebeu que no grupo próximo todos estavam desenhando árvores e fogo. Neste momento o Aluno (B) perguntou ao pesquisador: “*Eu poderia desenhar um vulcão, já que no desenho dos colegas tinha fumaça, mas pouca quantidade e um vulcão gerariam muito mais fumaça*”. Como resposta, foi indicado que o objetivo era tratar da realidade da escola e o pesquisador não conhecia nenhum vulcão próximo que pudesse usar como referência.

Sob a perspectiva “pessoa” da Metacognição, o Aluno (B): a) comparou o seu conhecimento com o dos colegas; b) buscou identificar o objetivo do professor com a atividade; c) avaliou os conhecimentos com o teste do vulcão.

No Grupo A, o Aluno (A) que apresentou o comportamento de *expert* nas atividades anteriores, rapidamente iniciou os trabalhos, chamando os demais alunos a trabalharem em conjunto em um desenho único. Quando questionados sobre o porquê dessa escolha, a aluna, representando o grupo, explicou que com a participação de todos o desenho ficaria melhor (Figura 58).

Figura 58 - Atividade no Grupo A



Fonte: Autor, 2024.

Durante a atividade, um aluno que não estava participando da realização dos desenhos foi encaminhado pela professora para participar do Grupo A. O grupo mostrou acolhimento em relação ao novo integrante e estavam o orientando sobre a atividade. O Aluno (A) interrompeu e orientou o grupo que deveriam continuar os desenhos e que a nova participante poderia observar o que todos estavam fazendo e começar a desenhar no momento que se sentisse à vontade.

No Grupo A, a apresentação do cartaz (Figura 59), que se destacava por possuir uma grande quantidade de detalhes em comparação aos outros, iniciou com a explicação de que um desenho único possibilitava mais espaço para detalhar mais a natureza e mostrar o lixo. Uma aluna comentou que “*o desenho refletia a realidade e que uma vez viu até um sofá no rio do lado da escola*”. Ancora-se a percepção observada na direção do que afirmam Jeong e Chi (1997), quando discutem que ao compartilhar os resultados de suas atividades os estudantes constroem modelos de aprendizado mais efetivos.

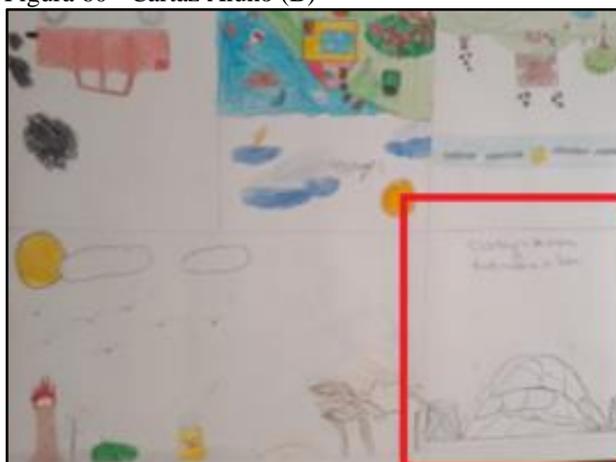
Figura 59 - Cartaz Grupo A: “A Natureza”



Fonte: Autor, 2024.

No Grupo B o Aluno (B) iniciou a atividade do cartaz rapidamente, reutilizando a sua ideia do desenho inicial, como pode ser visto na Figura 60. Buscou materiais além dos iniciais fornecidos para fazer o desenho e perguntou para o pesquisador se o que ele queria apresentar seria suficiente.

Figura 60 - Cartaz Aluno (B)



Fonte: Autor, 2024.

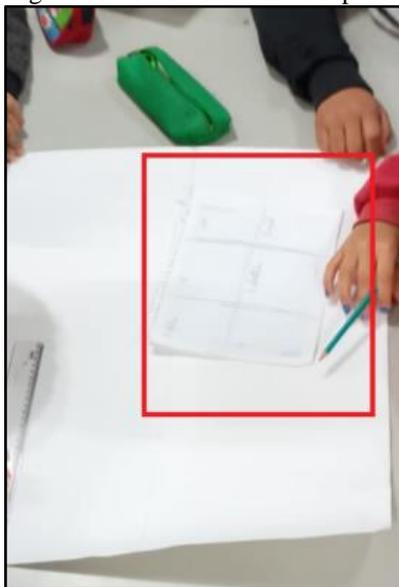
Sob a perspectiva “tarefa” da Metacognição o Aluno (B): a) reconheceu que já tinha feito a atividade semelhante com a proposta; b) identificou a dificuldade na tarefa apenas com os materiais entregues; c) avaliou se estava correto o que precisava ser feito. Para a perspectiva da estratégia foram analisados os registros do pesquisador na ficha de observação e as anotações feitas durante a prática para identificar a influência do Aluno (B) nos debates pelo grupo.

Os registros mostraram que o Aluno (B) apresentou capacidade de reajustar sua atuação na tarefa. Mesmo percebendo que inicialmente suas ideias não foram consideradas, ele apresentou a capacidade de monitoramento, autoavaliando sua aprendizagem e adaptando novas tarefas para finalizar o cartaz.

Enquanto no Grupo A se observava uma liderança clara da organização do Aluno (A), no Grupo B o Aluno (B), mesmo apresentando boas ideias para condução da tarefa, não conseguiu obter consenso dos colegas para estabelecer uma estratégia mais sofisticada para leitura do problema nos momentos iniciais.

Observou-se que, neste cenário, um aluno do grupo com comportamento metacognitivo de novato tomou para si as decisões sobre a estratégia, montando uma tabela auxiliar para dividir as atividades (Figura 61), porém esta ação retardou o início do desenho pelos alunos e dificultou para o grupo discutir as ações necessárias para o cartaz, centralizando as decisões em quem estava organizando a tarefa.

Figura 61 - I. Atividade no Grupo B



Fonte: Autor, 2024.

O Aluno (B), visivelmente incomodado pela falta de eficiência relativa ao uso da tabela, percebeu que não teria tempo suficiente, por isso simplificou sua ideia de desenho, terminando sua atividade antes do tempo previsto e se prontificou a auxiliar a aluna novata a terminar a sua “área do desenho”. A reação do Aluno (B), quanto ao monitoramento da atividade, estimulou a aluna novata a propor alterações na estratégia do grupo, e ao propor essa mudança, ela também percebeu que um dos colegas não se sentia à vontade para desenhar, e não estava executando a tarefa. Como solução imediata, a aluna reservou duas áreas do cartaz para si, estratégia que não foi boa, uma vez que não teve tempo para finalizar o seu próprio desenho. Esta condição vai ao encontro do que afirmam Gobbo e Chi (1986), quando indicam que a integração entres os estudantes de diferentes perfis influencia a habilidade de usar o conhecimento.

A ação da aluna novata do Grupo B contrastou diretamente com a reação apresentada pela Aluno (A) que na mesma situação de não participação, ou resistência ao início da tarefa do Grupo A, orientou o grupo a continuar suas atividades e estabeleceu a regra de que quando a aluna se sentisse à vontade poderia começar a auxiliar na execução da atividade (Figura 62).

Figura 62 - II. Atividade no Grupo B



Fonte: Autor, 2024.

Na apresentação do cartaz do Grupo B (Figura 63), percebeu-se que nas discussões sobre a estratégia, diversas ideias foram propostas, mas o grupo optou por não mudar a ideia inicial organizada pela tabela de organização. Gerou-se um senso de participação dos alunos, que explicariam detalhadamente o desenho, mostrando respostas mais complexas, como: o carro que emite fumaça, o lixo que vai para água, as fábricas e como estes eventos acabavam afetando a qualidade do ar. Os alunos complementavam entre si suas respostas.

Figura 63 - Cartaz Grupo B



Fonte: Autor, 2024.

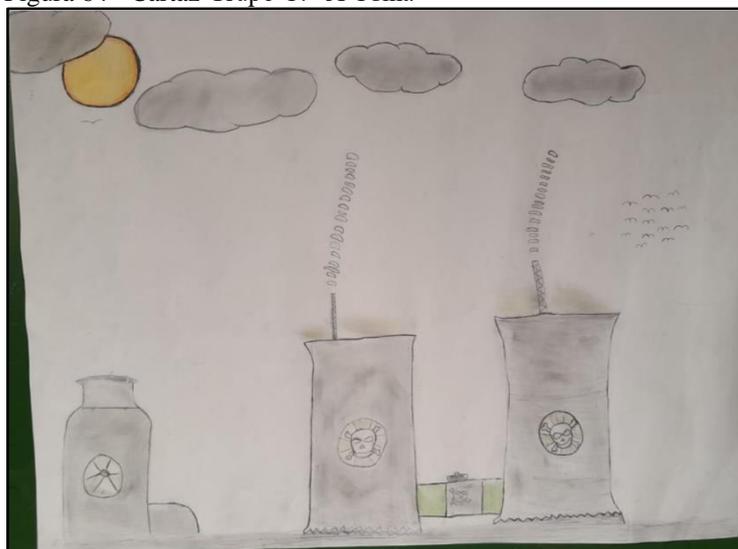
O Grupo C iniciou explicando como fizeram o desenho (Figura 64), o que eles queriam mostrar, explicando que fizeram um desenho único com a “caveirinha” para mostrar que o ar estava tóxico. Explicaram que as usinas “soltam fumaça” que prejudicam o ar. Sobre a pergunta se tiveram outra ideia, um estudante sugeriu que deveria fazer um rio para mostrar que o ar influenciava o rio também.

Um aluno apresentou boas hipóteses nos momentos de encerramento da atividade do cartaz. Quando foi questionado sobre porque não participou mais ativamente na tarefa, já que nos encontros anteriores tinha se destacado em diversas oportunidades, mostrou-se receoso em dar suas opiniões, uma vez que foi sempre excluído das decisões.

Quando estimulado para participar do trabalho, o aluno desenvolveu rapidamente diversas sugestões de como complementar o desenho dos colegas. Quando questionado pelo grupo, respondeu firmemente quanto à necessidade de incluir no desenho o sol amarelo e as nuvens pretas, estabelecendo relação entre o que aprendeu com o site da Brezobomba.

A ideia de que o aluno gostaria de mostrar no cartaz foi aceita e adaptada em poucos minutos, alterando a estratégia que estava focada apenas nas habilidades de desenho do grupo, para a oportunidade de apresentar a nova ideia, mais próxima da qualidade do ar.

Figura 64 - Cartaz Grupo C: “A Usina”



Fonte: Autor, 2024.

O Grupo D, composto por apenas dois integrantes, não apresentou interação com estudante de comportamento metacognitivo. Este grupo exigiu maiores explicações e acompanhamento (Figura 65). Neste grupo, os alunos explicaram que fizeram a estrada porque “foi o que passou na cabeça”. Escolheram usar um tronco pegando fogo, mostrando que o fogo

poderia sair na estrada, abordagem que se revelou interessante, já que os alunos discutiam como a qualidade do ar afeta as pessoas. O grupo não quis falar um título para o trabalho.

Figura 65 - Cartaz Grupo D: “Sem Título”

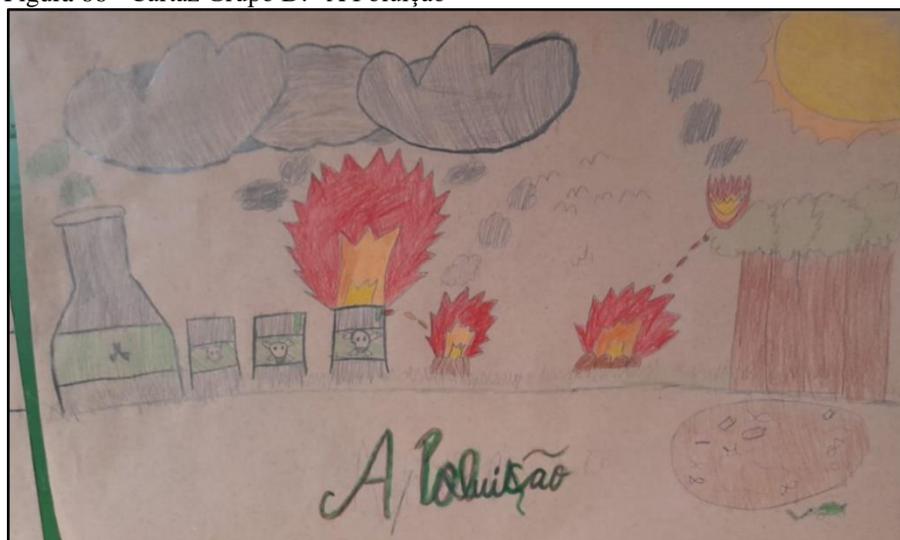


Fonte: Autor, 2024.

Por fim, o Grupo E, que inicialmente teve um estudante e, no final, recebeu ajuda de outro, apresentou a estratégia de quadrinhos para mostrar uma história. Este tipo de estratégia já tinha sido percebido nos testes iniciais e apresentada em diferentes contextos. Por um lado, a turma participou da história durante a apresentação, sugerindo hipóteses, porém a estratégia da atividade, em geral, apresentou-se como comportamento de novato, não propondo soluções criativas ou com profundidade adequada.

No Grupo D, os alunos apresentaram o cartaz representando uma tartaruga que encontrou um “tabaco” no chão e jogou nas árvores, gerando uma fogueira (Figura 66). O grupo não pensou em fazer de outro modo. Seguiram a mesma ideia, apenas reforçando que o desenho tinha garrafas que indicavam que existia, além do fogo, a poluição.

Figura 66 - Cartaz Grupo D: “A Poluição”



Fonte: Autor, 2024.

Sob a perspectiva da manifestação do pensamento metacognitivo com a utilização da Brezobomba, percebeu-se que a turma, na sua totalidade, reconheceu que já tinham aprendido sobre o tema nos encontros anteriores (elemento metacognitivo pessoas), realizaram tarefas com complexidade crescente, debatendo entre os colegas as melhores ações e executaram estratégias autônomas para propor hipóteses que poderiam resolver o problema do ar.

Quanto à planificação das atividades, todos os grupos mostraram ações adequadas de como poderiam agir na sua realidade sobre a qualidade do ar. Observaram o monitoramento das suas atividades, adaptando novos conhecimentos às hipóteses. Na apresentação de cartazes, avaliaram como desenvolveram, por meio do próprio pensamento, as soluções.

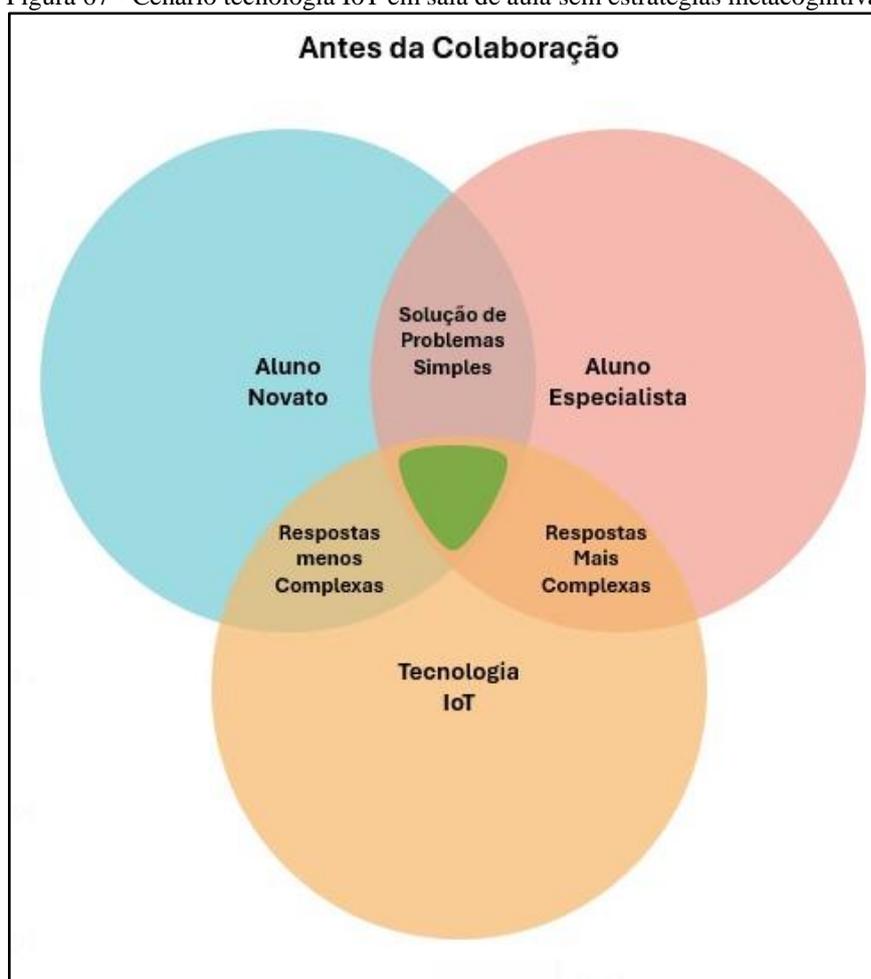
A análise do comportamento metacognitivo dos alunos acompanhados e a promoção de intervenções didáticas adequadas para incentivar um aprendizado consciente e relacionado com a realidade do aluno não se limitou a construir modelos que produzissem resultados e diagnósticos exatos. O que se propôs nesta pesquisa foi, fundamentando-se na metacognição e nos perfis de aprendizado, a observação de comportamentos dos alunos dentro de atividades orientadas, que buscam estimular o trabalho em grupo, conduzido pelas melhores estratégias do aluno expert.

As decisões mais especializadas em sala de aula apresentaram resultados mais complexos e detalhados, mostrando-se adequados para o aprendizado mediado pela tecnologia IoT, a qual permitiu novos contextos de aprendizado, mas que pela falta de suporte didático correto, podem se tornar ineficazes para a realidade de sala de aula. Fundamentado no referencial teórico, sobretudo de Jeong e Chi (2000), que mostra a diferença da construção do

conhecimento antes e depois da interação entre os estudantes, revelou-se que a tecnologia IoT induz a novas propostas didáticas com a introdução de novos componentes.

Esta perspectiva foi adaptada à questão principal deste estudo, a saber, quais são as contribuições de atividades didáticas de natureza metacognitiva mediadas por tecnologia IoT e EA para a construção dos conhecimentos por estudantes do Ensino Fundamental? Considerou-se um cenário inicial de resolução de problemas com tecnologia IoT em sala de aula sem estratégias metacognitivas (Figura 67). Neste cenário, os alunos não têm interação, as hipóteses apresentadas são simples, podendo ser identificadas como mais ou menos complexas, não sendo necessariamente resolvidas com um conhecimento produzido durante a discussão do problema. Neste contexto, a tecnologia IoT e os cenários de dados reais produzidos não permitem validar a apropriação do conhecimento pelo estudante.

Figura 67 - Cenário tecnologia IoT em sala de aula sem estratégias metacognitivas

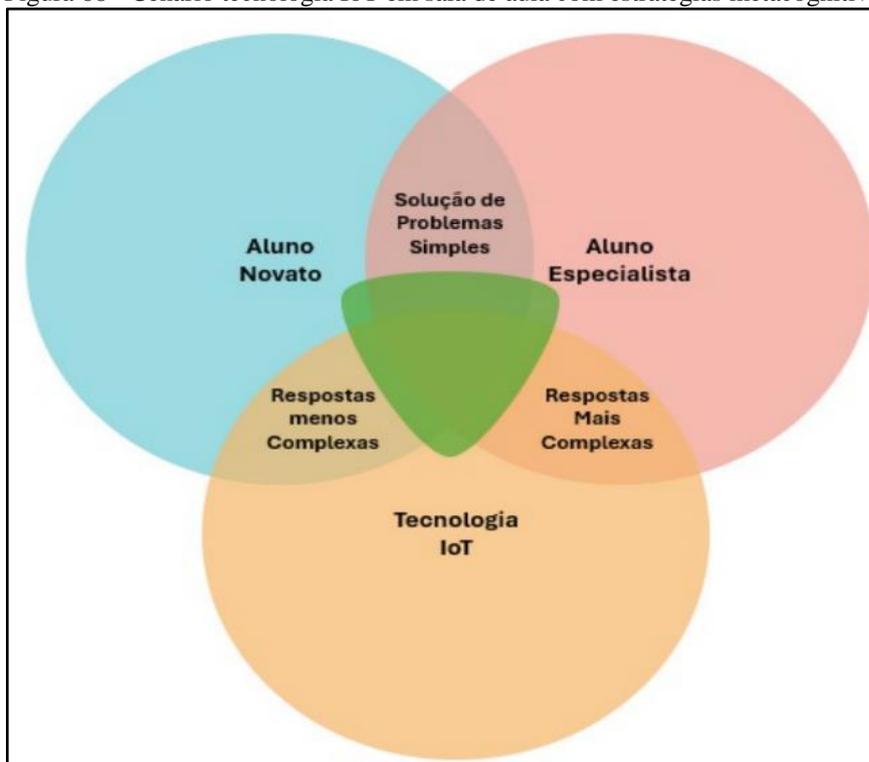


Fonte: Autor, 2024.

Em um segundo cenário - a tecnologia IoT em sala de aula com estratégias metacognitivas (Figura 68) -, validado pelos testes, foi utilizada a identificação do aluno *expert*

e, por meio de estratégias didáticas, estimulado o debate entre os alunos mediados pela tecnologia IoT, que permitiu uma compreensão dos alunos sobre suas próprias realidades, situação que possibilitou diferentes respostas ao problema, mais complexas e relevantes, estimulando o aluno a se apropriar do conhecimento para responder problemas do seu cotidiano.

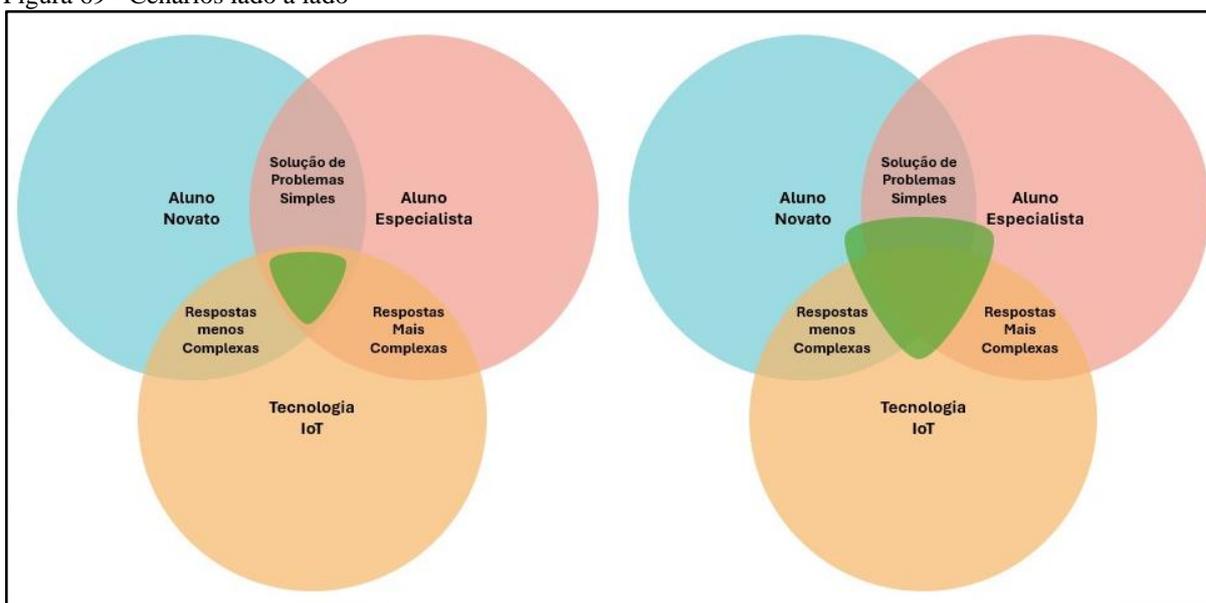
Figura 68 - Cenário tecnologia IoT em sala de aula com estratégias metacognitivas



Fonte: Autor, 2024.

Essa modificação na estrutura dos conhecimentos, possibilitou a comparação entre o primeiro cenário e o segundo (Figura 69), no qual se observou que as relações construídas, permeadas pela produção de novos significados, estratégias e ações mais complexas, são estimuladas pela utilização da tecnologia.

Figura 69 - Cenários lado a lado



Fonte: Autor, 2024.

Tendo em vista os dados analisados, os alunos que participaram de grupos em que houve a presença de um aluno *expert* apresentaram estruturação dos processos metacognitivos mais elaborados, sendo capazes de produzir hipóteses relacionadas ao tema da qualidade do ar que se mostraram gradativamente mais sofisticadas. No aspecto geral, observou-se que os alunos, ao resolverem problemas da área da EA, quando mediados pela tecnologia IoT, assimilaram novos conhecimentos, mostrando um aprendizado estruturado na sua própria capacidade de aprender.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O momento de avaliar a própria pesquisa, seus avanços, limitações e os caminhos que ainda podem ser explorados reflete os rumos tomados e abandonados durante a busca de respostas quanto à pergunta original sobre a realidade da mediação da tecnologia em sala de aula.

A proposta de estudar o conjunto de habilidades, conhecimentos e comportamentos que tornam um aluno capaz de responder problemas com a complexidade necessária para que o aprendizado das disciplinas escolares possibilite ao estudante entender e responder a problemas do seu cotidiano, encontrou na teoria da metacognição importante referencial teórico, uma vez que este oportuniza uma adaptação a um cenário de educação tecnológica.

Essa adaptação da educação ao uso crescente de novas tecnologias, em especial, mas não limitada, como apresentado nesta pesquisa, à IoT, fomentou a discussão de novas propostas didáticas que desenvolvam nos estudantes habilidades de perceber as suas maneiras de pensar e de aprender. Neste sentido, a escolha da metacognição como importante referência teórica no estudo do comportamento do aluno possibilitou uma aproximação não esperada entre a teoria e a prática de sala de aula.

A pesquisa encontrou referenciais nos estudos das atividades experimentais da Professora Cleci Teresinha Werner da Rosa, que, na construção didática das atividades, observou que os alunos, ao resolverem problemas, buscam diferentes estratégias, permitindo ao professor observar diferentes comportamentos e, a partir deles, orientar um aprendizado verdadeiro e presente.

Em especial, na perspectiva da metacognição, os estudos da pesquisadora Michelene Theresa Huang Chi, possibilitaram identificar um comportamento muito presente na área de tecnologia na educação: o estudante que possui consciência do seu pensamento metacognitivo de *expert* tem desenvolvida a capacidade de propor hipóteses e esquemas muito sofisticados na solução de problemas quando comparado a estudantes com comportamento de novato.

Consciente da possibilidade de identificar e classificar o comportamento do estudante sobre a sua própria capacidade de aprender, foi possível planejar um produto educacional que apresentasse atividades para evocar um tipo de pensamento mais complexo de forma individual, e por meio da tecnologia, estimular e promover debates que agregassem para toda a turma, levando todos a participarem de atividades que oportunizassem a cooperação e a resposta a problemas mais complexos. Entretanto, essas percepções não esgotaram todas as estruturas

oportunizadas pela teoria da metacognição e se restringiram ao conjunto de propostas para um ensino mais próximo da realidade do estudante, proporcionado pela tecnologia IoT.

A primeira etapa da pesquisa envolveu a fundamentação teórica sobre Metacognição e a identificação de seus elementos: pessoa, tarefa e estratégia. Também a definição dos comportamentos de novato e *expert* assim como os referenciais de EA, IoT na educação e a revisão de estudos semelhantes.

A segunda etapa, experimental, destinou-se à execução do produto educacional e à coleta de dados. A pesquisa foi fundamentada na prática e em diversos estudos de campo, nos quais foram refinadas as atividades, permitindo uma especialização dos resultados, significando que, além da identificação do comportamento, também fosse possível observar a relação de estudantes com diferentes perfis metacognitivos.

A operacionalização do produto educacional permitiu a elaboração de resposta à questão principal do estudo, relativa às contribuições de uma sequência didática mediada pela tecnologia IoT, utilizando atividades metacognitivas para despertar a consciência ambiental. Nessa perspectiva, os alunos, quando debateram o tema orientados pelo pensamento metacognitivo, executaram as atividades com maior eficiência e produziram hipóteses mais adequadas para a problemática ambiental.

Como resposta ao objetivo específico a) Analisar o uso da tecnologia IoT para mediação do aprendizado em sala de aula e sua potencialidade para estimular os estudantes na formulação e discussão de hipóteses mais complexas, observou-se que os alunos, ao perceberem a relação do dispositivo com a qualidade do ar da sala de aula, optaram por discutir temas mais complexos. Inicialmente as discussões sobre a qualidade do ar foram limitadas às notícias que assistiram na televisão ou ouviram falar. Até mesmo a tentativa de relação com a poluição da água foi um tema recorrente em sala de aula. Entretanto, ao perceber a oportunidade de comparar com outro ambiente, e principalmente com outra escola, os temas passaram a ser discutidos pela turma com o objetivo em conjunto de apresentar uma hipótese mais concreta, que refletisse a identidade da turma.

No que diz respeito ao objetivo específico b) Elaborar e avaliar uma sequência didática apoiada pela tecnologia IoT, que permitisse ao estudante desenvolver consciência ambiental na perspectiva da sua realidade, compreendeu-se que os estudantes, ao discutirem os dados da sua sala de aula, realizaram a transição entre apenas entender o que se discute em EA para a construção de um pensamento ativo, em que precisaram aprender como ocorre a poluição do ar para, em um segundo momento, poder discutir em grupo possibilidades sobre como buscar soluções reais. Em alguns casos, os estudantes propuseram mudanças do próprio

comportamento (como, por exemplo, não jogar lixo em qualquer lugar) como consciência de um pensamento presente entre os objetivos da EA, a saber, como os estudantes aplicarão estes aprendizados fora de sala de aula.

Sobre o objetivo específico c) Avaliar as contribuições da sequência didática para o fomento do ensino de ciências e sua aplicabilidade didática, considerando o uso de tecnologia à luz da metacognição, observou-se que os alunos que participaram de grupos em que houve a presença de um aluno *expert* apresentaram estruturação dos processos metacognitivos mais elaborados, sendo capazes de produzir hipóteses relacionadas ao tema da qualidade do ar que se mostraram gradativamente mais sofisticadas. No aspecto geral, observou-se que os alunos, ao resolverem problemas da área da Educação Ambiental, quando mediados pela tecnologia IoT, assimilaram novos conhecimentos, mostrando um aprendizado estruturado na sua própria capacidade de aprender.

Acerca do objetivo d) Criar um recurso educativo em forma de material de suporte docente, focado em EA e empregando artefatos IoT, considerando que a EA apresenta questões que extrapolam a apropriação isolada de conceitos, as atividades dos encontros organizadas no produto educacional, quando mediadas pelo dispositivo, oportunizaram debates que estimularam uma consciência ambiental mais próxima da realidade e da busca pelas soluções ambientais, oportunizando verificar, de modo eficaz e oportuno, as potencialidades da tecnologia IoT no panorama de novos paradigmas educacionais.

Fundamentado no referencial teórico que mostra a diferença da construção do conhecimento antes e depois da interação entre os estudantes, revelou-se que a tecnologia IoT induz a novas propostas didáticas com a introdução de novos componentes.

Esta perspectiva foi adaptada à questão principal deste estudo, a saber, quais as potencialidades/oportunidades propiciadas pela tecnologia IoT para fomentar a consciência ambiental nos alunos por meio de atividades didáticas de natureza metacognitiva? Foram produzidas três categorias de análise resultantes da aplicação do produto educacional e apresentadas na pesquisa, a saber: tecnologia na Sala de Aula; Os conhecimentos sob o ponto de vista da Educação Ambiental e a Consciência ambiental; Interação entre os alunos experts e novatos, a influência no grupo e a construção de novos conhecimentos.

A categoria de análise *Tecnologia na sala de aula* referiu-se ao comportamento dos estudantes na interação com a tecnologia IoT, especificamente em situações relativas à apropriação do conhecimento sobre o funcionamento do dispositivo e como esta apropriação pode estimular um pensamento mais complexo para a proposição de soluções para problemas da sua realidade. Os achados direcionaram-se para a capacidade dos alunos de fazerem

perguntas, de mobilizarem conhecimentos prévios, o aumento da complexidade na formulação de hipóteses e a capacidade de realizar relações entre conhecimentos prévios e a realidade.

A categoria de análise *Os conhecimentos sob o ponto de vista da Educação Ambiental e a Consciência ambiental* referiu-se ao comportamento do aluno quanto à capacidade de utilizar dados em tempo real em sala de aula que refletissem a realidade da própria escola e compará-los com: a) conhecimentos que ele já possuía ou b) com outras escolas e ambientes, articulando ao aprendizado um pensamento mais complexo sobre sua relação com o meio ambiente. Os achados direcionaram-se para a capacidade de produção de hipóteses mais complexas sobre a qualidade do ar, revelando para tanto, a capacidade de mobilização de conhecimentos prévios sobre a questão ambiental relacionados ao seu cotidiano e acesso à mídia televisiva. Todavia, O comportamento dos alunos relativo à capacidade de comparação dos dados sobre a qualidade do ar permitida pela utilização da Brezobomba (tecnologia IoT) evidenciou a grande dificuldade de os alunos relacionarem os conteúdos escolares da EA com a sua própria realidade. Os alunos conseguiram identificar os dados e estabelecer relações em que estes poderiam ser utilizados para respostas a problemas menos aprofundados, porém não perceberam com clareza como utilizar no seu cotidiano. Por outro lado, o tipo de discussão gerada destacou a importância do uso dos dados reais em sala de aula para a EA, estabelecendo conclusões sustentáveis para um debate qualificado. Observou-se a importância do acesso aos estudos e às informações que possam desenvolver e avançar na questão da consciência sobre a importância da preservação ambiental.

A categoria *Interação entre os alunos experts e novatos, a influência no grupo e a construção de novos conhecimentos* referiu-se à observação das soluções propostas pelos alunos por meio de apresentação de hipóteses socializadas no quinto encontro. Os resultados mais complexos e desenvolvidos foram identificados nos grupos que tiveram maiores interações entre os seus componentes e os alunos metacognitivos, revelando maior quantidade de detalhes e hipóteses criativas e extrapolando os conhecimentos inicialmente apresentados. As decisões mais especializadas em sala de aula apresentaram resultados mais complexos e detalhados, mostrando-se adequados para o aprendizado mediado pela tecnologia IoT, a qual permitiu novos contextos de aprendizado, mas que pela falta de suporte didático correto, podem se tornar ineficazes para a realidade de sala de aula.

Para uma compreensão mais clara sobre o aprendizado da EA mediada pela tecnologia IoT pela perspectiva do pensamento metacognitivo, considerou-se um cenário inicial de resolução de problemas, em que os alunos não têm interação, as hipóteses apresentadas são simples, mesmo podendo ser identificadas com mais ou menos complexas, não são

necessariamente resolvidas com um conhecimento produzido durante a discussão do problema. Neste contexto a tecnologia IoT e os cenários de dados reais produzidos não permitem validar a apropriação do conhecimento pelo estudante.

Em um segundo cenário, validado pela presente tese, foi utilizada a identificação do aluno *expert*, e por meio de estratégias didáticas estimulado o debate entre os alunos mediados pela tecnologia IoT, que permitiu uma compreensão dos alunos sobre suas próprias realidades, situação que possibilitou diferentes respostas ao problema, mais complexas e relevantes, estimulando o aluno a se apropriar do conhecimento para responder problemas do seu cotidiano.

Essa modificação na estrutura dos conhecimentos, possibilitou a comparação entre o primeiro cenário e o segundo, no qual se observou que as relações construídas, ao se atribuir novos significados, estratégias e ações mais complexas, são estimuladas pela utilização da tecnologia. Tendo em vista os dados analisados, os alunos que participaram de grupos em que houve a presença de um aluno *expert* apresentaram estruturação dos processos metacognitivos mais elaborados, sendo capazes de produzir hipóteses relacionadas ao tema da qualidade do ar que se mostraram gradativamente mais sofisticadas.

No aspecto geral, observou-se que os alunos, ao resolverem problemas da área da EA, quando mediados pela tecnologia IoT, assimilaram novos conhecimentos, mostrando um aprendizado estruturado na sua própria capacidade de aprender, revelado pela pesquisa qualitativa originada da aplicação do produto educacional. A intenção desta pesquisa foi a aproximação entre a tecnologia IoT e a escola, envolvendo professores e alunos em uma proposta de intervenção didática prática. Nem todas as propostas servem a todos alunos e salas de aulas, não se constituindo em uma única forma de se ensinar ou introduzir a tecnologia em sala de aula. O objetivo foi fornecer subsídio a professores que gostariam de incluir a tecnologia IoT em suas práticas educativas, mas carecem de estratégias que deem suporte didático.

Para a pesquisa, considerando a complexidade que a avaliação de um comportamento metacognitivo apresenta, não foi possível tomar como base apenas o registro de frases (argumentações) isoladas, mas a influência destas para o grupo. Como exemplo de ação, tem-se que um aluno metacognitivo simplificou sua argumentação para que outro colega possa participar do debate, observa a hipótese apresentada e concorda ou discorda, gerando uma solução diferente, em complexidade e tempo de resposta, da qual produziria individualmente. Sendo assim, para esta pesquisa, foi avaliado se os estudantes apresentavam comportamentos que representassem o pensamento metacognitivo, tais como os seguintes:

- a) Apresentaram respostas que refletissem a sua realidade (escola, bairro, comunidade).
- b) Elaboraram hipóteses gradativamente mais sofisticadas durante as atividades.

- c) Construíram argumentações que estimularam a discussão em grupo que buscavam uma solução do problema da sua realidade coletiva.
- d) Apresentaram respostas não previstas que ultrapassaram os conhecimentos apresentados pelo professor oportunizando discussões do grupo além da simples reprodução dos conhecimentos iniciais sobre o tema.
- e) Apresentaram soluções para o desafio do tema a partir da sua realidade.

Cabe, ainda, destacar que os professores, em geral, têm grande interesse em práticas com tecnologia, porém necessitam de estratégias didáticas que permitam atuar no sentido da observação do comportamento do aluno e na sua busca por um aprendizado que permita a ele não apenas a obter um novo conhecimento, mas a ter esse conhecimento presente na sua vida. Ensinar tecnologia na escola e ser reconhecido pelos alunos por ensinar algo novo constitui tarefa desafiadora, porém de extrema relevância na construção das habilidades do aluno sobre sua própria forma de pensar, na direção de uma escola voltada para o futuro, não limitada ao aprender conteúdos e disciplinas, mas que crie oportunidade para os alunos resolverem os seus problemas e os da sua comunidade por meio do conhecimento científico.

A educação orientada para o desenvolvimento da consciência ambiental representa a possibilidade de motivar e sensibilizar os estudantes para que transformem suas ações em potenciais caminhos baseados no equilíbrio ambiental. Assim, os estudantes ao desenvolverem hipóteses mais complexas aos problemas da sua realidade desenvolveram maiores níveis de consciência ambiental, tornando-se mais aptos a tomar decisões que consideram o impacto ambiental de suas posturas e ações no cotidiano.

O dispositivo IoT desenvolvido nesta pesquisa está disponível publicamente para replicação ou adaptação a novos experimentos. Sua documentação, incluindo projetos e códigos, pode ser facilmente acessada na internet por meio da pesquisa do termo “Brezobomba”. O objetivo é permitir que outros pesquisadores expandam seus estudos utilizando diferentes métodos, dados ou ferramentas, impulsionando a colaboração e o avanço do conhecimento.

Os resultados teóricos, validados por meio da aplicação prática, destacam a importância da tecnologia na educação. Em especial, esta iniciativa visa incentivar a capacitação de professores, aproximando a tecnologia do ambiente escolar.

Futuros trabalhos podem explorar a aplicação de dispositivos Iot em diferentes contextos educacionais, avaliando seu impacto em diferentes disciplinas escolares como química, física ou matemática. Outra possibilidade é a integração com outras tecnologias emergentes como a inteligência artificial e a análise de dados.

REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, Maria Helena Menna Barreto. Memória, narrativas e pesquisa autobiográfica. **Revista História da Educação**, v. 7, n. 14, p. 79-95, 2012. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/asphe/article/view/30223>. Acesso em: 30 mar. 2025.

ALMEIDA, Bianca Letícia de Almeida. **Os ecos de primavera silenciosa de Rachel Carson**: cultura, ciência e meio-ambiente no Brasil (1962-1979). 2022. Dissertação (Mestrado em História) - Universidade Federal de São Paulo, Guarulhos, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unifesp.br/items/be42063b-1d1d-4635-b692-2ce1b0218da0>. Acesso em: 30 mar. 2025.

ALMEIDA, Rodrigo; DARIN, Ticianne; ANDRADE, Rossana; DE ARAÚJO, Ítalo. Towards Developing a Practical Tool to Assist UX Evaluation in the IoT Scenario. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS MULTIMÍDIA E WEB, 24., 2018, Salvador. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2018. p. 91-95. Disponível em: https://sol.sbc.org.br/index.php/webmedia_estendido/article/view/4064. Acesso em: 30 mar. 2025.

ALVES, Francisco Cordeiro. **Diário** - um contributo para o desenvolvimento profissional dos professores e estudo dos seus dilemas. *Repositório Científico*, n. 29, p. 222-239, 2004. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.19/578>. Acesso em: 30 mar. 2025.

AMORIM, Rafael Silva de Amorim; NOVA, João Gabriel; VASCONCELOS, Rubem; CALADO, Ivo; BRANCO, Kalinka Regina Lucas Jaquie Castelo; BRAGA, ROSANA Teresinha Vaccare. Aplicando internet das coisas na educação: tecnologia, cenários e projeções. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 6, 2017, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: USP, 2017. p. 1256-1267. Disponível em: <http://milanesa.ime.usp.br/rbie/index.php/wcbie/article/view/7514/5309>. Acesso em: 30 mar. 2025.

ANTILA, Ville; LUI, Alfred. Challenges in Designing Inter-Usable Systems. *In*: CONFERENCE ON HUMAN-COMPUTER INTERACTION, 2011, Springer, Berlin, Heidelberg. **Anais [...]**. Springer, Berlin, Heidelberg: IFIP International Federation for Information Processing, 2011. p. 396-403. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-23774-4_33#citeas. Acesso em: 30 mar. 2025.

AVILA, Christiano; CAVALHEIRO, Simone; BORDINI Adriana; MARQUES, Monica; CARDOSO, Maicon; FEIJO, Gustavo. Metodologias de avaliação do pensamento computacional: uma revisão sistemática. *In*: BRAZILIAN SYMPOSIUM ON COMPUTERS IN EDUCATION), 28, 2017, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: USP, 2017. p. 113-122. Disponível em: <http://milanesa.ime.usp.br/rbie/index.php/sbie/article/viewFile/7540/5336>. Acesso em: 30 mar. 2025.

BACICH, Lilian; MORAN, José (Orgs.). **Metodologias ativas para uma educação inovadora**: uma abordagem teórico-prática. Porto Alegre: Penso Editora, 2018.

BANDEIRA, Hilda Maria Martins; IBIAPINA, Ivana Maria Lopes de Melo. Prática educativa: entre o essencialismo e a práxis. **Revista da FAEBA - Educação e Contemporaneidade**, v. 23, n. 42, p. 107-117, jul./dez. 2014. Disponível em: <https://revistas.uneb.br/index.php/faeeba/article/view/1031> . Acesso em: 30 mar. 2025.

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.

BARROS, Marcelo Paes; CHASTEL, Elizandra; CAMPOS, Roberto César; ANJOS, Sérgio Lanzieri. Estação meteorológica e sistema de captação e aproveitamento de água da chuva: Física Ambiental e Educação Ambiental integradas em uma única proposta. **Ambiente & Educação**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 229-250, 2010. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/ambeduc/article/view/1118>. Acesso em: 30 mar. 2025.

BERS, Marina Umaschi. **Coding as a Playground: Programming and Computational Thinking in the Early Childhood Classroom**. [S. l.]: Routledge, 2020.

BLIKSTEIN, Paulo; WILENSKY, Uri. The Missing Link: A Case Study of Sensing-and-Modeling Toolkits for Constructionist Scientific Investigation. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED LEARNING TECHNOLOGIES*, 6, 2006. **Anais [...]**. [S. l.]: IEEE, 2006. p. 980-982. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1652608>. Acesso em: 30 mar. 2025.

BOGDAN, Roberto; BIKLEN, Sari Knopp. **Investigação qualitativa em educação**. Tradução Maria João Alvarez, Sara Bahia dos Santos e Telmo Mourinho Baptista. Porto: Porto Editora, 1994.

BOOTH, Tracey; STUMPF, Simone; BIRD, Jon; JONES, Sara. Crossed wires: investigating the problems of end-user developers in a physical computing task. *In: CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS*, 2016, San Jose, USA. **Anais [...]**. San London: University of London, 2016. p. 3485-3497. Disponível em: <https://openaccess.city.ac.uk/id/eprint/14844/12/booth-chi2016-cr.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2025.

BORKOWSKI, John; KURTZ, Beth. Metacognition and Retardation: Paradigmatic, Theoretical, and Applied Perspectives. *In: BROOKS, Penelope; SPERBER, Richard; MCCAULEY, Charley. (Eds.). Learning and Cognition in the Mentally Retarded*. [S. l.]: Psychology Press, 1984. p. 55-75. Disponível em: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED257572.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2025.

BRANDÃO, Edmilson Jorge Ramos. **Informática e educação: uma difícil aliança**. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 1993.

BRASIL. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 9.795 de 27 de abril de 1999**. Dispõe sobre a Educação Ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Brasília, 1999. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19795.htm. Acesso em: 30 mar. 2025.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base nacional comum curricular: Educação é a base** Brasília: MEC, 2017. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=79601-

anexo-texto-bncc-reexportado-pdf-2&category_slug=dezembro-2017-pdf&Itemid=30192. Acesso em: 30 mar. 2025.

BRITO, André; MADEIRA, Charles. Metodologias gamificadas para a educação: uma revisão sistemática. *In: BRAZILIAN SYMPOSIUM ON COMPUTERS IN EDUCATION (SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 27, 2017, São Paulo. Anais [...].* São Paulo: USP, 2017. p 133-142. Disponível em: <http://milanesa.ime.usp.br/rbie/index.php/sbie/article/view/7542>. Acesso em: 30 mar. 2025.

BROWN, Ann Lesley. **Knowing when, where, and how to remember:** a problem of metacognition. *Advances in instructional psychology.* Hillsdale, New Jersey: Erlbaum, 1978.

BROWN, Ann Lesley. Metacognition, executive control, self-regulation, and other more mysterious mechanisms. *In: WEINERT, Franz E.; KLUWE, Rainer H. (ed.). Metacognition, motivation and understanding.* Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1987. p. 65-116.

CAÑETE, Lilian Sipoli Carneiro. **O diário de bordo como instrumento de reflexão crítica da prática do professor.** 2010. Dissertação (Mestrado em Educação) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-8CSKSG/1/disserta__o_pronta.pdf. Acesso em: 30 mar. 2025.

CARDOSO, Milena Jansen; ALMEIDA, Gil Derlan Silva; SILVEIRA, Thiago Coelho. Formação continuada de professores para uso de tecnologias da informação e comunicação (TIC) no Brasil. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, [s. l.], v. 29, p. 97-116, 2021. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/journals/index.php/rbie/article/view/2986>. Acesso em: 30 mar. 2025.

CARROLL, John Martin. **Interfacing thought:** cognitive aspects of human-computer interaction. Cambridge: MIT Press, 1987.

CARVALHO, Nerivaldo Braz; OLIVEIRA, Gislene Farias. O uso das novas TIC's como ferramentas de apoio pedagógico para o Ensino Fundamental II na Escola Érico Veríssimo. **Revista Multidisciplinar e de Psicologia**, v. 10, n. 31, Supl. 3, p. 217-230, 2016. Disponível em: <https://idonline.emnuvens.com.br/id/article/view/562/756>. Acesso em: 30 mar. 2025.

CARVALHO, Rainara Maia; ANDRADE, Rossana Maria de Castro; OLIVEIRA, Káthia Marçal. Correlations between invisibility and usability in ubicomp and IoT applications: partial results. *In: BRAZILIAN SYMPOSIUM ON SOFTWARE ENGINEERING, 32, 2018, São Carlos. Anais [...].* São Carlos: UFSCar, 2018. p. 13-20. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3266237.3266245>. Acesso em: 30 mar. 2025.

CASTELLS, Manuel. **A sociedade em rede.** São Paulo: Paz e Terra, 2007.

CHAGAS, Daniel Almeida; FURTADO, Elizabeth Sucupira; LISBOA, Rafaela Ponte. Interfaces adaptativas tangíveis e virtuais para ensino de lógica. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE FATORES HUMANOS EM SISTEMAS COMPUTACIONAIS, 17, 2018, Belém. Anais [...].* Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2018.

Disponível em: https://sol.sbc.org.br/index.php/ihc_estendido/article/view/4223. Acesso em: 30 mar. 2025.

CHAHID, Yassine; BENABDELLAH, Mohamed; AZIZI, Abdelmalek. Internet of things protocols comparison, architecture, vulnerabilities and security: state of the Art. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING AND WIRELESS COMMUNICATION*, 2, 2017, Larache, Marroco. **Anais [...]**. New York: 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3167486.3167554>. Acesso em: 30 mar. 2025.

CHI, Michelene Theresa Huang. Cognitive understanding levels. *In: KAZKIN, Alan E. (Ed.). Encyclopedia of Psychology*, v. 2. APA and Oxford University Press, 2000b. p. 146-151.

CHI, Michelene Theresa Huang. Constructing self-explanations and scaffolded explanations in tutoring. **Applied Cognitive Psychology**, v. 10, n. 7, p. 33-49, 1996.

CHI, Michelene Theresa Huang. Knowledge-derived categorization in young children. *In: ROGERS, Don R.; SLOBODA, John A. The acquisition of symbolic skills*. New York: Plenum Press, 1983b. p. 327-334.

CHI, Michelene Theresa Huang. Learning from examples via self-explanations. *In: CHI, Michelene Theresa Huang. Knowing, learning, and instruction*. New York: Routledge, 2018. p. 251-282.

CHI, Michelene Theresa Huang. Quantifying qualitative analyses of verbal data: a practical guide. **The journal of the learning sciences**, v. 6, n. 3, p. 271-315, 1997.

CHI, Michelene Theresa Huang. Self-explaining expository texts: The dual processes of generating inferences and repairing mental models. *In: GLASER, Robert. (Ed.). Advances in Instructional Psychology*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2000a. p. 161-238.

CHI, Michelene Theresa Huang. The role of knowledge on problem solving and consumer choice behavior. *In: BAGOZZI, Richard P.; TYBOUT, Alice M. (Eds.). Advances in Consumer Research: Proceedings of the Association for Consumer Research. Annual Conference (Vol. X)*, Association for Consumer Research, 1983a.

CHI, Michelene Theresa Huang; FELTOVICH, Paul; GLASER, Robert. Categorization and representation of physics problems by experts and novices. **Cognitive Science**, v. 5, p. 121-152, 1981.

CHI, Michelene Theresa Huang; BASSOK, Miriam; LEWIS, Matthew; REIMANN, Peter; GLASER, Robert. Self-Explanations: how students' study and use examples in learning to solve problems. **Cognitive Science**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 145-182, 1989. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1207/s15516709cog1302_1. Acesso em: 30 mar. 2025.

CHI, Michelene Theresa Huang; GLASER, Robert; REES, Ernest. Expertise in problem solving. *In: STERNBERG, Robert (Ed.). Advances in the psychology of human intelligence*, v. 1. Hillsdale, New York: Erlbaum, 1982. p. 7-76.

CHI, Michelene Theresa Huang; GLASER, Robert; FARR, Marshall. **The nature of expertise**. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1988.

CONTE, Elaine; HABOWSKI, Adilson Cristiano; RIOS, Míriam Benites. Ressonâncias das tecnologias digitais na educação. **Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação**, Araraquara, v. 14, n. 1, p. 31-45, 2019. Disponível em: <https://periodicos.fclar.unesp.br/iberoamericana/article/view/11110>. Acesso em: 16 jan. 2024.

CONTIN, Rita de Cássia. **Ensino de conceitos de termodinâmica**: estação meteorológica como possibilidade de aprendizagem em Física. 2017. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Naturais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2017. Disponível em: https://fisica.ufmt.br/pgecn/index.php/utilidades/arquivos-para-download/doc_download/260-rita-de-cassia-contin. Acesso em: 30 mar. 2025.

CUNHA, Marcia Borin; GIORDAN, Marcelo. As percepções na teoria sociocultural de Vigotski: uma análise na escola. **Alexandria**, Florianópolis, v. 5, n. 1, p. 113-125, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/alexandria/article/view/37700>. Acesso em: 30 mar. 2025.

DEARDEN, Andy; FINLAY, Janet. Pattern Languages in HCI: a Critical Review. **Human-Computer Interaction**, [s. l.], v. 21, n. 1, p. 49-102, 2006.

DECI, Edward; RYAN, Richard. Intrinsic motivation. **The Corsini Encyclopedia of Psychology**, p. 1-2, 2010. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9780470479216.corpsy0467>. Acesso em: 30 mar. 2025.

DESOETE, Annemie. Multi-method assessment of metacognitive skills in elementary school children: how you test is what you get. **Metacognition and Learning**, [s. l.], v. 3, p. 189-206, 2008. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11409-008-9026-0>. Acesso em: 30 mar. 2025.

DETERDING, Sebastian; DIXON, Dan; Khaled, Rilla; NACKE, Lennart. From game design elements to gamefulness: defining “gamification”. In: INTERNATIONAL ACADEMIC MINDTREK CONFERENCE: ENVISIONING FUTURE MEDIA ENVIRONMENTS, 15, 2011. **Anais [...]**. [S. l.]: Association for Computer Machinery, 2011. p. 9-15. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2181037.2181040>. Acesso em: 30 mar. 2025.

DIAS, Genebaldo Freire; SALGADO, Sebastião. **Educação Ambiental, princípios e práticas**. São Paulo: Editora Gaia, 2023.

DIBITONTO, Massimiliano; TAZZI, Federica; LESZCZYNSKA, Katarzyna; MEGAGLIA, Carlos Maria. The IoT Design Deck 2.0: Improving the Tool for the Co-design of Connected Products. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMAN-COMPUTER INTERACTION, 21, 2019, Orlando. **Anais [...]**. Florida: Springer, 2019. p. 63-74. Disponível em: https://dl.acm.org/doi/abs/10.1007/978-3-030-22646-6_5. Acesso em: 30 mar. 2025.

DORILEO JUNIOR, Gonçalo Gonçalves. **Ensino de tópicos básico da teoria em Física Ambiental no Ensino Médio com recursos de tecnologia da informação e comunicação**. 2011. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

DUNLAP, Riley; JONES, Robert Emmet. **Environmental concern**: conceptual and measurement issues. *Handbook of Environmental Sociology*, 2002. p. 482-542.

EFKLIDES, Anastadia. Metacognition: defining its facets and levels of functioning in relation to self-regulation and co-regulation. **European Psychologist**, v. 13, n. 4, p. 277-287, 2008.

EFKLIDES, Anastasia; SAMARA, Akilina; PETROPOULOU, Marina. Feeling of difficulty: An aspect of monitoring that influences control. **European Journal of Psychology of Education**, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 461-476, 1999. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/23420265>. Acesso em: 30 mar. 2025.

ESGANZELA, João Américo. **Material de estudo para o ensino da umidade relativa do ar**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2014. Disponível em: https://fisica.ufmt.br/pgecn/index.php/dissertacoes-e-produtos-educacionais/banco-de-dissertacoes/doc_download/130-joao-americo-esganzela. Acesso em: 30 mar. 2025.

ESGANZELA, João Américo; BARROS, Marcelo Paes. Proposta de uma unidade de ensino sobre a umidade relativa do ar. **Iniciação & Formação Docente**, [s. l.], v. 2, n. 2, p. 1-22, 2015. Disponível em: <https://seer.uftm.edu.br/revistaeletronica/index.php/revistagepadle/article/view/1155>. Acesso em: 30 mar. 2025.

FANTIN, Mônica. Crianças, dispositivos móveis e aprendizagens formais e informais. **Educação Temática Digital**, [s. l.], v. 20, n. 1, p. 66-80, 2018. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/etd/article/view/8647545>. Acesso em: 16 jan. 2024.

FERREIRA, Luciana; INOCÊNCIO, Ana Carolina; AFONSO JÚNIOR, Paulo; LOPES, Márcio. Gamificação Aplicada ao Ensino de Gerência de Projetos de Software. *In: WORKSHOP DE INFORMÁTICA NA ESCOLA*, 22, 2016, Uberlândia. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2016. p. 151-160. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wie/article/view/16411>. Acesso em: 30 mar. 2025.

FLAVELL, John Hurley. Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive–developmental inquiry. **American Psychologist**, [s. l.], v. 34, n. 10, p. 906-911, 1979. Disponível em: <https://psycnet.apa.org/record/1980-09388-001>. Acesso em: 30 mar. 2025.

FLAVELL, John Hurley. Metacognitive aspects of problem solving. *In: RESNICK, Lauren B. (Ed.). The nature of intelligence*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1976. p. 231-235.

FLAVELL, John Hurley; FRIEDRICHS, Anna; HOYT, Jane. Developmental changes in memorization processes. **Cognitive Psychology**, [s. l.], v. 1, n. 4, p. 324-340, 1970. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(70\)90019-8](https://doi.org/10.1016/0010-0285(70)90019-8). Acesso em: 30 mar. 2025.

FLAVELL, John Hurley; MILLER, Patrícia; MILLER, Scott. **Desenvolvimento cognitivo**. 3. ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1999.

FREDRICKSON, Barbara Louise. What good are positive emotions? **Review of General Psychology**, [s. l.], v. 2, n. 3, p. 300-319, 1998. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3156001/>. Acesso em: 30 mar. 2025.

FRYXEL, George Edward; LO, Carlos Wing-Hung. The influence of environmental knowledge and values on managerial behaviours on behalf of the environment: An empirical examination of managers in China. **Journal of Business Ethics**, v. 1, n. 46, p. 45-69, 2003.

GARRETT, Jesse James. **The elements of user experience**: user-centered design for the web and beyond. São Paulo: Pearson Education, 2010.

GEORGHIADES, Petros. From the general to the situated: three decades of metacognition. **International Journal of Science Education**, [s. l.], v. 26, n. 3, p. 365-383, 2004. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0950069032000119401>. Acesso em: 30 mar. 2025.

GOBBO, Camilla; CHI, Michelene Theresa Huang. How knowledge is structured and used by expert and novice children. **Cognitive Development**, v. 1, n. 3, p. 221-237, 1986.

HAGUETE, Tereza Maria. Metodologias qualitativas: usos e possibilidades. **Revista Kinesis**, Santa Maria, v. 4, n. 2, p. 141-160, 1988.

HARDIN, Garrett. La tragedia de los comunes. **Science**, v. 162, n. 37, p. 1243-1248, 1968.

HARTMAN, Hope. (Ed.). **Metacognition in Learning and Instruction**: Theory, Research and Practice. New York: Springer Science & Business Media, 2001.

HESS, Luciane Weber Baia; ASSIS, Roberto Magalhães Nunes; VIANA, Helena. Inserção das tecnologias digitais na prática docente. **Laplage em Revista**, v. 5, n. 2, p. 119-127, 2019. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo%3Fcodigo%3D7052998>. Acesso em: 30 mar. 2025.

HOUDE, Stephanie; HILL, Charles. What do prototypes prototype? *In*: HELANDER, Martin; LANDAUER, Thomas; PRABHU, Pandurangan. (Eds.). **Handbook of human-computer interaction**. 2. nd. Amsterdam, North-Holand: Elsevier Science, 1997. p. 367-381.

Disponível em:

<https://hci.stanford.edu/courses/cs247/2012/readings/WhatDoPrototypesPrototype.pdf>.

Acesso em: 30 mar. 2025.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável -ODSs**. 2025. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/ods/ods3.html> . Acesso em: 30 mar. 2025.

JACOBI, Pedro Roberto. Educação ambiental e cidadania. *In*: JACOBI, Pedro Roberto; CASCINO, Fábio; OLIVEIRA, José Flávio de. (Orgs.). **Educação, meio ambiente e cidadania**. São Paulo: SMA/CEAM, 1998. p. 11-14.

JEONG, Hoon; CHI, Michelene Theresa Huang. Construction of shared knowledge during collaborative learning. *In*: HALL, Rogers; MIYAKE, Naomi; ENYEDY, Noel. (Eds.). **The Second International Conference on Computer Support for Collaborative**

Learning. Toronto, Ontario: International Society of the Learning Sciences. Hillsdale, New Jersey: Erlbaum, 1997. p. 124-128.

JEONG, Hoon; CHI, Michelene Theresa Huang. Does collaborative learning lead to the construction of common knowledge? *In: ANNUAL CONFERENCE OF THE COGNITIVE SCIENCE SOCIETY*, 22, 2000, Hillsdale, New Jersey. **Proceedings [...]**. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 2000.

JOSLIM, Erica Barbosa; ROMA, Adriana de Castro. A importância da educação ambiental na formação do pedagogo: construção de consciência ambiental e cidadania. **Revista Ciência Contemporânea**, v. 2, n. 1, p. 95-110, 2017. Disponível em: https://uniesp.edu.br/sites/_biblioteca/revistas/20180301124833.pdf. Acesso em: 29 mar. 2025.

KENSKI, Vicente Martins. **Educação e Tecnologias: o novo ritmo da informação**. Campinas: Papirus, 2018.

KOEHLER, Eduardo Giuliani. **Módulos didáticos sobre tópicos de Educação Ambiental para o Ensino Médio**. 2014. Tese (Doutorado em Educação em Ciências) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/3541>. Acesso em: 16 jan. 2024.

KRAUSE, Frederico Coelho. **Educação ambiental baseada no lugar com realidade aumentada: métodos e diretrizes para a transposição didática no desenvolvimento e uso de aplicativos**. 2019. 194 f. Tese (Doutorado em Educação) - Universidade de Brasília, Brasília, 2019. Disponível em: <http://www.realp.unb.br/jspui/handle/10482/35972>. Acesso em: 16 jan. 2024.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LARKIN, Jill Huston. The role of problem representation in physics. *In: GENTNER, Dedre; STEVENS, Albert L. (Ed.). Mental Models*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1983. p.75-98.

LEIVA, German; MAUDET, Nolwenn; MACKAY, Wendy; BEAUDOUIN-LAFON Michel. Enact: reducing designer-developer breakdowns when prototyping custom interactions. **ACM Transactions on Computer-Human Interaction**, [s. l.], v. 26, n. 3, p. 1-48, 2019. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3310276>. Acesso em: 30 mar. 2025.

LÉVY, Pierre. **As tecnologias da inteligência**. São Paulo: Editora 34, 1993.

LOPES, Theóffillo da Silva; ABÍLIO, Francisco José Pegado. Educação Ambiental Crítica: (re)pensar a formação inicial de professores/as. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 16, n. 3, p. 38-58, 2021.

LUSTOSA, Aparecida Alves dos Santos. **Arborização Urbana como instrumento para a Educação Ambiental na formação continuada de Professores de Educação de Jovens e Adultos na Modalidade Especial**. 2020. Dissertação (Mestrado em Rede Nacional para

Ensino das Ciências Ambientais) - Universidade Estadual de Maringá, Goioerê, 2020. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/7697>. Acesso em: 30 mar. 2025.

MARON, Luís Henrique Pupo. **O estudo da produção energética: Educação Ambiental por meio do construcionismo**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Ambientais) - Universidade Estadual de Maringá, Goioerê, 2021. Disponível em: http://repositorio.uem.br:8080/jspui/bitstream/1/7668/1/Luis%20Henrique%20Pupo%20Maron_2021.pdf. Acesso em: 30 mar. 2025.

MARTINELLI, Suéllen Rodolfo; ZAINA, Luciana Martinez; SAKATA, Tiemi Christine. Linking computational thinking and BNCC in Primary School: a qualitative study on the perspective of teachers. **Journal on Computational Thinking**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 19-33, 2019. Disponível em: <https://periodicos.univali.br/index.php/IJCThink/article/view/13853>. Acesso em: 30 mar. 2025.

MAZUREK, Daniel. **Pensamento complexo e Educação Ambiental crítica na formação continuada de professores nas escolas públicas do município de Campina do Simão/PR**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Naturais e Matemática) - Universidade Estadual do Centro Oeste, Curitiba, 2020.

MCCARTHY, John; WRIGHT, Peter. **Technology as Experience**. Cambridge: MIT Press, 2007.

MELIONES, Apostolos; SAMPSON, Demetrios. Blind MuseumTourer: A System for Self-Guided Tours in Museums and Blind Indoor Navigation. **Technologies**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 1-31, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-7080/6/1/4>. Acesso em: 16 jan. 2024.

MEZZOMO, Agnaldo Luiz. **A interdisciplinaridade: desafios de uma prática inovadora em pesquisas ambientais**. 2015. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Naturais e Desenvolvimento Local na Amazônia) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/7627>. Acesso em: 16 jan. 2024.

MORAIS, Vergílio Silva de Alvarenga. **Comunidades de Líquens e níveis de monóxido de carbono (CO) como indicadores de qualidade do ar em três áreas no município de Belo Horizonte/MG**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ensino de Biologia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/79788>. Acesso em: 16 jan. 2024.

MOREIRA, Marco Antonio. **Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

NACKE, Lennart; DETERDING, Sebastian. The maturing of gamification research. **Computers in Human Behavior**, [s. l.], v. 71, p. 450-454, 2017. Disponível em: <https://psycnet.apa.org/record/2017-14666-048>. Acesso em: 16 jan. 2024.

NASCIMENTO, Ana Emylli da Silva. **A problematização como uma metodologia de ensino e aprendizagem para a Educação Ambiental: um olhar sobre as concepções dos educadores de Ciências da Natureza do Ensino Médio**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2021.

Disponível em: <http://www2.ufac.br/mpecim/menu/dissertacoes/turma-2019/dissertacao-anaemylli-da-silva-nascimento.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2024.

NEVES, Sergia Rossana Sabino. **Qualidade do Ar como tema gerador no ensino de Química na Educação de jovens e adultos**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências da Natureza) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/4768>. Acesso em: 16 jan. 2024.

PAGEL, Erica Coelho; NEVES, Juciléia Sian das. Percepção da qualidade do ar em centros urbanos: avaliação e promoção do conhecimento em crianças residentes na região metropolitana da grande Vitória (Espírito Santo). **Revista Contexto & Educação**, v. 39, n. 121, p. e14844, 2024. Acesso em: 21 abr. 2024.

PAPERT, Seymour. **A máquina das crianças**: repensando a escola na era digital. Porto Alegre: Artes Médicas, 1994.

PAPERT, Seymour. **Constructionism**: a new opportunity for elementary science education. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, Media Laboratory, Epistemology and Learning Group, 1986.

PAPERT, Seymour. **Logo**: computadores e educação. São Paulo: Brasiliense, 1988.

PASSOS, Marinez Meneghello; CORRÊA, Nancy Nazareth Gatzke; ARRUDA, Sérgio de Mello. Perfil metacognitivo (parte I): uma proposta de instrumento de análise. **Investigações em Ensino de Ciências**, [s. l.], v. 22, n. 3, p. 176-191, 2017. Disponível em: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/768> . Acesso em: 16 jan. 2024.

PERKINS, David. **Smart schools**: From training memories to educating minds. Simon and Schuster, 2008.

PIAGET, Jean. **A Epistemologia Genética**. 2. ed. São Paulo: Abril Cultural, [1970] 1999. (Coleção Os Pensadores).

PIAGET, Jean. **Para onde vai a educação?** Rio de Janeiro: Livraria José Olímpio Editora, 1977.

PIAGET, Jean. **Piaget's Theory of Intelligence**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1978.

PINHEIRO, João; GODINHO, Julia; GUEDES, Yuri; CARDOSO, Glosdemberger; ZUMPICHIATTI, Débora; GOMIDE, Janaína. Programa(ção): atividades lúdicas para ensino de programação em escolas públicas. *In*: WORKSHOP SOBRE EDUCAÇÃO EM COMPUTAÇÃO, 27, 2019, Belém. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2019. p. 91-100. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wei/article/view/6620>. Acesso em: 30 mar. 2025.

PLAUSKA, Ignas; DAMAŠEVIČIUS, Robertas. Educational Robots for Internet-of-Things Supported Collaborative Learning. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION AND SOFTWARE TECHNOLOGIES, 20, 2014, Druskininkai, Lituânia. **Anais [...]**. Druskininkai: Springer, 2014. p. 346-358. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-11958-8_28. Acesso em: 30 mar. 2025.

POZO, Juan Ignacio. **Aquisição de conhecimento**. Porto Alegre: Artmed, 2004.

POZZA, Didier David. **Representação ambiental de alunos do ensino fundamental**. Implantação da agenda 21 em escola pública municipal de Batatais/SP. 2006. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

PRENSKY, Marc. Students as designers and creators of educational computer games: who else? **British Journal of Educational Technology**, [s. l.], v. 39, n. 6, p. 1.004-1.019, 2008. Disponível em: https://bera-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1467-8535.2008.00823_2.x. Acesso em: 16 jan. 2024.

PROUST, Joëlle. Metacognition. **Philosophy Compass**, [s. l.], v. 5, n. 11, p. 989-998, 2010. Disponível em: <https://compass.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1747-9991.2010.00340.x>. Acesso em: 16 jan. 2024.

REIGOTA, Marcos. **O que é Educação Ambiental**. São Paulo: Brasiliense, 2009.

REINFURT, Lukas; BREITENBÜCHER, Uwe; FALKENTHAL, Michael; LEYMANN, Frank; CLAIMS, Andreas Riegg. Internet of Things Patterns. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PATTERN LANGUAGES OF PROGRAMS, 21, [s. l.], 2016. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2016, p. 1-21. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3011784.3011789>. Acesso em: 30 mar. 2025.

REINOSO, Luiz; AMORIM, Marcello; SILVA Matheus Soprani; HACKBART Eduardo Helker; TEIXEIRA, Giovany. Robótica experimental com uma arquitetura pedagógica para montagem de um sistema de irrigação inteligente. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO (SBIE), 28, [s. l.], 2017. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2017. p. 695-703. Disponível em: <http://milanesa.ime.usp.br/rbie/index.php/sbie/article/view/7598>. Acesso em: 30 mar. 2025.

RIBEIRO, Célia. Metacognição: um apoio ao processo de aprendizagem. **Psicologia: reflexão e crítica**, v. 16, p. 109-116, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/prc/v16n1/16802.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2025.

RIBEIRO, Lorena Barbara da Rocha. **A robótica pedagógica livre e a convergência tecnopedagógica: potencial educativo**. 2017. Dissertação (Mestrado em Educação) - Universidade do Estado da Bahia, Salvador, 2017. Disponível em: https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=5263468. Acesso em: 16 jan. 2024.

RODRIGUES, Sandra Souza; FORTES, Renata Pontin de Mattos. Uma revisão sobre acessibilidade no desenvolvimento de Internet das Coisas: oportunidades e tendências. **Revista de Sistemas e Computação**, Salvador, v. 9, n. 1, p. 19-40, 2019. Disponível em: <https://revistas.unifacs.br/index.php/rsc/article/view/5708/3803>. Acesso em: 16 jan. 2024.

ROLAND, Leticia Coelho; FABRE, Marie-Christine Julie Mascarenhas; KONRATH, Mary Lúcia Pedroso; TAROUÇO, Liane Margarida Rockenbach. Jogos educacionais. **Revista Novas Tecnologias na Educação**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, v. 1-7, 2004. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/renote/article/view/13719>. Acesso em: 30 mar. 2025.

ROSA, Cleci Teresinha Werner da. **A metacognição e as atividades experimentais no ensino de Física**. 2011. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/95261>. Acesso em: 16 jan. 2024.

ROSA, Cleci Teresinha Werner da. **Metacognição no ensino de Física: da concepção à aplicação**. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2014.

ROSA, Cleci Teresinha Werner da; CORRÊA, Nancy Nazareth Gatzke; PASSOS, Marinez Meneghello, ARRUDA, Sergio de Mello. Metacognição e seus 50 anos: cenários e perspectivas para o ensino de ciências. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, Passo Fundo, v. 4, n. 1, p. 267-291, 2021. Disponível em: <https://seer.upf.br/index.php/rbecm/article/view/12194>. Acesso em: 16 jan. 2024.

ROSA, Cleci Teresinha Werner da; ROSA, Álvaro Becker da; RIBEIRO, Cássia de Andrade Gomes. Habilidades metacognitivas envolvidas na resolução de problemas em física: investigando estudantes com expertise. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, v. 14, n. 29, p. 143-160, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/revistaamazonia/article/view/5372/4773>. Acesso em: 30 mar. 2025.

ROSE, Emma J.; BJÖRLING, Elin; CAKMAK, Maya. Participatory design with teens: A social robot design challenge. *In: ACM INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTERACTION DESIGN AND CHILDREN*, 18, 2019, Boise, ID, USA. **Anais [...]**. Boise, ID, USA: ACM, 2019. p. 604-609.

ROZENCWAJG, Paulette. Metacognitive factors in scientific problem-solving strategies. **European Journal of Psychology of Education**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 281-294, 2003. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF03173249>. Acesso em: 30 mar. 2024.

RUSCHEINSKY, Aloísio; VICTORIA, Ana Paola Malichieski; BURGUEÑO, Ana Cristina Torma; BURGUEÑO Luís Eduardo Torma. Educação ambiental: uma perspectiva Freireana. **Revista Ambiente & Educação**, Rio Grande, v. 7, n. 1, p. 63-78, 2002. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/ambeduc/article/view/1057>. Acesso em: 30 mar. 2025.

SANTOS, Andrieli dos. **Uso de mecânica da gamificação para a busca de indícios de aprendizagem significativa no ensino de gráficos estatísticos**. 2022. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2022. Disponível em: <http://tede.upf.br/jspui/handle/tede/2343>. Acesso em: 30 mar. 2025.

SANTOS, Bruno; SILVA, Lucas; CELES, Clayson; NETO, João Borges; PERES, Bruna; VIEIRA, Marcos Augusto; VIEIRA, Luiz Filipe; GOUSSEVSKAIA, Olga; LOUREIRO, Antonio. Internet das coisas: da teoria à prática. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS*, 2016, Salvador. **Anais [...]**. Salvador, UFBA, 2016. p. 1-50. Disponível em: <https://homepages.dcc.ufmg.br/~mmvieira/cc/papers/internet-das-coisas.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2025.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos. Educação científica na perspectiva de letramento como prática social: funções, princípios e desafios. **Revista Brasileira de Educação**, [s. l.], v. 12, n. 36, p. 474-492, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbedu/a/C58ZMt5JwnNGr5dMkrDDPTN>. Acesso em: 16 jan. 2024.

SASSERON, Lúcia Helena. **Práticas em aula de Ciências**: o estabelecimento de interações discursivas no ensino por investigação. 2018. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/48/tde-01082019-120320/en.php>. Acesso em: 16 jan. 2024.

SASSERON, Lúcia Helena; CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 59-77, 2016. Disponível em: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/246>. Acesso em: 16 jan. 2024.

SATO, Michèle. **Educação ambiental**. São Paulo: Rima, 2003.

SCHAW, Gregory; DENNISON, Rayne Sperling. Assessing metacognitive awareness. **Contemporary Educational Psychology**, v. 19, n. 4, p. 460-475, 1994.

SCHLEGELMILCH, Bodo; BOHLEN, George; DIAMANTOPOULOS, Axel. The link between green purchasing decisions and measures of environmental consciousness. **European Journal of Marketing**, v. 30, n. 5, p. 35-55, 1996.

SCHRAW, Gregory; SPERLING, Dennison Rayne. Assessing Metacognitive Awareness. **Contemporary Educational Psychology**, [s. l.], v. 19, n. 4, p. 460-470, 1994. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0361476X84710332>. Acesso em: 16 jan. 2024.

SCHUHMACHER, Elcio; SCHUHMACHER, Vera Rejane Niedersberg; ROPELATO, Douglas. Clube de tecnologia como ambiente multirreferencial para aprendizagem significativa de ciências e tecnologias. **Revista Dynamis**, [s. l.], v. 25, n. 3, p. 38-51, 2019. Disponível em: <https://proxy.furb.br/ojs/index.php/dynamis/article/view/8354>. Acesso em: 16 jan. 2024.

SEGURA, Denise de Souza Baena. **Educação Ambiental na escola pública**: da curiosidade ingênua à consciência crítica. São Paulo: Annablume; Fapesp, 2001.

SGOBI, Talita Martins de Oliveira. **A Poluição Ambiental no município de Santa Gertrudes (SP)**: um estudo com professores da rede municipal de ensino. 2022. Dissertação (Mestrado em Educação) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2022.

SILVA, Edna Marta Oliveira da. A webquest na internet: o novo material didático. **Revista da FAE**, Curitiba, v. 11, n. 2, p. 79-86, 2016. Disponível em: <https://revistafae.fae.edu/revistafae/article/view/328>. Acesso em: 16 jan. 2024.

SILVA, Lucas; SCHNEIDER, Cassiano; SCHNEIDER Leandro; CHARÃO, Andrea. HortaDuino: integrando hardware e software em um recurso temático para exploração da Internet das Coisas na educação básica. *In*: WORKSHOP SOBRE EDUCAÇÃO EM

COMPUTAÇÃO, 27, 2019, Belém. **Anais [...]**. Belém: SBC, 2019. p. 483-492. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wei/article/download/6653/6549/>. Acesso em: 30 mar. 2025.

SILVA, Mariana Cardoso da. **Robótica educacional livre**: um relato de prática no Ensino Fundamental. 2017. Dissertação (Mestrado em Educação) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2017. Disponível em: <https://repositorio.pucsp.br/jspui/handle/handle/19690>. Acesso em: 16 jan. 2024.

SOARES, Wagner Nascimento; VASCONCELOS, Felipe Cezar. As contribuições da robótica para a promoção da Educação Ambiental. *In*: SIMPÓSIO TECNOLOGIAS E EDUCAÇÃO À DISTÂNCIA NO ENSINO SUPERIOR, 2018, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: UFMG, 2018.

TAASOOBSHIRAZI, Gita; FARLEY, John. A multivariate model of physics problem solving. **Learning and Individual Differences**, v. 24, p. 53-62, 2013.

TAKAHASHI, Tadao. **Sociedade da informação no Brasil**: livro verde. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2000.

TAN, Chu Jay; ZAIN, Khairu Anuar Mohamed-Saleh. Review on Firmware. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGING, SIGNAL PROCESSING AND COMMUNICATION, 2017. **Anais [...]**. [s. l.]: 2017. p. 186-190. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Review-on-Firmware-Tan-Mohamad-Saleh/afc266baba59cdbc0ff93c683afe7d278c6b90>. Acesso em: 16 jan. 2024.

TANNER, Kimberly Dawn. Promoting Student Metacognition. **CBE - Life Sciences Education**, v. 11, n. 2, p. 113-120, 2012. Disponível em: <https://www.lifescied.org/doi/epdf/10.1187/cbe.12-03-0033>. Acesso em: 29 mar. 2025.

TARRICONE, Pina. **The Taxonomy of Metacognition**. East Sussex: Psychology Press, 2011.

TAVARES, Débora Pires; RIBEIRO, Luis Otoni Meireles. Hipermídias no projeto E-Tec Idiomas: storytelling como tecnologia educacional. **Revista de Informática Aplicada**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 96-109, 2016. Disponível em: https://seer.uscs.edu.br/index.php/revista_informatica_aplicada/article/download/6912/3003/21106. Acesso em: 16 jan. 2024.

TAYLOR, James. Novex Analysis: a cognitive science approach to instructional design. **Educational Technology**, [s. l.], v. 34, n. 5, p. 5-13, 1994. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Novex-Analysis%3A-A-Cognitive-Science-Approach-to-Taylor/a3351f98c402b7af60352e3f3f91dcc9bad9cbe3>. Acesso em: 16 jan. 2024.

TOLFO, Erivelto Folhato. **Educação Ambiental na formação docente**: metodologias para uma prática interdisciplinar. 2019. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas - Licenciatura) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2019. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/11109>. Acesso em: 30 mar. 2025.

TREVISAN, Thaís Lourenço. **Atividades didáticas para abordar o tema “calor” no Ensino Médio**. 2021. Produto Educacional (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2021. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/599214/2/Produto%20Educacional%20Thais%20Trevisan.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2024.

TRISTÃO, Martha. **A educação ambiental na formação de professores: redes de saberes**. 2. ed. São Paulo: Annablume; Vitória: Facitec, 2008.

TRIVIÑOS, Augusto Nivaldo. **A pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.

TURATO, Egberto Ribeiro. **Tratado da metodologia da pesquisa clínico-qualitativa: construção teórico-epistemológica, discussão comparada e aplicação nas áreas da saúde e humanas**. Petrópolis: Vozes, 2003.

VALLETTA, Débora; GRINKRAUT, Melanie; BASSO, Marcus. A lógica de programação como ferramenta para o pensar: entre o concreto e o virtual. *In: WORKSHOP DE INFORMÁTICA NA ESCOLA (WIE)*, 23, 2017, Recife. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2017, p. 785-794. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wie/article/view/16314>. Acesso em: 16 jan. 2024.

VEIGA, Luciana Lima de Albuquerque; ASSIS, Marcia Regina de; PEREIRA, Larissa Baruque; PEIXOTO, Mauricio Abreu Pinto Peixoto. Metacognição e Ensino de Ciências: panorama da produção científica na América Latina. *In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS*, 12, 2019, Natal. **Anais [...]** Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2019. p. 1-10. Disponível em: <https://abrapec.com/enpec/xii-enpec/anais/resumos/1/R1546-1.pdf>. Acesso em 29 mar. 2025.

VILAS-BOAS, Dinabel Alves Cirne. **Uma experiência em educação ambiental: re-desenhando o espaço e as relações escolares**. 2002. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento Ambiental) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2002. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/4506>. Acesso em: 16 jan. 2024.

WEINSTEIN, Clair; MAYER, Richard. The teaching of learning strategies. *In: WITTRICK, Merlin Carl. (Ed.). Handbook of research on teaching: a project of the research association*. 3. ed. New York: MacMillan Publishing Company, 1986. p. 315-327.

XAVIER, César Silva. **Metacognição e estratégias de ensino metacognitivo: uma revisão de literatura analítica**. 2022. Tese (Doutorado em Ciências e Saúde) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

ZOHAR, Anat; BARZILAI, Sarit. A review of research on metacognition in science education: current and future directions. **Studies in Science Education**, Washington, v. 49, n. 2, p. 121-169, 2013.

APÊNDICE A - O que vamos discutir?

Este apêndice relata o registro das investigações através da técnica de observação direta, com o registro das percepções dos alunos em atividades experimentais realizadas em uma escola que integra o sistema particular de ensino de Passo Fundo -RS, nos anos de 2021 e 2022.

Como forma de estimular a discussão, foram utilizadas perguntas simples, direcionadas aos alunos *experts*, que foram identificados por desenvolverem as ideias mais complexas. Esse processo oportunizou um registro do comportamento dos debates em busca de um consenso nas respostas:

Seguem algumas perguntas e respostas com posterior análise.

Pergunta: *Onde a Brezobomba poderia ser usada?*

Aluno: *Ele não poderia ser usado em aeroporto, poderia ser confundida com uma bomba.*

O grupo discorreu sobre a utilidade do dispositivo em outras circunstâncias fora do tema ambiental, o que intensificou a participação da turma. Um aluno identificou a sacada da sua casa como um lugar onde o ar era mais limpo, enquanto o colega comentou que a sacada poderia ampliar a coleta de dados ao ficar próximo de uma rua com carros e assim, a concentração de CO₂ poderia ser maior. No final, o consenso indicou que o dispositivo fosse usado em uma praça, onde facilitaria o manejo e os dados do ar seriam mais limpos. A relação do aluno com o formato e a denominação do artefato repercutiu na interessante opinião do aluno: ele não poderia ser usado em aeroporto, uma vez que poderia ser confundido com uma bomba. Esse olhar demonstra atenção ao que acontece no mundo, essa informação vai sendo integrada e embasando o pensamento mais complexo.

Esses indicativos de manifestação metacognitiva na prática se manifestam na definição das tarefas, na função desempenhada pelos alunos, na mediação do professor, na discussão entre os agentes da metodologia, discutindo sobre o entendimento da atividade que vai ser desenvolvida.

Pergunta: *Quais problemas poderíamos resolver com o artefato IoT?*

Aluno: *Poderíamos usar para mostrar para os colegas que o micro-ondas não produz calor para preparar os alimentos: deixá-lo funcionar por alguns segundos e colocar o artefato dentro.*

O aluno relacionou o artefato com informações anteriores e propôs utilizar o dispositivo como forma de apresentar uma hipótese pessoal para o seu grupo. Ao ser questionado se o teste não derreteria (danificaria) o equipamento, respondeu rapidamente que, para demonstrar que não existia calor, ligaria por alguns segundos o micro-ondas e colocaria o artefato dentro, para medir a temperatura. Ao demonstrar a viabilidade do teste, obteve a concordância dos demais, que consideraram o teste uma interessante forma de validar os dados de temperatura.

A proposta de testes chama muita atenção, já que, entre os dados capturados, não é comum o questionamento ou a discussão sobre a medição de temperatura. Mesmo sendo um elemento presente no cotidiano das pessoas, a temperatura não é destaque na compreensão da qualidade do ar que respiramos. A proposta do aluno de perceber o calor se mostrou extremamente criativa e, quando compartilhada com os colegas, foi prontamente respondida e compreendida pela turma. Foi uma ação positiva, que proporcionou um ambiente de colaboração que não era percebido no início da aula.

Os sinais de processo metacognitivo ficam evidenciados quando a *pessoa* expõe as suas ideias, que podem ser interpretadas pelos outros colegas da turma. No caso mencionado, os colegas demonstraram interesse, colaboraram com suas ideias, disponibilizaram e revisaram informações. Eles trouxeram para a discussão novidades e apontaram possibilidades de ações práticas, identificando que poderiam resolver um problema. Na linha da afirmação de Castells (2007), trata-se de conhecimento que gera conhecimentos.

Pergunta: *Você prefere aprender com um dispositivo IoT com os componentes expostos ou com um dispositivo como Lego?*

Aluno: *Óbvio que em circuitos, tipo Lego é para criancinha, nesse aqui é nível hard.*

O aluno percebeu o artefato IoT como um dispositivo científico, que exigia a sua participação ativa. Demonstrou para os colegas que o artefato não se limitava ao detalhe de fios e cabos, mas a relevância estava nas possibilidades do que ele permitia visualizar: os dados que ele capturava pelos fios e “mandava para a internet”. Ele amplia a sua aprendizagem a partir de uma descoberta própria e se apropria desses conhecimentos. Uma prova disso foi a caracterização como “nível *hard*”, que escancarou o seu engajamento em descobrir como o dispositivo funcionava, em acessar esse mundo digital. Aqui, é importante salientar que o aluno perpassa o entretenimento para falar da seriedade das informações acessadas.

O pensamento elaborado sobre os elementos eletrônicos foi verificado em diversas discussões com alunos em sala de aula. Aos poucos, os dados foram constituindo-se em

pensamento, que relacionava os dados de calor e temperatura com os já existentes na tela do celular. Agora, entretanto, com a possibilidade de capturar dados de CO₂ por meio de “fios e cabos”. Essas experiências foram relatadas pelos desenhos demonstrando o funcionamento do dispositivo.

Nessa perspectiva, ideias metacognitivas foram evidenciadas pela planificação, que ocorreu na organização do grupo. Partindo do pensamento que conhecer não é uma tarefa simples, mas um processo cumulativo, os alunos se organizaram e definiram as etapas necessárias para entender o funcionamento do dispositivo e para que essas informações pudessem se reverter em soluções para os problemas ambientais. Foi um momento especial para o pesquisador, que observava a organização do grupo, que, por sua vez, percebendo a complexidade da tarefa, desenvolveu a tarefa e demonstrou saber que essa jornada poderia reverter no crescimento individual e coletivo.

***Pergunta:** Você percebeu que os dados capturados são os da sua sala de aula?*

***Aluno:** Você sabia que se a Brezobomba está fora e dentro do jogo, eu também estou lá dentro?*

A percepção dos alunos sobre o artefato tecnológico é interessante, criativa e demonstra uma conexão com a atualidade. Os estudos que resultaram na ideia de teia como representação da sociedade em rede são evidenciados a todo momento pelos alunos. Acessar no clique é estar na rede, livre de tempo e espaço. As terminologias estão na ponta da língua, fazem parte das experiências do seu tempo. Como não se interessar pela observação da aluna: *a Brezobomba está fora e dentro e eu estou lá dentro*. É no mínimo um mote para que outros estudos aconteçam.

Na avaliação pelo viés metacognitivo, o aluno avalia as etapas do processo, os dados que já tinha com novos dados, coletados. O grupo promove a discussão sobre as informações iniciais e o resultado, questionando as próprias percepções no início da tarefa ou as propostas dos colegas. Busca, ainda, relacionar os novos conhecimentos com a própria realidade, na perspectiva de estabelecer ações positivas para reverter na EA.

***Pergunta:** Você acha importante estudar tecnologia para trabalhar os problemas ambientais?*

***Aluno:** Quando você aprende como funciona o equipamento, mesmo que demore, aquilo ali é seu, você pode fazer qualquer coisa...*

O aluno percebeu e identificou a mediação do dispositivo como um elemento ativo do seu aprendizado, e não apenas do conteúdo proposto. É interessante que ele não demonstrou uma objetividade de responder as questões isoladamente dos dados dos sensores, mas esperou ser desafiado em novos pensamentos e relações, como forma de validar a sua própria percepção sobre o novo conhecimento, esperando que a turma ou o professor questionasse sobre as possibilidades do uso da tecnologia segundo a sua própria percepção inicial.

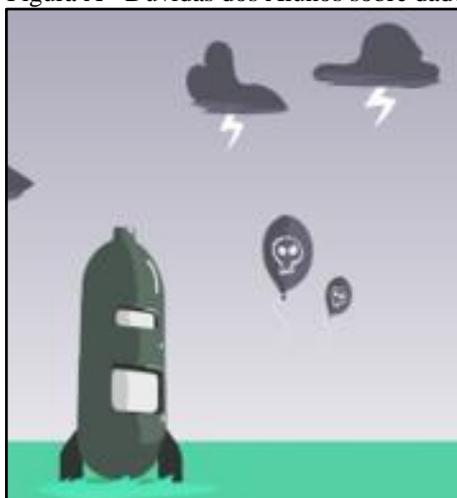
Pergunta: *Os dados apresentados falam sobre a qualidade do ar que respiramos?*

Questionamento feito durante o segundo momento, em que o aluno é apresentado à plataforma web.

Aluno: *Sim, mas o mais importante é o CO₂, porque o calor e a umidade são possíveis ver no celular (ideia de que todos têm acesso), mas o CO₂ que vai nos mostrar o quanto o ar está limpo é o importante.*

A plataforma web foi criada para possibilitar que o aluno identificasse intuitivamente os elementos para propor as discussões. Esta resposta é especialmente interessante, já que os elementos de temperatura, umidade e concentração de CO₂ são referências para que os alunos conversem entre si sobre o tema das ciências. O recurso de “tela de fim de mundo” da Figura A, acionado quando o sensor captura dados acima de 600 ppm (partículas por milhão), trata da concentração de CO₂, que é um dado complexo. Normalmente, sua interpretação exige mais que uma simples pergunta ao Google.

Figura A - Dúvidas dos Alunos sobre dados



Fonte: Autor, 2024.

Considerando que os estudantes, em geral, têm muitas dúvidas sobre os dados de CO₂, o pesquisador fez a seguinte pergunta:

Pergunta: *Por que o CO₂ é tão importante para a poluição e o que é CO₂?*

Aluno: *Não sei, sei que faz mal para as pessoas e monóxido de carbono faz mal para as coisas.*

Ao confessar que não tinha a mínima ideia do motivo pelo qual o gás era nocivo, o estudante fez uma reflexão com algum conhecimento prévio. Porém o mais impressionante foi a participação da colega, reforçando a relação através de um exemplo visual:

Aluna: *Na esquina das ruas (cruzamento com muito tráfego de veículos próximo à escola), os postes de luz são escuros por causa da poluição do ar, e lá é mais úmido, por ter muitos prédios em volta.*

Retomando o desenho inicial da estudante, destacam-se a referência da fumaça do carro e a relação complexa entre CO₂ e umidade, que não é visível nem de fácil didática pelo professor. Contudo, na discussão com o colega, ela pôde propor uma ideia própria de como “ver” a poluição do ar, em um ambiente comum a todos os colegas, o que gerou um consenso, já que todos tinham esse conhecimento e concordaram que o poste era mais escuro (Figura B), mostrando a importância de o estudante compreender e discutir dados próximos à sua realidade.

Figura B - Poste identificado pela aluna



Fonte: Autor, 2024.

A estudante também identificou o pensamento metacognitivo nos colegas. Neste caso, a estudante comenta que o outro aluno não teve “tempo” para entender sobre outras possibilidades da tecnologia, mesmo que o tempo seja o mesmo para os dois e a diferença tenha sido a reflexão pelo problema.

Também se observou que a aluna muitas vezes esperava em silêncio a opinião dos outros, sobre discussões que no seu entendimento estariam fora do objetivo da aula, aguardando alguma espécie de consenso em que poderia falar sobre suas percepções. Esse momento de espera também se constituía em um desafio para o professor, que esperava a reação dos alunos para direcionar os temas com maior ênfase nos temas ambientais. Entretanto, no final da atividade, o aluno buscou retomar os temas iniciais, mostrando uma acomodação do conhecimento e reconhecendo que fazia parte da sua construção. Refletindo, mais tarde, sobre a participação do pesquisador, este deveria ter perguntado por que a aluna não fez a intervenção no tema quando estava em discussão.

Reflexões do Pesquisador

A mediação da Educação Ambiental pela tecnologia IoT sob a perspectiva da metacognição aponta para um olhar atento do comportamento dos estudantes, em especial aqueles que apresentam o perfil metacognitivo *expert*, que percebem a complexidade da tecnologia, sentem-se desafiados por entender os elementos que compõem o dispositivo e organizam seu processo de aprendizado, mas que notoriamente têm dificuldade de propor ideias no momento apropriado. Neste sentido, a potencialidade de alternar entre o dispositivo e o ambiente da internet possibilita diferentes tempos de aprendizado e oportunidades de propor debates próprios para a turma e desenvolver a capacidade de se comunicar com o grupo.

Este é um ponto importante no objetivo de entender a importância da tecnologia na sala de aula. A falta dessa participação nos debates e comunicação em grupo passa a ideia de que o aluno *expert* está engajado na busca da solução para um problema. É possível fazer um paralelo com respostas do cotidiano, quando perguntam: “Foi tudo bem essa semana?”, e a pessoa responde rapidamente: “Sim”, como a melhor resposta, mas encerrando a possibilidade de discutir quando existe um problema que poderia ser discutido com mais detalhes.

Considerando que a potencialidade do dispositivo em sala de aula também é percebida no perfil metacognitivo de novato, em que, desconsiderando os detalhes técnicos de funcionamento, criam hipóteses simples de utilização dos dados. O sentimento de participação

em grupo, ao perceberem que os dados apresentados são da sua sala de aula, produz novas deduções e relações com a sua casa, rua e ambientes que fazem parte da sua realidade.

Neste contexto, a alternância entre os dados e os elementos visuais da plataforma também é rica em promover o debate sobre o ar e a sala de aula. A representação visual do calor como sol, da umidade como nuvem e do CO₂ como balões apresenta uma nova perspectiva para os conhecimentos ainda em elaboração, criam uma ponte entre a escola e as vivências na internet, agora refletindo os conteúdos acadêmicos na sua realidade.

Sendo a proposta desta pesquisa o diagnóstico do quanto a tecnologia pode mediar e potencializar esse processo, o dispositivo físico permite, de forma intuitiva, que o aluno não apenas entenda que existe um novo ambiente, como o ar, mas também o orienta na construção do novo conhecimento. Nesse sentido, diversos elementos da Brezobomba constroem este caminho, já que o estudante possui conhecimento de tecnologia, mas tem dificuldade de vincular com os conteúdos acadêmicos.

Nesse contexto, de identificação do assunto com outro já estudado, a prática em sala de aula mostrou que os componentes eletrônicos, quando apresentados de uma forma orientada ao entendimento do aluno, atuam em dois pontos importantes sobre o próprio conhecimento: o interesse pela realização de uma tarefa e a confiança de ser capaz de realizar a atividade.

Os problemas ambientais estão presentes nas expectativas dos estudantes, que se mostram cada vez mais engajados, acompanhando o tema na imprensa e nas redes sociais. Contudo, eles têm dificuldade de estabelecer relação entre o que observam e o modelo fragmentado, em especial das disciplinas de ciências, especialmente Física, Química e Biologia.

A proposta de uma aula “diferente”, mediada pela tecnologia IoT, organizada com atividades participativas, em que os alunos necessitam discutir ideias e soluções, possibilita conectá-los com os conteúdos em diferentes dimensões formativas, não sendo incomum aos estudantes, de forma intuitiva, vincular a aula a projetos úteis para a reparação ou diminuição dos impactos ambientais, como a captação de água, o plantio de árvores ou a reflexão sobre de que maneira a resolução de problemas com o lixo teria repercussão positiva na sua comunidade.

Concluindo, a tecnologia IoT tem a oportunidade de mediar o aprendizado, despertando a curiosidade e a criatividade dos estudantes, ao oportunizar a integração com a realidade de sala de aula. É preciso um olhar direcionado, considerando a manifestação do estudante, para responder à contribuição da tecnologia IoT para o aprendizado, tanto no que tange aos conteúdos tradicionais quanto à potencialidade do aluno em desenvolver sua própria capacidade de pensamento.

APÊNDICE B - Animação roteiro com instruções

Este apêndice tem como objetivo apresentar a animação do roteiro de conexão do dispositivo com a internet (Figura C). Disponível em: <https://youtu.be/AXP5s1ZnwiU>

Figura C - Animação do roteiro de conexão do dispositivo com a internet



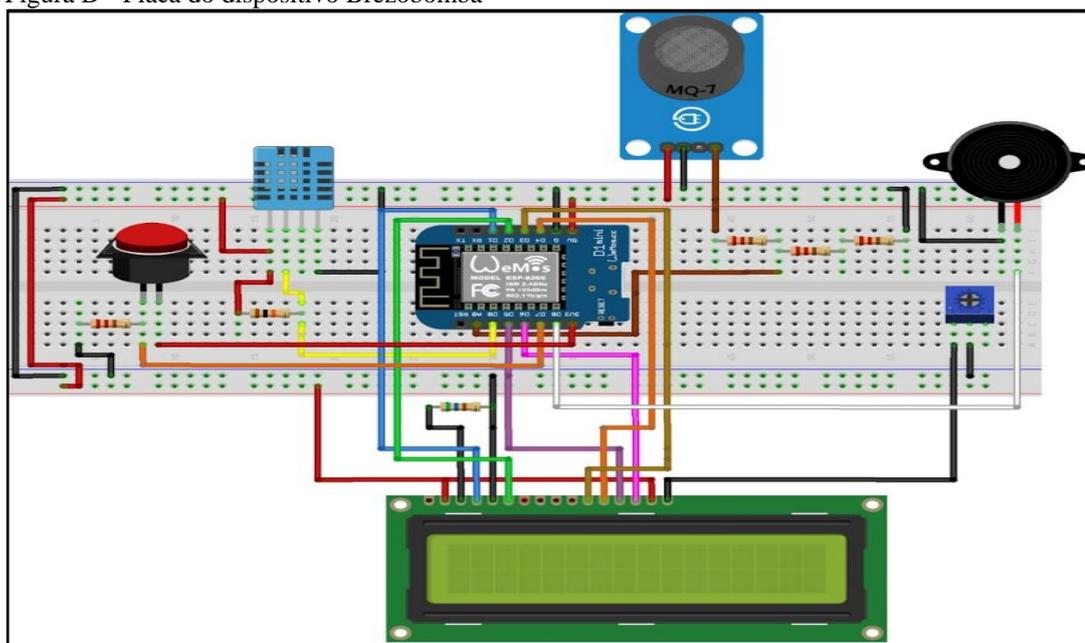
Fonte: Autor, 2024.

APÊNDICE C - Como construir seu aparelho

A produção do material didático com vistas a auxiliar o processo de ensino-aprendizagem, na construção do conhecimento não se resume a interação com o lúdico ou com a hipermídia, mas uma ferramenta que promove a reflexão, crítica, a autonomia de forma ágil e de interesse do aluno. O artefato reconhecido como Brezobomba foi construído com esse intuito e para ser compartilhado com para pessoas que tem interesse na sua elaboração.

Nessa sessão é apresentado o projeto técnico de como construir o dispositivo para os professores e/ ou interessados uma estimativa de custo em agosto de 2024 é de R\$ 180,00 para aquisição dos componentes. Constituídas por uma placa eletrônica (Figura D), que identifica monitor, sensores e bateria, o artefato possibilita que o sujeito capture os dados sobre a qualidade do ar (umidade, temperatura, CO₂).

Figura D - Placa do dispositivo Brezobomba



Fonte: Autor, 2024.

Essa placa aponta para a próxima etapa, a complementação do projeto, acesso a plataforma onde se encontra o código, que permite o funcionamento e a conectividade da placa: <https://brezobomba.com/codigo.tgz>.

A apresentação física da Brezobomba é uma ideia exclusiva do presente estudo, mas poderá ser constituída segundo o critério e a criatividade de quem propõe uma releitura do artefato.

APÊNDICE D - Testes de montagem

Este apêndice trata do teste de montagem do dispositivo, ocorrido em setembro de 2021 na Universidade de Passo Fundo–RS, em que uma estudante de engenharia elétrica executou de forma autônoma a montagem do dispositivo (Figura E), identificando intuitivamente os elementos básicos de funcionamento do dispositivo.

Figura E - Execução da montagem do dispositivo



Fonte: Autor, 2024.

Em conclusão, estes testes de montagem do dispositivo podem identificar um avanço na abordagem de artefato para a educação. Embora necessite de uma análise mais aprofundada,

propõe uma maneira pela qual a tecnologia pode ser usada simplificando conceitos para a compreensão do aluno, identificando a função dos elementos que compõe um artefato IoT. Além disso, sugere que os alunos, ao identificarem espontaneamente os elementos recorrendo a conhecimentos prévios da sua vivência, apontem para a construção de um aprendizado contextualizado do “como” a tecnologia IoT executa suas tarefas.

APÊNDICE E - Ficha de observação

Ficha de observação

Ficha de observação	
Qual foi o problema proposto e como foi resolvido?	
Objetivo: registrar se foi identificado o problema a ser resolvido, o interesse e entendimento da turma, dificuldades o planejamento	
Manifestação Aluno <i>Expert</i>	
Manifestação da Turma - Consenso	
Registro Pesquisador	
Como a Brezobomba ajudou a resolver o problema?	
Objetivo: Avaliação se a Brezobomba era necessária, as novas hipóteses que ela proporcionou em relação ao primeiro encontro, se ela interferiu no resultado.	
Manifestação Aluno <i>Expert</i>	
Manifestação da Turma - Consenso	
Registro Pesquisador	

Fonte: Autor, 2024.

ANEXO A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE



PPGECM

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática
Instituto de Humanidades, Ciências, Educação e Criatividade - IHCEC

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE

Seu filho(a) está sendo convidado a participar da pesquisa: “O ENSINO DA QUALIDADE DO AR MEDIADO PELA TECNOLOGIA IOT SOB A PERSPECTIVA DA METACOGNIÇÃO” de responsabilidade do pesquisador Fábio Lopes Brezolin e orientação do Dr. Marco Trentin. Esta pesquisa apresenta como objetivo o ensino de Ciências. As atividades serão desenvolvidas durante aproximadamente 5 encontros no componente curricular de Ensino Ambiental no espaço da escola e envolverá o registro das aulas e a coleta de materiais produzidos pelos estudantes.

Esclarecemos que a participação do seu filho(a) não é obrigatória e, portanto, poderá desistir a qualquer momento, retirando seu consentimento. Além disso, garantimos que receberá esclarecimentos sobre qualquer dúvida relacionada à pesquisa e poderá ter acesso aos seus dados em qualquer etapa do estudo. As informações serão transcritas e não envolvem a identificação do nome dos participantes. Tais dados serão utilizados apenas para fins acadêmicos, sendo garantido o sigilo das informações.

A participação do seu filho(a) nesta pesquisa não traz complicações legais, não envolve nenhum tipo de risco, físico, material, moral e/ou psicológico. Caso for identificado algum sinal de desconforto psicológico referente à sua participação na pesquisa, pedimos que nos avise. Além disso, lembramos que você não terá qualquer despesa para participar da presente pesquisa e não receberá pagamento pela participação no estudo.

Caso tenham dúvida sobre a pesquisa e seus procedimentos, você pode entrar em contato com o pesquisador/a orientador do trabalho Dr. Marco Trentin pelo e-mail trentin@upf.br ou no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade de Passo Fundo pelo e-mail ppgecm@upf.br.

Dessa forma, se concordam em participar da pesquisa, em conformidade com as explicações e orientações registradas neste Termo, pedimos que registre abaixo a sua autorização. Informamos que este Termo, também assinado pelas pesquisadoras responsáveis.

Passo Fundo, 23 de setembro de 2024.

Nome do participante: _____

Data de nascimento: ____/____/____

Assinatura do responsável: _____

Assinaturas dos pesquisadores: _____

ANEXO B - Carta de autorização da Escola

**PPGECM**Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática
Instituto de Humanidades, Ciências, Educação e Criatividade - IHCEC**CARTA DE AUTORIZAÇÃO DO ESTABELECIMENTO DE ENSINO**

Eu, Fábio Lopes Brezolin, solicito autorização da Escola Eulina Braga localizada no município de Passo Fundo, Rio Grande do Sul, para a realização de atividades de pesquisa associadas a tese que desenvolvo junto ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade de Passo Fundo, RS. A pesquisa está vinculada a dados produzidos durante a aplicação de atividades didáticas junto a estudantes do sexto ano do Ensino Fundamental da área de Educação Ambiental. O período de aplicação das atividades na escola será de 23/09/24 a 27/09/24 e contará com a visita do professor orientador do estudo.

- Autorizo
 Não autorizo

Lisiane V. G. Sinkewicz
Diretora
ID 3489159/02
Aut. n° 001/2024 - 7ª CBE
E.E. M. PROF. EULINA BRAGA
PASSO FUNDO-RS

Lisiane Sinkewicz
Responsável pela Escola
Nome, cargo e carimbo

Eu, Fábio Lopes Brezolin, me comprometo a cumprir as normativas da escola, mantendo conduta ética e responsável e a utilizar os dados produzidos pela pesquisa, exclusivamente para fins acadêmicos e a destruí-los após a conclusão do estudo.

Fábio Lopes Brezolin [Doutorando]

ANEXO C - Termo de Assentimento Livre e Esclarecido – TALE**PPGECM**Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática
Instituto de Humanidades, Ciências, Educação e Criatividade - IHCEC**Termo de Assentimento Livre e Esclarecido - TALE**

Você está sendo convidado a participar da pesquisa “O ENSINO DA QUALIDADE DO AR MEDIADO PELA TECNOLOGIA IOT SOB A PERSPECTIVA DA METACOGNIÇÃO” de responsabilidade do pesquisador Fábio Lopes Brezolin e orientação do Dr. Marco Trentin. Esta pesquisa apresenta como objetivo o ensino de Ciências. As atividades serão desenvolvidas durante aproximadamente 5 encontros no componente curricular de Ensino Ambiental no espaço da escola e envolverá o registro das aulas e a coleta de materiais produzidos pelos estudantes.

Esclarecemos que sua participação não é obrigatória e, portanto, poderá desistir a qualquer momento, retirando seu assentimento. Além disso, garantimos que você receberá esclarecimentos sobre qualquer dúvida relacionada à pesquisa e poderá ter acesso aos seus dados em qualquer etapa do estudo. As informações serão transcritas e não envolvem a identificação do nome dos participantes. Tais dados serão utilizados apenas para fins acadêmicos, sendo garantido o sigilo das informações.

Sua participação nesta pesquisa não traz complicações legais, não envolve nenhum tipo de risco físico, material, moral e/ou psicológico. Caso for identificado algum sinal de desconforto psicológico referente à sua participação na pesquisa, pedimos que nos avise. Além disso, lembramos que você não terá qualquer despesa para participar da presente pesquisa e não receberá pagamento pela participação no estudo.

Caso tenham dúvida sobre a pesquisa e seus procedimentos, você pode entrar em contato com o pesquisador/a orientador do trabalho Dr. Marco Trentin pelo e-mail trentin@upf.br ou no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade de Passo Fundo pelo e-mail ppgecm@upf.br.

Dessa forma, se concordam em participar da pesquisa, em conformidade com as explicações e orientações registradas neste Termo, pedimos que registre abaixo a sua autorização. Informamos que este Termo, também assinado pelas pesquisadoras responsáveis.

Passo Fundo, 23 de setembro de 2024.

Nome do participante: _____

Data de nascimento: ____/____/____

Pesquisador/a: _____