

Frederico Coelho Krause,



Universidade de Brasília (UnB)

fredykrause@hotmail.com

Gilberto Lacerda Santos



Universidade de Brasília (UnB)

gilberto.lacerda.santos@gmail.com

TRANSPONDO SABERES PARA UM APP DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL BASEADA NO LUGAR EM REALIDADE AUMENTADA

RESUMO

Transposição didática refere-se à passagem do saber sábio, produzido nos círculos acadêmicos, ao saber a ensinar, presente nos currículos, e deste ao saber ensinado nas escolas. No que concerne à produção de aplicativos educativos para educação ambiental baseada no lugar, levantamos a hipótese da necessidade de inclusão da análise do saber aprendido pelos alunos para que a Transposição Didática seja efetiva. O objetivo do trabalho relatado neste artigo foi verificar essa necessidade para a efetivação da transposição didática com vistas à educação ambiental baseada no lugar, por meio do processo de concepção, desenvolvimento e teste de um aplicativo, intitulado *O Ribeirão e a Escola*, experimentado em seis turmas de ensino fundamental da Escola Classe 05 de Sobradinho, Distrito Federal.

Palavras-chave: Realidade Aumentada. Educação Ambiental. Transposição Didática. Biologia. Ciências Ambientais.

TRANSPONDING KNOWLEDGE TO AN ENVIRONMENTAL EDUCATION APP BASED ON PLACE IN INCREASED REALITY

ABSTRACT

Didactic transposition refers to the passage from wise knowledge, produced in academic circles, to learning to teach, present in the curriculum, and from this to the knowledge taught in schools. With regard to the production of educational applications for environmental education based on the place, we raised the hypothesis of the need to include the analysis of knowledge learned by students for the Didactic Transposition to be effective. The objective of the work reported in this article was to verify this need for carrying out the didactic transportation with a view to environmental educational based on the place, through the process of conceiving, developing and testing an application, entitled *O Ribeirão e a Escola*, experimented in six elementary school classes at Escola Classe 05 in Sobradinho, Federal District, Brazil.

Keywords: Increased Reality. Environmental Education. Didactic Transposition. Biology. Environmental Sciences.

Submetido em: 30/09/2019

Aceito em: 06/02/2020

Publicado em: 22/06/2020



<http://dx.doi.org/10.28998/2175-6600.2020v12n27p762-784>



I INTRODUÇÃO

O conceito de Transposição Didática, conforme proposto por Chevallard (1998), refere-se ao processo de passagem do saber sábio, produzido nos círculos acadêmicos, ao saber ensinado nas escolas. Para o autor, esse percurso do conhecimento dos laboratórios científicos para os currículos escolares, não deveria abranger o saber de fato aprendido pelos alunos, sob o risco de perda de objetividade, uma vez que o universo psicológico possui grande nível de indeterminação. Em oposição a Chevallard, defendemos que a dimensão da aprendizagem é fundamental para a própria determinação do saber ensinado.

No caso das ciências ambientais, isso se mostra mais evidente, dado que seus constructos teóricos são baseados, muitas vezes, em fenômenos físicos de difícil observação direta, requerendo um alto nível de abstração, interpretação e reconstrução de conhecimentos. Sentimos, portanto, a necessidade de adequar ontologicamente o conceito de transposição didática, incluindo o saber aprendido pelos alunos. Para tanto, recorreremos à objetividade-entre-parênteses de Maturana e Varela (2001), que procura estabelecer uma objetividade científica sem desconsiderar as contingências inerentes à experiência humana.

Partindo desses referenciais, lançamos um olhar sobre o caso da Escola Classe 05 de Sobradinho, Distrito Federal (DF). A escola está localizada próximo a um ribeirão que leva o nome da cidade e sofre a influência negativa da ação antrópica, ao longo de todo o seu perímetro urbano. Além da crise ambiental local, a escola também vinha passando por dificuldades de abastecimento, devido à grave crise hídrica que houve no DF nos anos de 2016 e 2017, que culminou na decretação de estado de emergência e restrição do uso da água. As duas questões são relacionadas, uma vez que os aquíferos que abastecem o ribeirão também interferem na disponibilidade hídrica dos poços que respondem por boa parte do suprimento de água da região. Também lhes é comum o potencial de resolução com mudanças de atitude que têm seu início na educação ambiental.

Atender a essas demandas exige engajamento de indivíduos e grupos e este só ocorre quando há comprometimento. Nesse ponto, se coloca a Educação Baseada no Lugar, que tem demonstrado fomentar a ligação entre ambiente e comunidades locais (SOBEL, 2005). A integração de elementos reais e virtuais, por sua vez, pode direcionar a experiência de lugar dos indivíduos para alcançar objetivos como a sensibilização por questões sociais específicas (OLEKSY; WNUK, 2016). Notadamente, ambientes de Realidade Aumentada (RA) são capazes de efetuar essa ligação com o auxílio de dispositivos simples e amplamente distribuídos, como celulares e tablets.

Criar aplicativos em RA que sejam capazes de aproximar o saber ensinado do saber sábio, ao mesmo tempo em que seja criado um senso de lugar, é um grande desafio. Levantamos a hipótese de que para que esse processo de transposição didática seja efetivo é necessário levar em consideração como

os alunos interpretam o material. O objetivo do trabalho relatado neste artigo foi verificar a necessidade de inclusão da análise do saber aprendido pelos alunos durante a fase de desenvolvimento de aplicativos, para que o material didático seja efetivo para a educação ambiental baseada no lugar. Para isso, concebemos, desenvolvemos e testamos um aplicativo, intitulado *O Ribeirão e a Escola*, em seis turmas de ensino fundamental da Escola Classe 05 de Sobradinho, Distrito Federal.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Realidade Aumentada

Milgram e Kishino (1994) propõem um *continuum* indo da Realidade, em um extremo, à Realidade Virtual, em outro extremo, que abrange todas as manifestações nas quais elementos virtuais se misturam a elementos reais, a chamada Realidade Misturada. Aquelas nas quais há predominância de elementos reais são caracterizadas como RA em contraposição àquelas nas quais há predomínio de elementos virtuais, a Virtualidade Aumentada (MILGRAM; KISHINO, 1994).

Azuma *et. al.* (2001) definem as seguintes propriedades como essenciais à RA: combinação de objetos reais e virtuais em um ambiente real; execução interativa e em tempo real; registro ou alinhamento entre os objetos reais e virtuais. Não estão limitados a tecnologias específicas nem se aplicam somente à percepção visual, mas a todos os sentidos. Os autores também incluem a supressão de elementos reais, por alguns classificadas como Realidade Diminuída, como um subconjunto da RA.

2.1.1 Qual realidade?

Convém conceituar os termos componentes da definição de Milgram e Kishino (1994). Conforme colocado por Heim (1994, p. 116, tradução nossa), “a questão da realidade sempre foi uma questão sobre direção, sobre foco, sobre o que nós deveríamos reconhecer e nos preocupar”. O foco deste trabalho recai sobre a experiência do indivíduo nos processos educativos. Lançando um olhar sobre a realidade a partir da experiência individual, podemos dizer que a noção do real emerge, à medida que, nos domínios de repetidas interações do organismo, nosso sistema nervoso se reconfigura (MATURANA; VARELLA, 2001). É a consistência habitual dessas interações que afirma e reafirma a realidade.

A palavra *virtual* tem sua raiz etimológica na palavra *virtus*, que significa força, potência. Filosoficamente, tem sido utilizada para expressar o que não existe em ato, mas pode vir a existir como tal por meio da atualização. Real e virtual são, portanto, estados da realidade (LÉVY, 2011).

Esse construto teórico, contudo, pode ser utilizado em mais de um contexto ontológico. Dentro do enfoque deste trabalho, temos duas condições para definir o real: (1) ser apresentado ao sistema

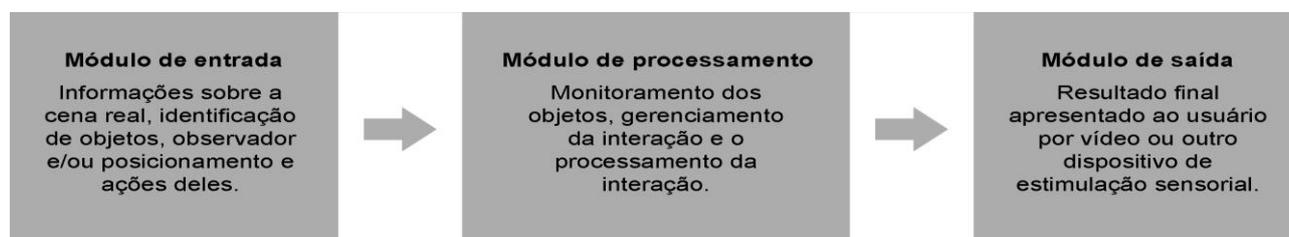
nervoso; (2) proporcionar uma experiência congruente com a habitual. Essa congruência pode ser colocada em termos de imersão e presença. A primeira refere-se à fidelidade dos estímulos que o sistema fornece ao usuário. No caso de estímulos visuais, ligada à qualidade de imagem, campo de visão, estereoscopia e rastreamento. A segunda refere-se à sensação de presença, ou seja, à percepção psicológica do usuário de estar no ambiente, que pode ser: espacial, sentir-se em determinado local; corporal, sentir o próprio corpo; física, capacidade de interagir com os elementos a sua volta; social, poder se comunicar com personagens do ambiente (HOUNSELL; TORI; KIRNER, 2018). A partir de Axt e Schuch (2001), podemos considerar ainda uma terceira condição: (3) em uma análise recursiva na qual o indivíduo pensa a situação em que está, a congruência deve ser mantida.

Considerando as imagens geradas por computação gráfica, elas são virtuais por sabermos estarem inscritas na memória do computador e poderem ser tornadas atuais, por meio de um dispositivo de exibição, como uma tela. Os objetos nas imagens são reais na medida de sua consistência com a experiência sensório-motora habitual aliada à análise recursiva. É possível pensar, portanto, em “graus de realidade”, que se dariam em função dos graus de imersividade e presença, e “momentos de realidade”, que se dariam em função da análise recursiva. É nestes casos, que o termo realidade virtual ganha sentido dentro de sua ambiguidade. É realidade enquanto experiência sensório-motora e virtualidade enquanto dimensão oculta, acessível pela análise recursiva. A provocação dessa análise pode se dar pelo conhecimento prévio (sujeito sabe que “entrou” na realidade virtual) ou ao longo da experiência (percepção sensório-motora incongruente). Isso pode ocorrer de modo consciente ou inconsciente, uma vez que a percepção é em si imbricada por experiências prévias, não sendo um processo estritamente passivo.

2.1.2 Sistemas habilitadores de RA

Para criar uma experiência em RA é necessário utilizar uma série de funções computacionais, o que costuma exigir a conjugação de vários dispositivos. Um sistema habilitador de RA abrange tipicamente um módulo de entrada; um de processamento e um de saída, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Esquema de um sistema habilitador de RA.



Fonte: elaborada pelo autor (2020).

No módulo de entrada, são fornecidos ao sistema informações sobre a cena real (mais comumente por captura de vídeo), bem como sobre a identificação de objetos, observador e/ou posicionamento e ações deles (sensoriamento). Em seguida, as informações são processadas para realizar três funções: (1) o monitoramento dos objetos, que consiste na identificação de posição e orientação (registro), e seu deslocamento no ambiente (rastreamento); (2) gerenciamento da interação, que é a identificação e determinação da resposta às ações de seleção ou manipulação feitas pelo usuário; (3) o processamento da interação, que dá sentido às interações e promove mudanças na cena, conforme os objetivos da aplicação. Por fim, o módulo de saída apresenta ao usuário o resultado final dos processos, o que pode se dar visualmente, pela renderização do objeto virtual em um dispositivo de saída, como tela de computador ou celular; ou em outra modalidade sensorial, como por dispositivos hápticos, a exemplo de luvas especiais (atuação) (HOUNSELL; TORI; KIRNER, 2018).

2.2 Água e Educação Ambiental

A água é um recurso renovável, mas o limite de sua renovação esbarra em nossas demandas de uso. Embora a maior parte do planeta seja coberta por água, apenas 2,5% é de água doce e mais da metade desse total não está disponível para uso. Além disso, a água não se distribui igualmente pelos continentes, havendo regiões em que é abundante e outras em grave estresse hídrico (KAZAZIAN, 2005). Também desigualmente distribuídos estão os impactos ambientais de seu mau uso, que tendem a se concentrar mais próximos às populações em vulnerabilidade social, impelidas a habitar espaços urbanos degradados (COELHO, 2011).

A captação, tratamento e distribuição de água exigem recursos que serão tão maiores quanto menor for a qualidade das fontes. O comprometimento de reservas aquíferas, portanto, gera custos que se refletem no preço da água fornecida para consumo. Tratar rejeitos domésticos, industriais e hospitalares também é oneroso, o que pode contrariar interesses individuais em oposição a interesses coletivos. Os conflitos em torno dos diversos usos da água abrangem também: a construção de barragens para irrigação e geração de energia; captação de água subterrânea para consumo próprio, agricultura e pecuária; uso de agentes químicos como inseticidas e fertilizantes em lavouras, que acabam chegando aos cursos d'água (BERLINCK et al., 2003).

O problema da disponibilidade e qualidade da água é ambiental, mas também é técnico, econômico, social e político. Entender como essas diversas esferas atuam e se relacionam é o primeiro passo para que indivíduos e comunidades possam atuar na preservação e recuperação ambiental. Fomentar esse entendimento é o papel da *educação ambiental*. No caso da água, abrange o conhecimento do meio físico natural, particularmente do ciclo hidrológico; da estrutura urbana direta ou indiretamente

relacionada, como sistemas de água e esgoto, pluvial, área cimentada, localização espacial de atividades de risco ambiental; do meio social, como os determinantes para ocupações e uso irregular da água e do solo, bem como do cenário político no qual se insere o problema, quais são os agentes tomadores de decisão e o que as motiva.

2.3 Educação Baseada no Lugar

Talvez a mais referida definição, na literatura científica, de Educação Baseada no Lugar (EBL), seja aquela apresentada por Sobel (2005, p. 7, *tradução nossa*), que a entende como “o processo de utilização do ambiente e comunidade locais como ponto de partida para ensinar conceitos na linguagem das artes, matemática, estudos sociais, ciências, e outras matérias ao longo do currículo”.

Alguns pontos merecem destaque. Primeiramente, definir a educação como processo implica um enfoque na prática pedagógica, o que denuncia correlações com a educação experiencial de progressistas educacionais como John Dewey. De fato, as ideias defendidas pela EBL não são novas. Práticas de ensino e aprendizagem situadas e ricas em contexto remontam à antiguidade, com Aristóteles (ELFER, 2011) e as utilizadas há séculos pelas populações indígenas das Américas (SEMKEN, et, al., 2017). Apesar das raízes antigas, apenas recentemente a EBL surgiu formalmente como pedagogia. Adotar o lugar como epicentro da prática pedagógica, como argumentaremos adiante, é transformador.

O segundo ponto é o uso do artigo “o” na contração prepositiva que antecede ambiente e comunidade locais¹, reforçado novamente Por Sobel (2005, p. 7), ao falar que a EBL “melhora a apreciação dos alunos *pelo* mundo natural”², (tradução e destaque nossos). O mesmo ocorre na expressão *no lugar*, na tradução de *place-based education*. Críticos têm argumentado que o uso é indevido por implicar determinação, o que retiraria a dimensão humana, caracterizando lugar apenas por aspectos naturais que estariam igualmente acessíveis a todos (visão muito comum no ensino de ciências). Tal abordagem ignoraria que os elementos que compõem o lugar se efetua na consciência e têm significado. Os significados, por sua vez, constituem e são constituídos em vivências espaço temporais que variam entre indivíduos e grupos (EIJCK; ROTH, 2010).

Parte da identidade pessoal é baseada na cognição do mundo físico pelo indivíduo, o que inclui memórias, sentimentos, atitudes, valores, preferências, conceitos e experiências comportamentais. Criamos um senso de lugar utilizando estruturas cerebrais especializadas para processar informação espacial, combinadas a emoções e comportamentos (LENGEN; KISTEMANN, 2012).

¹ No original, *the local community and environment*.

² No original, *enhances students' appreciation for the natural world*.

Por outro lado, se podemos falar que o lugar de um indivíduo jamais será estritamente o mesmo de outro, também é importante que consideremos o que lugares individuais têm em comum, sobretudo ao se pensar a relevância para determinada comunidade. A solução que adotamos é semelhante à de Maturana e Varela (2001) para o problema da objetividade nas ciências frente à impossibilidade de percepção da realidade sem considerar o perceptor. Para resolvê-lo, os autores utilizam o conceito da objetividade-entre-parênteses, que se funda na ideia de se estabelecer na regularidade das experiências individualmente vividas, pontos de convergência, para se chegar a verdades não absolutas, mas funcionais.

No nosso caso, a realidade é o lugar, que pode variar de comunidade para comunidade, posto que não absoluto, mas, entre-parênteses, determinado. Encontrar essa base comum serve à função de aglutinar esforços localmente em prol de um bem compartilhado. Pelo senso de lugar, indivíduos e grupos criam identidades, ligações e algum nível de dependência. O vínculo gerado predispõe à valorização do lugar, o que, por sua vez, leva ao engajamento para sua conservação, recuperação e melhora. Grupos coesos nesses valores são mais fortemente motivados a agir dessa forma. A educação ajuda a promover tal ligação (CHAPIN III; KNAPP, 2015).

2.4 Transposição Didática

De acordo com Chevallard (1998), o saber ensinado, que é aquele explicitado durante as aulas, estaria idealmente localizado entre o saber constituído na sociedade em geral, que podemos associar ao senso comum, e aquele que circula nos meios acadêmicos, o saber sábio. O saber do senso comum se liga intimamente às atividades do dia-a-dia, servindo à execução da maioria das tarefas quotidianas das pessoas. O saber sábio, por sua vez, é por demasiado complexo para ser compreendido e utilizado em sua totalidade por elas. Isso não quer dizer que não seja útil; pelo contrário, sua inclusão no projeto da Escola se deu historicamente pelo reconhecimento de sua aplicabilidade. Contudo, da forma como é concebido dentro dos círculos especializados, sua penetração como saber na sociedade é baixa. Há, portanto, um caminho a ser trilhado: partir do **saber sábio** e chegar a um **saber ensinado** que atenda à função social da Escola. Esse caminho é a **transposição didática**.

A transposição didática não se encerra como produto acabado, no momento em que determinado conteúdo é didatizado. Os saberes sábios mudam com o tempo. Também o fazem os valores e demandas da sociedade, as forças políticas, as condições materiais e institucionais da Escola, as condições psicológicas dos integrantes do sistema didático e todos os demais fatores atuantes no fenômeno. Pode ser o caso de o saber ensinado se tornar inadequado. Um fator relevante de mudança que se impõe atualmente e que diz respeito à nossa pesquisa é a crescente ubiquidade das Tecnologias Digitais da Informação, Comunicação e Expressão (TICE).

As TICE trouxeram consigo novas formas de armazenar, processar, organizar e apresentar informações. Nas fronteiras do conhecimento, grande volume de dados passou a ser analisado de forma automática, o que permitiu novas descobertas científicas que mudaram e continuam mudando o saber sábio a cada instante. A própria natureza dos saberes, pode-se argumentar, passou a sofrer mudanças.

Conforme colocado por Lévy (2011), o uso de ferramentas físicas e intelectuais é capaz de operar mudanças na própria humanidade. Evidências fósseis e arqueológicas sugerem que características como a robustez do dedo polegar presente em humanos, por exemplo, evoluiu muito depois da primeira aparição da fabricação e uso de ferramentas. Isso é indicativo de que a intensificação da manipulação de ferramentas foi um fator na evolução de aspectos derivados da anatomia da mão humana (RICHMOND; ROACH; OSTROFSKY, 2016, p.516).

Com o surgimento da escrita, por sua vez, o edifício cultural das sociedades mudou da memória humana para o registro físico. Isso permitiu o desenvolvimento da filosofia, das ciências, da história e do direito, conforme os concebemos hoje. Tais domínios do conhecimento não são apenas registrados na forma escrita, mas se constituíram nela. Foi a partir de arquivos, listas, tabelas de números e códigos legislativos que eles se sistematizaram (LEVY, 2011). Artaud (1958, pp.8-9) vai mais longe em sua análise, colocando a própria forma de estruturação do pensamento humano como determinante da experiência:

[...] um homem cultivado 'civilizado' é tido como uma pessoa instruída em sistemas, uma pessoa que pensa em formas, sinais, representações – um monstro cuja faculdade de derivar pensamentos de atos, ao invés de identificar atos com pensamentos, é desenvolvida ao absurdo [...] eu diria que é essa infecção do humano que contamina ideias que deveriam ter se mantido divinas (Tradução nossa).

Neste estudo, a transposição didática foi feita considerando-se os sistemas de realidade aumentada (RA) a serem utilizados no momento da instrução e, também, as condições de seu desenvolvimento. Não partimos, contudo, de um saber sábio descontextualizado. O projeto teve início dentro de uma escola cujas aulas que abrangiam parte dos conteúdos a serem ministrados já ocorriam. Havia, portanto, saberes sábios já didaticamente transpostos em maior ou menor grau.

Aqui, cabe trazer o conceito de transposição midiática, desenvolvido por Garonce e Lacerda Santos (2012). Em contraposição à transposição didática, de natureza epistemológica, relativa ao conhecimento, os autores descrevem a transposição midiática, de natureza metodológica, relativa ao meio. O conhecimento já didatizado anteriormente, seria recortado e ajustado para um novo meio, influenciado por fatores humanos e tecnológicos. Por este motivo, pode ser entendida como uma transposição didática de segunda ordem.

Julgamos frutífera a consideração de uma transposição didática de segundo nível, mas como indicação da formação histórica do saber ensinado. Com efeito, podem-se conceber vários níveis de transposição. Os níveis atuam, para nós, como registro dos sucessivos recortes ou pontuação dos trabalhos

de transposição já desenvolvidos e dos quais os seguintes são devedores. São, eles mesmos, abstrações úteis que servem a um propósito. No caso, a qualificadora “*mediática*” indica que a mudança de mídia foi o principal aspecto a ser considerado, sendo as alterações de saber (a ensinar e ensinado) minimizadas na autodeclaração do termo. Não sendo nossa intenção destacar os efeitos epistemológicos da mudança metodológica, abandonaremos a qualificadora.

Para nós, a via da transposição didática não é *stricto sensu* unívoca. Parte de pontos diferentes; divide-se, combina-se e se entrecruza. Idealmente, ao fazer a transposição para ordens maiores que I, a transposição revisita o saber sábio do campo que se quer intervir, reconfigura o saber a ser ensinado dialogicamente com o novo contexto e também incorpora o saber sábio da didática gerado nas ordens inferiores, resultando em um novo saber ensinado.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado nos moldes de uma pesquisa participante, que é aquela que, segundo Esteban (2010, p. 178), pretende “não só conhecer os problemas, mas gerar juntamente à comunidade os conhecimentos necessários para definir as ações adequadas que estejam na linha de mudança, da transformação e da melhoria da realidade social”. Foram utilizados como instrumentos de coleta de dados: observação participante; grupos focais; entrevistas informais; questionários e representações pictóricas dos alunos e vídeos das aulas.

Inicialmente, investigamos a situação da escola quanto a iniciativas em educação ambiental e possíveis problemas ou pontos de melhoria nessa área, e, em seguida, avaliamos a situação do entorno da escola, particularmente do perímetro urbano do Ribeirão Sobradinho. O resultado da primeira ação evidenciou a falta de materiais didáticos referentes ao tema. O resultado da segunda apontou diversos pontos de risco e degradação ambiental ao longo do Ribeirão Sobradinho, incluindo a parcela que se localiza nas imediações da escola.

Com base nesses achados, apresentamos aos professores a realidade aumentada (RA) como possível ferramenta e a educação baseada no lugar como proposta pedagógica. A sugestão foi exitosa e, a partir daí, passamos a trabalhar em conjunto com eles para conceber, desenvolver e implementar um aplicativo em RA que pudesse suprir a falta de material didático em educação ambiental e que endereçasse a problemática ambiental do Ribeirão Sobradinho.

Ao longo da prática da pesquisa, foram evidenciadas questões sobre a transposição didática, tanto no que diz respeito à que se dá na seleção dos saberes a ensinar, quanto na que ocorre do saber a ensinar ao saber ensinado. O conhecimento que ia sendo gerado na medida em que reuniões, aplicações em sala

e desenvolvimento ocorriam, tinha dupla função: servir à pesquisa, e à melhora do aplicativo e de seus métodos de uso para o ensino.

Ao todo, seis turmas participaram do estudo, sendo quatro do 4º ano e duas do 5º. O público alvo do aplicativo, contudo, permaneceu sendo o 4º ano, uma vez que de 2019 em diante, não haveria sentido para os alunos trabalharem com o aplicativo ao cursar o 4º ano e fazê-lo novamente no ano seguinte. Os testes, portanto, foram iniciados com as turmas de 5º ano, o que permitiu ajustes maiores antes de iniciar o uso com as de 4º.

No ano de 2016, foram delimitados os temas que deveriam ser abordados, tomando-se como base o Projeto Político Pedagógico (PPP) da escola, aquilo que os professores já abordavam em suas respectivas turmas, e os principais problemas relacionados ao Ribeirão e à crise hídrica. Também fizeram parte da discussão os temas constantes dos Planos Curriculares Nacionais para esse ciclo. Posteriormente, os tópicos eleitos como mais relevantes e os principais problemas a eles associados foram sistematizados.

Em 2017, iniciou-se o desenvolvimento do aplicativo e o mapeamento do Ribeirão. A primeira versão do aplicativo foi concluída em janeiro de 2018. A partir de então, seguiu-se um ciclo de desenvolvimento, teste preliminar e avaliação com o grupo de professores, que durou até o mês de maio. De junho a dezembro, o ciclo de desenvolvimento continuou, com a diferença de que o aplicativo era utilizado em sala com professores e alunos. A distribuição das turmas de 4^{os} e 5^{os} anos foi feita de modo que as aulas fossem iniciadas com os 5^{os} e houvesse ao menos três semanas para efetuar ajustes antes de a mesma aula ser conduzida com os 4^{os}.

O foco principal da pesquisa foi a transposição didática a partir da perspectiva da educação baseada no lugar (EBL), tendo a coleta de dados e ações de intervenção na realidade sido realizados nos seguintes momentos: (1) levantamento do saber a ser ensinado presente no programa das turmas e identificação da interpretação e uso que os professores fazem dele; (2) reconstrução do saber a ser ensinado, revisitando o saber sábio e reconectando aquilo que era ensinado com as necessidades da comunidade a partir da perspectiva da EBL, bem como levando em conta as características do aplicativo a ser desenvolvido; (3) proposição e implementação de métodos de ensino com sistemas de RA adequados ao saber a ser ensinado; (4) verificação do saber ensinado, tendo como base a interação dos alunos com o aplicativo durante as aulas e a aprendizagem a curto prazo.

No total, foram realizadas 24 aulas, quatro com cada uma das seis turmas. Utilizamos como elementos de coleta de dados a observação participante, questionários e representações pictóricas, grupos focais, entrevistas informais e vídeos. Para garantir a privacidade dos participantes, os nomes mencionados são fictícios. Os instrumentos de coleta de dados são detalhados a seguir.

3.1 Procedimentos de análise dos dados coletados na escola

Para a análise dos dados, tomamos como referência os procedimentos descritos por Bardin (1977). Primeiramente, o material foi organizado e as respostas separadas por turma, aula e data. Em seguida, procedemos à leitura e releitura do material, utilizando as filmagens como referência. Na sequência, passamos a agrupar as respostas utilizando o tema como unidade de registro. Os agrupamentos iniciais foram refinados e reagrupados até chegarmos às categorias dispostas no Quadro I, juntamente com uma descrição sintética de suas propriedades.

As categorias evidenciam características do aplicativo que foram entraves à transposição didática do saber a ensinar ao saber ensinado, seja por não efetuar-lo por completo ou fazê-lo de modo distorcido. Concluso o tratamento do material, passamos à análise descritiva das categorias de cada assunto, que apresentamos na seção resultados.

Quadro I - Descrição das categorias de estudo

Categorias	Descrição
Loop	A execução reiterada de uma animação, sem intervalo entre o início de uma execução e a seguinte, que faz com que eventos sejam percebidos em ordem inversa.
Nuance	Diferença entre o estado das coisas que pela sutileza não é percebida, ainda que esteja dentro do campo de visão do usuário.
Concretude	Elemento que representa com cor e volume entidade invisível ou abstrata.
Substituição	Representação de entidade visível cujas propriedades diferem do objeto representado a ponto de não permitir sua correta identificação.
Abrangência	Representação que engloba mais de um elemento e é percebida como referente a menos que o todo que representa.
Transparência	Modelo ou parte de modelo que não deveria ser percebida, mas interfere na representação.
Fragmentação	Entidades contíguas que, por opção do desenvolvedor ou limitação dos meios, são representadas separadamente.
Complexidade	Elemento ou sistema cujo número elevado de detalhes ou desorganização dificulta a compreensão.
Ângulo de visão	Orientação de elementos no campo de visão do usuário que não permite ou dificulta a identificação e localização no espaço.
Dimensão reduzida	Elemento que ocupa pouco espaço no campo de visão, de modo que passa despercebido.
Dimensão ampliada	Elemento que ocupa grande espaço no campo de visão do usuário dificultando a visão do todo.
Tempo de animação	Animação ou elemento que permanece no campo de visão por tempo insuficiente para que seja compreendido.
Multiplicidade síncrona	Uma animação ou objeto que retém a atenção do usuário, fazendo com que outra apresentada ao mesmo tempo não seja percebida.
Multiplicidade assíncrona	Uma animação em <i>loop</i> que pela expectativa de seu início retém a atenção do usuário, fazendo com que objeto ou outra animação apresentada anteriormente não sejam percebidos.
Descolamento entre modelos	Destaque de modelo pertencente a um conjunto por aumento de escala ou mudança de posição que dificulta a percepção de sua ligação aos demais elementos.
Descolamento entre modelo e objeto real	Posicionamento ou escolha de cor, textura ou tamanho que induz relações não intencionais com objetos reais.

Fonte: elaborada pelo autor (2020).

As visitas *in loco* e o mapeamento aéreo da região nos permitiram ter uma visão geral das condições e possíveis riscos ambientais do Ribeirão Sobradinho. Em todos os pontos visitados encontramos evidências de ações antrópicas, potencialmente prejudiciais à qualidade da água do ribeirão. Os resultados foram apresentados e discutidos nos grupos focais, à luz do currículo. Como os problemas do Ribeirão Sobradinho se relacionavam estreitamente com os fluxos de água dentro e fora do sistema, o ciclo da água e os sistemas de abastecimento e saneamento foram definidos como principais temas complementares. De forma acessória, os temas de localização espacial e bacias hidrográficas também compuseram o planejamento e a execução. Como resultado do processo negocial, foram definidas quatro aulas com uso do aplicativo, descritas no Quadro 2.

Quadro 2 - Aulas realizadas com uso de aplicativo em RA.

Tema	Saberes a ensinar	Descrição
Situando o Ribeirão Sobradinho.	Localização geográfica de Sobradinho, do Ribeirão Sobradinho, da Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu, do Distrito federal e do Brasil.	O pôster, disposto no centro da sala, servia como marcador para o carregamento dos modelos. Os alunos se distribuíam em volta do pôster e podiam circular livremente para ver as animações. O globo terrestre aparecia em movimento de rotação em sentido anti-horário e, após duas voltas completas em torno do eixo, se movimentava em direção ao piso colocando o mapa do Brasil em evidência. Este era ampliado e, a partir dele, exibido o DF. O mapa se ampliava mostrando o plano piloto e a cidade de Sobradinho. Em seguida, era indicado o curso do ribeirão, seu ponto de encontro com o Rio São Bartolomeu e a área de sua bacia hidrográfica. Na primeira versão, o mapa do DF era uma imagem do <i>GoogleEarth</i> com relevo adicionado, e a região do ribeirão sobradinho era ampliada e mostrada em volume. O pôster, que era em si um mapa do DF, não aparecia dentro do aplicativo. Na segunda versão, o pôster e o mapa eram congruentes e o ribeirão sobradinho era mostrado diretamente sobre o mapa. Antes e após a atividade, os alunos respondiam o questionário referente a essa aula.
Ciclo da água.	Precipitação e escoamento; infiltração e formação do lençol freático; formação de nascentes e do aquífero profundo; e evaporação, evapotranspiração e formação de nuvens.	Nesta aula, os alunos, separados em grupos de quatro pessoas, recebiam um livro com fotos que serviam como marcadores para apresentação das etapas do ciclo da água. Juntamente com o livro, eram distribuídos questionários nos quais os alunos deveriam representar o que viam em cada animação. A primeira e segunda versões continham quatro animações (uma por marcador) que mostravam os seguintes processos principais: (1) precipitação e escoamento; (2) infiltração e formação do lençol freático e nascentes; (3) infiltração e formação do aquífero profundo; (4) evaporação, evapotranspiração e formação de nuvens. Os principais ajustes entre a primeira e segunda versões se concentraram nos tempos de animação e refinamento das animações. A terceira versão foi uma reestruturação completa. Novos modelos foram elaborados e os processos subdivididos em: (1) precipitação; (2) infiltração e lençol freático; (3) precipitação e escoamento superficial; (4) infiltração e formação de nascente; (5) surgimento do aquífero profundo; (6) evaporação, evapotranspiração e formação das nuvens.

<p>Sistemas de abastecimento de água e tratamento de esgotos.</p>	<p>Captação e adução; tratamento e distribuição de água; consumo/uso de água; rede coletora de esgotos; tratamento de esgotos; despejo de esgotos.</p>	<p>A primeira versão da aula foi elaborada para uso com foto livro contendo imagens que funcionavam como marcadores, bem como textos acessórios. As animações mostravam, nesta ordem: (1) manancial representando a área das nascentes do Ribeirão Sobradinho, evidenciando o lençol freático e o aquífero profundo; (2) um modelo geral de um sistema de abastecimento de água mostrando a captação, adução, tratamento, reserva e distribuição; (3) a estação de tratamento de água de Pipiripau, uma das que abastece Sobradinho, bem como seus principais pontos de captação; (4) a estação de tratamento de água de Sobradinho e seus pontos de captação; (5) o caminho (esquemático) que a água percorre das estações de tratamento até a escola; (6) modelo da Escola Classe 05, mostrando a chegada da água à caixa d'água e distribuição para os blocos de salas; (7) esquema de entrada e saída de água de um vaso sanitário, com destino à rede de esgotos; (8) rede coletora de esgoto, incluindo a escola e casas adjacentes; (9) chegada de efluentes à estação de tratamento de esgoto de Sobradinho, indicação genérica de tratamento e despejo subsequente no ribeirão. A segunda versão evidenciava os mesmos processos, mas no lugar do foto livro foram utilizados cartões em formato de losango que os alunos deveriam buscar encaixar para formar o sistema como um todo. Não havia indicação de ordem pré-estabelecida, constituindo o conjunto dos cartões um quebra-cabeça. Juntamente com o material, era distribuída uma questão que solicitava a representação do caminho da água até a escola, bem como sua destinação final.</p>
<p>Problemas e riscos ambientais do Ribeirão Sobradinho, e suas possíveis causas.</p>	<p>Assoreamento, poluição, falta d'água, diminuição do nível dos reservatórios e suas causas.</p>	<p>Esta aula foi elaborada no formato de um jogo. Na primeira versão, oito marcadores enumerados e nove indicados por letras apresentavam, respectivamente, problemas do ribeirão e possíveis causas. As causas não respondiam a um único problema, tampouco os problemas tinham apenas uma causa. Os alunos eram divididos em grupo e, num primeiro momento, podiam explorar o mapa livremente. Em seguida, cada grupo escolhia um problema e tinha de buscar possíveis causas, bem como explicar como estavam associadas. A cada problema resolvido, o grupo anotava, no questionário distribuído, sua resposta e escolhia um novo problema. Ao final da aula, as soluções eram discutidas e, para cada explicação plausível, o grupo recebia um ponto. Ganhava o grupo que tivesse mais pontos. A segunda versão do jogo teve dinâmica similar, porém, marcadores com os problemas eram distribuídos em cartões, que se associavam por numeração ao mapa. No mapa, eram representadas apenas as possíveis causas.</p>

Fonte: elaborada pelo autor (2020).

3.2 Desenvolvimento do aplicativo

Embora as etapas de desenvolvimento não tenham seguido uma ordem fixa, sobrepondo-se umas às outras, podemos identificar três fases principais: criação, ajuste e animação dos modelos tridimensionais (3D); integração dos modelos à plataforma *Android*[®] para uso com RA; teste, adequação e avaliação do aplicativo.

Os grupos focais e as entrevistas individuais orientaram a criação das primeiras versões do aplicativo. Para a primeira aula, foi estabelecida a necessidade de que os alunos pudessem situar o Ribeirão Sobradinho em relação à escola e à sua posição geográfica. Por esse motivo, optou-se pela criação de um

modelo do globo terrestre, do Distrito Federal e do Ribeirão que, por meio de animação, davam o efeito de aproximação progressiva.

O modelo do Ribeirão foi obtido a partir de um levantamento topográfico da região feito com uso de Veículo Aéreo não Tripulado (VANT), que se deu com as seguintes etapas: planejamento e configuração do voo; execução dos voos e obtenção de imagens; ortorretificação e Mosaico no programa *ArcGIS® for Desktop*; processamento de dados e obtenção de nuvem de pontos; e geração de modelo 3D (Figura 2). O modelo resultante foi então editado por modelagem de polígonos no *Autodesk Maya®* de modo que pudesse servir aos nossos propósitos didáticos.

Figura 2 - Modelo 3D obtido a partir da nuvem de pontos após processamento de imagens de levantamento topográfico da região



Fonte: elaborada pelo autor (2020).

Os demais modelos desta e das demais aulas foram totalmente criados por modelagem de polígonos, texturizados e animados no *Autodesk Maya*. As texturas foram criadas no *Adobe Photoshop®* a partir de mapas UV exportados do *Autodesk Maya*. Após edição, as texturas foram exportadas do *Adobe Photoshop* e importadas para o *Autodesk Maya*.

Para a segunda aula, foi utilizado, na primeira versão do aplicativo, o segmento do modelo do Ribeirão correspondente à área das nascentes juntamente com modelos de nuvens, raios solares, gotas de chuva, árvores, arbustos e gramíneas. Posteriormente, contudo, ele foi substituído por outro menos complexo, uma vez que a análise dos questionários, vídeos e representações pictóricas revelou dificuldades de visualização dos fenômenos pelos alunos.

Para a terceira aula, foram utilizados segmentos do terreno desenvolvidos anteriormente junto a modelos criados especificamente para essa aula, como as estações de tratamento, tubulações, residências, reservatórios e da própria EC5. A quarta aula, por sua vez, utilizou todos os segmentos do terreno do

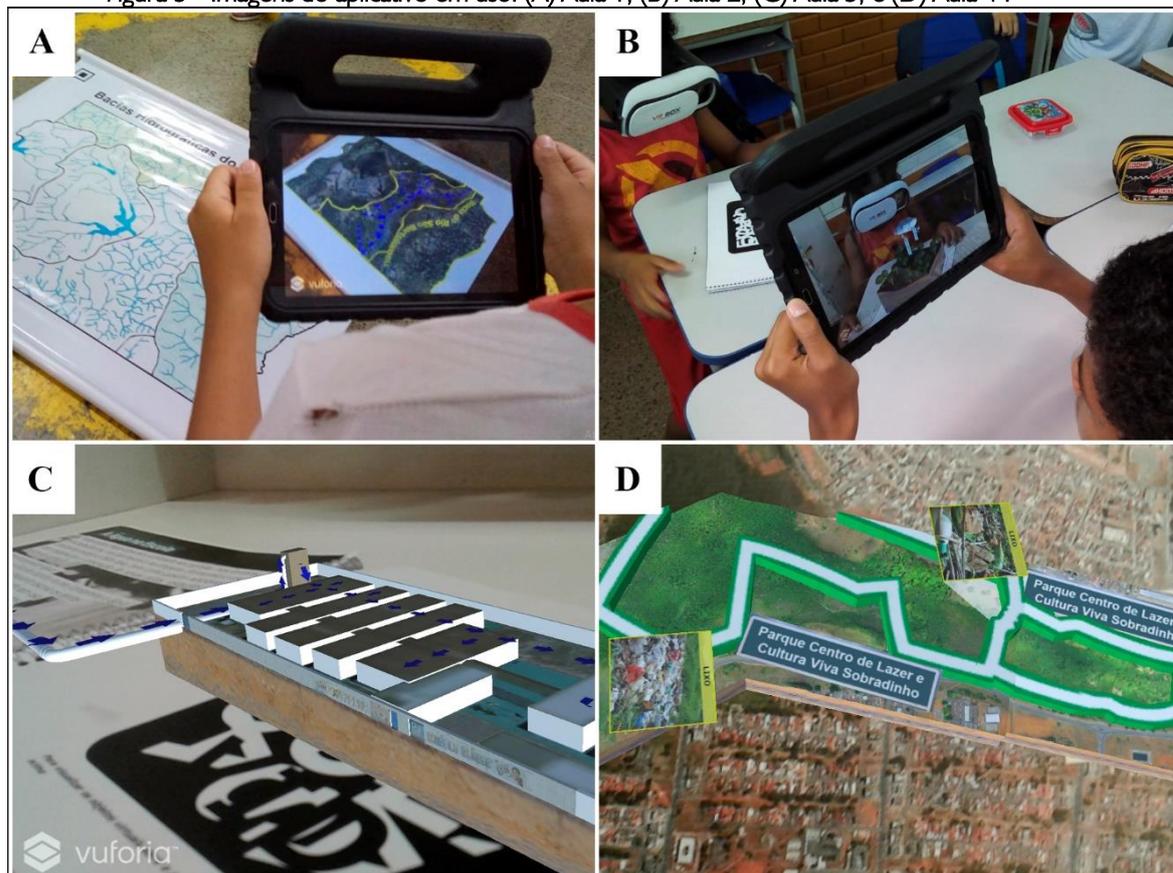
Ribeirão, bem como um modelo de estação de tratamento de esgoto utilizado na terceira aula e modelos acessórios que ilustravam problemas do Ribeirão Sobradinho.

Os modelos e animações criados foram importados no programa de criação de jogos *Unity*[®], que havia sido previamente integrado ao *Vuforia*[®] engine, um motor de RA. Nele, foi feita a sobreposição dos modelos a planos com imagens que serviriam de marcadores para a RA, fazendo os ajustes dimensionais necessários. Foram criadas duas versões do aplicativo: uma para uso com *tablets* e outra para uso com óculos de RA.

A criação de duas versões se justifica porque nos óculos de RA a tela deve ser dividida em duas, para criar a visão estereoscópica. Ambas as versões foram publicadas na *Play Store*, loja virtual de aplicativos para *Android*, sob os nomes *O Ribeirão e a Escola* e *O Ribeirão e a Escola para Tablet*.

Após a criação de cada versão do aplicativo, esta era utilizada em sala de aula e, com base nos dados coletados, era avaliada e discutida com o grupo de professores a necessidade de alterações. Em caso afirmativo, realizavam-se ajustes nos modelos e animações. A nova versão era aplicada, então, com uma nova turma. Esse ciclo se seguiu ao longo de toda a etapa de desenvolvimento. O resultado dessa fase é ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Imagens do aplicativo em uso. (A) Aula 1; (B) Aula 2; (C) Aula 3; e (D) Aula 4 .



Fonte: elaborada pelo autor (2020).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O objeto da didática é o ensino. Ensinar é um processo intencional em relação a quem recebe a comunicação. A intenção, contudo, não atinge o destinatário exatamente como idealizado pelo ensinante ou, em nosso caso, pelos ensinantes e desenvolvedores. Uma vez que o aplicativo é concebido, ele ganha independência nas mãos dos estudantes, que o utilizam dentro da forma e objetivos propostos, mas também fora deles, em dinâmicas próprias. Também particulares são as representações mentais que formam daquilo que percebem, que tentamos acessar de forma indireta por suas manifestações verbais e imagéticas.

Durante nossa investigação, a forma mais frutífera de fazer a ligação entre aquilo que os alunos percebiam, e os modelos que apareciam nos *tablets* e celulares em óculos de RA, foi observá-los durante o uso e questioná-los diretamente sobre o que observavam, solicitando que explicassem *in loco* suas representações pictóricas. Conforme discutiremos a seguir, o primeiro momento do saber aprendido, ocorrido imediatamente após a visualização de cada animação, possuiu estreita relação com a forma como eram representados os modelos. Alguns aspectos eram previstos e intencionais dos ensinantes e desenvolvedor, outros eram resultado de avaliações equivocadas dos tempos escolhidos para representar os fenômenos, do modo como os volumes dos modelos eram alterados, ou mesmo de artefatos dos programas de desenvolvimento, dentre outros. As categorias de análise serviram ao objetivo de evidenciar as relações nas quais o saber ensinado se desviava do saber a ensinar por alguma característica da utilização do aplicativo.

Os resultados para a primeira aula são apresentados na Tabela I. Os problemas foram maiores para a primeira versão do aplicativo, para a qual os tempos de animação se mostraram inadequados, tendo sido uma categoria relevante para todos os assuntos, exceto na representação do Rio São Bartolomeu, principal da bacia.

No caso da localização de Sobradinho, o problema foi magnificado pela apresentação simultânea de outros aspectos geográficos para os quais os alunos voltavam a sua atenção (multiplicidade síncrona). Também foram relevantes neste assunto dois aspectos referentes ao mapa: o ângulo de visão e o descolamento entre modelo e objeto real. Como o mapa quadrilátero do DF é quase simétrico, a depender da posição em que o aluno se posicionava com relação a ele, Sobradinho se localizava acima ou abaixo no mapa. A indicação do nome da cidade em um círculo parece ter dificultado ainda mais a orientação conforme a representação tradicional. Para a primeira versão, o mapa impresso no pôster que servia de marcador não era o mesmo do apresentado nos modelos, sendo que a junção entre ambos não era perfeita. Ao utilizar o *tablet*, os alunos tentavam fazer a correlação, que nem sempre acontecia de modo correto.

Quanto à localização do Brasil, além da questão do tempo, a dimensão com que o globo aparecia no campo de visão também foi um problema. Os alunos focavam em múltiplos aspectos, tentando ver detalhes dos polos e dos continentes. Quando o globo se deslocava ao chão para dar enfoque ao mapa do Brasil, a dimensão continental já havia sido perdida. Na primeira versão, quando os alunos estavam próximos ao mapa, o globo se projetava muito próximo ao rosto dos estudantes e, por vezes, quando estavam inclinados em direção ao marcador, os alunos chegavam a ver o interior da esfera ao invés de seu exterior.

Tabela I - Aula I - Ocorrências das categorias nas turmas por assunto.

Assunto	Categoria	Ocorrências*									
		1ª versão				2ª versão					
		5ºI	5ºII	Total	%	4ºI	4ºII	4ºIII	4ºIV	Total	%
Localização do Brasil	Dimensão ampliada	6	4	10	59	1				1	13
	Tempo de animação	4	3	7	41	2	1	1	3	7	88
	Total	10	7	17	100	2	2	1	3	8	100
Localização do DF	Tempo de animação	3	5	8	100						100
	Total	3	5	8	100	2	2	1	3	8	100
Localização de Sobradinho	Ângulo de visão	2	3	5	17	2		2	1	5	63
	Tempo de animação	4	4	8	28			2	1	3	38
	Multiplicidade síncrona	5	7	12	41						
	Descolamento entre modelo e objeto real	2	2	4	14						
	Total	13	16	29	100	2		4	2	8	100
Localização do ribeirão	Tempo de animação					1	1		2	4	100
	Descolamento entre modelos	4	3	7	70						
	Descolamento entre modelo e objeto real	2	1	3	30						
	Total	6	4	10	100	1	1		2	4	100
Rio principal d bacia	Substituição	1		1	33						
	Descolamento entre modelo e objeto real		2	2	67						
	Total	1	2	3	100						
Conceito de bacia	Abrangência	3	4	7	54	5	2	2	1	10	91
	Tempo de animação	2	4	6	45			1		1	9
	Total	5	8	13	100	5	2	3	1	11	100

*Número de ocorrências por categoria no grupo.

Fonte: elaborada pelo autor (2020).

Localizar corretamente o Ribeirão Sobradinho foi dificultado na primeira versão, pela opção que fizemos de ampliar a unidade hidrológica dele para mostrar de perto a nascente e a foz. O movimento de ampliação, a partir do modelo de mapa, fez com que, em alguns casos, se perdesse a noção de sua posição original. No caso do uso do *tablet*, o mesmo foi verdade para o descolamento em relação ao mapa impresso.

Para o Rio São Bartolomeu, a primeira representação foi feita em linhas contínuas o que ocasionou uma ocorrência de substituição, na qual um aluno questionou o porquê de aparecer aquela “raiz”. Novamente, a diferença entre a representação e o mapa impresso ocasionou incongruências. Por fim, além do tempo de representação, para a bacia hidrográfica, houve associação de identidade entre ela e o ribeirão, entre ela e o Rio São Bartolomeu, e entre ela e a linha que delimitava a bacia a leste.

A Aula 2 foi a mais complexa em termos de representação e os resultados de sua análise são apresentados na Tabela 2. As animações mostravam processos simultâneos com elementos que alteravam formato, posição e velocidade. Gotas de chuva caíam e se infiltravam até que a superfície ficasse saturada, momento no qual escorriam em direção ao vale do ribeirão, antes seco. Quando a chuva cessava, a água do ribeirão secava novamente. Além das gotas que escoavam, uma seta indicando escoamento superficial buscava atrelar o efeito ao conceito. Alguns estudantes, contudo, não conseguiam lê-la a tempo e a animação reiniciava antes que o fizessem. Buscamos estender o tempo na segunda versão, mas houve novas ocorrências. Também foi o caso de, neste assunto, estudantes estarem com a atenção orientada a outros aspectos da representação no momento em que o nome aparecia, deixando de observá-lo por completo. O mesmo ocorreu nos dois assuntos seguintes.

Tabela 2 - Aula 2 - Ocorrências das categorias nas turmas por assunto.

Assunto	Categoria	Ocorrências*										
		1ª versão				2ª versão				3ª versão		
		5ºI	5ºII	Total	%	4ºI	4ºII	4ºIII	Total	%	4ºIV	%
Precipitação e escoamento superficial	Tempo de animação	3	2	5	42	2	1	3	25			
	Multiplicidade síncrona	3	4	7	58	4	3	2	9	75	1	100
	Total	6	6	12	100	4	5	3	12	100	1	100
Infiltração vertical e formação de lençol freático	Loop	2		2	17	1		1	7			
	Dimensão reduzida	3	3	6	50	2	4	2	8	57		
	Multiplicidade síncrona	2	2	4	33	3	1	1	5	36		
	Total	7	5	12	100	5	6	3	14	100		
Infiltração lateral e formação das nascentes	Nuance	4	7	11	55	5	1	2	8	47	2	67
	Ângulo de visão	1	3	4	20	3	2	1	6	35	1	33
	Multiplicidade assíncrona	2	3	5	25		2	1	3	18		
	Total	7	13	20	100	8	5	4	17	100	3	100
Infiltração vertical e formação do aquífero	Transparência	1	4	5	50	4		1	5	45		
	Dimensão reduzida	3	2	5	50		4	2	6	55	3	100
	Total	4	6	10	100	4	4	3	11	100	3	100
Evaporação, evapotranspiração e formação de nuvens	Nuance	9	11	20	47	12	14	8	34	58	5	42
	Concretude	10	13	23	53	8	12	5	25	42	7	58
	Total	19	24	43	100	20	26	13	59	100	12	100

*Número de ocorrências por categoria no grupo.

Fonte: elaborada pelo autor (2020).

No caso da infiltração vertical e formação do lençol freático, ocorreu em três casos totais (primeira e segunda versões) de o aluno iniciar a observação ao final da animação e interpretar seu reinício como a

seqüência dos eventos, afirmando que a água secava e então voltava a chover (categoria *loop*). Essa não era nossa intenção, uma vez que a animação seguinte tomava como ponto de partida o final do anterior. Além da multiplicidade síncrona, a dimensão reduzida da representação das gotas e do lençol freático em comparação ao terreno fazia com que, por vezes, ele não fosse percebido. Isso foi corrigido na última versão, que mostra uma secção menor do terreno, portanto, com elementos ampliados.

A infiltração lateral era sutil. O azul por entre espaços na textura lateral do terreno mudava de forma, passando a gradativamente preencher a terra sob o vale do ribeirão. Ocorre que detalhes como esse passavam despercebidos para alguns estudantes (categoria *nuance*), ainda que o lençol estivesse em seu campo de visão, a movimentação era ignorada. Outra forma pela qual o processo passava despercebido era quando os alunos observavam o modelo por outro ângulo (categoria *ângulo de visão*). Em ambos os casos, a tendência foi atribuir a formação do corpo d'água às chuvas.

Na formação do aquífero, foram duas as categorias que causaram discrepância entre o saber a ensinar e o saber ensinado. O fluxo de água era representado por pequenos pontos nas duas primeiras versões do aplicativo. Na terceira versão, as gotas eram um pouco maiores, mas o efeito se repetiu. Alguns alunos que observavam o modelo de um ângulo passível de visualizar o fenômeno não o percebiam, devido à dimensão da representação. É sensivelmente diferente do caso da *nuance*, na qual a instância objeto da ação é vista, mas as alterações nela não o são. A transparência, por sua vez, não era completa, o que dificultou dar a impressão de fratura à rocha. Alguns alunos descreveram a ação como água passando pela "areia".

Para a evaporação e evapotranspiração, foram duas categorias de ocorrências, que se repetiram em todas as versões. Quanto a *nuance*, ela se referiu à diferença entre a evaporação e a evapotranspiração. Muitos estudantes não notavam a diferença entre o que estava escrito nas setas que indicavam o vapor de água e de onde elas partiam. Quanto à representação de raios solares, por sua vez, estes eram mostrados como finas colunas semitransparentes, ao mesmo tempo em que aparecia o termo raios solares em uma representação acima deles. Foi recorrente a associação a barras. Na mesma categoria, foram agrupados aqueles que não fizeram a relação entre as setas de evaporação e evapotranspiração, e o vapor de água.

Os resultados para a Aula 3 são apresentados na Tabela 3. Nessa aula tivemos o menor número de ocorrências com relação à compreensão dos modelos individualmente. A única categoria registrada nesse sentido ocorreu na captação e adução para estação de tratamento de água de Sobradinho, que era mostrada captando água da superfície e do subsolo. Em dois casos, os alunos, ao explicar a origem da água, apontaram apenas para a fonte superficial, ignorando a outra. Os demais casos se referiram à complexidade e à fragmentação. O primeiro caso se associou, sobretudo, à última versão do aplicativo, na qual foram utilizados os cartões. O quebra-cabeça se mostrou por demais complexo, para alguns

estudantes, principalmente para a etapa de tratamento e distribuição, que admitia mais possibilidades de encaixe, uma vez que havia duas estações de tratamento.

Tabela 3 - Aula 3 - Ocorrências das categorias nas turmas por assunto.

Assunto	Categoria	Ocorrências								
		1ª versão					2ª versão			
		5ºI	5ºII	4ºI	4ºII	4ºIII	Total	%	4ºIV	%
Captação e adução	Substituição			1			1	33		
	Complexidade								2	100
	Multiplicidade síncrona		2				2	67		
	Total		2	1			3	100	2	100
Tratamento e distribuição	Fragmentação	4		8	7	7	26	100		
	Complexidade								5	100
	Total	4		8	7	7	26	100	5	100
Rede Coletora de esgotos	Fragmentação	1			2	1	4	80		
	Complexidade					1	1	20	3	100
	Total	1			3	1	5	100	3	100
Tratamento e despejo	Fragmentação		1				1	100		
	Complexidade								2	100
	Total		1				1	100	2	100

*Número de ocorrências por categoria no grupo.
 Fonte: elaborada pelo autor (2020).

A fragmentação, por sua vez, ocorreu exclusivamente na primeira versão. Isso faz sentido, uma vez que as páginas do fotolivro não permitiam saber ao certo o ponto de conexão entre as unidades representadas, a não ser que fosse feita a leitura do texto, o que raramente ocorria. Foi justamente com esse intuito que idealizamos o quebra-cabeças. Duas coisas devem ser ressaltadas. Em primeiro lugar, não foi nosso objetivo mostrar as etapas de tratamento de água e esgoto, mas apenas as estações como componentes do sistema. Isso certamente é um dos fatores que explica a quase ausência de incongruências na interpretação das etapas em separado.

Em segundo lugar, a complexidade observada na segunda versão não é *a priori* indesejada, uma vez que o ensino exige desafio para que o interlocutor pense a respeito de algo. O conhecimento exige um saber que agrega uma condição de veracidade, a exigência racional e elementos de prova (CASTRO; CARVALHO, 2018). É, portanto, construção.

Ao contrário das demais aulas, a Aula 4 não continha animações específicas para os saberes a ensinar, de modo que as categorias anteriormente descritas não tiveram forte correlação com os assuntos; pelo contrário, a concepção do jogo se deu de tal modo que as relações entre causas e efeitos não fossem apresentadas. A função do aplicativo, pois, foi revelar a dimensão virtual somente quando os alunos/investigadores estivessem à procura de pistas para solucionar os problemas. Também foi possível, por meio dos modelos, sobrepor camadas de informação. Nosso objetivo com esta ação foi, utilizando os

saberes trabalhados nas aulas anteriores, compreender os problemas do ribeirão e buscar soluções, aproximando alunos da realidade dele e criando identificações de lugar.

O mapa impresso era constituído de uma imagem aérea sem qualquer indicação além dos números e marcadores. Sobre ela eram adicionados elementos virtuais, que evidenciavam limites de parques, locais onde se podia achar lixo e outras fontes de risco ambiental. Os aparelhos serviam, portanto, como uma espécie de lupa de aumento para revelar uma dimensão encoberta, oculta no mapa e oculta também em nosso dia-a-dia. Os problemas do meio ambiente estão lá, mas as hiperestruturas de civilidade que os produzem também nos envolvem, não nos permitindo percebê-los. Aqui eles são revelados no apontar dos aparelhos informáticos.

A escola também estava lá. Ponto preferido no mapa, havia sido modelada, incluindo a pintura do muro da frente como textura. A causa de problema que se associava a ela era a área cimentada, representada por uma foto do pátio da escola com água empoçada. O pátio era imediatamente reconhecido e o ponto de interrogação permanecia por um tempo no ar. Área cimentada? O que poderia ter isso a ver com qualquer problema do ribeirão?

Ao final da atividade, seguia-se o momento de discussão, no qual essa e outras dúvidas eram discutidas, hipóteses levantadas e soluções confrontadas. Uma questão de difícil resposta foi a presença de bactéria hospitalar tão distante do hospital. As explicações foram tão variadas quanto criativas. Entre pacientes que poderiam ter se banhado no ribeirão e correntes de ar que poderiam conduzir essas bactérias ao corpo d'água, surgiram relatos com tom de veracidade sobre sacos com lixo hospitalar que supostamente teriam sido avistados em descampados. Tendo ou não relação com um problema concreto, a atividade serviu à reflexão sobre a realidade do ribeirão, a da comunidade em seu entorno e a escola.

5 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio de nossa análise, demonstramos a necessidade de conhecer a realidade local e incluir professores e estudantes no processo de desenvolvimento para efetivação da transposição didática do saber sábio ao saber a ensinar e, deste, ao saber ensinado, com vistas à educação ambiental baseada no lugar. A inclusão dos estudantes na determinação do saber a ensinar contraria a proposição de Chevallard (1998), para quem a dimensão do saber aprendido não deve ser objeto da didática.

Discutimos a dimensão filosófica dessa afirmação, contrapondo a dinâmica de produção do conhecimento matemático àquela das ciências ambientais e propondo uma interpretação ontológica diversa da natureza do saber, mais adequada às ciências ambientais, ancorada no conceito da objetividade-entre-parênteses de Maturana e Varela (2001).

Além da proposta teórica, nosso trabalho apresentou como produto um aplicativo em versão para celular com óculos de RA e tablet intitulado O Ribeirão e a Escola. As quatro aulas que ele abarca foram idealizadas para turmas de 4o ano, mas se mostraram efetivas também para uso com os 5os anos. O método de desenvolvimento e as categorias de análise que utilizamos servem como parâmetros para o desenvolvimento de aplicativos em RA para o ensino de ciências.

Embora o estudo do engajamento dos alunos não fosse o foco de nosso trabalho, notamos que ele era maior nas atividades da Aula 3 e 4 que abarcavam a resolução de problemas. A última, em particular, teve grande adesão. Recomendamos para investigações futuras a avaliação do potencial pedagógico de uso de RA com problemas pouco estruturados e gamificação.

O processo de desenvolvimento de aplicativos em RA é laborioso e exige domínio de diferentes programas e plataformas. A criação de ferramentas autorais simplificadas que possam ser utilizadas por professores pode ampliar a forma de participação da comunidade escolar nas etapas de desenvolvimento desse tipo de aplicativo.

Durante a utilização do aplicativo houve três casos de não adaptação à utilização do aparelho celular com óculos de RA. Os sintomas incluíram náuseas, dor de cabeça e vômitos. Melhoras nos dispositivos e tecnologias de visão estereoscópica são desejáveis.

REFERÊNCIAS

AXT, M., SCHUCH, E. M. M. Ambientes de realidade virtual e educação: que real é este? **Interface Comunic, Saúde, Educ**, v. 5, n. 9, p. 11-30, 2001.

ARTAUD, Antonin. **The Theater and its Double**. New York: Grove Weiden, 1958. 159 p. Publicação original: 1938.

AZUMA, Ronald; BAILLOT, Yohan; BEHRINGER, Reinhold; FEINER, Steven; JULIER, Simon; MACINTYRE, Blair. Recent Advances in Augmented Reality. **IEEE Computer Graphics and Applications**, v.21, n.6, p.34-47, 2001.

BARDIN, L. L. **Analyse de contenu**. França: PressesUniversitaires, 1977. 232 p.

BERLINCK, Christian Niel; CALDAS, Ana Luiza Rios; MONTEIRO, Aline H. R. Rendall; SAITO, Carlos Hiroo. Contribuição da educação ambiental na explicitação e resolução de conflitos em torno dos recursos hídricos. **Ambiente e Educação**, v.8, p. 117-129, 2003.

CASTRO, Amelia Domingues de; CARVALHO, Anna Maria Pessoa de (org.). **Ensinar a ensinar**: didática para a escola fundamental e média. 2 ed. São Paulo, SP: Cengage, 2018.

CHAPIN III, F. Stuart; KNAPP, Corrine N. Sense of place: A process for identifying and negotiating potentially contested visions of sustainability. **Environmental Science &Policy**, v. 53, pp. 38-46, 2015.

CHEVALLARD, Yves. **La Transposición Didáctica: Del Saber Sabio al Saber Enseñado**. 3. ed. Tradução Claudia Gilmar. Buenos Aires: Aique Grupo Editor, 1998.

COELHO, Maria Célia Nunes. Impactos ambientais em áreas urbanas: teorias, conceitos e métodos de pesquisa. In: GUERRA, Antonio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista (org.). **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2011. 418 p.

EIJCK, Michiel van; ROTH, Wolff-Michael. Towards a chronotopic theory of “place” in place-based education. **Cult Stud of Sci Educ**, v. 5, p. 869-898, 2010.

ELFER, Charles Joseph. **Place-based education: a review of historical precedents in theory and practice**. 2011. 463 f. Dissertação (Doutorado em Filosofia) – University of Georgia, Athens, Georgia, 2011.

ESTEBAN, M. Paz Sandín. **Pesquisa Qualitativa em Educação: fundamentos e tradições**. Porto Alegre: AMGH, 2010. 268 p.

GARONCE, Francisco; LACERDA SANTOS, Gilberto (2012) Transposição Midiática: da Sala de Aula Convencional para a Presencial Conectada. **Educ. Soc.**, Campinas, v. 33, n. 121, p. 1003-1017, out./dez. 2012

HEIM, Michael. **The Metaphysics of Virtual Reality**. New York: Oxford University Press, 1994. 208 p.

HOUNSELL, Marcelo da Silva; TORI, Romero; KIRNER, Claudio. Realidade Aumentada. In: TORI, Romero; HOUNSELL, Marcelo da Silva (org.). **Introdução a realidade virtual e aumentada**. Porto Alegre (RS): SBC, 2018.

KAZAZIAN, Thierry. **Design e desenvolvimento sustentável: haverá a idade das coisas leves**. São Paulo: SENAC, 2005. 196 p.

LENGEN, Charis; KISTEMANN, Thomas. Sense of place and place identity: Review of neuroscientific evidence. **Health & Place**, v. 18, pp. 1162-1171, 2012.

LEVY, Pierre. **As Tecnologias da Inteligência: O Futuro do Pensamento na Era da Informática**. São Paulo: Editora 34, 2011. Publicação original: 2011.

MATURANA, Humberto R.; VARELA, Francisco J. **A árvore do conhecimento: as bases biológicas da compreensão humana**. Tradução Humberto Mariotti e Lia Diskin. São Paulo: Palas Athena, 2001. 288p.

MILGRAM, Paul; KISHINO, Fumio. A taxonomy of mixed reality visual displays. **IEICE Transactions on Information Systems**, v. E77-D, n.12, 1994.

OLEKSY, Tomasz; WNUK, Anna (2016) Augmented places: An impact of embodied historical experience on attitudes towards places. **Computers in Human Behaviour**, v. 57, p. 11-16, 2016.

RICHMOND, Brian G.; ROACH, Neil T.; OSTROFSKY, Kelly R. Evolution of the Early Hominin Hand. In: KIVELL, Tracy L.; LEMELIN, Pierre; RICHMOND, Brian G.; SCHMITT, Daniel. **The Evolution of the Primate Hand**. Springer, 2016. 589 p.

SEMKEN, Steven; WARD, Emily Geraghty; MOOSAVI, Sadredin; CHINN, Pauline W. U. Place-Based Education in Geoscience: Theory, Research, Practice, and Assessment. **Journal of Geoscience Education**, v. 65, pp. 542–562, 2017.

SOBEL, David. **Place-based education: Connecting classrooms and communities**. Great Barrington, MA: The Orion Society, 2005.