

Design de Sequências Didáticas e Jogos Educacionais Complexos: proposição de estratégia para mobilização do Modelo de Reconstrução Educacional

Design of Teaching and Learning Sequences and Complex Educational Games: A Strategic Proposal for Mobilizing the Model of Educational Reconstruction

Michelle Garcia da Silva ^a, Roberta Smania Marquês ^b, Helaine Sivini Ferreira ^c

^a Departamento de Biologia, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, Brasil; ^b Departamento de Biologia, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, Brasil; ^c Departamento de Educação, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Brasil.

Resumo. O Modelo de Reconstrução Educacional (MRE) tem sido empregado em pesquisas no campo da Educação em Ciências como suporte ao design educacional, especialmente por meio da pesquisa de desenvolvimento. Considerando suas premissas teóricas e metodológicas, buscamos responder à seguinte questão: *Como mobilizar os aspectos teóricos e metodológicos do MRE para o design de Sequências Didáticas (SD) e Jogos Educacionais Complexos (JEC)?* Para isso, propomos uma Estratégia de Mobilização que articula recursivamente três elementos: características dos ambientes de ensino e aprendizagem; percurso de design; e quadro de potencialidades pedagógicas. Trata-se de um esforço contínuo de instrumentalização do processo de design com base no MRE, oferecendo caminhos promissores para sua aplicação em diferentes tipos de intervenção. Compreendemos, assim, que o MRE pode ser ajustado de acordo com as especificidades da intervenção educacional. No caso dos JEC, por exemplo, é necessária uma fase voltada à pesquisa preliminar lúdica. No entanto, defendemos que, independentemente do tipo de intervenção, a primeira fase do design educacional fundamentado no MRE culmina na identificação das potencialidades pedagógicas. Os próximos passos para o avanço do que aqui foi proposto consistem em aprofundar a compreensão sobre como o MRE pode contribuir para os processos de validação das intervenções educacionais.

Palavras-chave:
Educação em Ciências,
Pesquisa Social, Design
Instrucional, Design-
Based Research,
Potencialidades
Pedagógicas.

Submetido em
17/04/2024
Aceito em
14/03/2025
Publicado em
23/04/2025

Abstract. The Model of Educational Reconstruction (MER) has been employed in research within the field of Science Education to support educational design, particularly through development research. Based on its theoretical and methodological premises, we aim to address the following question: *How can the theoretical and methodological aspects of the MER be mobilized for the design of Teaching and Learning Sequences (TLS) and Complex Educational Games (CEG)?* To this end, we propose a Mobilize Strategy that recursively articulates three elements: the characteristics of teaching and learning environments; the design trajectory; and the pedagogical potentialities framework. This represents an ongoing effort to operationalize the design process based on the MER, offering promising pathways for its application across different types of interventions. We argue that the MER can be adjusted according to the specificities of the educational intervention. In the case of CEG, for instance, a phase dedicated to preliminary ludic research is required. However, we maintain that, regardless of the type of intervention, the first phase of educational design grounded in the MER culminates in the identification of pedagogical potentialities. The next steps toward advancing what has been proposed here involve deepening the understanding of how the MER can support the validation processes of educational interventions.

Keywords: Science
Education, social
research, Instructional
Design, Design-Based
Research, Pedagogical
Potentialities.

Introdução

Os resultados de Pesquisas Baseadas em *Design* (PBD) têm se mostrado como importantes aportes teórico-metodológicos na promoção e implementação de intervenções educacionais, potencializando os processos de ensino e aprendizagem (Bruno & Carolei, 2018; Chusinkunawut et al., 2021; Johann et al., 2025; Lie et al., 2021). Uma das principais características desses estudos é o *design* de instrumentos e estratégias metodológicas, tanto para pesquisa como para o ensino, facilitando a relação de aspectos teóricos (quer sejam de conceitos específicos, quer sejam os pedagógicos) com a prática educacional.

Nesse contexto, em 1996, um grupo de pesquisadores alemães propôs o Modelo de Reconstrução Educacional (MRE) e desde então, esse modelo vem sendo usado na pesquisa em Educação de Ciências, predominantemente, como um referencial metodológico (Duit, 2006; Duit et al., 2012; Kersting et al., 2018; Komorek & Kattmann, 2008; Niebert & Gropengiesser, 2013; Reinfried et al., 2015). O MRE estrutura o processo de *design* instrucional a partir de três componentes: i) Análise da estrutura do conteúdo; ii) Investigações sobre as perspectivas dos estudantes; e iii) *Design* e avaliação de ambientes de ensino e aprendizagem (Duit et al., 2012). Contudo, ressaltamos que conceber o MRE apenas como referencial metodológico, desconsidera os aspectos teóricos que justificam a escolha de seus componentes e a relação estabelecida entre eles (Duit et al., 2012; Kattmann et al., 1996; Silva, 2019).

Portanto, é fundamental evidenciar que não compartilhamos do entendimento do MRE a partir de uma perspectiva predominantemente metodológica. Ampliando essa ideia, defendemos que o MRE se caracteriza a partir da integração das grandes teorias (teorias parciais) que o fundamentam, com o quadro teórico intermediário (meta-teoria) que o define e com a ferramenta de *design* (teorias tornadas utilizáveis)^{1,2} a ele associada. Essa defesa foi resgatada da compreensão apresentada por Kattmann (2007, p.97, tradução nossa), que afirma que o modelo é “uma meta-teoria, em que várias teorias parciais são usadas para emoldurar o ensino e a aprendizagem profissionais”. O autor destaca ainda, que essas teorias parciais são reunidas, modificadas e tornadas utilizáveis no MRE.

Visando contribuir para o avanço das discussões teóricas do modelo, propusemos anteriormente o Quadro Intermediário Construtivista da Reconstrução Educacional (QICRE), destacando quais são os aspectos das grandes teorias que são considerados no MRE, bem como a forma que estes aspectos compõem seu quadro intermediário para fundamentar teoricamente o processo de *design* de ambientes de ensino e aprendizagem (Silva & Ferreira, 2020; Silva et al., 2022). Então, como um quadro intermediário, o MRE estrutura o processo de *design* fornecendo orientações teóricas que podem ser do tipo epistemológicas, cognitivas, pedagógicas e metodológicas (Silva, 2019). Como uma ferramenta de *design*, o MRE instrumentaliza o processo de *design* por meio de seus três

¹ Para ampliar a compreensão sobre grandes teorias, quadros intermediários e ferramentas de *design* ver Ruthven et al. (2009).

² Para uma compreensão aprofundada do MRE como um quadro teórico intermediário e como uma ferramenta de *design* ver Silva and Ferreira (2020).

componentes e das interações que eles estabelecem entre si (Duit et al., 2012), que conduzem a compreensão do percurso de *design* característico do modelo.

Diante do exposto, corroboramos a ideia de que o MRE é um modelo valioso e promissor para pesquisas de desenvolvimento (Labude, 2008), que enfatizam a natureza prática das intervenções educacionais (Sarmento et al., 2013) e, as tendo como objeto de pesquisa, têm o propósito de desenvolvê-las para solucionar problemas reais identificados da prática educativa (Plomp, 2013). Nesse contexto, estão as pesquisas que se dedicam ao desenvolvimento de Sequências Didáticas (SD) e de Jogos Educacionais Complexos (JEC).

Quando falamos sobre o desenvolvimento de SD, é importante compreender que, no Brasil, utiliza-se tradicionalmente a definição proposta por Zabala (1998). No contexto internacional, uma definição comumente adotada é a de Teaching and Learning Sequence (TLS), desenvolvida por Méheut e Psillos (2004). Essas concepções não são contraditórias, mas apresentam diferenças significativas em seus elementos estruturantes (Mesquita et al., 2021). No entanto, consideramos que nenhuma delas é, por si só, suficiente para enquadrar as SD no contexto do MRE. Por isso, propomos uma ampliação do conceito de SD, entendendo-o como um conjunto de atividades ordenadas, articuladas e estruturadas com base em um processo gradual de investigação, que entrelaça as perspectivas científica e discente, com o intuito de alcançar objetivos educacionais específicos e oferecer soluções para problemas educacionais presentes em contextos de prática de Educação em Ciências (Silva et al., 2022).

No que concerne aos JEC, é importante destacar o fato de que mais do que instrumentos, esses jogos podem se caracterizar como intervenções que oportunizam experiências de aprendizagem completas, uma vez que os JEC funcionam como mediadores entre o sujeito e o conhecimento. Neste sentido, diferenciamos os JEC dos tradicionais Jogos Educacionais, que são desenvolvidos, aplicados e avaliados sem nenhum rigor teórico e metodológico (Lira & Smania-Marques, 2021).

Os JEC são definidos como jogos desenvolvidos com a intencionalidade de propiciar uma aprendizagem ativa, que equilibram os aspectos de ludicidade com os aspectos educacionais, para promover um ambiente favorável à aprendizagem, estruturados com suporte em processos de *design* orientados por referenciais teóricos e metodológicos consistentes (Lira & Smania-Marques, 2021; Smania-Marques et al., 2024). É impreterível que seja identificado um problema educacional real para dar início ao desenvolvimento de um novo JEC (e de uma nova SD). A principal característica desses jogos é a definição de objetivos que visem contemplar tanto uma dimensão lúdica, que envolve aspectos como socialização, afetividade, diversão, prazer e desprazer (Kishimoto, 2005); como uma dimensão educacional, que envolve o desenvolvimento de competências e/ou habilidades e a aprendizagem de conteúdos (Zabala, 1998) com uma abordagem multidimensional (Conrado & Nunes-Neto, 2018).

Mobilizar os aspectos teóricos e metodológicos do MRE no processo de *design* de SD e JEC não é tarefa simples. Esse modelo apresenta um conjunto extenso de aspectos teóricos e interações metodológicas complexas que além de serem compreendidos claramente, devem ser considerados em todo percurso de *design* proposto a partir dele. Assim, é importante construir estratégias de mobilização que auxiliem e garantam a implementação dos MRE em processos de *design* de intervenções educacionais. Considerando o que foi apresentado, este

trabalho busca responder à seguinte questão de pesquisa: Como mobilizar os aspectos teóricos e metodológicos do MRE para o *design* de Sequências Didáticas e de Jogos Educacionais Complexos na Educação em Ciências?

Para respondê-la, os objetivos são: (1) consolidar a ideia de que o MRE é um quadro intermediário e uma ferramenta de *design* promissores para apoiar o processo de *design* de ambientes de ensino e aprendizagem; (2) apresentar uma estratégia de mobilização viável para a implementação desse modelo em processos de *design* de SD e de JEC.

O texto a seguir apresenta, inicialmente, os aspectos estruturantes do MRE, evidenciando seu quadro teórico intermediário — ou seja, como determinados elementos das grandes teorias, como as bases construtivistas, são modificados e reconstruídos para compor a estrutura teórica do modelo. Em seguida, apresentamos a estratégia de mobilização dos fundamentos teóricos e metodológicos do MRE, conforme proposta neste artigo, destacando como essa estratégia pode ser aplicada ao *design* de Sequências Didáticas e Jogos Educacionais Complexos. Por fim, teceremos algumas considerações finais, com o objetivo de evidenciar as implicações da proposta para a pesquisa e o ensino de Ciências, além de apontar possíveis direções para investigações futuras e para avanços na discussão sobre o MRE.

Aspectos estruturantes do modelo de reconstrução educacional

Os aspectos estruturantes do MRE versam sobre os elementos teóricos e metodológicos que fundamentam seu quadro teórico intermediário e estruturam sua ferramenta de *design*. Como dissemos, a discussão metodológica do MRE é bastante difundida na literatura da área de Ensino de Ciências. Assim, nesse momento, a ênfase será na ampliação da discussão teórica do modelo, considerando, como ponto de partida as contribuições do Silva (2019).

Caracterizar teoricamente o MRE, significa apontar que aspectos de grandes teorias de referência são considerados na estruturação desse modelo, mostrar como esses aspectos são modificados, aprimorados e/ou reestruturados para a composição do seu quadro intermediário e como podem ser mobilizados através da ferramenta de *design* associada a ele.

Por exemplo, nos termos da *Design-Based Research* (DBR), o objetivo da pesquisa preliminar é a análise exaustiva do contexto e do problema educacional, juntamente com o desenvolvimento de um quadro conceitual de referência, baseado na revisão da literatura (Plomp, 2013). No Quadro Intermediário Construtivista da Reconstrução Educacional (QICRE), o aspecto relativo à pesquisa preliminar é reconstruído a partir da interação de aspectos teóricos provenientes da DR e das Bases Construtivistas. Assim, propomos a ideia de uma pesquisa preliminar estendida, que amplia sua natureza com o objetivo de alcançar as concepções pré-instrucionais dos estudantes, estabelecer relações entre esses conhecimentos e os científicos, e manter o pressuposto de que, no processo de *design* do ambiente de aprendizagem, os conceitos científicos têm o mesmo peso que as concepções dos estudantes, consideradas ferramentas de ensino.

Os aspectos elencados das grandes teorias que foram modificados para propor o QICRE estão sistematizados no Quadro 1.

O primeiro aspecto estruturante do MRE a ser considerado versa sobre as grandes teorias que o influenciam. Segundo Silva (2019), esse modelo têm as bases construtivistas, a tradição alemã de *Building* e *Didaktik* e a Pesquisa Baseada em *Design* como grandes teorias. Os elementos capturados desses referenciais teóricos trazem para o QICRE contribuições de caráter: i) epistemológico - indicam a teoria geral do conhecimento que fundamenta as ideias do MRE; ii) cognitivo - sugerem explicações para como se dá a aprendizagem do conhecimento científico; iii) pedagógico - indicam como os processos de ensino e aprendizagem são inferidos no MRE; e iv) metodológico - elucidam o percurso de *design* descrito no MRE para o planejamento de processo de ensino, quer seja fruto de uma pesquisa ou não.

A clarificação do QICRE permitiu a estruturação de uma definição, que consideramos importante para auxiliar na compreensão do MRE e na sua implementação em processos de pesquisa e ensino. Essa definição, construída com base em vários aspectos daqueles elencados no Quadro 1, é aquela que situa o que deve ser compreendido por Potencialidades Pedagógicas (PP). Nesse contexto, entende-se por PP as demandas educacionais oriundas das aproximações (que geram necessidades de aprendizagem) e dos distanciamentos (que geram dificuldades de aprendizagem) entre as concepções pré-instrucionais discentes e as científicas de referência, que precisam ser reconstruídas a partir de estratégias metodológicas. Um esquema de estruturação das PP pode ser visto na Figura 1.

Portanto, trata-se do conjunto de necessidades de aprendizagem, de dificuldades de aprendizagem e de estratégias metodológicas que emergem da análise da clarificação do conteúdo e da análise das perspectivas dos estudantes sobre um determinado conteúdo científico – ou seja, do diálogo entre as concepções científicas e as perspectivas discentes. Essas PP agregam aspectos relativos à estrutura do conteúdo a ser ensinado e às características cognitivas e afetivas dos estudantes, considerando aspectos como motivação, interesse e engajamento. Em suma, através das PP, é possível definir, de forma não arbitrária, os princípios de *design*, os objetivos educacionais e a estrutura do ambiente de ensino e aprendizagem que se pretende desenvolver.

Tomando como fundamento a perspectiva do MRE sobre o processo de aprendizagem da ciência, pautada nas bases construtivistas³, considera-se que as necessidades de aprendizagem são geradas das concepções pré-instrucionais que guardam aproximações com as concepções científicas. Essas concepções próximas, precisam de (re)construções que envolvem enriquecimentos, complementações, ampliações e aprimoramentos, para ficarem ainda mais alinhadas com o conteúdo científico. Já as dificuldades de aprendizagem são geradas das concepções pré-instrucionais que se distanciam do que é atualmente aceito na comunidade científica sobre um determinado conteúdo. Essas concepções distantes, precisam de (re)construções que envolvem novas elaborações, organizações e estruturações, no sentido de se tornarem mais próximas daquilo que é apresentado na ciência.

³ Para aprofundar o conhecimento sobre o processo de aprendizagem da ciência à luz do Modelo de Reconstrução Educacional ver Silva e Ferreira (2020) e Duit et al. (2012).

Quadro 1. Aspectos das grandes teorias importados e/ou reconstruídos no Quadro Intermediário Construtivista da Reconstrução Educacional (QICRE).

Grande Teoria de referência	Aspectos Teóricos elencados das grandes teorias de referência	Aspectos Teóricos transpostos e/ou reconstruídos no quadro intermediário
Bases Construtivistas	Epistemologia Construtivista 1. Defende a mistura do empírico e do conceitual, proveniente da razão, como fonte do conhecimento. 2. Concebe o conhecimento da ciência como intersubjetivo.	Ideias do Modelo de Reconstrução Educacional 1. O conhecimento necessário para desenvolver ambientes de ensino e aprendizagem da ciência advém do conhecimento conceitual da ciência e do conhecimento pré-instrucional ⁴ dos estudantes, mais que isso, das relações que podem ser estabelecidas entre estes conhecimentos. 2. A estrutura do conhecimento científico é fundamentalmente diferente da estrutura do conhecimento a ser ensinado, pois os objetivos para os quais cada estrutura é criada são distintos.
	Pedagogia Construtivista: abordagem clássica da Mudança Conceitual 3. A aprendizagem é vista como a substituição de concepções pré-instrucionais por ideias científicas. 4. As ideias dos estudantes são entendidas como obstáculos para a aprendizagem. 5. A aprendizagem é pautada em aspectos puramente racionais. 6. Processo de aquisição de conhecimento é visto como um processo de construção individual.	Reconstrução Conceitual 3. A aprendizagem é vista como a reconstrução de concepções pré-instrucionais por ideias científicas. 4. As concepções dos estudantes são entendidas como pontos de partida, sendo ferramentas necessárias aos processos de ensino e aprendizagem. 5. A aprendizagem é pautada em aspectos racionais, afetivos e situacionais. 6. Processo de aquisição de conhecimento é visto como um processo de construção individual, ativado dentro de um determinado ambiente social e material.
Tradição alemã de <i>Bildung e Didaktik</i>	Análise Didática 7. Princípio da primazia dos objetivos e intenções de ensino no processo de planejamento da instrução.	Análise da Importância Educacional 7. O primeiro passo para o planejamento de ambientes de ensino e aprendizagem é a definição dos objetivos de aprendizagem, pautados nas perspectivas dos estudantes e na estrutura do conteúdo científico a ser ensinado.
	Interação fundamental das variáveis instrucionais 8. A importância em considerar a interação fundamental de todas as variáveis que determinam o planejamento da instrução. 9. A interação entre as variáveis instrucionais é influenciada significativamente pelas pré-condições intelectuais e comportamentais, bem como pelas relações socioculturais dos estudantes.	Interação fundamental entre os componentes do Modelo de Reconstrução Educacional 8. A necessária interação entre os três componentes do MRE: análise da estrutura do conteúdo, investigações sobre as perspectivas dos estudantes e <i>design</i> e avaliação de ambientes de ensino e aprendizagem. 9. Entendimento de que o estudante é um sujeito socialmente situado e que isso é um aspecto importante no planejamento de ambientes de ensino e aprendizagem.
	Processo de Elementarização 10. As ideias elementares de um conteúdo científico precisam ser identificadas levando em consideração os objetivos de aprendizagem e as perspectivas dos estudantes Processo de clarificação do conteúdo.	Processo de clarificação do conteúdo 10. A clarificação do conteúdo permite resgatar no conteúdo científico aquilo que sua abstração e redução desconsideraram, tentando, com isso, definir as ideias estruturantes de um determinado conteúdo científico, a partir de uma perspectiva educacional.
Pesquisa baseada em Design	Características da Pesquisa 11. Interventiva, colaborativa, fundamentalmente responsiva, teoricamente fundamentada e iterativa.	Características da Pesquisa 11. Interventiva, colaborativa, fundamentalmente responsiva, teoricamente fundamentada e iterativa
	Fases da Pesquisa 12. Pesquisa preliminar, fase de prototipagem, fase de avaliação.	Fases da Pesquisa 12. Pesquisa preliminar estendida (entrelaçamento entre aspectos do conteúdo científico e das perspectivas discente), fase de prototipagem e fase de avaliação.
	Processo de design 13. Cíclico e iterativo	Processo de design 13. Procedimento recursivo

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2022).

⁴ As concepções pré-instrucionais são aquelas que caracterizam a compreensão dos aprendizes sobre determinado conteúdo antes da instrução ou da intervenção educacional.

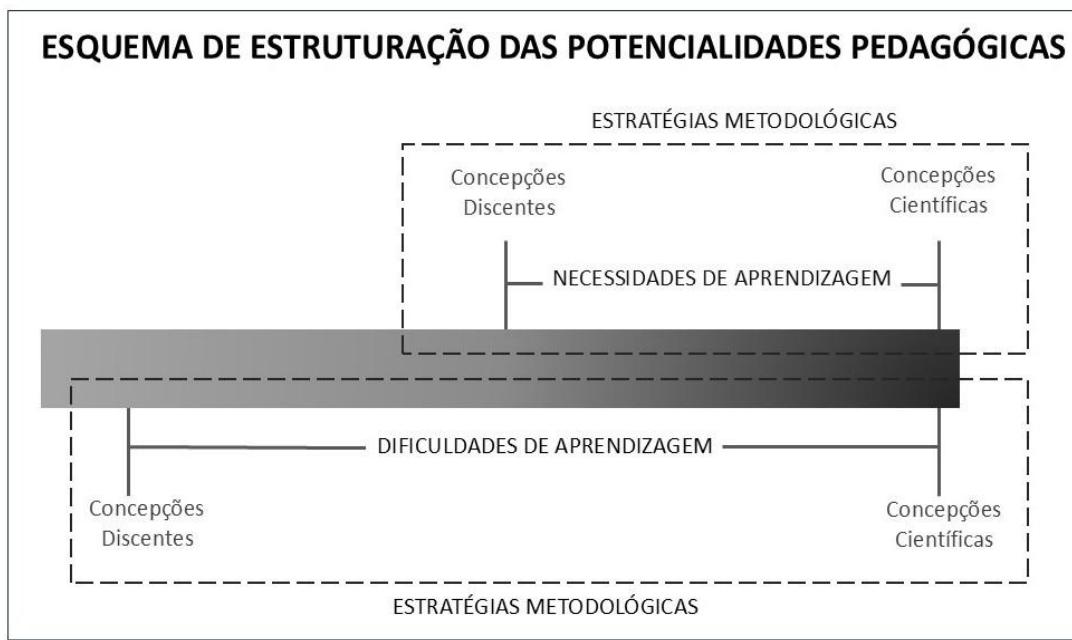


Figura 1. Esquema de Estruturação das Potenciais Pedagógicas. Fonte: Autoria própria

A intenção, nestes casos, não é substituir o conhecimento pré-instrucional pelo científico, nem propor uma educação científica. Outrossim, trata-se de apresentar explicações fundamentadas no conhecimento científico como uma possibilidade viável para a compreensão do mundo, do universo e de si mesmo, bem como para a formação cultural e social, a resolução de problemas e a tomada de decisões. Em outras palavras, trata-se de ampliar o repertório de conhecimentos dos discentes por meio da (re)construção de explicações científicas.

A finalidade da Reconstrução Educacional é promover uma educação dialógica entre diferentes formas de conhecimento, em contraposição a uma formação de caráter absolutista, baseada em um único modo de compreender a realidade. É relevante explicitar que este propósito incorpora o argumento de que para concordar e até mesmo para discordar de algo, é preciso anteriormente tê-lo compreendido, considerando os diferentes pressupostos metafísicos, epistemológicos e culturais relativos à natureza dos conhecimentos. Logo, os ambientes de ensino e aprendizagem devem promover contexto favorável para que os processos de reconstrução de conhecimento, que não são simples, aconteçam na estrutura cognitiva dos estudantes.

Por fim, destacamos o entendimento sobre as estratégias metodológicas, que são possibilidades de enfrentamento das necessidades e dificuldades de aprendizagem, que auxiliam no *design* da intervenção educacional. É no âmbito das estratégias metodológicas que são identificados e estruturados os pontos de partida do processo de ensino, a partir do conhecimento pré-instrucional, das necessidades de aprendizagem e dos interesses de aprendizagem dos estudantes.

Em suma, por meio das PP é possível definir de forma não arbitrária, os princípios de *design*, os objetivos educacionais e a estrutura do ambiente de ensino e aprendizagem que se pretende desenhar. Consideramos que a proposta de compreensão das PP e de seu esquema de estruturação no contexto da Reconstrução Educacional constitui um esforço singular do

nosso grupo de pesquisa, que expressa a intenção de instrumentalizar o *design* educacional com base no MRE. Essa iniciativa busca suprir uma lacuna nos textos sobre o modelo, nos quais o potencial pedagógico das concepções dos estudantes é reconhecido — sendo essas concepções tratadas como pontos de partida e instrumentos intelectuais para o aprofundamento da aprendizagem (Duit & Treagust, 2003; Duit et al., 2012) —, mas ainda carecendo de uma estruturação sistemática que aponte como tais potencialidades podem se materializar ao longo do processo de *design*.

Em termos metodológicos, a ferramenta de *design* associada ao MRE é estruturada a partir de três componentes, que interagem entre si e tornam utilizáveis os aspectos teóricos elencados no QICRE, definindo um passo a passo para o processo de *design* de ambientes de ensino e aprendizagem. O primeiro componente do MRE – Análise da Estrutura do Conteúdo – tem como objetivo esclarecer a estrutura do conteúdo científico a partir de um ponto de vista educacional (Duit et al., 2012; Kattmann, 2007). O segundo componente visa conhecer as perspectivas cognitivas e afetivas dos estudantes sobre um dado conteúdo da ciência, por isso é chamado de Investigações sobre as Perspectivas dos Estudantes. O propósito do terceiro componente do MRE – *Design* e Avaliação de Ambientes de Ensino e Aprendizagem – é planejar e avaliar os ambientes de ensino e aprendizagem. Esses três componentes estabelecem uma íntima relação entre si, de modo que os resultados de um, influenciam no desenvolvimento dos outros. Essa interação é garantida por meio de um procedimento que os autores do MRE chamam de recursivo (Duit et al., 2012; Komorek & Kattmann, 2008).

Os aspectos teóricos e metodológicos apresentados anteriormente devem compor todos os processos de *design* desenvolvidos com base no MRE. Garantir que isso se concretize implica na construção de estratégias metodológicas de *design* que promovam a mobilização e a implementação desses aspectos no desenvolvimento de ambientes de ensino e aprendizagem.

Estratégia de mobilização dos aspectos teóricos e metodológicos do modelo de reconstrução educacional

Se, por um lado, a literatura da área de Educação em Ciências apresenta indicações gerais sobre como desenvolver o processo de *design* de ambientes de ensino e aprendizagem com base no MRE — como a definição dos três componentes que constituem esse processo e a necessidade de articulá-los por meio de um procedimento recursivo —, por outro, ainda permanecem algumas questões em aberto: Quais passos, e em que ordem, devem ser seguidos para desenvolver um ambiente de ensino e aprendizagem à luz do MRE? Quais características esse ambiente deve apresentar para assegurar a implementação dos aspectos teóricos e metodológicos do MRE? Como mobilizar, de forma recursiva, os três componentes do MRE ao longo do percurso de *design*? E, ao final da construção de um ambiente, como verificar se ele, de fato, incorpora os aspectos essenciais do MRE?

Se considerarmos, por exemplo, que um dos princípios do MRE é o de que os conceitos científicos devem ter o mesmo peso e valor que as concepções dos estudantes no processo de *design* de ambientes de ensino e aprendizagem, surge um novo questionamento: quais métodos podem ser utilizados para garantir esse equilíbrio?

Duit et al. (2012) propõem que, ao longo de um percurso de *design*, após avançarmos do primeiro para o segundo componente, seja necessário retornar ao primeiro. Nesse sentido, o método consistiria em realizar, inicialmente, uma investigação preliminar dos conceitos científicos, seguida de uma pesquisa sobre os conceitos pré-instrucionais dos estudantes. Em seguida, promove-se a interação entre esses diferentes tipos de conhecimento, com o objetivo de identificar as PP que emergem desse diálogo. Ainda assim, permanece a seguinte questão: como concretizar a mobilização desses aspectos ao longo do percurso de *design* do ambiente de ensino e aprendizagem?

Foi a partir de reflexões como essas que desenvolvemos métodos destinados a auxiliar na efetivação do processo de *design* fundamentado no MRE. Tais métodos emergiram da análise e reflexão sistemáticas sobre a construção de SD e JEC realizadas em nosso grupo de pesquisa (Lira & Smania-Marques, 2021; Vasconcelos & Smania-Marques, 2021; Lira et al., 2021; Silva et al., 2022; Silva & Smania-Marques, 2023; Smania-Marques et al., 2024).

O aprofundamento da compreensão teórica e metodológica do MRE nos possibilitou, então, propor uma estratégia metodológica de *design* com potencial para promover a mobilização e a implementação dos aspectos teóricos e metodológicos do MRE no processo de elaboração de intervenções educacionais, a qual denominamos Estratégia de Mobilização (ver Figura 2).

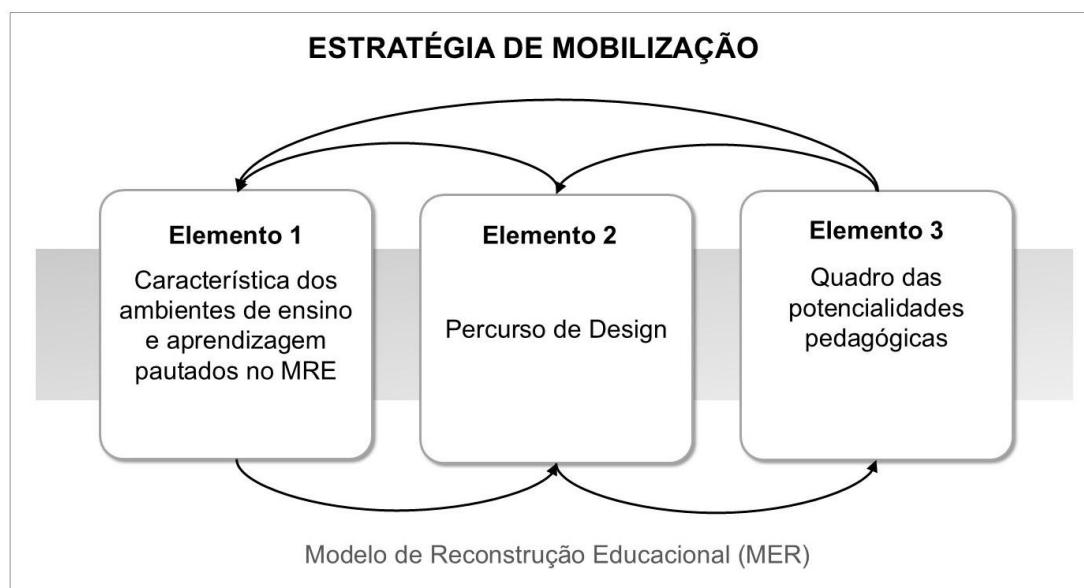


Figura 2. Estratégia de Mobilização. Fonte: Autoria própria

Trata-se de um conjunto de elementos concretos e interdependentes, que viabilizam a implementação dos aspectos teóricos e metodológicos do MRE no processo de *design* de intervenções educacionais. A Estratégia de Mobilização aqui proposta é composta por três elementos principais:

1. Características dos Ambientes de Ensino e Aprendizagem pautados no MRE – esclarece as características fundamentais desses ambientes, que devem ser consideradas ao longo de todo o percurso de *design*;
2. Percurso de *Design* – orienta a construção de ambientes de ensino e aprendizagem que incorporem as características apresentadas no elemento anterior, assegurando a implementação dos aspectos teóricos e metodológicos do MRE ao longo do processo;

3. Quadro de Potencialidades Pedagógicas (QPP) – promove o diálogo entre concepções pré-instrucionais e concepções científicas no processo de *design*, permitindo a identificação de necessidades e dificuldades de aprendizagem, bem como de possíveis pontos de partida para a instrução. Além disso, o QPP viabiliza o desenvolvimento de etapas específicas do percurso de *design* e assegura a implementação de aspectos cognitivos e afetivos da aprendizagem, fundamentais nos ambientes de ensino e aprendizagem fundamentados no MRE.

A descrição desses elementos oferece possibilidades de respostas para aqueles questionamentos anteriormente apresentados, como veremos adiante.

Elemento 1: Características dos ambientes de ensino e aprendizagem

O primeiro elemento é o conjunto de características dos ambientes de ensino e aprendizagem pautados no MRE: (1) Os conceitos científicos e as concepções dos estudantes devem ter o mesmo valor e peso no processo de ensino e aprendizagem; (2) O estudante participa de forma ativa nas atividades propostas no ambiente de ensino e aprendizagem; (3) O conteúdo científico deve ser entendido como uma possibilidade, dentre outras, de interpretação do mundo; (4) Os objetivos educacionais consideram as três dimensões do conteúdo: conceitual, procedural e atitudinal; (5) O professor assume papel mediador nos processos de ensino e aprendizagem, (6) O ambiente de ensino e aprendizagem deve promover diversos contextos de tratamento do fenômeno a ser estudado, para oportunizar a ampliação do repertório de experiência dos estudantes com o fenômeno; (7) A aprendizagem dos conceitos envolve aspectos cognitivos e afetivos; (8) A avaliação deve envolver critérios cognitivos e afetivos relativos à aprendizagem dos estudantes (Silva et al., 2022).

Estas características emergiram do processo de clarificação do QICRE e buscam elucidar os papéis que os estudantes, os professores, o conhecimento científico, o mundo material e a avaliação têm nos processos de ensino e aprendizagem planejados com base no MRE⁵.

De modo geral, esse conjunto de características básicas deve constituir todos os ambientes de ensino e aprendizagem desenhados segundo os termos do MRE. No entanto, para ambientes que não pressupõem a presença de um mediador, a característica 5 deve ser relativizada. Isso acontece, por exemplo, no processo construtivo de JEC. Embora possam ser utilizados com o auxílio de mediação, os JEC não presumem, necessariamente, um contexto de ensino de conteúdos formais, a serem ensinados antes ou após atividade de jogo. É durante a partida que acontece a aprendizagem, sendo ela possível mesmo quando não há a figura do mediador.

Em nossas experiências de utilização dos pressupostos teóricos e metodológicos do MRE para o *design* de SD e JEC foi possível observar que estas características são implementadas no processo de *design* através de diferentes tipos de ações, que vão se diferenciando a depender do tipo de intervenção. Por exemplo, elaborar ações didáticas que viabilizem a expressão das concepções de estudantes acerca do conteúdo e outras nas quais as concepções científicas são o foco do estudo, mobiliza a característica 1 no *design* de SD. Outro exemplo seria elaborar

⁵ Uma discussão detalhada sobre estas visões podem ser encontrada em Silva (2019).

mecânicas de jogo que preveem a participação ativa de estudantes nas partidas de teste (playtesting) do *design* de JEC, como mobilização da característica 2.

A partir deste conjunto de características podemos propor uma infinidade de combinações de ações para estruturar ambientes de ensino e aprendizagem. O processo de *design* destes ambientes é feito a partir de um percurso metodológico que é organizado segundo a natureza da intervenção educacional que se pretende planejar.

Apresentaremos a seguir percursos de *design* para dois tipos de ambientes de ensino e aprendizagem, SD e JEC, que contemplam estas características e mobilizam os demais aspectos teóricos e metodológicos do MRE.

Elemento 2: Percurso de *Design*

O percurso de *design* é o elemento que garante, a partir de um conjunto de etapas, o desenvolvimento de um percurso metodológico que evite que os resultados provenientes dos três componentes do MRE se transformem em um aglomerado de conhecimentos provindos de três linhas de pesquisa distintas, que não se comunicam entre si. Na prática, isso significa dizer que o percurso de *design* é estruturado no sentido de garantir que as interações necessárias entre os três componentes do MRE sejam respeitadas.

Dessa forma, o percurso de *design* não pode ser concebido como um conjunto de etapas organizadas de maneira linear e sequencial – do primeiro, passando pelo segundo, até chegar ao terceiro componente – sendo este último entendido como o ponto final do processo. Outrossim, as etapas que compõem o percurso de *design* devem ser organizadas para possibilitar que o resultado de uma etapa seja tanto o ponto de partida para uma etapa seguinte, como motivo de reflexão para uma etapa anterior. Isso é o que permite a implementação da interação fundamental entre os componentes do MRE por meio de um procedimento recursivo (Duit et al., 2012).

A depender da intervenção educacional que se pretende desenhar, o percurso de *design* apoiado no MRE pode assumir diferentes estruturas, que, impreterivelmente, devem garantir a mobilização de todos os aspectos teóricos e metodológicos do MRE. Partindo desse pressuposto, apresentamos a seguir duas propostas de percurso de *design*, uma para o desenvolvimento de SD e outra para o desenvolvimento de JEC.

Ambas as propostas resultam de reflexões e sínteses construídas a partir das diversas tentativas de implementação do MRE em nossos processos de pesquisa voltados ao desenvolvimento de SD e JEC (Lira & Smania-Marques, 2021; Lira et al., 2021; Silva & Smania-Marques, 2023; Silva et al., 2022, 2025; Vasconcelos & Smania-Marques, 2021). Desse modo, o que apresentamos aqui são propostas que têm se mostrado facilitadoras para a implementação do MRE em processos de *design* de ambientes de ensino e/ou aprendizagem no âmbito da Pesquisa de Desenvolvimento (Plomp, 2013).

A Figura 3 apresenta um percurso de *design* que tem se mostrado facilitador para o desenvolvimento de SD. Esse percurso garante ainda a mobilização do conceito de SD que tomamos como referência, já que nele estão previstos um conjunto de etapas que promovem o entrelaçamento da perspectiva científica e a do estudante, para alcançar determinados objetivos educacionais, oferecendo soluções a problemas identificados na prática educativa.

Trata-se de um percurso composto por nove etapas, que devem ser desenvolvidas após a identificação do problema educacional a ser enfrentado por meio da implementação da sequência didática (SD) em processo de *design*. Esse problema pode ser identificado a partir de dados empíricos oriundos de pesquisas científicas em Educação em Ciências — como evidências de dificuldades na aprendizagem de determinados conteúdos científicos, mesmo após processos estruturados de instrução — ou ainda a partir de observações realizadas pela comunidade escolar e de saberes experenciais docentes⁶ construídos na prática educativa.

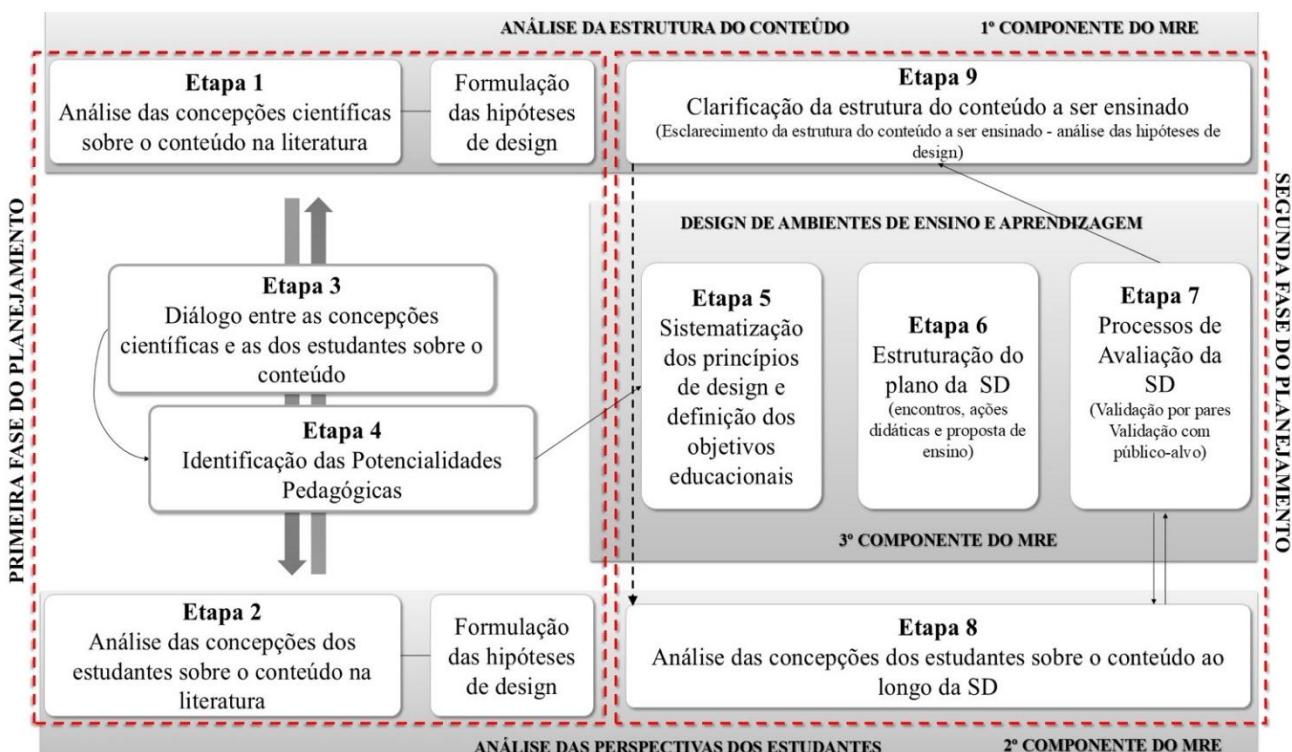


Figura 3. Percurso de *design* para o desenvolvimento de Sequências Didáticas embasadas no Modelo de Reconstrução Educacional. Fonte: Adaptado de Silva et al. (2022)

Como o MRE foi proposto para o *design* de TLS, ele se adequa perfeitamente para este fim (Méheut & Psillos, 2004). No entanto, o uso do MRE para a construção de JEC exigiu algumas adaptações que se mostraram inovadoras tanto do ponto de vista teórico como metodológico. Em razão disso, a descrição do percurso de *design* para SD será mais objetiva que aquela feita para o percurso de *design* de JEC.

A primeira fase do *design* envolve os resultados provenientes de quatro etapas, que permitem uma compreensão sofisticada do problema educacional a ser resolvido com a intervenção. Assim, esta fase se constitui na pesquisa preliminar estendida, que deve acontecer de forma similar para qualquer ambiente de aprendizagem planejado a partir do MRE (SD, JEC ou qualquer outro tipo de ambiente).

A análise das concepções científicas sobre o conteúdo na literatura (etapa 1, primeiro componente do MRE, ver Figura 3) possibilita a construção de conhecimentos sobre a estrutura do conteúdo, de um ponto de vista educacional. Nessa etapa são analisados aspectos

6 Para entender mais sobre saberes docentes ver Tardif (2012).

da estrutura do conteúdo como: as ideias elementares que circundam o tema/conceito, aspectos históricos e epistemológicos do conhecimento científico; e principais termos científicos que associados aprendizagem do tema/conceito. Os resultados dessa etapa possibilitam a formulação de hipóteses de *design*, que são propostas também a partir dos resultados provenientes da análise das concepções dos estudantes sobre o conteúdo na literatura (etapa 2, segundo componente do MRE, ver Figura 3). As hipóteses de *design* orientam a forma como o conteúdo científico deve ser apresentado no processo de instrução.

Vejamos um exemplo. No trabalho de Silva e Smania-Marques (2023), cujo objetivo foi desenvolver uma SD sobre cadeia alimentar voltada para o Ensino Fundamental, foi utilizado o conjunto de etapas apresentado na Figura 3. A partir da primeira etapa, compreendeu-se que a concepção científica sobre a cadeia alimentar é que ela é formada por uma sequência de interações entre diferentes organismos que servem de alimento uns aos outros em um ecossistema. Os resultados da segunda etapa indicaram que, para os estudantes, a cadeia alimentar é composta principalmente por seres vivos representados por animais, sendo os seres humanos comumente desconsiderados como integrantes dessa cadeia.

Com base nesses resultados, formulou-se a seguinte hipótese de *design*: “É fundamental compreender que a cadeia alimentar representa uma sequência de interações entre diferentes organismos – para além dos animais – que atuam como fonte de energia uns para os outros em um ecossistema.” (Silva & Smania-Marques, 2023, p. 8).

Nesse caso, as hipóteses de *design* emergem do conhecimento adquirido sobre as perspectivas cognitivas e afetivas dos estudantes, incluindo suas necessidades e dificuldades de aprendizagem, motivação, interesse e engajamento, em relação ao conteúdo científico. São essas hipóteses que orientam o diálogo entre as concepções científicas e as concepções dos estudantes sobre o conteúdo (etapa 3, ver Figura 3), no qual são identificadas as aproximações e distanciamentos entre essas concepções, bem como a identificação das potencialidades pedagógicas (etapa 4, ver Figura 3). Estas últimas envolvem o reconhecimento das necessidades e dificuldades de aprendizagem, bem como de estratégias de *design* associadas a cada hipótese de *design* formulada. As etapas 3 e 4, portanto, são responsáveis por promover a interação entre o primeiro e o segundo componente do MRE.

Os resultados obtidos na primeira fase do *design*, possibilitam que as tomadas de decisões para efetivar a construção do plano da SD sejam feitas de maneira consciente e fundamentadas nos conhecimentos construídos sobre as hipóteses de *design* e as PP. Como a principal característica da ferramenta de *design* associada ao MRE é disponibilizar uma amplitude de conhecimento provenientes do processo de clarificação de conteúdo, a utilização dessa ferramenta implica em decidir que PP serão elencadas para estruturar o plano da SD ou de qualquer outra intervenção educacional.

Essa tomada de decisão caracteriza o fim da primeira fase do *design* e é o ponto de partida para o início da segunda fase do *design* cujo objetivo é o desenvolvimento de uma proposta de solução do problema educacional analisado na fase anterior, por meio do *design* do plano da SD e de sua avaliação.

O primeiro passo para o desenvolvimento do plano da SD é a sistematização de princípios de *design*⁷ e a definição de objetivos educacionais (etapa 5, terceiro componente do MRE, ver Figura 3). Os primeiros funcionam como o objetivo geral da SD, os segundos funcionam como objetivos específicos, englobando três dimensões do conteúdo que enfatizam aspectos cognitivos e afetivos da aprendizagem. Segundo Zabala (1998) essas dimensões do conteúdo são: conceitual (o que se deve saber?), procedural (o que se deve saber fazer?) e atitudinal (o que se deve saber ser?).

É importante destacar que qualquer outra decisão relativa à constituição do plano da Sequência Didática (SD) deve ser tomada apenas em um momento posterior, especificamente durante a etapa de estruturação do plano da SD em encontros, ações didáticas e propostas de ensino (etapa 6, terceiro componente do MRE, ver Figura 3). Recomenda-se, portanto, que a quantidade de encontros que comporão a SD esteja alinhada ao intervalo de tempo previsto para a abordagem do conteúdo científico no contexto escolar, ou seja, em conformidade com as condições práticas de sua implementação.

Isso permite a construção de intervenções educacionais alinhadas com as possibilidades reais de implementação na prática educacional, garantindo que o processo de pesquisa realizado para o *design* da SD resulte não apenas na produção de conhecimento teórico para a área de Educação em Ciências, mas também em conhecimento prático, em consonância com os objetivos esperados pela DBR.

Dos aspectos presentes no conceito de SD tomado como referência nesse estudo – ordem, estrutura e articulação, as ações didáticas representam a estrutura do plano, evidenciando aspectos que não podem ser alterados de um contexto de implementação da SD para outro. As estratégias metodológicas sinalizam como as ações didáticas podem ser implementadas na prática educativa. Em contrapartida, tais estratégias representam a parte flexível do plano da SD, que pode sofrer adaptações a depender do contexto de implementação.

Na construção de uma SD sobre cadeia alimentar, uma das ações didáticas previstas para o primeiro encontro foi a “proposição de questionamentos que orientassem reflexões iniciais em torno da problemática apresentada” (Silva & Smania-Marques, 2023). A proposta metodológica que detalha como essa ação poderia ser implementada está descrita da seguinte forma:

Lançado o desafio, o professor explica que, para iniciar as reflexões que auxiliarão os estudantes a buscarem respostas para a pergunta proposta, eles deverão responder no caderno o seguinte conjunto de questionamentos: (a) Todos os seres vivos se alimentam das mesmas coisas? (b) Existem seres vivos que produzem o próprio alimento? Se sim, cite um exemplo; (c) Existem seres vivos que só se alimentam de outros seres vivos? Se sim, cite um exemplo; (d) Existem seres vivos que se alimentam de partes mortas ou de resíduos de outros seres vivos? Se sim, cite um exemplo. (Silva & Smania-Marques, 2023, p. 10).

Considerando as quatro perguntas fundamentais que orientam o segundo passo do planejamento de intervenções educacionais nos termos do MRE – Por quê?, O quê?, Como? e Por qual? (Duit et al., 2012) –, é possível observar, no exemplo anteriormente apresentado, que a estruturação das ações didáticas visa responder às questões “O quê? e Por qual?”; as

⁷ Para detalhes acerca do desenvolvimento dos princípios de *design* ver Plomp (2013) e Van den Akker (1999).

estratégias metodológicas se referem à pergunta “Como?”, e os objetivos educacionais, definidos como o primeiro passo do planejamento, correspondem à pergunta “Por quê?”.

Depois de realizada a organização da primeira versão do plano da SD, que envolve muitos movimentos de ajustes e reajustes, o próximo passo do processo de *design* é submeter essa primeira versão ao processo de validação (etapa 7, terceiro componente do MRE, ver Figura 3). Essa etapa envolve analisar se os objetivos propostos têm o potencial de serem alcançados com a implementação da SD. Isso pode ser feito primeiramente considerando o conhecimento experiential de pesquisadores e professores da área de Educação em Ciências, é o que chamamos de validação por pares; ou ainda por meio da implementação da SD em um contexto educacional real, é o que chamamos de validação com público-alvo, que deve acontecer por meio da análise das concepções dos estudantes acerca do conteúdo a ser ensinado ao longo da SD (etapa 8, segundo componente do MRE, ver Figura 3).

Para que os processos de validação não sejam conduzidos com base em critérios arbitrários, é fundamental considerar critérios pautado no próprio MRE, que chamamos aqui de indicadores de aprendizagem. Esses indicadores podem ser de natureza geral — definidos a partir dos pressupostos do próprio MRE, com base na concepção de aprendizagem que o modelo defende — ou específicos, relacionados à construção de conhecimento sobre o conteúdo científico promovida ao longo do processo instrucional. Nesse último caso, pode-se considerar o grau de elaboração das concepções dos estudantes, classificando-as como pouco informadas, parcialmente informadas ou bem-informadas, conforme sua proximidade com as concepções científicas.

No contexto da validação de SD, até o momento, foram definidos indicadores que auxiliam na avaliação do plano da SD, no âmbito da validação por pares, ajudando a analisar se as características da SD proposta podem ser efetivamente observadas em seu plano. Este conjunto de indicadores podem ser encontrados em Silva e Smania-Marques (2023). Além disso, no âmbito da validação com o público-alvo, foram definidos indicadores gerais de aprendizagem, os quais estão disponíveis em Silva et al. (2025).

Sendo assim, esses processos de validação auxiliam na análise da própria intervenção em si, permitindo uma avaliação a respeito de critérios como: tempo e quantidade de encontros; ordem, estrutura e articulação das ações didáticas e dos encontros; adequação dos objetivos educacionais; adequação estratégias metodológicas com as ações didáticas; adequação da proposta com o nível de ensino para o qual foi desenhada, entre outros (Silva, 2019). Além disso, é por meio dos processos de validação que é realizada a análise e aperfeiçoamento das hipóteses de *design* (etapa 9, primeiro componente do MRE, ver Figura 3), permitindo, assim, a clarificação da estrutura do conteúdo a ser ensinado. Um novo ciclo de *design* seria iniciado se os resultados dessa clarificação fundamentassem uma nova análise das concepções dos estudantes sobre o conteúdo, o que está representado na Figura 3 pela linha pontilhada preta, que indica um movimento possível no percurso de *design*, mas não obrigatório.

A Figura 4 apresenta um percurso de *design* que tem se mostrado facilitador para o desenvolvimento de JEC. O apoio do MRE no processo de *design* de JEC propicia fundamentos teóricos e metodológicos tanto para que sua a construção não seja resultado de um processo arbitrário e sem critérios, como para que haja um equilíbrio entre os aspectos

educacionais e lúdicos. Deste modo, o jogo é, ao mesmo tempo, elemento motivador e instrumento para os processos de ensino e de aprendizagem. A partir desta ideia, o público-alvo do JEC pode tanto ser discentes, quando ele é concebido como uma inovação educacional para ambientes formais de ensino; como pode ser o público em geral, quando ele é concebido como uma inovação de divulgação científica para processos não formais ou informais de aprendizagem.

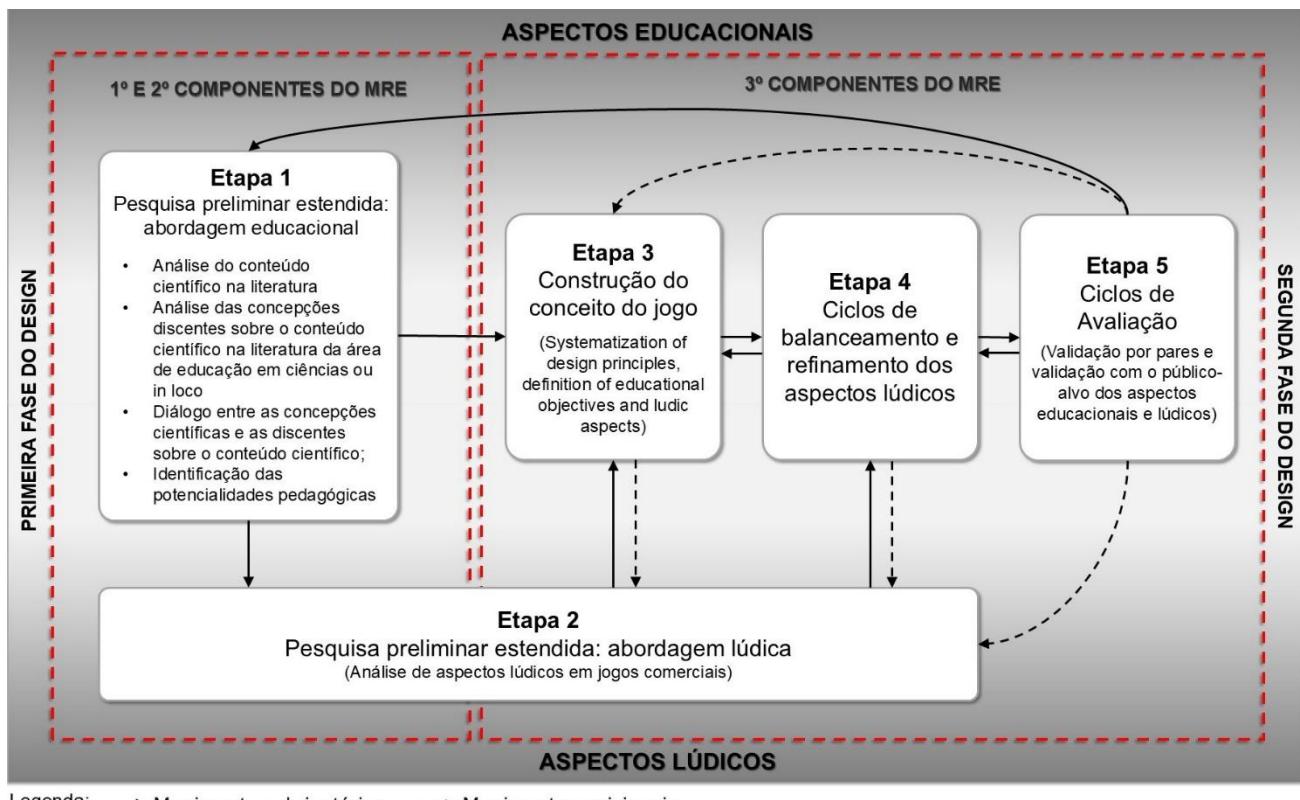


Figura 4. Proposta de percurso metodológico para a *design* de Jogos Educacionais Complexos embasados no MRE. Fonte: Adaptado de Smania-Marques et al. (2024)

As linhas tracejadas entre as etapas indicam movimentos opcionais, enquanto as linhas cheias indicam movimentos obrigatórios do MRE. A primeira fase do *design* envolve a pesquisa preliminar estendida do ponto de vista educacional (etapa 1, primeiro e segundo componentes do MRE) e do ponto de vista lúdico (etapa 2, primeiro, segundo e terceiro componentes do MRE). O objetivo é tanto alcançar uma compreensão aprofundada do problema educacional a ser solucionado com o JEC (com as mesmas considerações levantadas para toda a Fase 1 da Figura 3), como investigar potencialidades para alcançarmos a dimensão lúdica do JEC, que está relacionada a sua capacidade de propiciar socialização, afetividade, diversão, prazer e até desprazer.

Os resultados da primeira fase do *design* são o ponto de partida da segunda fase (fase de prototipagem), que mobiliza o 3º componente do MRE, composta pelas etapas: (3) Construção do Conceito do Jogo; (4) Ciclos de Balanceamento e Refinamento dos aspectos lúdicos; e (5) Processos de Avaliação. O objetivo da segunda fase é desenvolver uma inovação educacional e realizar testes de aperfeiçoamento para identificar os potenciais caminhos para o alcance dos resultados desejados de acordo com os objetivos lúdicos e educacionais em um

processo recursivo de construção e revisão do conceito, balanceamento, refinamento e avaliação do JEC. Esta é uma “fase iterativa de *design* que consiste em iterações, sendo cada uma delas um microciclo de investigação em que a avaliação formativa é a atividade de investigação mais importante destinada a melhorar e aperfeiçoar a intervenção” (Plomp, 2013, p.15, tradução nossa).

Os resultados da segunda fase de *design* conduzem a tomada de novas decisões quanto a concepção, objetivos e ao planejamento da inovação e, assim, a novos ciclos de testes, indicados pela seta que vai da etapa 5 para a etapa 1 (quando o objetivo é começar um novo ciclo de estudo de desenvolvimento) ou opcionalmente para a etapa 3 (quando o objetivo é o aperfeiçoamento do JEC).

A investigação preliminar estendida da abordagem educativa para o JEC (etapa 1, ver Figura 4) acontece conforme a descrição das interações entre as etapas 1 a 4 da primeira fase de *design* para SD.

A pesquisa preliminar de abordagem lúdica (etapa 2, ver Figura 4) é uma proposta nossa de avanço teórico metodológico em termos do que propõe o primeiro componente do MRE. É essencial esclarecer que, embora no momento da propositura do MRE seus autores tenham indicado que ele pudesse vir a ser suporte para o *design* de qualquer tipo de ambiente de aprendizagem (Duit et al., 2012), inicialmente seus objetivos tiveram em vista a construção de TLS (Mehéut & Psillos, 2004). Portanto, não há indicação/previsão/referência no MRE para a necessidade de uma pesquisa preliminar de aspectos lúdicos.

Contudo, no *design* de JEC, além de esclarecer a estrutura do conteúdo científico a partir de um ponto de vista educacional é também necessário esclarecer as possíveis estruturas lúdicas a partir de um ponto de vista educacional. Essa pesquisa preliminar da abordagem lúdica acontece a partir de atividade de jogo intensa e prolongada com jogos comerciais, contemplando diferentes tipos (jogos de carta, jogos de tabuleiro, jogos de dados, jogo de combinação, jogo de interpretação de papéis) e mecânicas (regras geradas pelo jogador ou regras fixas, turnos, pontos de ação, leilão ou licitação, cartas, captura/eliminação, recuperação, dados, movimento de peças de jogo ou de miniaturas, gestão de recursos, risco e recompensa, interpretação de papéis, alocação ou combinação de peças, alocação de trabalhadores, modos de jogo).

As mecânicas de jogo podem promover novas maneiras de ajudar as pessoas a entenderem conteúdos, desenvolver competências, habilidades e autoconfiança, além do potencial para auxiliar no aumento da colaboração em grupo, do desenvolvimento do pensamento criativo e de oportunizar motivações para engajamento (Lerner, 2014). A partir de partidas investigativas com jogos comerciais ao longo da etapa 2 (ver Figura 4) surgem inspirações para os principais aspectos lúdicos que, quando combinados com os conteúdos, oportunizam o alcance dos objetivos educacionais. Isso não é finalizado na primeira fase de *design* já que, durante a etapa 3 (Figura 4) é possível recorrer novamente às atividades de jogo (partidas investigativas) para aprimorar a proposta do conceito do JEC e adequar os princípios dos aspectos lúdicos aos objetivos educacionais. Quando isso acontece a etapa 2 deixa de se limitar apenas ao primeiro componente do MRE e perpassa o segundo e o terceiro componentes, o que possibilita a influência das concepções pré-instrucionais do público-alvo na concepção do jogo.

A etapa 3 (ver Figura 4) é o momento de planejar a concepção do JEC: sistematização dos princípios de *design*; objetivos educacionais; objetivos lúdicos; resultados mensuráveis; grau de complexidade; limites; quantidade de caos (acaso/sorte) e elementos de estratégia; a repetição da sequência de eventos (turnos e rodadas); e o modo de jogo (um jogador ou vários jogadores; cooperativo ou competitivo). O primeiro produto desta etapa é um esboço das regras do JEC.

Regras são as estruturas formais internas dos jogos que limitam ou ditam o que um jogador pode fazer. A partir das regras é construída uma primeira versão do JEC, submetida a um ciclo de partidas investigativas na etapa 4 (ver Figura 4). Estes testes são realizados pela equipe de desenvolvimento, apoiados por instrumentos de reflexão, para o balanceamento e refinamento dos aspectos lúdicos, tendo como referência os objetivos educacionais.

Os objetivos educacionais devem ser definidos conforme descrito anteriormente para o processo de *design* de SD.

Os objetivos lúdicos devem estar relacionados com os objetivos educacionais. Os objetivos educacionais interferem diretamente, por exemplo, na decisão do modo de jogo (para um ou vários jogadores; cooperativo ou competitivo). Em um JEC quem ganha é aquela pessoa ou grupo que mais se aproxima do desenvolvimento dos objetivos educacionais (Smania-Marques et al., 2024).

O público-alvo se caracteriza, geralmente, por quatro principais tipos de gamers: os conquistadores que jogam para ganhar; os exploradores que buscam informações e segredos; os sociais cujo objetivo é conversar e interagir com outras pessoas; e os altamente competitivos, que jogam para competir e eliminar outros jogadores. Contudo, há outras tantas possibilidades de caracterização das personalidades e intencionalidades dos jogadores, o que impede, portanto, a previsão exata de como um jogo será jogado (Lerner, 2014).

Para que o jogo se torne divertido é importante pensar diferentes maneiras de negociar conflitos e estabelecer regras que tornem a participação significativa, envolvente e gratificante. Definir objetivos lúdicos claros é fundamental para que os jogadores saibam o que devem fazer para chegar ao final do jogo com sucesso. Quando não são, os jogadores podem se sentir perdidos ou desestimulados, e acabam por abandonar o jogo. Para que o público-alvo se mantenha motivado, os objetivos lúdicos devem ser desafiadores e alcançáveis, já que quando parecem impossíveis, há uma tendência para a desistência.

Assim, a definição de resultados mensuráveis deve levar em consideração que todos os jogos terminam em resultados mensuráveis, ou seja, quem joga deve ganhar, perder, empatar ou receber alguma pontuação. Portanto, os objetivos lúdicos têm a ver com o fim do jogo, ganhando o jogo quem fizer a ação de: alcançar a pontuação estipulada; capturar um certo número de componentes de um tipo específico; fizer a maior pontuação; fizer a menor pontuação; entre outras possibilidades.

O nível de dificuldade é essencial para o sucesso do JEC. O balanceamento entre a quantidade de caos e de estratégia pode auxiliar na definição da dificuldade. Elementos caóticos são eventos que acontecem de forma aleatória, por exemplo, rolagem de dados e sorteio de cartas embaralhadas. Utilizar de muitas ações que dependam destas estratégias limita a tomada de decisão do jogador, o que na maioria das vezes, diminui o grau de dificuldade do jogo. Em

contrapartida, os elementos de estratégia dependem exclusivamente da capacidade de orquestração cognitiva do jogador.

Quanto maior a dependência do desenvolvimento de estratégias, maior tende a ser o nível de dificuldade do jogo. Em um processo denominado *feedback de ciclos de balanceamento* é possível mensurar a resposta do sistema de jogo às ações do jogador no qual os conhecimentos, competências e habilidades do jogador devem ser compatíveis aos desafios da atividade (Lerner, 2014). É importante neste balanceamento levar em consideração o fato de que, em alguns casos, as regras podem favorecer jogadores mais experientes.

O jogo se torna mais fácil em resposta ao sucesso do jogador, ou mais difícil em resposta às suas dificuldades. Quando o jogo se torna muito difícil rapidamente pode gerar ansiedade; em contrapartida, se ficar fácil por muito tempo, poderá levar ao tédio.

O jogo precisa ser tão divertido quanto educativo. Consequentemente, o equilíbrio dos aspectos lúdicos com os educacionais é essencial. Esse equilíbrio é resultante do movimento cíclico de partidas de teste entre as etapas 3 e 4, que favorece, por exemplo, a definição: do limite das regras (se por um lado um grande conjunto de regras pode tanto restringir o jogo como sobrecarregar os jogadores com complexidade, poucas regras podem deixar os jogadores confusos sobre o que fazer); da repetição de uma sequência de eventos (turnos e rodadas, que são as possibilidades de ações de cada jogador, moldadas pelo tipo de conflito⁸); dos limites do jogo (tamanho do tabuleiro, número de cartas, tempo de jogo, número de peças, cartas jogadas e outros elementos); e dos elementos visuais (avaliação da paleta de cores; tamanho e tipo das fontes; tamanho dos componentes; e a integração de imagens, gráficos entre outros efeitos para tornar os jogos inherentemente agradáveis e atraentes).

Em particular, os elementos visuais são importantes pois envolvem os jogadores na narrativa, no mundo e na estética do jogo, a fim de transportá-los para longe de seus arredores do mundo real e fazê-los investir emocionalmente no jogo (Lerner, 2014; Smania-Marques et al., 2024). Logo, é importante que, durante as partidas de teste da etapa 4 (ver Figura 4), a equipe de testagem inclua membros representativos do público-alvo. À medida que estes ajustes de refinamento acontecem, volta-se para a construção da concepção do jogo (etapa 3).

O processo de avaliação (etapa 5, ver Figura 4) tem início quando a equipe de desenvolvimento se sente minimamente segura e satisfeita com a inovação educacional — isto é, quando há indícios de que os objetivos lúdicos e educacionais possam ser atingidos por meio da articulação de um conjunto de regras e componentes que favorecem a fluidez da partida.

A construção do JEC alterna constantemente entre desenvolvimento, partidas de teste (*playtesting*), avaliação e redesenho, aprimorando gradualmente o produto. Já que os *designers* não podem antecipar totalmente as ações dos jogadores, esse movimento cíclico é

8 O tipo de conflito molda a relação básica que os jogadores têm entre si e com o jogo, uma vez que o conflito pode ocorrer entre jogadores individuais, grupos ou equipes, e sistemas de jogo. O conflito cria tensões e desafios dramáticos, que alimentam o investimento emocional do jogador em um jogo (Lerner, 2014). Apesar de frequentemente enquadrado como competição, o conflito também inclui alguma colaboração. As pessoas jogam por vários motivos, mas geralmente pelo menos uma das motivações é vencer. Quando se sabe a priori que o jogo terminará em um resultado concreto, o conflito se torna mais emocionante e as regras mais aceitáveis (Lerner, 2014). Portanto, todo e qualquer JEC terá algum tipo de conflito.

essencial para a construção de JEC que as pessoas realmente se divirtam. Para uma avaliação mais robusta, pessoas externas ao grupo de desenvolvimento são convidadas a jogar e relatar suas experiências em instrumentos próprios para a reflexão (Smania-Marques et al., 2024). A diversidade na composição do conjunto de pares e do público-alvo contribui significativamente para a robustez e a qualidade do processo de validação.

Nesse contexto, pares são tanto pessoas que dominam o conteúdo científico como jogadores frequentes. A avaliação do JEC por esta equipe favorece a explicitação de problemas e de potencialidades da intervenção proposta. Entre os resultados esperados para este estágio estão os *feedbacks* sobre a adequação da proposta aos objetivos educacionais e lúdicos do jogo.

Desta forma, as etapas 3, 4 e 5 (ver Figura 4) se repetem em um ciclo espiral, aumentando progressivamente o número de participantes ao longo do tempo, oportunizando avaliações formativas (Plomp, 2013). Ao final deste ciclo de estudo de desenvolvimento é importante compreender se a avaliação confirma as hipóteses de *design* (seta da etapa 5 para o 1, ver Figura 4) ou se a avaliação indica revisão da concepção de aspectos lúdicos e ou de aspectos educacionais, tais como o público-alvo indicado para o JEC resultante deste processo de *design* (seta da etapa 5 para o 3, ver Figura 4).

Estes resultados são, portanto, o ponto de partida para um novo estudo de desenvolvimento, quer seja a partir da etapa 1 ou da 3, já que:

“é possível que o componente de *design*/desenvolvimento de um projeto de investigação deste tipo não comece do zero, mas sim com a avaliação de uma intervenção existente com o objetivo de identificar a necessidade de melhorias, a que se segue um (re)*design* e uma série de ciclos de desenvolvimento” (Plomp, 2013, p.15, tradução nossa).

O retorno da etapa 5 para a etapa 1 (ver Figura 4) pode envolver, por exemplo, a revisão de potencialidades pedagógicas que não foram contempladas ou a inclusão de novas potencialidades identificadas. Esse movimento implica na realização de um novo ciclo completo de *design*. Os próximos passos poderão incluir o início de um estudo de validação — uma possível etapa 6, ainda não representada na Figura 4 — no qual o jogo será submetido a uma avaliação semi-somativa com o público-alvo, com foco em seu caráter funcional e em sua eficácia⁹.

Ao final dessa descrição temos, portanto, dois exemplos que elucidam como fazer o *design* de SD e JEC com base no MRE. Esses percursos de *design*, não objetivam propor um percurso fixo de *design* com base no MRE, mas um caminho possível, com etapas claras, que permeiam os três componentes do modelo e se articulam entre si. O percurso de *design* é, portanto, um elemento que garante o pressuposto defendido por Duit et al. (2012), de que os 3 componentes do MRE devem ser desenvolvidos concomitantemente, a partir de ciclos iterativos, de modo que os resultados de um influenciam no desenvolvimento dos demais.

Elemento 3: Quadro de Potencialidades Pedagógicas

⁹ Para saber mais sobre os componentes e princípios da teoria do *Design Research* leia Plomp (2013).

Um aspecto comum aos dois percursos de *design* apresentados no item anterior é a identificação das potencialidades pedagógicas ao final da primeira fase do processo de *design* (etapa 4, ver Figura 3). Esse processo de identificação pode ser conduzido a partir do terceiro elemento da Estratégia de Mobilização que propusemos, o qual será descrito a seguir.

A identificação do potencial pedagógico das concepções pré-instrucionais, em relação às concepções científicas sobre um determinado conteúdo científico a ser ensinado, orienta tanto a escolha das necessidades e dificuldades de aprendizagem a serem abordadas na proposição da intervenção educacional quanto a definição das estratégias metodológicas que podem ser nela empregadas.

As potencialidades pedagógicas se configuram, portanto, como demandas educacionais que emergem do diálogo entre as concepções científicas e as concepções dos estudantes, funcionando como direcionamentos para o processo de *design* de ambientes de ensino e aprendizagem. Essas demandas derivam das aproximações e distanciamentos identificados entre os dois tipos de concepções, podendo assumir a forma de necessidades de aprendizagem, dificuldades de aprendizagem ou estratégias metodológicas. Estas últimas são especialmente marcadas pela identificação de pontos de partida para o ensino, ancorados naquilo que o estudante já comprehende sobre o conteúdo.

Nesse sentido, é importante destacar que a identificação das Potencialidades Pedagógicas (PP) ocorre a partir de orientações educacionais testáveis, as quais emergem da análise das concepções científicas em diálogo com as concepções pré-instrucionais dos estudantes. Estas últimas indicam caminhos sobre como o conteúdo científico deve ser evidenciado ao longo do processo instrucional. A esse conjunto de orientações atribuídas ao *design* damos o nome de *hipóteses de design*. Elas constituem, portanto, o conhecimento de referência para a estruturação do Quadro de Potencialidades Pedagógicas (QPP) (Quadro 2).

A partir da elaboração das hipóteses de *design*, as concepções dos estudantes, identificadas no segundo componente do MRE, devem ser organizadas de acordo com sua relação intrínseca com essas hipóteses. Em seguida, para cada hipótese de *design*, são classificadas as concepções pré-instrucionais, distinguindo aquelas mais próximas do conhecimento de referência e aquelas mais distantes.

Cada concepção próxima configura uma necessidade de aprendizagem, enquanto cada distanciamento representa uma dificuldade de aprendizagem. Adotamos essa perspectiva, pois defendemos que as concepções pré-instrucionais mais próximas do conhecimento de referência possuem maior potencial de serem ampliadas ao longo do processo de ensino, por meio de processos mentais contínuos, nos quais os conceitos são modificados ou reconectados de maneira não antagônica às formas de pensamento anteriores (Duit et al., 2012; Silva et al., 2025).

Por outro lado, as concepções pré-instrucionais que se distanciam do conhecimento de referência têm maior potencial para serem ampliadas por meio de processos mentais descontínuos e revolucionários, nos quais os conceitos são fundamentalmente reorganizados (Duit et al., 2012; Silva et al., 2025).

Quadro 2. Esquema de estruturação do Quadro de Potencialidades Pedagógicas.

QUADRO DE POTENCIALIDADES PEDAGÓGICAS	
HD: Hipótese de <i>design</i> sobre o conteúdo a ser ensinado	São orientações educacionais testáveis que emergem da análise das concepções científicas em diálogo com as concepções pré-instrucionais dos estudantes, de modo que estas últimas indicam caminhos sobre como o conteúdo científico deve ser evidenciado ao longo do processo instrucional.
Aproximações:	Concepções pré-instrucionais alinhadas ao conhecimento científico de referência.
Distanciamentos:	Concepções pré-instrucionais contraditórias ao conhecimento científico de referência.
Potencialidades Pedagógicas	São as demandas educacionais oriundas das aproximações (que geram necessidades de aprendizagem) e dos distanciamentos (que geram dificuldades de aprendizagem) entre as concepções pré-instrucionais e as concepções científicas de referência, que precisam ser (re)construídas a partir de estratégias metodológicas.
Necessidades de Aprendizagem:	Concepções pré-instrucionais próximas do conteúdo científico de referência que necessitam de (re)construções que envolvam enriquecimentos, complementos, extensões e melhorias, para se tornarem ainda mais alinhadas com ele.
Dificuldades de Aprendizagem:	Concepções pré-instrucionais distantes do conhecimento científico de referência, que necessitam ser (re)construídas envolvendo novas elaborações, organizações e estrutura, de modo a aproximarem-se do que é apresentado na ciência.
Estratégias Metodológicas:	Possibilidades metodológicas para responder às necessidades e dificuldades de aprendizagem, com a ajuda do <i>design</i> de intervenções educacionais.

Fonte: Autoria própria

As estratégias metodológicas, por sua vez, podem ser traduzidas na identificação dos pontos de partida da aprendizagem, os quais emergem da análise do que o estudante (ou público-alvo, no caso de JEC) já conhece sobre o conteúdo científico. O pressuposto subjacente a essa abordagem é que, ao partir do conhecimento da ciência que é familiar ao estudante, o processo instrucional aumenta as chances de ele se interessar e se sentir motivado a participar de forma efetiva.

Sumariamente, o terceiro elemento da estratégia de mobilização que propomos neste estudo, o QPP, é composto por seis dispositivos: (1) hipóteses de *design* (conhecimento de referência); (2) aproximações (concepções pré-instrucionais alinhadas ao conhecimento de referência); (3) distanciamentos (concepções pré-instrucionais contraditórias ao conhecimento de referência); (4) necessidades de aprendizagem (emolduradas pelas aproximações); (5) dificuldades de aprendizagem (emolduras pelos distanciamentos); e (6) estratégias metodológicas (definição dos pontos de partidas da aprendizagem) (Quadro 2).

Em retrospectiva, compreendemos que a versão do QPP aqui apresentada resulta do aprimoramento de nossa análise sobre a construção das SD e dos JEC, já mencionados anteriormente em relação aos dois primeiros elementos. Conforme surgiam os resultados das etapas da pesquisa preliminar sentíamos a necessidade de uma estratégia que permitisse, de forma mais clara, a identificação de PP que servissem como ferramenta para o *design* da intervenção. Ao longo dos diferentes processos de pesquisa propusemos diferentes versões de QPP, até chegarmos a esta que apresentamos no Quadro 2. Uma versão preenchida do QPP, referente ao conteúdo de biodiversidade, pode ser consultada em Silva et al. (2022).

O QPP pode conter mais de uma hipótese de *design* com suas PP associadas, ele promove a sistematização dos resultados provenientes da pesquisa preliminar estendida. A partir dos dados que compõem o QPP é possível, portanto, visualizar um vasto repertório de necessidades de aprendizagem, dificuldades de aprendizagem e estratégias metodológicas sobre o conteúdo científico foco da intervenção educacional. Ele é, portanto, a materialização da etapa 4 da Figura 3.

Sem a necessidade de esgotamento das possibilidades, o QPP permite o mapeamento das necessidades, dificuldades de aprendizagem e estratégias metodológicas associadas a uma hipótese de *design*. Isso favorece a escolha consciente de que PP serão abordadas na intervenção educacional foco do processo de *design*, bem como possibilita enxergar de antemão o que não será contemplado nessa intervenção.

Quando essa reflexão profunda não é feita, podemos nos surpreender mais facilmente com situações imprevistas e indesejadas, tais como a ausência do alcance de objetivos relacionados a conteúdos específicos que não gostaríamos que estivessem à margem da intervenção proposta.

É só quando as PP estão bem explícitas que são definidos os princípios de *design* e os objetivos educacionais que são a base para a prototipagem dos ambientes de ensino e aprendizagem (segunda fase de desenvolvimento, ver Figuras 1 e 2). Neste momento de concepção é primordial que os *designers* implementem, de fato, as características dos ambientes de ensino e aprendizagem pautados no MRE (elemento 1 da estratégia de mobilização, ver Figura 2).

Considerações Finais

Grande parte dos avanços apresentados neste trabalho são advindos de discussões emergentes no nosso grupo de pesquisa em ensino de biologia, cujo principal apporte teórico e metodológico é o MRE. Assim, as nossas observações e práticas – de pesquisa, de ensino e de extensão - foram objeto de análise, para a clarificar a estratégia de mobilização aqui apresentada, que tem o potencial de facilitar a impressão dos pressupostos do MRE nos processos de *design* educacional. Defendemos o MRE como um quadro intermediário, apresentando neste trabalho como os aspectos das grandes teorias são reconstruídos ou reformulados estruturando assim a ferramenta de *design* (os três componentes do MRE).

Para respondermos à questão “Como mobilizar os aspectos teóricos e metodológicos do MRE para o *design* de Sequências Didáticas (SD) e de Jogos Educacionais Complexos (JEC) no Ensino de Ciências?” propomos a estratégia de mobilização para o *design* de ambientes de ensino e aprendizagem, que promove a interação dos elementos de forma recursiva, mobilizando os aspectos teóricos e metodológicos do MRE. Temos utilizado o MRE principalmente para o *design* de SD, JEC e Histórias em Quadrinhos (HQs, que não foram consideradas neste trabalho porque a estruturação do seu percurso de *design* envolve aspectos e etapas que ainda estão em fase de clarificação). É importante destacar que a estratégia de mobilização proposta foi testada na construção de SD e JEC submetidos à validação por pares, cujos artigos descritivos se encontram em fase de desenvolvimento e publicação.

Os próximos passos para o avanço do que foi aqui proposto deverão ser no sentido de responder uma das nossas inquietações que ainda não foi solucionada: ao finalizar a construção de um ambiente, como saber se ele, de fato, apresenta os aspectos essenciais do MRE? Outra perspectiva de pesquisa possível é a realização de pesquisas de desenvolvimento e de efetividade que utilizem os instrumentos aqui propostos, sobretudo aquelas que se proponham a validar intervenções. Avanços nesse sentido foram realizados com um estudo que apresenta um conjunto de indicadores gerais de aprendizagem pautados no MRE (Silva et al., 2025).

Estudos sobre o potencial formativo da utilização do MRE para o desenvolvimento de Sequências Didáticas (SD) no contexto da formação inicial de professores também vêm sendo realizados, pois defendemos que o uso do MRE com esse propósito contribui para a construção dos saberes profissionais docentes (Epaminondas et al., no prelo). O potencial do QPP para contribuir na construção de indicadores de aprendizagem diretamente relacionados ao conteúdo a ser ensinado encontra-se ainda em fase de desenvolvimento e teste.

Por fim, compreender e considerar os aspectos afetivos da aprendizagem nos termos do MRE tem sido um desafio que tentamos superar a cada pesquisa. Já compreendemos como esses aspectos se expressam por meio das potencialidades pedagógicas no processo de *design*. No entanto, precisamos avançar no sentido de integrar os anseios discentes nesses processos, de forma mais sofisticada.

Agradecimentos

Ao Programa de Pesquisa Ecológica de Longa Duração – PELD. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, por meio da Chamada CNPq/CONFAP-FAPs/PELD nº 23/2024, processo nº 445968/2024-9. Ao Fundo de Recursos Hídricos - CT-HIDRO, por meio da Chamada CNPq/MCTI/FNDCT/CT-Hidro nº 63/2022, processo nº 409348/2022-8. Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estudos Interdisciplinares e Transdisciplinares em Ecologia e Evolução (INCT – INTREE).

Referências

- Bruno, G. S., & Carolei, P. (2018). Contribuições do design para o ensino de Ciências por investigação. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 18(3), 851–878.
<https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2018183851>
- Chusinkunawut, K., Henderson, C., Nugultham, K., Wannagatesiri, T., & Fakcharoenphol, W. (2021). Design-based science with communication scaffolding results in productive conversations and improved learning for secondary students. *Research in Science Education*, 51(4), 1123–1140.
<https://doi.org/10.1007/s11165-020-09926-w>
- Conrado, D. M. & Nunes-Neto, N. F. (Orgs.). (2018). Questões sociocientíficas: Fundamentos, propostas de ensino e perspectivas para ações sociopolíticas. EDUFBA.
https://books.scielo.org/id/n7g56?utm_source=chatgpt.com
- Duit, R. (2006, July 1-19). *Science education research – An indispensable prerequisite for improving instructional practice*. ESERA Summer School, Braga.
https://www.researchgate.net/publication/252061311_Science_Education_Research_-_An_Indispensable_Prerequisite_for_Improving_Instructional_Practice

- Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671–688.
<https://doi.org/10.1080/09500690305016>
- Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, U., Komorek, M., & Parchmann, I. (2012). The model of educational reconstruction: A framework for improving teaching and learning science. In *Science education research and practice in Europe* (pp. 13–37). Brill Sense.
- Epaminondas, I. G. P., Smania-Marques, R., & Silva, M. G. (in press). *Modelo de reconstrução educacional e o desenvolvimento de sequências didáticas: Relatos de um professor de biologia em formação inicial*. Revista em Ensino de Biologia da SBEnBio.
- Johann, L., Groß, J., & Rusk, F. (2025). Static compartmentalisation vs. dynamic molecular interaction – On the significance of student conceptions for upper secondary cell membrane biology education. *Nordic Studies in Science Education*, 21(1), 21–38. <https://doi.org/10.5617/nordina.9912>
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H., & Komorek, M. (1996, April 1-20). Educational reconstruction: Bringing together issues of scientific clarification and students' conceptions. *Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching (NARST)*, St. Louis.
- Kattmann, U. (2007). Didaktische Rekonstruktion – Eine praktische Theorie. *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (pp. 93–104). Springer Netherlands.
- Kersting, M., Henriksen, E. K., Bøe, M. V., & Angell, C. (2018). General relativity in upper secondary school: Design and evaluation of an online learning environment using the model of educational reconstruction. *Physical Review Physics Education Research*, 14(1), 2469-9896.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.14.010130>
- Kishimoto, T. M. (Org.). (2005). *Jogo, brinquedo, brincadeira e a educação* (8^a ed.). Cortez.
- Komorek, M., & Kattmann, U. (2008). The model of educational reconstruction. In S. Mikelskis-Seifert, U. Ute, & M. Brückmann (Eds.), *Four decades of research in science education: From curriculum development to quality improvement* (pp. 171–188). Waxmann.
- Labudde, P. (2008). The role of constructivism in science education: Yesterday, today and tomorrow. In S. Mikelskis-Seifert, U. Ringelband, & M. Brückmann (Eds.), *Four decades of research in science education: From curriculum development to quality improvement* (pp. 171–188). Waxmann.
- Lerner, J. A. (2014). *Making democracy fun: How game design can empower citizens and transform politics*. MIT Press.
- Lie, R., Aranda, M. L., Guzey, S. S., & Moore, J. T. (2021). Students' views of design in an engineering design-based science curricular unit. *Research in Science Education*, 51(3), 663–683.
<https://doi.org/10.1007/s11165-018-9813-9>
- Lira, F. D., & Smania-Marques, R. (2021). Mais um nada comum dia na escola: Um jogo educacional complexo no estilo RPG de aventura para tratar o tema sexualidade. *Investigações em Ensino de Ciências*, 26(2), 290–312. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2021v26n2p290>
- Lira, F. D., Bernardo, M. L., & Smania-Marques, R. (2021). Desenvolvimento e teste de uma ferramenta para avaliação e validação de jogos educacionais do tipo RPG. In J. R. Lima, M. C. A. Oliveira, & N. S. Cardoso (Orgs.), *Itinerários de resistência: pluralidade e laicidade no Ensino de Ciências e Biologia* (Vol. 1, pp. 281–290). Editora Realize. <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/74661>
- Méheut, M., & Psillos, D. (2004). Teaching-learning sequences: Aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), 515–535.
<https://doi.org/10.1080/09500690310001614762>
- Mesquita, L., Brockington, G., Testoni, L. A., & Studart, N. (2021). Metodologia do design educacional no desenvolvimento de sequências de ensino e aprendizagem no ensino de física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 43, e20200404. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0404>
- Niebert, K., & Gropengießer, H. (2013). The model of educational reconstruction: A framework for the design of theory-based, content-specific interventions – The example of climate change. In T. Plomp & N. Nieveen (Eds.), *Educational design research – Part B: Illustrative cases* (pp. 511–531). SLO.
- Plomp, T. (2013). Educational design research: An introduction. In T. Plomp & N. Nieveen (Eds.), *Educational design research – Part A: An introduction* (pp. 10–51). SLO.

- Reinfried, S., Tempelmann, S., Aeschbacher, U., & Krucker, H. (2015). The model of educational reconstruction: A powerful strategy to teach for conceptual development in physical geography—The case of water springs. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 24(3), 237–257. <https://doi.org/10.1080/10382046.2015.1041961>
- Ruthven, K., Laborde, C., Leach, J., & Tiberghien, A. (2009). Design tools in didactical research: Instrumenting the epistemological and cognitive aspects of the design of teaching sequences. *Educational Researcher*, 38(5), 329–342. <https://doi.org/10.3102/0013189X09338513>
- Sarmento, A. C. de H., Costa, M. J. P., Farias, R. L. P., & Silva, M. F. da. (2013). Investigando princípios de design de uma sequência didática sobre metabolismo energético. *Ciência & Educação (Bauru)*, 19(3), 573–598. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132013000300008>
- Silva, G. M. (2019). *O modelo de reconstrução educacional como um apporte teórico e metodológico para o design de uma sequência didática sobre o conceito de biodiversidade em uma perspectiva integral e polissêmica* [Tese de doutorado, Universidade Federal Rural de Pernambuco]. Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da UFRPE. <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/8343>
- Silva, G. M., & Ferreira, H. S. (2020). Modelo de reconstrução educacional como um aporte teórico e metodológico para o design de ambientes de ensino e aprendizagem da ciência. *Investigações em Ensino de Ciências*, 25(1), 262–281. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2020v25n1p262>
- Silva, M. G., Smania-Marques, R., & Ferreira, H. S. (2022). Mobilização de aspectos teóricos e metodológicos do Modelo de Reconstrução Educacional para apoiar o processo de design de uma sequência didática sobre biodiversidade. *Investigações em Ensino de Ciências*, 27, 173–190. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2022v27n1p173>
- Silva, M. G., & Smania-Marques, R. (2023). Identificação de estratégias para mobilizar aspectos teóricos e metodológicos do Modelo de Reconstrução Educacional: o design de uma sequência didática sobre cadeia alimentar. *Anais do XIV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC)*. Revista ENPEC. https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/enpec/2023/TRABALHO_COMPLETO_EV181_M_D1_ID2075_TB957_09032023155858.pdf
- Silva, M. G., Silva, I. C. B., & Smania-Marques, R. (2025). Construindo caminhos para a validação de sequências didáticas: Identificação de indicadores de aprendizagem apoiados teoricamente no Modelo de Reconstrução Educacional. *Revista Ponto de Vista*, 14(1), 1–20. <https://doi.org/10.47328/rpv.v14i1.19590>
- Smania-Marques, R., Lira, F. D., Vasconcelos, G. B., Bernardo, M. L., & Silva, M. G. (2024). *Design de jogos educacionais [recurso eletrônico]: orientações de construção para além das vozes da cabeça*. EDUEPB. <https://eduepb.uepb.edu.br/e-books/>
- Tardif, M. (2012). *Saberes docentes e formação profissional*. Editora Vozes.
- Van Den Akker, J. (1999). Principles and methods of development research. In J. van den Akker, R. M. Branch, K. Gustafson, N. Nieveen, & T. Plomp (Eds.), *Design approaches and tools in education and training* (pp. 1–14). Kluwer Academic.
- Vasconcelos, G. B., & Smania-Marques, R. (2021). Construção de um boardgame didático como ferramenta facilitadora dos processos de ensino e aprendizagem de ecologia, zoologia, genética e evolução. In M. J. L. Silva, C. H. G. Meneses, & F. F. Cruz (Orgs.), *Rede de Saberes* (Vol. 1, pp. 270–297). EDUEPB. <http://eduepb.uepb.edu.br/download/rede-de-saberes-vol-ii/?wpdmldl=1541&masterkey=6ocba48a72ba4>
- Zabala, A. (1998). *A prática educativa: Como ensinar*. Artmed.