

Design: Explicação e Problemáticas das Sequências de Ensino-Aprendizagem para o planejamento didático*

Design: Explanation and Problems of Teaching-Learning Sequences for Didactic Planning

João Pedro Ghidini^a, Marcelo Gameiro Munhoz^b

^a Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências, Instituto de Física da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil; ^b Departamento de Física Nuclear, Instituto de Física da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

Resumo. O planejamento é etapa crucial na inovação educacional. Considerando que ele não pode ser dissociado da implementação e da avaliação dos resultados, as abordagens *design* ganharam destaque acadêmico ao redor do mundo, especialmente no Brasil, a partir das Sequências de Ensino-Aprendizagem (SEA). Em sua construção e consolidação, a SEA não ficou livre de problemas na comparação da literatura. Trabalhos brasileiros entendem de formas distintas a sua relação com abordagens semelhantes, além de haver algumas confusões sobre as etapas que a caracterizam, como a iteração. Buscando contribuir para a clareza dos diferentes conceitos que a cercam, aprofundar o significado dos conceitos de *princípios de design*, *design* e iteração, bem como explicitar os desafios das pesquisas envolvendo a SEA, neste artigo teórico nós conduzimos uma pesquisa qualitativa bibliográfica a fim de propor uma explicação da SEA através da proposição de conceitos que considerem seu processo de construção, com base em trabalhos pontuais e de revisão. Identificando os desafios, apresentamos algumas sugestões de como lidar com eles a partir da nossa experiência elaborando e implementando uma SEA. As sugestões ficaram centradas em como aprimorar a contribuição dos princípios de design, ideias de professores e experts, bem como na realização e comunicação da iteração.

Palavras-chave:

Design, Sequências de Ensino-Aprendizagem, Planejamento, Inovação Curricular, Design-Based Research.

Submetido em

26/06/2025

Aceito em

29/12/2025

Publicado em

20/03/2026

Abstract. Planning is a crucial step in educational innovation. Considering that it cannot be dissociated from implementation and evaluation of results, design approaches have gained academic prominence around the world, especially in Brazil, based on the Teaching-Learning Sequences (SEA). In its construction and consolidation, SEA was not free from problems when comparing the literature. Brazilian studies understand its relationship with similar approaches in different ways, in addition to some confusion about the stages that characterize it, such as iteration. Seeking to contribute to the clarity of the different concepts that surround it, to deepen the meaning of the concepts of design principles, design and iteration, as well as to explain the challenges of research involving SEA, in this theoretical article we conducted a qualitative bibliographical research in order to propose an explanation of SEA through the proposition of concepts that consider its construction process, based on specific and review studies. Identifying the challenges, we present some suggestions on how to deal with them based on our experience developing and implementing a SEA. Suggestions focused on how to enhance the contribution of design principles, ideas from teachers and experts, as well as the implementation and communication of the iteration.

Keywords:

Design, Teaching-Learning Sequence, Curricular Innovation, Design-Based Research.

* Este artigo é uma expansão, rearticulação e reformulação de parte de Ghidini (2023).

Introdução

O planejamento escolar desperta diferentes sentimentos no professor. O momento de decidir como serão as futuras aulas evoca uma força criativa e transformadora, que logo se depara com diferentes problemas, trazendo apatia e um recuo ao que já é conhecido. Estes problemas são diversos: a dificuldade de conectar as teorias educacionais com o tópico que deseja ensinar, falta de recursos, mudanças nas diretrizes educacionais, baixa carga horária, falta de formação do professor, desmotivação financeira, alunos desinteressados e a dificuldade de inclusão são alguns deles (DBRC, 2003; Méheut & Psillos, 2004; Psillos & Kariotoglou, 2016b; Kneubil & Pietrocola, 2017). Não por acaso, o próprio ‘planejamento inovador’ se tornou objeto de estudo das pesquisas educacionais. De acordo com Nipyrakis, Stavrou e Avraamidou (2024), cultivar a prática do **design** (planejamento, em tradução livre) passou a ser um objetivo central de currículos ao redor do mundo.

Considerando que para compreender o planejamento adequadamente não se deve dissociá-lo da implementação e da avaliação, as abordagens *design* proliferaram em torno dos anos 2000, chegando a duas consolidadas propostas com ‘localizações geográficas’ mais ou menos bem estabelecidas: a *Design-Based Research* (DBR), na América do Norte (Psillos & Kariotoglou, 2016b, p.12), e a *Teaching-Learning Sequence(s)* - ou Sequência(s) de Ensino-Aprendizagem (SEA)² – na Europa Ocidental (Méheut & Psillos, 2004). Essas ‘capitais geográficas’ se dão tanto pelo processo histórico que levou a sua formulação, como comentaremos abaixo, quanto pela popularização dessas duas abordagens em seus respectivos locais de origem, embora, como é corriqueiro no atual estágio da globalização, essas abordagens se estendam para novos locais, onde recebem novas contribuições. Há pouco mais de dez anos tem se intensificado um intercâmbio de ideias entre as duas (Psillos & Kariotoglou, 2016b, p.12; Tiberghien, Vince e Gaidioz, 2009). O fato de a SEA englobar um **produto educacional** e uma **atividade de pesquisa** (Meheut & Psillos, 2004) torna-a atrativa para aqueles que querem não ficar apenas conjecturando ideias, mas sim imergir na sala de aula.³

A SEA e a DBR encontraram no Brasil um ambiente fértil para o seu crescimento, com diferentes trabalhos que tentam compilar e organizar discussões sobre elas (Barros & Ferreira, 2013; Kneubil & Pietrocola, 2017; Pessanha, 2023; Mesquita *et al.* 2021; Tamiossi & Pigatto, 2020). É notória a contribuição desse livro e artigos de revisão como modo de introduzir e organizar essas abordagens de pesquisa. Entretanto, isso não veio livre de problemas. Encontramos nos artigos brasileiros algumas inconsistências e contradições, tanto entre si, quanto quando comparados com a literatura internacional. Vamos refletir sobre elas a partir da SEA, entendendo que:

A partir de Kneubil e Pietrocola (2017) sintetizamos que a SEA busca fazer a conexão entre “teorias gerais” da educação (incluindo abordagens cognitivas, epistemológicas, sociológicas

² A utilização do termo traduzido para SEA se dá devido a consideração de que essa tradução está bem difundida na comunidade brasileira (Pessanha, 2023).

³ Ao longo do texto, a expressão SEA ou DBR poderá se referir a : (i) uma sequência particular construída; (ii) um conjunto de métodos de pesquisa; (iii) uma comunidade de pesquisa. O contexto deixará claro o uso que está sendo feito.

e etc.) com a prática de ensino. No geral, são sequências curtas (p. 4). Os “princípios de design” são as hipóteses (educacionais, epistemológicas, cognitivas) de partida para inserir um dado tema (com dadas motivações) (p. 8). A partir dos princípios de design, do tema e de objetivos específicos, se faz o design, que consiste na elaboração da SD [Sequência Didática], sendo que nessa etapa é interessante contar com a participação do professor implementador (p. 9). Surge então um “produto”, que é a sequência didática, que busca atingir as metas pré-estabelecidas (p. 10). O processo de Design não é único, mesmo para um mesmo princípio de design (p. 9). Após a implementação, avalia-se a SEA e busca-se mudar o design anterior, caracterizando como um **processo iterativo** (p. 11 e p. 8). Por fim, com a SEA você possui um “produto” passível de ser transferido para outros pesquisadores e professores (p. 10) (Ghidini, 2023, p.77-78, grifo no original).

Um primeiro problema é quanto à relação entre a SEA e a DBR. Kneubil e Pietrocola (2017, p.4) afirmam que a SEA é uma sub-linha da DBR. Mesquita et al. (2021, p.2) sugere o contrário, afirmando que a DBR é uma forma engenhosa de elaboração e implementação das SEA. Ambos os trabalhos entram em contradição com a forma como autores que atuaram nas primeiras formulações da SEA entendem essa relação, interpretando-as como abordagens distintas (Psillos & Kariotoglou, 2016b). Bakker (2018) em um trabalho de sistematização da DBR, também não reconhece a SEA como parte da DBR, e a revisão de Anderson e Shattuck (2012) sobre a DBR também não a reconhece.

A dependência entre as abordagens também não parece encontrar respaldo histórico. O número especial do *International Journal of Science Education* (IJSE) (volume 24, nº 3, em 2004) marca a consolidação da SEA, com sete artigos publicados por autores que atuam em universidades europeias, com pesquisas empíricas que investigam a inovação educacional (Ghidini, 2023). Previamente, nos Simpósios de 2000 (Paris, França) e 2001 (Thessaloniki, Grécia), pesquisadores com o objetivo de inovar o currículo através da inserção de determinados tópicos, voltaram-se para estudos anteriores. Eles observaram tanto as pesquisas desenvolvidas entre 1970 e 1980 sobre concepções espontâneas e formas de raciocinar, quanto as pesquisas empíricas realizadas ao longo dos anos 90. O propósito era identificar quadros teóricos gerais e entender a produção e os resultados das sequências didáticas (Méheut & Psillos, 2004; Méheut, 2005).

A formulação da DBR ocorreu paralelamente. O grupo intitulado *Design-Based Research Collective* (DBRC), composto por nove autores de universidades estadunidenses e uma autora de uma universidade israelita, publicou em 2003 um artigo com grande preocupação sobre como a pesquisa educacional pode contribuir para a prática educacional (Ghidini, 2023). O marco inicial dessa proposta são os artigos dos estadunidenses Ann Brown (1992) e Allan Collins (1992), que na época denominavam seus próprios trabalhos como *design experiments*, com preocupações metodológicas para promover a inovação educacional envolvendo a tecnologia (DBRC, 2003; Collins, Joseph & Bielaczyc, 2004, Anderson & Shattuck, 2012; Ghidini, 2023).

Perceber a construção da SEA nos permite olhar de forma diferente para sua própria caracterização. Para a consolidação da abordagem, é importante a criação de conceitos e imagens que almejam descrever e sintetizar certos processos. Entretanto, a formulação dessas abordagens foi muito mais orgânica do que teórica – foi uma tentativa de encontrar

semelhanças em diferentes trabalhos que estavam sendo conduzidos. Esse caráter orgânico faz com que qualquer elaboração de conceitos corra o risco de ser *parcial*, envolvendo uma espécie de negociação, de defesa de posições. Os conceitos são mais **construídos** do que *descobertos*. Esse é o caso, por exemplo, do conceito de **princípios de design**, como discutiremos futuramente.

Um outro conceito que por vezes aparenta ser visto como descoberto ao invés de construído é o de **iteração**, que consiste no uso dos dados coletados durante a implementação para aprimorar a proposta educacional inicial. Quando Silva (2017) em sua dissertação buscou fazer uma SEA e utilizou referenciais próprios da abordagem, afirmou ao final: “Pois, como não houve tempo para reimplementá-la, ela não foi definida como uma SEA” (Silva, 2017, p.58). Será que essa rigidez é adequada? Nos primeiros momentos de consolidação da área haviam trabalhos que não faziam referência explícita à iteração (Ghidini, 2023), embora de fato em diferentes trabalhos ela apareça como uma característica da SEA (Valkanou, Starakis, & Zoupidis, 2024; Psillos & Kariotoglou 2016b). Ao caracterizar a SEA, Psillos e Kariotoglou (2016b) apontam que **frequentemente** há ciclos de implementação, mas discutem que há muitos trabalhos que não fazem referência explícita à iteração, sugerindo isso como um problema. Entender a ausência da iteração como um problema é diferente de impor como critério que haja a iteração. A área parece tender a esse movimento, mas é algo que está sendo construído. A discussão mais frutífera parece ser a que reflete sobre o que se perde com a ausência da iteração.

A construção da comunidade é uma estufa para disputas teóricas. Há diferentes *meta discussões* sobre a SEA (Kelly, 2004; Juuti et al, 2016; Sloane & Gorard, 2003; Ghidini, 2023). O reconhecido losango didático, proposto em Méheut e Psillos (2004) e também Méheut (2005) tem o objetivo de tentar localizar quais são as ênfases que as SEA possuem, com um eixo epistêmico que possui os polos conhecimento científico e mundo material, e no eixo pedagógico os polos estudante e professor. Esse losango tem ganhado espaço na literatura brasileira (Barros & Ferreira, 2013), mas por vezes é interpretado como prescritivo, como se “No desenvolvimento de uma SEA, o pesquisador **deve** levar em consideração os elementos: professor, alunos, mundo material e o conhecimento científico.” (Kneubil & Pietrocola, 2017, p.7, grifo nosso). Essa afirmação também aparece em trabalho internacional (Grimalt-Alvaro, 2024, p.237). Entretanto, em sua formulação original, os autores deixam claro que o propósito do losango é descrever: há SEA que consideram mais o professor e o conhecimento científico, outras que consideram mais os estudantes e o mundo material, etc (Méheut e Psillos, 2004; Méheut, 2005).

Poderia se considerar que tais inconsistências e contradições derivam do fato de os artigos de revisão brasileiros estarem partindo de diferentes perspectivas para conceitualizar a SEA. Mas esse não é o caso, uma vez que os artigos possuem forte intersecção entre as referências, baseados nas publicações do IJSE e da DBRC. Tendo atenção a essas problemáticas, neste artigo teórico realizamos uma pesquisa qualitativa bibliográfica a fim de propor uma

explicação⁴ para a SEA através da proposição de conceitos que considere seu processo de construção. Para isso, conduziu-se uma análise conceitual tendo como *corpus* de análise os artigos comumente referenciados pelas revisões brasileiras, bem como artigos subsequentes dos autores desse *corpus*, a fim de verificar o desenvolvimento desses conceitos. Com isso, verificou-se também que há conceitos e processos pouco discutidos nas revisões brasileiras, como as ferramentas de iteração e a organização da colaboração. A análise desses processos provoca a identificação de novos desafios para as pesquisas com a SEA. Apresentaremos algumas sugestões de como lidar com eles a partir da nossa experiência elaborando e implementando uma SEA (Ghidini, 2023).

Compreendendo as Sequências de Ensino-Aprendizagem

Ao abordar a Sequência de Ensino-Aprendizagem (SEA), é fundamental distinguirmos o tipo de conceitos que analisaremos e utilizaremos. Para a nossa explicação, optamos por não focar em conceitos individuais – aqueles que descrevem eventos únicos, como a queda de uma maçã em um espaço e tempo específicos. Em vez disso, daremos preferência a conceitos gerais, que abrangem fenômenos mais amplos, como a queda de objetos em geral (Dahlberg, 1978).

Dahlberg (1978) aponta que conceitos individuais, embora preservem as características dos gerais, incorporam especificidades adicionais. No exemplo da maçã, fatores como seu formato e a resistência do ar seriam relevantes. Contudo, os conceitos gerais que propomos para a SEA, moldados pelo processo de construção da própria comunidade, não devem ser interpretados rigidamente dessa forma. Eles funcionam mais como heurísticas: aproximações que frequentemente se adequam às pesquisas individuais, mas não invariavelmente. Um exemplo claro é a iteração, que, embora desejada e presente em boa parte das SEA, não é uma constante em todas (Psillos & Kariotoglou, 2016b).

Explicaremos a SEA a partir de um esquema semelhante ao de Kneubil e Pietrocola (2017), conforme Figura 1. A etapa mais importante é a do *Design*, composta por outras quatro sub etapas – princípios de *design*, objetivos de aprendizagem, conteúdo científico e elaboração –, que se relacionam holisticamente.

4 Enquanto a tarefa de descrição envolve observação e uso preciso da linguagem, a de explicação envolve a mobilização de conceitos e tentativas de generalização. Isso será evidenciado a partir da proposição de “etapas” para a SEA, bem como a partir da proposição de conceitos (a maioria já conhecidos na literatura, embora não reunidos em um único trabalho).

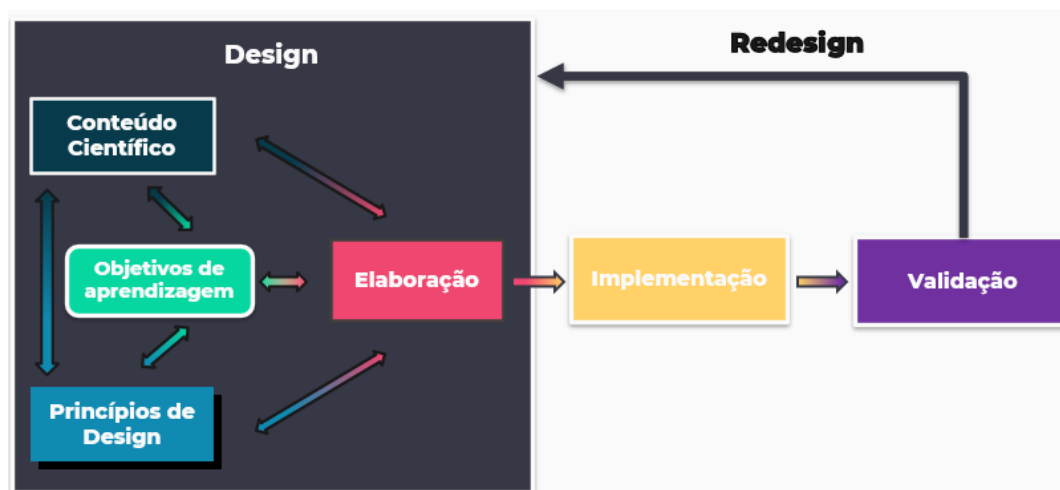


Figura 1. Esquema do processo de *design*. Fonte: Adaptado de Ghidini (2023).

Princípios de Design

Kneubil e Pietrocola (2017) afirmam que os princípios de *design* são pressupostos teóricos “[...] que servem de base no planejamento de uma intervenção, podendo ser epistemológicos, didáticos, axiológicos, de aprendizagem ou, ainda, uma combinação deles.” (p.8). Notamos também que embora uma proposta possa ter vários princípios de *design*, é comum que um ou dois assumam maior relevância (Pessanha, 2023, p.55). Expressar adequadamente os princípios de *design* é algo crucial para a justificativa do planejamento das aulas (Ghidini, 2023). Enquanto **atividade de pesquisa**, a SEA torna central os princípios de *design*, por terem o maior potencial reflexivo (Pessanha, 2023, p.29).

Embora sempre associado à etapa de preparação, como algo que estrutura a sequência didática planejada, o conceito *princípios de design* contém distinções em seu significado, a depender do trabalho. Para compreendermos melhor este conceito, discutiremos a seguir seu **significado e aplicação**.

Significado. Em sua primeira aparição desde a consolidação da área⁵, proposta por Kabapinar, Leach & Scott (2004), ‘*princípios de design*’ consistiam de sínteses dos referenciais teóricos, que buscavam conter as contribuições mais relevantes para o *design* (Ghidini, 2023). Os autores elaboraram uma SEA sobre solubilidade, em que se percebe a diversidade de possibilidades dos *princípios de design*, sendo que os referenciais usados pelos autores são: (i) compreensões do conceito de solubilidade e representações de partículas, identificadas em uma revisão de artigos; (ii) o socioconstrutivismo de Vygotsky e (iii) as diferenças ontológicas e epistemológicas presentes na linguagem científica e do cotidiano. Essa compreensão do conceito ‘*princípios de design*’ é coerente com a compreensão proposta na revisão de Psillos e Kariotoglou (2016b).

⁵ No início da área, a expressão ‘princípios de design’ era pouco utilizada, sendo que na edição especial do IJSE em 2004, dos sete artigos sobre SEA, apenas Kabapinar, Leach & Scott (2004) utilizam essa expressão (Ghidini, 2023). A expressão aparece em outros trabalhos, como Stolk et al (2005, p.171), Psillos, Spyrtou e Kariotoglou (2005, p.123) e também na DBR, como em Bauer-Marschallinger (2019).

Há trabalhos que enfatizam a conexão desse conceito com outras etapas da SEA. Para Stolk *et al* (2005, p.171) os *princípios de design* surgem *depois* da realização do ciclo de implementação, sendo princípios úteis para outros ciclos, conectando diretamente os *princípios de design* com os resultados. Embora na DBR, a reflexão de Bauer-Marschallinger (2019) é também pertinente: os *princípios de design* são altamente dependentes do contexto, cabendo ao professor considerar isso quando for implementar em outro contexto (Ghidini, 2023). Psillos, Spyrtou e Kariotoglou (2005, p.123) colocam os *princípios de design* como dependentes do conteúdo científico, uma vez que os *princípios de design* surgem a partir de uma sequência de etapas que realiza uma análise minuciosa do conteúdo científico e dos referenciais pedagógicos.

Aplicação. Uma das preocupações importantes da SEA, que é compartilhada com a DBR, é que os *princípios de design* façam contribuições relevantes para o planejamento das aulas (Lijnse, 1995; Cobb *et al*, 2003; Tiberghien, Vince & Gaidioz, 2009; Leach, Ametler & Scott, 2010). Com esse objetivo, Tiberghien, Vince e Gaidioz (2009), na intersecção DBR-SEA, propõem uma separação entre as “*grandes teorias*” e as “*teorias específicas*”.

Para os autores, as **grandes teorias** são associadas a três polos (vértices) de um triângulo: conhecimento, ensino e aprendizagem. Elas são apresentadas em sínteses bastante similares aos ‘*princípios de design*’ de Kabapinar, Leach & Scott (2004). O diferencial está nas **teorias específicas**. As teorias específicas são formadas a partir da articulação da síntese do polo (*e.g.* conhecimento) com o conteúdo a ser ensinado (*e.g.* mecânica para o primeiro ano da universidade), bem como das relações com os outros polos (*e.g.* relacionar conhecimento e aprendizagem). Essas relações dão origem a uma teoria específica, e os exemplos que apresentamos são aquilo que os autores utilizaram para compor a teoria específica dos “dois mundos” (Tiberghien, Vince e Gaidioz, 2009)

Outro modo de melhorar a aplicação dos *princípios de design* no planejamento é através das **ferramentas de design** (*Design Tools*) (Psillos & Kariotoglou, 2016b). Elaboradas a partir de determinados referenciais, elas normalmente (mas não sempre) envolvem representações não linguísticas (*e.g.* diagramas, tabelas), que visam auxiliar na elaboração das situações de aprendizagem (Ghidini, 2023). O uso em geral está restrito aos próprios grupos que a criaram (Psillos & Kariotoglou, 2016b, p.24). Entendemos que isso ocorre pois as ferramentas em diferentes casos são apresentadas com forte dependência aos referenciais adotados pelo grupo criador. Caso um pesquisador externo se interesse pela ferramenta, ele necessita adotar os referenciais utilizados ou fazer uma readequação ao seu contexto.

A *ferramenta de design Knowledge Distance* (‘Distância do Conhecimento’) constitui-se de uma tabela em que se estabelece em diferentes colunas a dimensão de aprendizado a ser explorada (*e.g.* relação entre modelo e objeto real), aquilo que os estudantes já conhecem sobre física e sobre o cotidiano, e o que eles precisam aprender em física (Tiberghien, Vince e Gaidioz, 2009). Já a *Learning Demand* (‘Demanda de Aprendizagem’) constitui-se de um conjunto de etapas que objetiva encontrar quais são as demandas de aprendizagem de um determinado grupo de estudantes, que por sua vez serão a base para a Elaboração (Leach &

Scott, 2002)⁶. A *Didactical Structure* ('Estrutura Didática') busca comunicar os elementos essenciais de uma SEA, ilustrando como o pesquisador resolveu um problema didático específico. A ferramenta é composta por um diagrama que evidencia duas colunas: conhecimento e motivação. Ambos se alternam, em que um conhecimento é seguido de uma motivação e por sua vez é seguida por um conhecimento e assim sucessivamente. Para algumas sequências, a coluna "conhecimento" pode ser substituída por uma ou mais colunas (como por exemplo por conhecimento de física e natureza da física) (Lijnse e Klaassen, 2004) (Ghidini, 2023).

Conteúdo científico⁷

Ao iniciar o *design* de uma SEA, é comum encontrar dificuldades quanto ao papel do conteúdo científico. Tendo isso, comentaremos sobre essa sub etapa a partir de uma imaginação cronológica da construção de uma SEA. A elaboração de uma SEA nasce de diferentes pretensões, podendo ser o desejo de que a mecânica quântica seja discutida na sala de aula ou compreender a tomada de decisão acerca de resíduos no meio ambiente. Embora seja nítida a diferença entre conteúdo científico (ou seja, os conhecimentos elaborados e didatizados a partir das ciências naturais) e *princípio de design*⁸, a intenção que dá origem à SEA limita e é limitada por aquilo que não estava sendo considerado inicialmente. O modo como essa delimitação ocorre depende do desenvolvimento cronológico da SEA. Disso deriva a natureza holística da SEA (Ghidini, 2023).

1º caso: Delimitação do conteúdo a partir de futura decisão dos princípios de design. Tomemos um exemplo. Inicialmente se deseja que os estudantes aprendam sobre a energia nuclear, com um pensamento bastante amplo, que envolve o impacto social, o funcionamento da usina, a gestão de energia, os acidentes, etc. Mas com a adoção de *princípios de design* sobre risco e confiança na ciência, a pretensão inicial é limitada, pois nem todos os assuntos são pertinentes a esse princípio, uma vez que compreender detalhadamente o decaimento do urânio pouco contribui para atingir esses objetivos. Poderia-se delimitar os princípios a partir de futura decisão do conteúdo científico e a discussão seria análoga.

2º caso: Delimitação do conteúdo a partir do desejo inicial por determinados princípios de design. Consideremos outro exemplo. Se inicialmente já se tem consolidado a pretensão por um *princípio de design* específico, ele irá limitar as possibilidades de conteúdo científico. Se o desejo inicial do pesquisador é ter como *princípio de design* o par conceitual risco e confiança na ciência (Giddens, 1991), o conteúdo científico dificilmente poderá ser "Lei de Coulomb", uma vez que não há relações intuitivas entre esse conteúdo e o princípio escolhido.

3º caso: Delimitação dos princípios a partir do desejo inicial por um conteúdo. O desejo por um conteúdo científico bem especificado limita os *princípios de design*. Se o conteúdo escolhido for teorema de Pitágoras, ter a história da ciência como *princípio de design* é

6 Esse grupo também elaborou a *Communicative approach* e a *Design Briefs* (Leach, Ametler & Scott, 2010, p.10).

7 Aqui adota-se o sentido usual de entender "conteúdo científico" como sinônimo de "conteúdo das ciências naturais".

8 No caso, a mecânica quântica é claramente um conteúdo científico, enquanto a compreensão da tomada de decisão exige algum princípio de design.

inadequado, pois não há nenhum objetivo de aprendizagem que seja coerente à junção teorema de Pitágoras e história da ciência (Gurgel, 2020, p. 335) (Ghidini, 2023).

Vale dizer que, apesar da grande maioria das SEA terem como conteúdo científico aqueles mais associados às ciências naturais, há SEA que envolvem conteúdos que não são tipicamente associados a elas, como por exemplo a psicologia (González-Palta *et al*, 2024).

Objetivos de aprendizagem

Na intermediação entre o conteúdo científico e os *princípios de design* estão os objetivos de aprendizagem. Ter clareza sobre eles e conseguir expressá-los em poucas proposições é crucial para a elaboração de uma SEA. Isso passa por compreender o que é um meio e o que é um fim. Tomemos a Energia como exemplo.

O conceito de energia foi alvo de inúmeras pesquisas empíricas que buscavam investigar as concepções prévias dos estudantes sobre energia no contexto escolar, por vezes elegendo categorias ou estruturas que buscam identificar o que há de comum nessas concepções prévias dos estudantes (Barbosa & Borges, 2006). Um exemplo de categoria seria a ‘*Energia como Combustível*’, associada a um esgotamento futuro das fontes de energia utilizadas pelos humanos, em que “crise de energia” é a “crise de combustível” e a “conservação da energia” é “conservar combustível”, prevalecendo a noção de que o combustível é energia, e não que ele é uma fonte de energia (Driver *et al*, 1994 *apud* Barbosa & Borges, 2006). Uma SEA poderia ter Energia como *conteúdo científico* e a consideração dessa concepção prévia como *princípio de design*, tendo como objetivo de aprendizagem o ensino de uma concepção mais cientificamente adequada. O reconhecimento da concepção prévia é um meio para alcançar a finalidade de aprender a concepção científica. Esse foco de aprendizagem nos produtos e nos processos da ciência é o que Roberts (2007) chama de Visão I de ensino.

Por outro lado, uma proposta de ensino voltada ao estudo da matriz energética poderia se desenvolver do início ao fim com os estudantes compreendendo inadequadamente a ‘Energia como Combustível’ e que conservação da energia é conservar combustível, sem que com isso existam perdas significativas para os objetivos de aprendizagem elencados. Por exemplo, suponha uma SEA que objetiva aprimorar o engajamento cidadão dos estudantes, e para isso propõe que os estudantes façam um debate em que cada grupo deve defender uma fonte de energia (seja nuclear, hidrelétrica, eólica e etc.). Os objetivos de aprendizagem estão então mais associados a atitudes e valores do que aos conceitos científicos. Aprender conceitos científicos é um meio para desenvolver atitudes e valores em temáticas científicas, e são apresentados conforme a necessidade. Propostas com esse foco, em situações sociais específicas, que os alunos encontrarão enquanto cidadãos fora da escola, são as que Roberts (2007) conceitua como Visão II⁹.

9 Numa revisão de teses e dissertações da pesquisa em ensino de física no Brasil, Salem (2012) aponta que em torno do final dos anos 90 a ‘mudança conceitual’ era um proeminente tópico de pesquisa. Em seguida, no começo dos anos 2000, ela deixa de ser uma preocupação e começa a surgir um afastamento do conhecimento específico de física, sendo a física moderna e contemporânea uma exceção. Com o passar dos anos, Salem pontua que o conhecimento físico se torna implícito

A ausência de consolidação dos objetivos de aprendizagem influencia na ausência de consensos das práticas de ensino, ao menos de práticas orientadas por pesquisas acadêmicas. Há algumas décadas, Piet Lijnse¹⁰ denuncia a ausência de consensos sobre como ensinar determinado conteúdo científico (Leach, Ametler & Scott, 2010, p.7). Há indagações sem respostas consensuais: “como lidar com as dificuldades conceituais dos alunos para explicar a situação X” ou “como incentivá-los a relacionar o conhecimento científico com as evidências durante a experimentação no tópico Y” (Lijnse, 1995 apud Psillos & Kariotoglou, 2016b, p.13). É marcante a sensação do autor sobre a não contribuição das teorias educacionais e da psicologia para o ensino da mecânica quântica (Lijnse, 2000, P.309 apud Leach, Ametler & Scott, 2010, p.7; Ghidini, 2023). Disso deriva a importância de estabelecer os objetivos de aprendizagem.

Por outro lado, uma outra questão importante incomoda desde o início da consolidação da SEA (Méheut e Psillos, 2004, p.523): ainda que os objetivos de aprendizagem sejam localmente atingidos, em que sentido os resultados podem ser gerais e independentes das condições em que foram obtidos? Esse desejo por formas consensuais de ensinar determinado tópico tem como premissa de que seria possível encontrar uma SEA a prova de contexto, ainda que a elaboração da SEA seja contextual. Em outras palavras, o desejo por consenso acredita que seria possível uma solução local se tornar uma solução global¹¹. Acreditamos que a resposta para essa pergunta está longe de surgir de forma empírica, porque mesmo os *frameworks*¹² elaborados geralmente ficam restritos aos próprios grupos que o elaboraram (Psillos e Kariotoglou, 2016b), então muito menos ocorre a aplicação de SEA produzidas por outros grupos.

Elaboração

Denomina-se *Elaboração* o planejar das aulas (suas atividades, explicações, configuração da sala, etc.), sendo o momento da confecção do produto educacional. Ela depende do entrelaçar do conteúdo científico, dos *princípios de design* e dos objetivos de aprendizagem, sendo que nesse entrelaçar essas mesmas etapas anteriores são repensadas, caracterizando um processo holístico. Kneubil e Pietrocola (2017) utilizam a palavra “*design*” para se referir ao que chamamos de *Elaboração*. Pelo caráter holístico, acreditamos que o mais adequado é incluir dentro do *design* o conceito de elaboração, além dos outros três conceitos. Por outro lado, Psillos e Kariotoglou (2016b) parecem denominar como *design* o conjunto que chamamos de princípios de design, conteúdo científico e objetivos de aprendizagem, denominando de “desenvolvimento” aquilo que chamamos de “elaboração”. A palavra elaboração parece

ou ausente. Há uma aparente preferência acadêmica contemporânea pela Visão II ao invés da Visão I (Salem, 2012). Alguns trabalhos também comentam sobre a necessidade de uma Visão III.

¹⁰ “Piet Lijnse é um consagrado autor da área de SEA, que também publicou artigo na edição especial do IJSE e em 2010 foi realizado um simpósio em honra a ele, que resultou em uma edição especial de artigos organizada por Kortland e Klaassen (2010).” (Ghidini, 2023)

¹¹ Como analogia, no livro *Confiança e Medo na Cidade*, Zygmunt Bauman (2021) pensa que as soluções para os problemas globais podem surgir a partir de soluções locais dentro das cidades.

¹² isto é, recursos teórico-metodológicos utilizados no design, que contemplam os *princípios de design*.

evidenciar melhor o poder criativo necessário nesta etapa, trazendo elementos que não estava presente nas anteriores.

Nesta etapa, se estabelece justificativas de porquê realizar uma certa atividade em grupo ao invés de individual, ou porque explicar utilizando uma demonstração experimental ao invés de giz e lousa. Há sempre um grande número de escolhas, e explicitá-las é algo defendido na revisão de Psillos e Kariotoglou (2016b, p.25), que notam uma melhora nesse quesito com relação à revisão de Méheut e Psillos (2004). Como Kelly (2004), entendemos que nem todas etapas da aula precisam ser justificadas com teorias educacionais consolidadas. Por objetivar o ambiente real da sala de aula, é comum que exista conhecimento contingente no planejamento, que são originados de ideias criativas e experiências individuais positivas do passado (Kelly, 2004; Ghidini, 2023).

A literatura da SEA dá atenção especial à participação dos professores, em dois sentidos diferentes. Primeiro, é necessário pensar qual será o papel do professor na futura implementação: a SEA será mais fechada, com um guia que delimita a implementação, ou será mais aberta, com espaço para o professor implementador tomar certas decisões? (Psillos & Kariotoglou, 2016b, p.30).

Um outro sentido, que discutiremos a seguir, é quanto à participação do professor implementador na própria etapa do planejamento, além do pesquisador (que é necessário para ser uma atividade de pesquisa). A experiência do professor pode ser fonte de ideias interessantes, além de garantir a plausibilidade da proposta (Couso, 2016; Kneubil & Pietrocola, 2017; Psillos & Kariotoglou, 2016a; Tiberghien, Vince & Gaidioz, 2009; Leach, Amatlaur & Scott, 2010). Isso é ainda mais crucial quando se almeja a inovação curricular, pois como sugere Pessanha (2023, p.47) a transformação na educação só ocorrerá a partir da consciência e reflexão da indissociabilidade entre teoria e prática. Couso (2016, p.48-49) também contesta a visão simplista de mudança educacional reduzida à preparação de material e formulação de ideias.

Nesse sentido, Grimalt-Alvaro *et al* (2024) relatam um interessante trabalho sobre o treinamento de professores para produzirem SEA sobre STEM¹³, analisando as SEA produzidas. Esse treinamento é composto de apresentações sobre SEA já produzidas, bem como workshops para a produção de SEA pelos professores em treinamento. Além dos professores, a presença de *experts* durante a elaboração tem se mostrado muito importante em trabalhos empíricos (Nipyrikis, Stavrou & Avraamidou, 2024, p. 907).

Couso (2016) identifica que a própria organização da colaboração entre pesquisador e professor, bem como a real contribuição dos professores é algo pouco relatado nos trabalhos. Psillos e Kariotoglou (2016b, p.30) aponta que o papel dos professores é simplesmente mencionado nas publicações. Isso não significa que os pesquisadores desconsiderem o papel dos professores, mas que isso não transparece nas publicações, um problema também identificado por Méheut (2005). Isso moveu diferentes pesquisadores a desenvolverem

13 Acrônimo em inglês para Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática.

*comunidades de aprendizagem*¹⁴, visando estruturar a colaboração de pequenos grupos de professores, estudantes, pesquisadores e *experts*, buscando promover a inovação educacional através do *design* (Couso, 2016; Nipyrakis, Stavrou, Avraamidou, 2024). Participar da *elaboração* é também importante para o desenvolvimento profissional do professor, compreendendo a importância de atingir os objetivos de aprendizagem e as dificuldades consideradas para atingi-los.

Quanto à duração, a sequência planejada em geral dura poucas semanas, algo que a diferencia de outras abordagens como a *Learning Progressions*, que dura um ano ou mais (Psillos & Kariotoglou, 2016b). Sequências de poucas semanas facilitam a justificativa das escolhas realizadas no planejamento, a análise da contribuição de determinadas atividades no aprendizado dos estudantes (e a respectiva coleta de dados), bem como as próprias condições de implementação em um real contexto de sala de aula (Ghidini, 2023).

A consideração das características do local de implementação também é elemento chave no planejamento da SEA: quais são os materiais disponíveis, a concepção pedagógica da escola, quem são os estudantes, etc. Isso implica em trazer o ambiente real da sala de aula para o próprio planejamento. Psillos e Kariotoglou (2016b, p.29) defendem que seria importante explicitar como esses fatores contextuais afetam as decisões na *elaboração*, algo que tem sido omitido nas publicações, com exceção dos trabalhos da *Learning Demand* e da *Content-Specific Theory*¹⁵.

Implementação, Validação e Redesign

A etapa de implementação da SEA é um momento chave para se pensar a futura iteração, tanto enquanto atividade de pesquisa bem como para aperfeiçoar o produto. Isso exige do pesquisador um olhar atento e consciente dos *princípios de design*, que norteiam a observação dos fenômenos que surgem na intervenção. Nem sempre ela se dá em ambiente real de sala de aula: por vezes se utiliza aplicações em situações mais ‘laboratoriais’, como uma espécie de ‘implementação piloto’, embora mesmo nesses casos exista um esforço por parte dos autores para argumentar em que sentido aquela situação simula um ambiente real da sala de aula (Komorek & Duit, 2004).

A implementação é seguida pela validação, em que se verifica quais objetivos foram atingidos e em que medida eles foram atingidos, e idealmente pelo *redesign*, em que se realiza um novo planejamento a partir da validação. Essas duas etapas por vezes ocorrem simultaneamente, estando intimamente conectadas, e por isso as abordaremos juntas.

Há diferentes formas de entender os tipos de validação. Méheut e Psillos (2004, p.522-524) distinguem entre as que realizam *avaliação interna* e *externa*. Na *interna* se verifica a efetividade da SEA em atingir os objetivos de aprendizagem através da aplicação de testes

¹⁴ Tradução livre de “*Learning Community*”

¹⁵ A *Learning Demand* (‘Demanda de aprendizagem’) é desenvolvida por um grupo de pesquisa na Inglaterra e se baseia na transposição didática e no socioconstrutivismo, enquanto a *Content Specific-Theory* (‘Teoria Específica de Conteúdo’) é desenvolvida por um grupo de Lyon e se baseia na distinção entre conhecimento do cotidiano e conhecimento físico, na transposição didática, na modelagem e no socioconstrutivismo (Psillos e Kariotoglou, 2016b, p.17).

iniciais e finais nos estudantes. A *avaliação externa*, por sua vez, compara a efetividade da SEA elaborada com outras formas de atingir os objetivos de aprendizagem estabelecidos. Em ambas se avalia quais são os impactos de ter feito determinada escolha e não outra durante a *Elaboração*. Segundo os autores, há ainda trabalhos que analisam detalhadamente o processo de aprendizagem, sendo esse tipo denominado de *caminhos de aprendizagem*¹⁶. Essa abordagem permite identificar a mudança conceitual e como as ideias alternativas evoluem para conceitos cientificamente aceitos (Valkanou, Starakis, & Zoupidis, 2024).

Outro modo de entender os tipos de validação é proposto por Psillos e Kariotoglou (2016b, p.28). Os autores distinguem entre “pesquisa experimental”¹⁷, que foca em investigar aspectos teóricos, e “engenharia de produção”¹⁸, que foca em aprimorar o produto didático (Ghidini, 2023). Essas duas perspectivas não são contraditórias, podendo fazer parte de uma mesma pesquisa (Psillos & Kariotoglou, 2016b, p.28).

Outra questão importante é: como fazer e comunicar a validação e o *redesign*? Ela ganha relevância a partir da constatação de Psillos e Kariotoglou (2016b, p. 19-24). Citando uma série de estudos, ao final de cada um, os autores apontam que “não houve referência explícita ao processo de iteração”, embora por vezes seja possível encontrar evidências de modificações (Ghidini, 2023). Aprofundando nesse problema, os autores afirmam:

No nível empírico, há falta de descrição detalhada ou princípios orientadores e **ferramentas para iteração**, conjecturas incorporadas em atividades reais e os tipos de várias fontes múltiplas de decisões que, além dos resultados de aprendizagem dos alunos, moldaram uma SEA durante os ciclos de iteração. Além disso, **não há discussão sobre ciclos iterativos** e se houve alguma abordagem retrospectiva traçando a história do SEA de maneira reflexiva baseada na teoria. Sugerimos que várias questões permaneçam abertas para investigação adicional por pesquisadores sobre o desenvolvimento iterativo. (Psillos & Kariotoglou, 2016, p.30, tradução livre, grifo nosso).

Considerando esses problemas, a parte III do livro organizado por Psillos e Kariotoglou (2016a) é dedicada a estudos de caso sobre a iteração (Ghidini, 2023). Como é esperado, nesses trabalhos se manifesta claramente a questão de pesquisa, e a validação sempre considera os *princípios de design*. Além disso, por vezes propõem *ferramentas para a iteração*, que, analogamente às *ferramentas de design*, são elaboradas a partir de determinados referenciais, podendo envolver textos e representações não linguísticas (*e.g.* diagramas, tabelas), que visam auxiliar na validação e no *redesign*. Essas ferramentas parecem auxiliar na questão subentendida em Hernández e Pintó (2016, p.147), de que as técnicas de avaliação são dependentes do domínio específico do conteúdo e dos objetivos, propondo que se desenvolvam instrumentos específicos. A Tabela 1 apresenta uma síntese das questões de pesquisa e das ferramentas de iteração discutidas nos artigos.

16 Tradução livre de “learning peathways.”

17 Tradução livre de “experimental research”

18 Tradução livre de “production engineering”

Tabela 1. Síntese das questões de pesquisa e das ferramentas de iteração dos trabalhos publicados na parte III de Psillos e Kariotoglou (2016a). Fonte: Adaptado de Ghidini (2023).

Trabalhos	Ferramentas para a iteração (se houver) e Questões de pesquisa
Hernández & Pintó (2016)	Questões de pesquisa: Quais são os aspectos problemáticos, quais são as mudanças introduzidas e quais foram as razões críticas para essas mudanças?
Zoupidis <i>et al</i> (2016)	Ferramenta para a iteração: Utilizando um “modelo teórico” baseado em Pickering (1995), consideram os fatores educacionais, materiais e científicos no refinamento. Para isso, identifica-se a relação entre os objetivos, as resistências para alcançar os objetivos e as acomodações para lidar com as resistências. As questões de pesquisa são: Quais foram os refinamentos que aconteceram entre a 1ª e a 2ª implementações e quais dados contribuíram para isso? Quais dos três fatores do modelo orientaram esses refinamentos? Existe característica comum entre os refinamentos que são do mesmo fator?
Loukomies <i>et al</i> (2016)	Questões de pesquisa: Como a SEA foi planejada e revisada durante o processo iterativo? Como foram justificadas as alterações e decisões? O que o Questionário de Avaliação de Investigação Científica (ESIAQ) e as entrevistas revelam sobre a motivação e o interesse?
Testa & Monroy (2016)	Questões de pesquisa: Quais foram as mudanças feitas no processo iterativo e quais dados sugeriram essas mudanças? Como essas mudanças se relacionam com o “núcleo comum da Ciência e da Tecnologia” da TLS?
Psillos <i>et al</i> (2016)	Ferramenta para a iteração: Os autores organizam as modificações em quatro domínios: conceitual, procedimental, epistemológico e tecnológico. Os autores sugerem um “modelo” que auxilia na iteração, em que na primeira SEA se escolhe o domínio a ser analisado mais relevante para aquele contexto e com isso se extrai princípios para as próximas SEA, em que pouco a pouco todos os domínios acabam sendo afetados. Questões de pesquisa: Quais foram as deficiências observadas nas várias versões na SEA sobre a condutividade térmica em materiais aplicada num contexto de ensino secundário tradicional e quais foram as modificações feitas? Qual foi o impacto dessas modificações na compreensão dos alunos? Existem sugestões gerais sobre o desenvolvimento e implementação de SEA?
Papadouris <i>et al</i> (2016)	Questões de pesquisa: Qual a natureza das limitações identificadas na implementação da SEA de propriedades eletromagnéticas dos materiais e qual é a natureza das várias revisões que foram realizadas para refinar a SEA? Como as evidências empíricas revelam essas limitações e como também servem para avaliar a eficácia das revisões?

Observa-se que as questões de pesquisa nessa etapa de validação e *redesign* propõem uma reflexão sobre as dificuldades de aprendizagem, o que e por que modificar, como repensar os princípios teóricos do planejamento, quais as contribuições gerais para elaboração de SEA, bem como questões próprias da ferramenta de iteração elaborada.

Aprofundando nas questões de análise, Psillos *et al* (2016) ponderam sobre *os níveis de granularidade* possíveis: será um ajuste fino, como a análise de uma atividade, ou será um conjunto de atividades; será um dado conceito ou um conjunto de conceitos (Ghidini, 2023). Essa decisão depende dos objetivos de pesquisa, afetando a comunicação do trabalho. A comunicação, por sua vez, em diferentes casos se dá a partir da categorização das respostas dos estudantes, dando ênfase na identificação de problemas, considerando aqui os *princípios de design* da pesquisa (Hernández & Pintó, 2016, Zoupidis *Et Al*, 2016, Testa & Monroy, 2016, Papadouris *Et Al*, 2016). Loukomies *et al* (2016) sugere que os principais dados são aqueles que expressam aspectos problemáticos, incoerentes e irrelevantes. Com a implementação de mais ciclos, é possível avaliar o refinamento a partir da persistência ou não desses problemas (Hernández & Pintó, 2016).

A relação de diferentes tipos de dados é incentivada por Zoupides *et al* (2016), em que as necessidades de mudanças quase sempre foram influenciadas por duas ou mais fontes de dados. A comunicação das mudanças normalmente se restringe as razões críticas – isto é, curtas proposições que sintetizam as razões da mudança (Hernández & Pintó, 2016). A

comunicação e a participação dos professores no processo de *redesign* é também incentivada, uma vez que “[...] as melhorias no desempenho dos alunos podem ser atribuídas não apenas ao desenvolvimento iterativo da sequência projetada, mas também à crescente experiência e familiarização dos professores com a sequência inovadora.” (Hernández & Pintó, 2016, p.163).

Sugestões a partir da nossa experiência

A partir de um projeto brasileiro de desenvolvimento de detectores de raios cósmicos com finalidades educativas (Saito *et al*, 2022), nós elaboramos uma SEA com a colaboração de professores da educação básica e universitários, que pesquisam física e ensino de física. Ela foi implementada por um professor da educação básica participante da elaboração para estudantes que em maioria eram do ensino médio, em um curso oferecido no contraturno numa escola pública paulista, relatado e analisado em Ghidini (2023). Nesta SEA levou-se em consideração as dificuldades de articular e explicitar a participação dos professores durante o *design*, de considerar e explicitar os elementos contextuais considerados e como realizar e comunicar o processo iterativo, conforme discutido a seguir.

Tradicionalmente, os projetos de detecção de raios cósmicos com finalidades educativas são organizados a partir de professores, *experts* em física e eventualmente *experts* em ensino de física (ver capítulo 2 de Ghidini, 2023). Considerando isso, bem como o quão incomum era o assunto em sala de aula, organizamos a colaboração do *design* em dois níveis. Um primeiro, mais interno, se deu a partir de reuniões entre três pesquisadores, com o objetivo de elaborar o chamado “**documento de apresentação**” em que se planejava as aulas, com uma página para cada aula, contendo: a importância daquela aula na sequência elaborada, os objetivos de aprendizagem e os momentos da aula. Esse documento era então levado para o grupo amplo, que contava com a participação de professores da educação básica e de *experts* em física (Ghidini, 2023). Finalizado o documento de apresentação, iniciamos a produção do “**material didático para o professor**”, que explicita o que se espera que seja discutido em sala de aula, sendo produzido e discutido da mesma forma que o documento anterior (Ghidini, 2023).

Considerando a importância da participação de professores e *experts* manifestada na literatura, previamente às reuniões nós pensávamos em problemas a serem discutidos com os membros do grupo, de modo a ampliar sua contribuição. Alguns exemplos são: “Essa profundidade está adequada?”, “Qual recurso poderíamos utilizar para ensinar melhor esse conceito?”, “Será que os estudantes se interessariam por isso?” (Ghidini, 2023), visando a coconstrução.

Considerando as preocupações da literatura em justificar as escolhas realizadas durante o *design*, em como os *princípios de design*¹⁹ podem contribuir efetivamente para a elaboração, em como eles se relacionam com o conteúdo científico escolhido e explicitar como os

19 Para essa SEA, adotamos como *princípios de design*: a ênfase curricular epistemológica-conceitual; os obstáculos didáticos e epistemológicos da física moderna mapeados no ensino de física; a abordagem de modelos na educação científica.

professores contribuem para a elaboração, nós inserimos dentro da etapa da elaboração uma ‘sub-etapa’ que denominamos de **“Estratégias para o Design”** (Ghidini, 2023). Ela é constituída de um texto dividido em duas partes, sendo que na primeira entrelaçamos quatro aspectos: os *princípios de design*, os objetivos de aprendizagem, o conteúdo científico e a contribuição de professores e *experts*. Esses quatro aspectos são as sub-etapas que compõe o *design*, com exceção da última, que é originada na sub-etapa ‘Elaboração’.

Sendo mais descritivo, realizamos uma síntese de cada *princípio de design* e, em seguida, buscamos uma relação entre essas sínteses. Além disso, também explicitamos quais são os conhecimentos contingentes (Kelly, 2004), originados de ideias e experiências anteriores que foram positivas de professores e *experts*²⁰, surgidas na colaboração descrita anteriormente. Também tentamos ao longo do texto fazer conexões diretas com o conteúdo e a prática de ensino com detectores de raios cósmicos. E então, nos certificamos de que os objetivos de aprendizagem estavam claros e, teoricamente, seriam atingidos.

Na segunda parte do documento, tentamos ser ainda mais específicos na contribuição dessas reflexões para ações que efetivamente são realizadas na Elaboração. Essas ações seriam: **Escolha do fim e do início**²¹ (estabelecer a partir dos objetivos de aprendizagem o que se espera nas últimas aulas, e então como serão as primeiras aulas); **Orquestra**²² (Considerando as diretrizes para o início e fim, qual deve ser a ênfase nesse caminho?²³), **Indicação de conteúdo** (Principalmente considerando o conhecimento contingente, que parte do conteúdo parece fundamental para atingir os objetivos de aprendizagem, e.g. chuva atmosférica, funcionamento do detector, etc.); **Elaboração de Atividades**²⁴ (Entendendo atividades como momentos que caracterizam a SEA e envolvem mudanças significativas nas ações de professores e estudantes, quais as prescrições para o papel de professores e estudantes durante as atividades?); e **Construção de Cenários**²⁵ (Refletir sobre quais são os possíveis problemas que os alunos poderão ter, a fim de preparar o professor para lidar com essas dúvidas).

Quanto ao *redesign*, entendemos que ele cumpre três propósitos: avaliar a qualidade da inovação, aprimorar (ou extrair) os *princípios de design* e contribuir para o desenvolvimento da comunidade de *design* (Ghidini, 2023). Na exposição dos resultados, tentamos indicar quais foram os refinamentos realizados e quais dados contribuíram para essa decisão. A

20 Como exemplo de conhecimento contingente, temos a ilustração do funcionamento do cintilador do detector através de uma analogia com uma demonstração experimental utilizando água tônica, água sanitária e luz ultravioleta.

21 No caso, estabelecemos que o fim deveria envolver o uso do detector e a compreensão do seu funcionamento; o início se pontuou a ‘tradição’ da área de ensino de raios cósmicos (de iniciar com a história da área), mas que o início deveria conectar o conhecimento prévio dos estudantes aos problemas estudados.

22 Se ponderou sobre o problema de o ensino de física de partículas recorrer à uma ‘taxonomia das partículas’ e assim não promover explicações (que são próprias dos modelos). Também se apontou a natureza da ciência envolvida, e em que sentido se *observa* uma partícula. Considerando o contexto do projeto, os estudantes devem desenvolver também habilidades quantitativas com os dados coletados.

23 A analogia é explicada em Ghidini (2023): “Assim como numa orquestra existem uma série de instrumentos em que em alguns momentos certos instrumentos tem mais protagonismo do que outros, numa SEA os designers devem agir como um maestro e reger **no que se deve dar ênfase durante esse caminho...**”

24 Ponderou-se sobre como tradicionalmente projetos de ensino de raios cósmicos elaboram atividades utilizando a plataforma jupyter e a elaboração de histogramas. Considerou-se as dificuldades de ir contra a tradição didática de abordar problemas fechados.

25 Não foi considerado na primeira versão, por ser a primeira implementação de todas as atividades realizadas pelo grupo.

análise dos dados foi realizada com base nos *princípios de design* adotados na sequência, estabelecendo dois níveis de granularidade. Na granularidade fina analisou-se certas ‘atividades-chave’²⁶ da SEA. Na granularidade ampla, analisou-se o aprendizado de conceitos e da Natureza da Ciência que permearam toda a SEA. Após a análise dos dados, explicitamos quadros com duas colunas sobre todas as mudanças, sendo uma coluna com a Mudança e a outra com a Razão Crítica para isso. Essa etapa das mudanças foi realizada com auxílio do professor implementador através de reuniões. Preparou-se previamente questões para nortear a discussão, a fim de trazer a experiência dele durante a implementação, de modo que o material continuasse fazendo sentido para sua prática (Ghidini, 2023). Na tabela 2 apresentamos uma síntese das sugestões realizadas a partir da nossa experiência.

Tabela 2. Síntese das sugestões a partir da nossa experiência

Elemento	Sugestão
Documento de apresentação	O que: ferramenta textual que apresenta o planejamento das aulas, com uma página para cada aula, contendo: a importância daquela aula na sequência elaborada, os objetivos de aprendizagem e os momentos da aula. Esse documento é a base do material didático para o professor, que é produzido através das mesmas etapas. Ele deve ser discutido com demais elaboradores da SEA, inclusive com o professor implementador. Etapas: inicialmente os pesquisadores elaboram o documento, bem como levantam questões para incentivar discussões com os demais elaboradores da SEA. O documento é então apresentado e discutido, e os resultados da discussão alteram o documento inicial. Propósito: articulação inicial das diferentes sub-etapas do <i>design</i>, facilitando a comunicação e discussão; permite a reaplicação da SEA em outros contextos.
Estratégias para o Design	O que: ferramenta textual dividida em duas partes. Na primeira se relaciona os <i>princípios de design</i>, os objetivos de aprendizagem, o conteúdo científico e a contribuição de professores e <i>experts</i>. Na segunda, se estabelece contribuições específicas do texto para ações efetivamente realizadas na elaboração da SEA, sendo elas: escolha do fim e do início, orquestra, indicação de conteúdo, elaboração de atividades e construção de cenários. Etapas: produzido antes e durante a sub-etapa de elaboração, sendo a base teórica que justifica o documento de apresentação e o material didático produzido. Propósito: justificar as escolhas realizadas durante o <i>design</i>; evidenciar as contribuições dos <i>princípios de design</i> para a elaboração e como eles se relacionam com o conteúdo científico; explicitar as contribuições dos professores implementadores para o <i>design</i>.
Organização e comunicação da iteração	O que: contribuição teórica para a realização da iteração e a produção de textos acadêmicos. Etapas: delimitar os objetos de análise, podendo ser suscetíveis à granularidade fina, em que se analisa certas atividades-chave da SEA, ou granularidade ampla, em que se analisa o aprendizado de determinados elementos ao longo de toda a SEA. Após a análise preliminar desses objetos, comunica-se e discute-se com o professor implementador, também através de questões previamente estabelecidas. A comunicação das mudanças pode ser realizada através de uma tabela, associando as mudanças com as razões críticas da alteração. Propósito: organizar e justificar as mudanças realizada no <i>redesign</i>; evidenciar a participação do professor implementador; evidenciar resultados de pesquisa.

Por fim, em nossa experiência no contexto de um projeto de ensino de física de partículas através de detectores de raios cósmicos, considerando que toda pesquisa possui um prazo

²⁶ No caso, uma atividade chave analisada foi a “atividade dos cartões”. A atividade tinha como contexto o início da pesquisa em raios cósmicos, e os estudantes precisavam com lápis e papel construir dois modelos para a seguinte questão: “os raios ionizantes que descarregam o eletroscópio são terrestres ou extraterrestres?”. As informações para os modelos (hipóteses, resultados experimentais e motivações pessoais) eram escritas em cartões. Ao final, os estudantes precisavam argumentar qual modelo era o mais adequado. Analisou-se então a compreensão conceitual e questões de natureza da ciência envolvidas.

temporal, refletimos que talvez a nossa investigação teórica tenha sido muito alongada para este contexto, de modo que talvez fosse melhor ter menos profundidade sobre os princípios teóricos em troca de implementar o ciclo da SEA mais vezes, explorando mais o seu caráter empírico do que o teórico (Ghidini, 2023).

Considerações Finais

Em 2004, Antony Kelly refletiu se seria adequado afirmar que as “pesquisas *design*” emergentes são metodologias, sugerindo que não. O autor afirmou que seria mais adequado chamar de “conjunto de métodos”, pois até então haviam conjuntos de passos a serem seguidos, que caracterizavam esses métodos: intervencionistas, iterativos, focados em processos, colaborativos, orientados para a utilidade e para a teoria. Mas, segundo o autor, isso seria insuficiente para ser considerado uma metodologia. Ao longo de 12 seções, o autor aborda as características necessárias e os problemas a serem enfrentados para que as pesquisas *design* enfim pudessem ser “metodologias” (ver Ghidini, 2023).

Passados quase 20 anos da consolidação das nomenclaturas “SEA” e “DBR”, se tomarmos à risca a prescrição de Kelly (2004), ainda é duvidoso se de fato se configuram metodologias. Os trabalhos de revisão buscam atribuir conceitos em busca de explicar os processos, e não de justificá-los. Não que não haja justificativas – de fato, como vimos, há trabalhos que buscam aprofundar porque seria importante a participação dos professores no *design*, por exemplo Couso (2016), Grimalt-Alvaro et al (2024) e Pessanha (2023). Entretanto, não há a sistematização dessas justificativas nem o amplo reconhecimento delas por parte da comunidade. Mas também é difícil avaliar o quanto os critérios de metodologia propostos por Kelly (2004) são atingíveis dentro da pesquisa em educação, em particular a educação científica. Por outro lado, acreditamos que trabalhos que buscam explicar a SEA auxiliam nos requisitos apontados por Kelly (2004): na promoção da linguagem técnica (através da consolidação de significado dos termos), na constatação de quais são as questões de pesquisa e na identificação do *logos* (razão) que dá suporte à revisão por pares (Ghidini, 2023).

Neste trabalho, buscamos contribuir com a consolidação do significado e o valor de conceitos bem estabelecidos na literatura da SEA, como *princípios de design*, *design* e iteração, sugerindo também quais são as questões emergentes na literatura. A resolução e o aprofundamento de imprecisões e confusões é parte fundamental para a consolidação dessa área de pesquisa. Além disso, apresentamos conceitos pouco discutidos na literatura brasileira, como as ferramentas de *design* e de iteração. Estabelecida a explicação da SEA, apresentamos algumas sugestões a partir da nossa SEA sobre como lidar com os desafios presentes na literatura. Nossas sugestões foram centradas em como aprimorar a contribuição dos diferentes elementos para a etapa da elaboração (*princípios de design*, ideias de professores e *experts*), bem como na realização e comunicação da iteração.

Agradecimentos

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa – processo 130500/2021-6. O presente trabalho foi realizado também com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) – processo nº 2020/04867-2 e processo nº 2025/12777-7.

Agradecemos também ao CNPq pelo financiamento ao projeto intitulado *Rede de colaboração científica entre escola e universidade: as práticas das ciências na perspectiva dos estudos experimentais em raios cósmicos - chamada MCTIC/CNPq No 05/2019: Programa Ciência na Escola*, que também recebeu financiamento da Rede Nacional de Física de Altas Energias (RENAFAE), bem como aos participantes desse projeto.

Agradecemos as sugestões, reflexões e discussões propostas pelo professor Ivã Gurgel. Agradecemos os comentários dos professores Marlon Pessanha, Nathan Willig Lima, Fabiana Botelho Kneubil e Alexandre Bagdonas Henrique realizados durante a avaliação da dissertação de mestrado, e dos pareceristas durante a avaliação do artigo submetido.

Referências

- Anderson, T., & Shattuck, J. (2012). Design-Based Research: A Decade of Progress in Education Research? *Educational Researcher*, 41(1), 16–25. <https://doi.org/10.3102/0013189X11428813>
- Bakker, A. (2018). *Design research in education: A practical guide for early career researchers*, Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203701010>
- Barbosa, J. P. V., & BORGES, A. T. (2006). O entendimento dos estudantes sobre energia no início do ensino médio. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 23(2), 182–217. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5166029>
- Barros, K. C. T. F. do R., & Ferreira, H. S. (2013). Uma análise da produção científica nacional em ensino das ciências relacionadas às sequências de ensino aprendizagem (Teaching-Learning Sequences—TLS) na perspectiva de Méheut. *XI Congreso Internacional sobre Investigación em Didáctica de las Ciencias*. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/308555>
- Bauer-Marschallinger, S. (2019). With United Forces: How Design-Based Research can Link Theory and Practice in the Transdisciplinary Sphere of CLIL. *CLIL. Journal of Innovation and Research in Plurilingual and Pluricultural Education*, 2(2), 7. <https://doi.org/10.5565/rev/clil.19>
- Cobb, P., Confrey, J., diSessa, A., Lehrer, R., & Schauble, L. (2003). Design Experiments in Educational Research. *Educational Researcher*, 32(1), 9–13. <https://doi.org/10.3102/0013189X032001009>
- Collins, A. (1992). Toward a Design Science of Education. Em E. Scanlon & T. O'Shea (Orgs.), *New Directions in Educational Technology* (p. 15–22). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-77750-9_2
- Collins, A., Joseph, D., & Bielaczyc, K. (2004). Design Research: Theoretical and Methodological Issues. Em S. A. Barab & K. Squire (Orgs.), *Design-based Research Clarifying the Terms*. (p. 128). Psychology Press. https://doi.org/10.1207/s15327809jls1301_2
- Bauman, Z. (2021). *Confiança E Medo Na Cidade*. Zahar.
- Couso, D. (2016). Participatory Approaches to Curriculum Design From a Design Research Perspective. Em D. Psillos & P. Kariotoglou (Orgs.), *Iterative Design of Teaching-Learning Sequences* (p. 47–71). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5_4
- Dahlberg, I. (1978). Teoria Do Conceito. *Ciência da informação*, 7(2), 7.

- Ghidini, J. P. (2023). *Elaboração e avaliação de uma sequência de ensino-aprendizagem sobre raios cósmicos: Proposições e reflexões* [Mestrado em Ensino de Física, Universidade de São Paulo]. <https://doi.org/10.11606/D.81.2023.tde-28092023-151453>
- Giddens, A. (1991). *As Consequências Da Modernidade*. Editora Unesp.
- González-Palta, I., Guzmán, M. J., Marval, L., Contreras, R., Orellana, R., & Rivera, F. (2025). How do first-year psychology students argue and construct knowledge during problem-based learning? *Iberoamerican Journal of Psychology and Public Policy*, 2(1), 115–144. <https://doi.org/10.56754/2810-6598.2025.0028>
- Grimalt-Álvaro, C., López-Simó, V., & Tena, È. (2025). How Do Secondary-School Teachers Design STEM Teaching–Learning Sequences? A Mixed Methods Study for Identifying Design Profiles. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 23(1), 235–260. <https://doi.org/10.1007/s10763-024-10457-3>
- Gurgel, I. (2020). Editorial: Reflexões Político-Curriculares sobre a Importância da História das Ciências no Contexto da Crise da Modernidade. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 37(2), 333–350. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2020v37n2p333>
- Hernández, M. I., & Pintó, R. (2016). The process of iterative development of a teaching/learning sequence on acoustic properties of materials. Em D. Psillos & P. Kariotoglou (Orgs.), *Iterative Design of Teaching–Learning Sequences: Introducing the Science of Materials in European Schools*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5>
- Juuti, K., Lavonen, J., & Meisalo, V. (2016). Pragmatic Design-based research—Designing as a shared activity of teachers and researches. Em D. Psillos & P. Kariotoglou (Orgs.), *Iterative Design of Teaching–Learning Sequences: Introducing the Science of Materials in European Schools*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5>
- Kabapinar, F., Leach, J., & Scott, P. (2004). The design and evaluation of a teaching–learning sequence addressing the solubility concept with Turkish secondary school students. *International Journal of Science Education*, 26(5), 635–652. <https://doi.org/10.1080/09500690310001614000>
- Kelly, A. E. (2004). Design research in education: Yes, but is it methodological? Em S. A. Barab & K. Squire (Orgs.), *Design-based Research Clarifying the Terms*. (p. 128). Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9780203764565>
- Kneubil, F. B., & Pietrocola, M. (2017). A PESQUISA BASEADA EM DESIGN: VISÃO GERAL E CONTRIBUIÇÕES PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS. *Investigações em Ensino de Ciências*, 22(2), 01. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2017v22n2p01>
- Komorek, M., & Duit, R. (2004). The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequences in the domain of non-linear systems. *International Journal of Science Education*, 26(5), 619–633. <https://doi.org/10.1080/09500690310001614717>
- Kortland, K., & Klaassen, K. (Orgs.). (2010). *Designing Theory-Based Teaching–Learning Sequences for Science Education: Proceedings of the symposium in honour of Piet Lijnse at the time of his retirement as Professor of Physics Didactics at Utrecht University*. CDBeta press.
- Kortland, K., Klaassen, K., Leach, J., Ametller, J., & Scott, P. (Orgs.). (2010). Establishing and communicating knowledge about teaching and learning scientific content: The role of design briefs. Em *Designing Theory-Based Teaching–Learning Sequences for Science Education: Proceedings of the symposium in honour of Piet Lijnse at the time of his retirement as Professor of Physics Didactics at Utrecht University*. CDBeta press.
- Leach, J., & Scott, P. (2002). Designing and evaluating science teaching sequences: An approach drawing upon the concept of learning demand and a social constructivist perspective on learning. *Studies in Science Education*, 38. <https://doi.org/10.1080/03057260208560189>
- Lijnse, P., & Klaassen, K. (2004). Didactical structures as an outcome of research on teaching–learning sequences? *International Journal of Science Education*, 26(5), 537–554. <https://doi.org/10.1080/09500690310001614753>

- Lijnse, P. L. (1995). “Developmental research” as a way to an empirically based “didactical structure” of science. *Science Education*, 79(2), 189–199. <https://doi.org/10.1002/sce.3730790205>
- Loukomies, A., Lavonen, J., Juuti, K., Meisalo, V., & Lampiselkä, J. (2016). Design and Development of Teaching-Learning Sequence (TLS) Materials Around Us: Description of an Iterative Process. Em D. Psillos & P. Kariotoglou (Orgs.), *Iterative Design of Teaching-Learning Sequences* (p. 201–231). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5_9
- Méheut, M. (2005). Teaching-Learning Sequences Tools for Learning and/or Research. Em K. Boersma, M. Goedhart, O. De Jong, & H. Eijkelhof (Orgs.), *Research and the Quality of Science Education* (p. 195–207). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/1-4020-3673-6_16
- 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, e20200443. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2020-0443>
- Nipyrakis, A., Stavrou, D., & Avraamidou, L. (2024). Designing technology-enhanced science experiments in elementary teacher preparation: The role of learning communities. *Research in Science & Technological Education*, 42(4), 889–911. <https://doi.org/10.1080/02635143.2023.2202386>
- Papadouris, N., Constantinou, C., Papaevripidou, M., Livitziis, M., Scholinaki, A., & Hadjilouca, R. (2016). Design, Development and Refinement of a Teaching-Learning Sequence on the Electromagnetic Properties of Materials. Em D. Psillos & P. Kariotoglou (Orgs.), *Iterative Design of Teaching-Learning Sequences: Introducing the Science of Materials in European Schools*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5>
- Pessanha, M. (2023). *Prática Baseada no Design: O planejamento didático como orientador da ação docente reflexiva no ensino de ciências*. Sdq.
- Psillos, D., & Kariotoglou, P. (Orgs.). (2016a). *Iterative Design of Teaching-Learning Sequences: Introducing the Science of Materials in European Schools*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5>
- Psillos, D., & Kariotoglou, P. (2016b). Theoretical Issues Related to Designing and Developing Teaching-Learning Sequences. Em D. Psillos & P. Kariotoglou (Orgs.), *Iterative Design of Teaching-Learning Sequences: Introducing the Science of Materials in European Schools*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5>
- Psillos, D., Molohidis, A., Kallery, M., & Hatzikraniotis, E. (2016). The iterative evolution of a teaching-learning sequence on the thermal conductivity of materials. Em D. Psillos & P. Kariotoglou (Orgs.), *Iterative Design of Teaching-Learning Sequences: Introducing the Science of Materials in European Schools*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5>
- Psillos, D., Spyrtou, A., & Kariotoglou, P. (2005). Science Teacher Education: Issues and Proposals. Em K. Boersma, M. Goedhart, O. De Jong, & H. Eijkelhof (Orgs.), *Research and the Quality of Science Education* (p. 119–128). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/1-4020-3673-6_10
- Roberts, D. (2010). Scientific literacy/science literacy. Em S. K. Abell & N. G. Lederman (Orgs.), *Handbook of research on science education* (Reprinted). Routledge Taylor & Francis Group.
- Saito, G. T., Leite, M. A. L., Menegasso, R., Kuriyama, M. K., Munhoz, M. G., & De Paula, R. E. (2022). A modular and flexible data acquisition system for a cosmic rays detector network. *Journal of Instrumentation*, 17(04), C04026. <https://doi.org/10.1088/1748-0221/17/04/C04026>
- Salem, S. (2012). *Perfil, evolução e perspectivas da pesquisa em ensino de física no Brasil* [Doutorado em Ensino de Física, Universidade de São Paulo]. <https://doi.org/10.11606/T.81.2012.tde-13082012-110821>
- Silva, Y. A. dos R. (2017). *Aceleradores e detectores de partículas no ensino médio: Uma sequência de ensino-aprendizagem* [Mestrado em Educação em Ciências]. Universidade Estadual de Santa Cruz.

- Sloane, F. C., & Gorard, S. (2003). Exploring Modeling Aspects of Design Experiments. *Educational Researcher*, 32(1), 29–31. <https://doi.org/10.3102/0013189X032001029>
- Stolk, M., Bulte, A., De Jong, O., & Pilot, A. (2005). Teaching Concepts in Contexts: Designing a Chemistry Teacher Course in a Curriculum Innovation. Em K. Boersma, M. Goedhart, O. De Jong, & H. Eijkelhof (Orgs.), *Research and the Quality of Science Education* (p. 169–180). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/1-4020-3673-6_14
- Tamiosso, R., & Pigatto, A. G. (2020). A Pesquisa Baseada em Design: Mapeamento de estudos relacionados ao Ensino das Ciências da Natureza. *Revista Educar Mais*, 4(1), 156–171. <https://doi.org/10.15536/reducarmais.4.2020.156-171.1756>
- Testa, I., & Monroy, G. (2016). The iterative design of a teaching-learning sequence on optical properties of materials to integrate science and technology. Em D. Psillos & P. Kariotoglou (Orgs.), *Iterative Design of Teaching-Learning Sequences: Introducing the Science of Materials in European Schools*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5>
- The Design-Based Research Collective. (2003). Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5–8. <https://doi.org/10.3102/0013189X032001005>
- Tiberghien, A., Vince, J., & Gaidioz, P. (2009). Design-based Research: Case of a teaching sequence on mechanics. *International Journal of Science Education*, 31(17), 2275–2314. <https://doi.org/10.1080/09500690902874894>
- Valkanou, E.-M., Starakis, I., & Zoupidis, A. (2024). Design, Development, Implementation, and Evaluation of a Teaching–Learning Sequence on Heat Conduction. *Education Sciences*, 14(11), 1149. <https://doi.org/10.3390/educsci14111149>
- Zoupidis, A., Spyrtou, A., Malandrakis, G., & Kariotoglou, P. (2016). The evolutionary refinement process of a teaching-learning sequence for introducing inquiry aspects and density as materials’ property in floating/sinking phenomena. Em D. Psillos & P. Kariotoglou (Orgs.), *Iterative Design of Teaching-Learning Sequences: Introducing the Science of Materials in European Schools*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5>

Apêndice: Organização do processo de elaboração da SEA.

- (i) **Conteúdo Científico:** delimite a pretensão de conteúdo a ser abordado.
Exemplo: Raios cósmicos e detecção de múons para estudantes do ensino médio; histogramas sobre o fluxo de múons; eletroscópio e o início da pesquisa em raios cósmicos.
- (ii) **Princípios de Design:** realize uma síntese dos referenciais que vão embasar boa parte da elaboração da SEA.
Exemplo: Os obstáculos didático-epistemológicos para o ensino de física moderna e contemporânea, em que para o conteúdo científico escolhido é relevante considerar os obstáculos fenomenológicos, uma vez que a física de partículas é uma intersecção entre entidades muito rápidas e muito pequenas, de difícil acesso experimental, com poucos experimentos qualitativos. Os obstáculos Estrutural Conceitual e da Base Ontológica também são relevantes, pois [...]
Como currículo, consideramos que a educação deve promover o engajamento com o conhecimento, o que implica em discutir aspectos conceituais e epistemológicos, com o objetivo de [...]
A epistemologia por sua vez pode ser explorada a partir da ênfase nos modelos científicos, uma vez que a produção de modelos é a principal tarefa dos cientistas. Modelos científicos são caracterizados por [...].
- (iii) **Objetivos de Aprendizagem:** delimite uma síntese dos objetivos de aprendizagem
Exemplo: - Compreensão de que a detecção de partículas se dá a partir dos efeitos decorrentes da interação da partícula com o aparato instrumental.
- Constatação da existência de raios cósmicos
[...]

Documento de Apresentação: planejamento das aulas, com uma página para cada aula, contendo: a importância daquela aula na sequência elaborada, os objetivos de aprendizagem e os momentos da aula. Esse documento é a base do material didático para o professor, que é produzido através das mesmas etapas. Ele deve ser discutido com demais elaboradores da SEA, inclusive com o professor implementador. É importante elaborar perguntas previamente para fomentar a discussão.

- Elaboração de perguntas
- Exemplo: “*Essa profundidade está adequada?*”; “*Qual recurso poderíamos utilizar para ensinar melhor esse conceito?*”; “*Será que os estudantes se interessariam por isso?*”.
- Consideração do Contexto – há alguma forma em que tradicionalmente se aborda esse conteúdo? Qual?
- Exemplo: “*Tradicionalmente, a detecção de raios cósmicos na educação básica se dá a partir da construção de histogramas e da exposição sobre o início da pesquisa em raios cósmicos.*”

Estratégias para o Design – documento que irá justificar a SEA elaborada.

Parte A:

- Articulação entre o conteúdo científico, os princípios de design os *objetivos de aprendizagem* e a *contribuição de Professores e Experts* (obtida através da discussão do documento de apresentação).
- Exemplo: *“Para o engajamento com o conhecimento proposto, é importante que os estudantes compreendam a dimensão conceitual e epistemológica da detecção [princípio de design]. A compreensão de o que significa detectar múons [objetivo de aprendizagem] tem como obstáculo o acesso ao fenômeno, uma vez que os experimentos de detecção envolvem efeitos invisíveis ao sentido humano [princípio de design]. Para que os estudantes sejam capazes de construir modelos mentais iniciais sobre o processo de detecção [princípio de design], é possível criar uma analogia sobre o funcionamento do cintilador do detector através de uma demonstração experimental utilizando água tônica, água sanitária e luz ultravioleta [contribuição de professores e experts durante a discussão].”*

Parte B:

- **Escolha do fim e do início:** estabelecer a partir dos objetivos de aprendizagem o que se espera nas últimas aulas, e então como serão as primeiras aulas);
- Exemplo: *“O fim deve envolver o uso do detector e a compreensão do seu funcionamento; para o início, pode-se buscar alinhar dois interesses. Um primeiro de considerar pesquisas educacionais, de que o início do processo educativo deve conectar o conhecimento prévio dos estudantes aos problemas estudados, podendo-se partir de notícias de jornal, e um segundo de considerar a ‘tradição’ da área de ensino de raios cósmicos, que opta por iniciar com a história da área.”*
- **Orquestra** - Considerando as diretrizes para o início e fim, qual deve ser a ênfase nesse caminho?
- Exemplo: *“Deve-se evitar a ‘taxonomia das partículas’, em que se apresenta as diferentes partículas do modelo padrão, sem apresentar explicações científicas, sendo essas últimas a característica essencial dos modelos científicos. Deve-se, quando possível, apresentar conceitos científicos relacionados com a Natureza da Ciência, explicitando por exemplo, em que sentido se observa uma partícula. O detector também possibilita o desenvolvimento de habilidades quantitativas com os dados coletados.”*
- **Indicação de conteúdo**
- Exemplo: *“Uso do eletroscópio para detecção da radiação ionizante; Experimentos com o eletrômetro no início da pesquisa em raios cósmicos; Papel do cintilador na detecção de múons; etc]*
- **Elaboração de Atividades** (Entendendo atividades como momentos que caracterizam a SEA e envolvem mudanças significativas nas ações de professores e estudantes, quais as prescrições para o papel de professores e estudantes durante as atividades?);
- Exemplo: *“Para que os estudantes compreendam o que estrutura um modelo científico, para além da explicação fornecida (por exemplo, a “radiação é terrestre” ou a “radiação é extraterrestre” para explicar o descarregamento do eletroscópio) é importante que eles compreendam o que fundamenta esses modelos: eles são*

baseados em quais hipóteses, resultados experimentais e previsões? É possível criar uma atividade que coloque os estudantes em situações que eles precisem elaborar teoricamente esses modelos científicos.”; “Para as atividades envolvendo os dados quantitativos obtidos com o detector é possível utilizar a plataforma jupyter, e através dela elaborar histogramas”.

→ Construção de Cenários

- Exemplo: “Caso os estudantes tenham problemas em compreender a analogia da demonstração experimental com o funcionamento do cintilador, busque anotar no quadro as palavras-chave para o detector (múon, cintilador e a cintilação, isto é, emissão da luz) e as palavras-chave para a demonstração experimental (luz negra, água tônica e fluorescência, isto é, emissão da luz), faça paralelos entre cada uma das palavras e em seguida peça para a turma elaborar uma outra analogia que contenha essa dinâmica.”

Comunicação da Iteração

Exemplo (Ghidini, 2023)

Mudança	Razão Crítica
Remoção dos momentos 2, 3 e 4 (que buscavam responder aos problemas de quem formula esse conhecimento, explicando sobre a forma de pesquisar com aceleradores e detectores de raios cósmicos, havendo ênfase teórica e experimental). Adição de momentos para discutir conceitualmente a emergência dos estudos sobre radiação no início do século XX, caracterizando os diferentes tipos de raios e o que seria absorção, com foco nos raios X e outros relacionados a saúde.²⁷	Na granularidade fina, notamos que o que realmente foi um problema para os estudantes estava mais na dimensão conceitual, da própria radiação. As problematizações propostas pouco engajaram com os estudantes, sendo que apenas três lembraram desse momento durante a entrevista. Um aprofundamento conceitual pode, inclusive, melhorar o desempenho na atividade subsequente. Na dimensão ampla, notamos que os conceitos de radiação e absorção permaneceram como problemas.

²⁷ Para o professor, a mudança na aula 1 começando com raio X é muito proveitosa por estar mais conectada à realidade do estudante. Os estudantes já fizeram exame de raio X, mas nunca andaram de avião. Ele acredita que a dificuldade conceitual do material está na medida adequada.