

A gênese de uma inovação no ensino de física: Um estudo de caso exploratório com a disciplina Applied Physics 50 na Universidade de Harvard

Tobias Espinosa¹, Ives Solano Araujo¹ e Kelly Miller²

¹Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. E-mails: ¹tobias.espinosa@ufrgs.br e ives@if.ufrgs.br. ²Harvard University, Cambridge, United States. E-mail: kmiller@seas.harvard.edu

Resumo: A adoção de inovações pedagógicas, como métodos ativos de ensino, é limitada e frequentemente equivocada, resultando em distorções e descontinuidade. Compreender a origem dessas inovações pode esclarecer suas características essenciais, diferenciando-as dos aspectos circunstanciais, facilitando assim sua transposição para diferentes contextos educacionais. Nesse sentido, conduzimos um estudo de caso exploratório para compreender a gênese de uma inovação desenvolvida na Universidade de Harvard, a disciplina Applied Physics 50 (AP50). Identificamos que o processo de criação da AP50 envolveu três etapas principais: primeiro, o reconhecimento de um problema na maneira como os alunos de engenharia estavam sendo ensinados em Física; segundo, a fase de pesquisa, que incluiu a revisão de livros e visitas a outras universidades; e terceiro, o desenvolvimento contínuo da disciplina, influenciado tanto pela instituição (construção social) quanto pelo intercâmbio de informações com outros métodos de ensino (*Team-Based Learning* e *Project-Based Learning*). Em particular, destaca-se como estrutura pedagógica essencial da AP50 o desenvolvimento de habilidades de trabalho colaborativo, incentivado por equipes de aprendizagem, e o estímulo à motivação intrínseca no contexto de projetos de longo prazo.

Palavras-chave: inovação, Applied Physics 50, métodos ativos de ensino, ensino de física.

Title: The genesis of an innovation in physics education: An exploratory case study with the Applied Physics 50 Course at Harvard University

Abstract: The adoption of pedagogical innovations, such as active learning methods, is limited and often flawed, leading to distortions and discontinuity. Understanding the genesis of these innovations can elucidate their essential characteristics, distinguishing them from circumstantial aspects, thus facilitating their adaptation to diverse educational environments. In this regard, we conducted an exploratory case study to comprehend the origins of an innovation developed at Harvard University, the Applied Physics 50 (AP50) course. We identified that the creation of AP50 involved three main stages: first, the recognition of a problem in the way engineering students were being taught Physics; second, the research phase, which included the review of literature and visits to other universities; and third, the continuous development of the course, influenced both by the institution (social construction) and the exchange of

information with other teaching methods, such as Team-Based Learning and Project-Based Learning. Notably, an essential pedagogical structure of AP50 is the development of collaborative work skills, fostered by learning teams, and the encouragement of intrinsic motivation within the context of long-term projects.

Keywords: innovation, Applied Physics 50, active teaching methods, physics education.

Introdução

A pesquisa em Ensino de Física em âmbito internacional tem progressivamente desenvolvido novas abordagens pedagógicas (Khatri et al., 2016), que podem ser consideradas como inovações, ou seja, ideias ou práticas percebidas como novas por indivíduos ou grupos em determinado contexto (Rogers, 2003). Entre essas abordagens, destacam-se os métodos ativos de ensino, que consistem em uma combinação de elementos práticos e teóricos para promover o engajamento dos alunos. Esses métodos atribuem aos estudantes um papel ativo no processo de aprendizagem, tornando-os corresponsáveis por seu próprio desenvolvimento (Espinosa, Araujo e Veit, 2019). Desde pelo menos a década de 1990, essas inovações pedagógicas têm demonstrado resultados positivos em termos de desempenho dos estudantes em testes padronizados e em suas atitudes em relação à Física (Hake, 1998; Freeman et al., 2014; Oliveira, Veit e Araujo, 2015; Müller et al., 2019). Mais recentemente, os métodos ativos têm se mostrado importantes para reduzir desigualdades entre estudantes (Espinosa et al., 2017; Li, Bernardi e Burkholder, 2024) e estimular a persistência acadêmica (Moraes, Heidemann e Espinosa, 2020; Pigosso, Ribeiro e Heidemann, 2020; Tinto, 2024).

Apesar de uma considerável parcela dos docentes estar ciente da existência de inovações pedagógicas, apenas uma minoria as incorpora em sua prática cotidiana e, dentre esses, uma significativa fração possui uma compreensão distorcida das inovações adotadas, o que frequentemente resulta em modificações (Dancy, Henderson e Turpen, 2016; Petter, Espinosa e Araujo, 2021). Tal cenário muitas vezes conduz a desdobramentos negativos e, por conseguinte, à descontinuidade (Dancy, Henderson e Turpen, 2016).

Uma maneira de compreender essas modificações e elaborar recomendações práticas que contribuam para mitigar o problema é por meio da análise minuciosa das características de uma determinada inovação, realizada mediante estudos documentais aprofundados em artigos e obras que a detalham (Espinosa, Araujo e Veit, 2019). Outra abordagem, ainda pouco explorada, consiste na investigação da gênese dessa inovação (Khatri et al., 2016). Everett Rogers (2003), um dos mais proeminentes teóricos no campo da inovação, já afirmava em seu clássico livro *Diffusion of Innovations* que eram escassas as investigações voltadas para compreender o processo de desenvolvimento das inovações. Essa lacuna permanece aberta, especialmente no que tange à pesquisa sobre inovações no ensino de física.

Sustentamos que a evolução genética de inovações pedagógicas pode contribuir para a compreensão de suas especificidades e, conseqüentemente, auxiliar nos processos de transposição para contextos educacionais distintos dos originais. Afinal, é crucial compreender as escolhas e opções metodológicas feitas na origem da inovação para distinguir o que é fundamental e a caracteriza daquilo que é circunstancial. As decisões tomadas no momento da criação de uma inovação impõem restrições às ações presentes e futuras relacionadas a ela. Portanto, embora elementos frequentemente abordados na literatura, como fatores individuais e situacionais, sejam relevantes para entender a adoção de inovações pedagógicas, a inovação em si, e particularmente sua história, também limita a ação de inovar e, por isso, demanda investigação.

Nesse sentido, investigamos, por meio de um estudo de caso de natureza exploratória, o processo de desenvolvimento de uma inovação pedagógica que vem sendo aperfeiçoada nos últimos anos no ensino de Física da Universidade de Harvard, no grupo do professor Eric Mazur: a disciplina Applied Physics 50 (AP50). A instituição é conhecida como referência em inovações no ensino de Física. Em 2014, o professor Mazur recebeu o prêmio internacional Minerva para avanços na educação superior devido à criação e difusão do método *Peer Instruction*. Dada a experiência e o perfil inovador do professor, bem como a circunstância temporal (momento de desenvolvimento da AP50), estabeleceu-se condições promissoras para o estudo do processo de criação de uma inovação pedagógica. Para tal, amparamo-nos na Teoria da Difusão de Inovações de Rogers (2003).

A AP50 é uma disciplina de Física introdutória, oferecida desde 2013 para estudantes de Engenharia, cuja proposta pedagógica se baseia na aprendizagem orientada ao desenvolvimento de equipes e na elaboração de projetos. A AP50 conta com no máximo 75 alunos, divididos em equipes de 4-5 estudantes, e com a presença de cerca de oito monitores e dois professores. As equipes são formadas três vezes ao longo do semestre, no início de cada novo projeto. São três encontros semanais de duas horas cada, sendo que um deles é em um laboratório adequado à construção de projetos e os demais em uma sala com o *design* propício ao trabalho colaborativo, incluindo quadros brancos móveis.

A partir de um *software* de leitura colaborativa, os estudantes, em casa, leem e discutem algumas páginas do livro-texto. Essa etapa, que integra um modelo de Sala de Aula Invertida, visa estimular o engajamento inicial com os conteúdos e levantar dúvidas reais que alimentam as atividades presenciais. Em sala, envolvem-se em uma série de atividades que vão, progressivamente, possibilitando o domínio dos conceitos necessários para a construção dos projetos, que são apresentados em feiras com avaliadores externos à disciplina. As atividades são: instrução pelos colegas (Peer Instruction), tutoriais, atividades de estimativa, atividades experimentais, resoluções de problemas e atividades avaliativas de garantia de preparação (Miller et al., 2016; Araujo et al., 2021). Essas atividades articulam momentos de compreensão conceitual, aplicação em situações abertas e avaliação formativa, sempre em regime de colaboração entre os estudantes. Os alunos ainda avaliam seus colegas de equipe. Todas as equipes se envolvem em projetos com objetivos e orientações similares dados pelos professores. O trabalho em equipe é estruturado de forma que

os grupos mudem a cada projeto, promovendo interações diversas e a corresponsabilização pelo desempenho coletivo. Como exemplos de projetos estão: um carro com um sistema de propulsão mecânica, uma máquina de Rube Goldberg e um instrumento musical construído com materiais recicláveis. Para obter mais informações sobre a metodologia de ensino empregada na disciplina, consulte o trabalho de Araujo et al. (2021).

Nas seções seguintes, apresentamos estudos anteriores que abordam processos de inovação em contextos universitários de Física, a Teoria da Difusão de Inovações, que constitui o referencial teórico adotado, os procedimentos metodológicos empregados e os resultados obtidos. Por fim, tecemos algumas considerações finais, destacando as possíveis implicações da adoção da inovação estudada, oriundas da análise de sua gênese.

Estudos anteriores

Nesta seção, sintetizamos alguns dos principais resultados acerca das barreiras e dos facilitadores para a adoção de métodos ativos no ensino de física em nível superior. Compreendemos a adoção como a decisão de implementar uma inovação, introduzindo algo existente em um novo contexto ou criando algo novo.

A adoção de métodos ativos de ensino é um processo multifacetado, que envolve aspectos individuais e contextuais (Apkarian et al, 2021; Borda et al, 2020; Brownell e Tanner, 2012; Finelli et al., 2019; Dancy e Henderson, 2012; Henderson, 2008; Henderson e Dancy, 2007; Turpen, Dancy e Henderson, 2016; Shadle, Marker e Earl, 2017; Sturtevant & Wheeler, 2019). No nível individual, destaca-se forte influência das crenças docentes sobre ensino e aprendizagem, o nível de conhecimento (teórico e prático) sobre a inovação, a experiência prévia com inovações pedagógicas e o perfil inovador do adotante. De acordo com a literatura, o contexto afeta o processo de adoção a partir das normas sociais e institucionais estabelecidas implícita e explicitamente, da receptividade dos alunos e do apoio (ou da falta dele) ao longo do tempo.

Como ilustração, vejamos o exemplo da pesquisa de Foote (2016), que realizou cinco estudos de caso de implementações bem-sucedidas com o SCALE-UP para analisar como os professores adotam o método e conseguem estabelecer uma prática sustentável. Para isso, Foote (2016) utilizou um modelo de três estágios para adoção de inovações pedagógicas, baseado no modelo de Rogers (discutido na seção seguinte). Os três estágios são: i) motivação para mudar – os sujeitos e instituições percebem a necessidade de mudança devido a uma dissonância entre a prática tradicional e a inovadora; ii) coleta de informações – os potenciais adotantes conhecem a inovação (*"awareness knowledge"*), coletam informações acerca de como utilizá-la (*"how to knowledge"*) e a respeito dos princípios subjacentes a ela (*"principles knowledge"*), os quais enfatizam os argumentos que explicam o porquê das estratégias supostamente funcionarem; iii) implementação – nesse estágio, a inovação é posta em prática, gerando desafios e, possivelmente, adaptações para que seja adequada a um contexto de ensino específico.

Como resultado, Foote (2016) destaca que somente uma das cinco instituições (Instituição D) iniciou o processo de mudança devido à

percepção de que os alunos estavam com baixa frequência nas aulas e com desempenho insatisfatório. As demais instituições (A, B, C e E) não estavam preocupadas com a situação vigente no ensino de Física tradicional, mas estavam cientes das potencialidades de métodos inovadores de ensino e decidiram testá-los. Em todas as instituições a aprendizagem e coleta de informações a respeito do método de ensino a ser adotado ocorreram por meio de interações interpessoais, que se deram durante palestras, workshops, colaborações com projetos de pesquisa em Ensino de Física externos à instituição e com alunos de pós-graduação da própria universidade. Em todos os casos analisados, foram incorporados outros elementos à proposta original do SCALE-UP, resultantes, segundo o autor, da falta de tempo e de mal-entendidos entre desenvolvedores e professores.

Com isso, é comum à adoção de métodos ativos no ensino de física a mudança sofrida pela inovação ao transitar entre instituições. Foote (2016) argumenta que é necessário que os desenvolvedores discutam com os professores os princípios do método, isto é, os discursos subjacentes às práticas, destacando aqueles elementos que são flexíveis e aqueles que descaracterizariam a proposta.

A esse respeito, Dancy, Henderson e Turpen (2016) analisaram, por meio de entrevistas e embasados na Teoria da Difusão de Inovações, como 35 professores tomaram conhecimento e implementaram o método de ensino *Peer Instruction* (PI). Os docentes analisados foram separados em três grupos: não usuários (aqueles que não utilizam qualquer elemento do PI) ($n = 10$), usuários híbridos (aqueles que usam de 1 a 6 elementos do PI) ($n = 18$) e usuários plenos (os quais utilizam de 7 a 9 recursos do método) ($n = 7$). Os autores constataram que geralmente os professores não estão conscientes dos princípios básicos e modificam elementos essenciais do método. Por exemplo, apenas 20% dos usuários híbridos reportam que seus estudantes consistentemente se comprometem individualmente com uma resposta à questão proposta em aula; 40% dos usuários híbridos argumentam que raramente ou nunca pedem aos estudantes para discutirem entre si; e apenas 10% pedem para que os estudantes votem após a discussão.

As modificações indesejadas são parcialmente explicadas por uma série de barreiras identificadas na literatura, tanto internas quanto externas ao contexto de sala de aula. Embora frequentemente os professores apresentem crenças sobre ensino e aprendizagem alinhadas com os princípios pedagógicos dos métodos ativos de ensino, suas práticas muitas vezes não refletem essas convicções devido a interpretações errôneas dos métodos, baixa confiabilidade nas pesquisas em ensino de física e fatores situacionais como a expectativa de cobrir todo o conteúdo e a falta de tempo (Henderson e Dancy, 2005; Henderson e Dancy, 2007; Henderson e Dancy, 2008; Henderson, Dancy e Niewiadomska-Bugaj, 2012). Além disso, a discrepância entre as expectativas dos pesquisadores e dos professores em relação à implementação das inovações, juntamente com a falta de suporte adequado, contribui para a descontinuidade na adoção dessas práticas (Henderson e Dancy, 2007; Henderson e Dancy, 2008).

As barreiras são percebidas de maneiras diferentes por perfis distintos. Por exemplo, aqueles que não utilizam o método destacam dificuldades relacionadas à falta de tempo, enquanto os usuários enfrentam desafios ligados à implementação das práticas (Turpen, Dancy e Henderson, 2016).

Para facilitar a mudança da prática tradicional para abordagens inovadoras no ensino de física, várias estratégias têm sido identificadas. Foote et al. (2016) destacam a importância da documentação e divulgação de evidências de sucesso local, suporte administrativo, interação com professores externos que utilizam a mesma abordagem e financiamento. Workshops, como o New Faculty Workshop (NFW), têm sido eficazes na familiarização dos professores com métodos ativos, proporcionando apoio de outros docentes experientes e apoio institucional (Henderson, 2008; Dancy & Henderson, 2012). Olmstead e Turpen (2017) enfatizam a importância dos workshops em fornecer sentido pedagógico às inovações, discutindo as razões subjacentes às práticas. Programas como o Science Education Initiative (SEI) e o Co-Teaching também têm angariado bons resultados, fornecendo apoio especializado, ambiente de apoio com compromisso coletivo e suporte de professores experientes para iniciantes (Chasteen et al., 2015; Wieman, Deslauriers e Gilley, 2013; Henderson, Beach e Famiano, 2009).

A partir dos trabalhos analisados, torna-se evidente a necessidade de uma explicitação mais precisa sobre os detalhes da inovação, tanto em termos de fundamentos práticos quanto teóricos. Assim, é possível evitar modificações indesejadas que levem à descontinuidade da inovação, bem como realizar modificações positivas e conscientes, capazes de melhor adaptar a inovação ao novo contexto. Nesse sentido, o estudo da gênese das inovações se revela como um fator crucial. Do ponto de vista prático da criação, o suporte institucional e a colaboração entre pares mostram-se elementos necessários, embora não suficientes.

Teoria da Difusão de Inovações

A Teoria de Difusão de Inovações (TDI) foi proposta pelo sociólogo Everett Rogers em 1962. Desde então, a Teoria da Difusão de Inovações tem sido amplamente utilizada em diferentes áreas de conhecimento, incluindo saúde pública (Greenhalgh et al., 2004), comunicação (Srivastava e Moreland, 2012), agricultura (Lavoie, Dentzman e Wardropper, 2021) e educação (Frei-Landau, Muchnik-Rozanov e Avidov-Ungar, 2022), tornando-a uma referência para a compreensão dos fatores que influenciam a adoção e a difusão de inovações. “Uma razão pela qual há tanto interesse na difusão de inovações é porque ter uma nova ideia adotada, mesmo quando ela apresenta vantagens óbvias, é frequentemente muito difícil.” (Rogers, 2003, p.1, tradução nossa).

Para Rogers (2003), difusão é um processo pelo qual uma inovação é comunicada ao longo do tempo por meio de certos canais de comunicação, entre membros de um sistema social. Nesse sentido, são quatro os principais elementos que compõem os processos de difusão: a inovação, que se constitui em uma ideia, prática ou objeto que é percebida como nova para um indivíduo ou grupo social; os canais de comunicação, ou seja, os meios pelos quais uma mensagem vai de um indivíduo a outro; o tempo, o

período de tempo necessário para o processo de adoção; e os sistemas sociais, que podem ser grupos de indivíduos ou organizações engajados na solução de problemas para atingir um objetivo em comum.

Parte das mutações pode ser apreendida como inovações tecnológicas. Tecnologia, segundo Rogers (2003), consiste em um projeto de ação instrumental que reduz a incerteza nas relações de causa e efeito envolvidas na obtenção do resultado desejado. A inovação tecnológica apresenta dois elementos: hardware e software. O primeiro corresponde ao aspecto prático e material da inovação (ações e objetos, por exemplo). O segundo refere-se à informação subjacente ao hardware, que o fundamenta. Nesta pesquisa, consideramos as inovações pedagógicas como inovações tecnológicas. No caso dos métodos de ensino, entendemos que uma compreensão abrangente de suas características implica compreender as práticas e os princípios pedagógicos (teóricos) que as sustentam. Qualquer tentativa de explicar ou compreender um método exclusivamente pela dimensão prática pode conduzir a uma visão tecnicista do ensino (Espinosa, Araujo e Veit, 2019) e, conseqüentemente, à concepção do professor como racionalista técnico (Contreras, 2012).

O modelo que delinea o processo de adoção de inovações, conforme descrito pela TDI, contempla cinco etapas essenciais: conhecimento, persuasão, decisão, implementação e confirmação. Esses estágios não ocorrem necessariamente nessa ordem. Segundo Rogers (2003), para que esse processo ocorra existem algumas condições prévias. São elas: a percepção de uma necessidade/problema, práticas anteriores, personalidade inovadora e as normas sociais.

O processo de adoção de inovações começa pelo conhecimento, que ocorre quando o sujeito (ou grupo) toma contato com a inovação e adquire algum conhecimento sobre ela.

A segunda etapa, a persuasão, ocorre quando o indivíduo (ou grupo) cria uma atitude positiva ou negativa sobre a inovação, ou seja, um conjunto de crenças sobre a inovação que predispõe as ações do sujeito. Contrariamente ao primeiro estágio, cuja principal atividade mental é cognitiva, a persuasão está prioritariamente no domínio afetivo.

O modelo de Rogers (2003) indica que existem cinco características principais das inovações que influenciam a formação de atitudes. São elas:

(i) Vantagem relativa: denota o grau em que uma inovação é percebida pelo indivíduo (ou grupo) como superior às alternativas anteriores (por exemplo, quais são os benefícios dos métodos ativos em comparação aos métodos tradicionais?).

(ii) Compatibilidade: indica o grau com que uma inovação é percebida pelo indivíduo (ou grupo) como compatível com seus valores, experiências passadas e necessidades. As ideias e concepções prévias são, segundo Rogers (2003), as principais ferramentas com as quais as novas ideias são avaliadas (e.g. os professores de Física têm experiências anteriores com aprendizagem ativa em sala de aula?).

(iii) Complexidade: representa o grau com que uma inovação é percebida pelo indivíduo (ou grupo) como relativamente difícil de entender e usar

(e.g. o quão difícil é para um professor, ou instituição, entender e colocar em prática métodos ativos de ensino?).

(iv) Testagem: define o grau com que uma inovação pode ser testada. Inovações que podem ser testadas reduzem a incerteza dos potenciais usuários (e.g. o professor que decide inovar a sua prática pode experimentar pequenas mudanças na sala de aula ou precisa modificar completamente sua prática de uma só vez?).

(v) Visibilidade: indica o grau no qual os resultados de uma inovação são visíveis para as pessoas (e.g. os resultados provenientes da aplicação de métodos ativos são acessíveis aos professores?).

O estágio de decisão do processo de implementação ocorre quando um sujeito (ou grupo) se engaja em atividades que o levam a adotar ou rejeitar uma inovação. Um fator importante para a tomada de decisão é a possibilidade de testar a inovação de forma parcial ou vislumbrar alguém o fazendo (experiência vicária). Em caso de adoção, inicia-se a etapa de implementação, a qual acontece quando o indivíduo (ou grupo) coloca uma inovação em prática. Antes da implementação, o processo de adoção fica restrito a um exercício mental. Problemas relacionados a como usar/adaptar uma inovação surgem nesse estágio. Esses possíveis percalços que surgem no caminho podem levar à desistência ou, caso contrário, à confirmação (último estágio) da adoção.

O processo de desenvolvimento de uma inovação, além de envolver os elementos descritos, segundo Rogers (2003), possui três etapas particulares, que não são exclusivas e não seguem, necessariamente, a ordem exposta. São elas: (1) reconhecimento de um problema ou necessidade; (2) pesquisa básica e aplicada; e (3) desenvolvimento. Inicialmente, o indivíduo (ou grupo social) reconhece um problema ou necessidade. Por exemplo, a desmotivação frente à abordagem de ensino e/ou a falta de concentração dos estudantes. Em seguida, inicia-se o processo de exploração (pesquisa) para encontrar ideias ou práticas capazes de serem apresentadas como uma solução ao problema. Ou, como diria Rogers, uma solução tecnológica. O desenvolvimento, que dificilmente se separa da pesquisa e não necessariamente a sucede, é o processo de colocar uma nova ideia em uma forma que a possibilite resolver os problemas inicialmente identificados. Nesse processo surgem intercâmbios de informações, ou seja, ideias transitam de uma instituição à outra, e a construção é afetada pela própria instituição em que se insere, constituindo-se, em essência, em uma construção social.

Metodologia

Para obter informações acerca da gênese de uma inovação, realizamos um estudo de caso na acepção de Yin (2010). Classificamos o estudo como exploratório, em contexto único com duas unidades de análise principais: o professor Eric Mazur, principal responsável pela criação da inovação pedagógica em estudo; e a Professora L, uma colaboradora que esteve presente desde a criação da inovação. O professor Mazur concordou com sua identificação na pesquisa e ambos assinaram termo de consentimento livre e esclarecido. Consideramos o caso como peculiar, pois se trata de um momento propício para o estudo de uma inovação ainda em

desenvolvimento em uma instituição que já obteve sucesso na criação de um método ativo de ensino de Física, o *Peer Instruction*. O estudo foi conduzido na Universidade de Harvard no segundo semestre de 2017 em uma nova disciplina de Física aplicada (Applied Physics 50 – AP50).

Para coleta de dados, o primeiro autor do presente trabalho observou durante um semestre letivo as atividades desenvolvidas na disciplina, participou de reuniões semanais em que era avaliado o andamento da disciplina e conduziu entrevistas semiestruturadas. As observações, em conjunto com os estudos sobre inovação e o referencial teórico adotado serviram como base para a construção das questões da entrevista.

Com o objetivo de obter uma descrição do processo de desenvolvimento da AP50, foi realizada, ao final do semestre, uma entrevista com cada um dos sujeitos da pesquisa, com duração aproximada de 30 minutos. As entrevistas semiestruturadas eram constituídas por três questões, sendo cada uma delas acompanhada de uma série de subquestões que auxiliaram a guiar a discussão.

1) Conte-me um pouco sobre a história da AP50. Como surgiu a ideia da AP50? O que motivou você? Como foi desenvolvida? Qual o principal objetivo e os resultados esperados?

2) Quais foram as principais influências para o desenvolvimento da AP50? Como essas ideias externas foram incorporadas à AP50? Que mudanças foram feitas em relação ao método *Team-Based Learning*, por exemplo? Por quê?

3) Quais foram os principais problemas e desafios enfrentados no início? Como esses desafios foram superados? Quando a ideia foi inicialmente desenvolvida, algum aspecto pedagógico teve que ser alterado? (devido aos alunos, universidade etc.). Por quê?

Para a análise dos dados, seguimos as orientações de Yin (2011), que propõe a utilização de cinco fases: compilação, desagrupamento, reagrupamento, interpretação e conclusão. Na fase de compilação, os dados provenientes das múltiplas fontes de evidência são colocados em alguma ordem, passando a se constituir no banco de dados do pesquisador. Durante o desagrupamento, os dados compilados são quebrados em alguns pequenos fragmentos. Esses fragmentos podem estar acompanhados de uma codificação inicial ou não. Esse processo pode ser repetido várias vezes. Durante a etapa de reagrupamento os dados são codificados com vistas a responder às questões de pesquisa. Esse reagrupamento pode ser facilitado com o uso de gráficos e tabelas. Além disso, a partir de novas interpretações, os dados podem ser rearranjados. Na interpretação, usa-se o reagrupamento para criar uma nova narrativa, que pode, por exemplo, ser em forma de diálogo com a literatura. A conclusão é a fase na qual se dá um significado maior para a interpretação, podendo ser destacadas as asserções de conhecimento alcançadas e as implicações, práticas ou não, da pesquisa. É também nessa fase que são apresentadas as perspectivas de continuação da pesquisa. Cabe destacar que as cinco fases não seguem uma ordem linear, mas sim interações recursivas e interativas.

Resultados e discussões

Descrevemos nesta seção o processo de desenvolvimento da disciplina *Applied Physics 50* (AP50) de acordo com a nossa análise dos relatos do professor Eric Mazur (principal ator do desenvolvimento da disciplina) e da Professora L (colaboradora do grupo do Mazur que participou ativamente da criação e implementação da AP50). As observações do pesquisador, proveniente da vivência *in loco*, também foram consideradas para a análise e interpretação dos resultados que passamos a explicar. Uma versão reduzida do estudo exposto nesta seção foi apresentada no XVII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física.

Segundo a nossa análise, a genealogia da AP50 se deu a partir de três etapas principais: o reconhecimento de um problema/necessidade, a pesquisa e o desenvolvimento.

O processo de gênese da AP50 iniciou, como previsto pelo modelo de Rogers (2003), a partir de um problema. O professor, em conjunto com o departamento de Engenharia da Universidade de Harvard, identificou falhas no ensino de Física voltado a futuros engenheiros. Nas palavras do professor Eric Mazur:

Há cinco anos, eu estava falando com o meu superior, chefe do departamento de Engenharia [nome omitido] [...] sobre como o ensino de Física para estudantes de Engenharia não estava bom. Essencialmente, você pega a disciplina que normalmente é dada a estudantes de Física, mistura com mais alguma coisa e entrega aos engenheiros. Nós pensamos que, em vez de pedir que os estudantes de Engenharia fossem ao departamento de Física cursar as disciplinas, nós podíamos oferecer disciplinas de Física no departamento de Engenharia e realmente pensar qual seria a melhor experiência para esses estudantes. (Professor Mazur)

A Professora L reforça a argumentação:

Como muitos estudantes de Engenharia estavam cursando a Physics 11 [disciplina ministrada por Mazur anteriormente à AP50, cujo método de ensino era o *Peer Instruction*], ele [Mazur] queria criar um curso específico para engenheiros, em que tivessem um aprendizado de Física construindo coisas e por meio de desenvolvimento de projetos. (Professora L)

Identificamos quatro fatores que possibilitaram a transição do problema à etapa de pesquisa: a experiência anterior com o desenvolvimento do *Peer Instruction* (PI), o prestígio social do inovador, a disponibilidade de tempo e a liberdade institucional.

O professor Mazur já possuía experiência no desenvolvimento de um método ativo de ensino, além de ter realizado leituras e pesquisas na área. Essas condições favoráveis permitiram que ele criasse a AP50. Além disso, podemos afirmar que o professor Mazur possui o que Rogers (2003) denomina de perfil inovador, demonstrando disposição para adotar inovações de forma relativamente precoce em comparação com outros professores de sua instituição. Durante a criação da AP50, o professor enfatizou a importância de considerar a experiência como um todo, ao

contrário do que aconteceu com o PI. Isso evidencia a vantagem relativa da AP50 em relação ao PI.

Eu queria ajustar minha abordagem de ensino de qualquer forma. Já havia passado de aulas tradicionais para o Peer Instruction, mas o PI está reparando um modelo de ensino falido e não pensando a experiência como um todo. (Professor Mazur)

Durante alguns anos, Eric lecionou, no departamento de Física, uma disciplina chamada *Physics 11*, utilizando o *Peer Instruction*. Havia muitos estudantes de Engenharia que faziam esse curso. Ele [Eric Mazur] obteve muito sucesso em termos de ganhos normalizados para esses alunos aplicando o FCI [teste padronizado *Force Concepts Inventory*]. Vendo esses resultados, ele teve algumas ideias de como tornar as aulas ainda mais interativas do que apenas usar o Peer Instruction. (Professora L)

Como já mencionado na introdução deste artigo, o desenvolvimento, difusão e pesquisas do PI rendera ao professor o prêmio Minerva para avanços na educação superior e seu livro foi traduzido para diferentes idiomas, inclusive o português (Mazur, 2015). Nos Estados Unidos, o PI é o método ativo mais utilizado entre professores de Física (Henderson e Dancy, 2009; Müller et al., 2017; Petter, Espinosa e Araujo, 2021). Esses fatores possivelmente o colocaram em uma posição política privilegiada na instituição, de líder de opinião, e geraram o reconhecimento e confiança necessários para que o departamento de Engenharia lhe desse tempo e liberdade para a criação da nova disciplina.

Eu disse a ela [chefe de departamento] que eu estava interessado em fazer isso, mas que levaria tempo. Então, ela me deu um ano [...] para pensar sobre o ensino e, essencialmente, dedicar o tempo que normalmente seria dedicado ao ensino para repensar completamente a disciplina. Eu tinha a liberdade para fazer o que eu queria sem pessoas me dizendo: não, você não pode fazer isso ou aquilo. (Professor Mazur)

Além disso, ao contrário do departamento de Física de Harvard, a Escola de Engenharia é uma instituição menos conservadora em relação às inovações pedagógicas. De acordo com a Professora L, mesmo o prestígio do Mazur não seria suficiente para que o departamento de Física permitisse a criação de uma disciplina como a AP50. Portanto, a combinação da posição política do professor Eric Mazur com uma instituição mais inovadora, como a Escola de Engenharia, criou a condição ecológica necessária para a gênese da AP50.

Eu acho que o departamento de física não era um lugar onde estavam interessados em ter disciplinas com métodos muito interativos de ensino. Então ele mudou, ele criou uma nova disciplina na escola de Engenharia chamada AP50. [...] E foi oferecida como Física Aplicada, pela Escola de Engenharia em vez de pelo departamento de Física. Acho que porque, em parte, isso permitiu que ele tivesse mais controle sobre a pedagogia. (Professora L)

Eu acho que no departamento de Física, por exemplo, e isso está mudando agora, mas [...] o tipo de abordagem tradicional de ensino,

obviamente, atrapalha esse tipo de curso. Se as pessoas não acreditam que você pode realmente aprender física dessa maneira, se os instrutores não acreditam nisso, é difícil fazer com que os alunos comprem isso. Quero dizer, acho que é difícil... Harvard é tradicionalmente muito conservadora e tradicional. Então, a personalidade institucional pode desempenhar um papel. Eu não sei se alguém, exceto Eric, seria capaz de quebrar isso. Quero dizer, a posição do Eric e sua reputação como um inovador educacional ajudaram muito. Acho que se não fosse isso, teria sido difícil, nessa instituição, começar algo assim, porque [a instituição] é muito tradicional. (Professora L)

Nos Estados Unidos, os cursos de Engenharia desfrutam de grande prestígio, pois são responsáveis pela formação de grande parte das pessoas que desenvolverão as inovações tecnológicas. É nesse sentido que as normas sociais que regem o departamento de Engenharia, isto é, as expectativas e padrões de comportamento aceitos (Rogers, 2003), estão compatíveis com uma cultura de inovação. Portanto, é razoável que o professor Eric Mazur tenha sido incentivado para criar a AP50 dentro do departamento de Engenharia e não no de Física, onde geralmente são oferecidas as disciplinas de Física para engenheiros.

Mesmo no departamento de Engenharia, há ainda hoje resistência por parte dos alunos e professores acerca do valor, principalmente em termos de aprendizagem, da AP50. Segundo a Professora L, alguns professores são da opinião de que a disciplina não atende às expectativas institucionais, e certos alunos são desencorajados a cursarem a disciplina.

Eu acho que outro desafio [...] é convencer outros membros do corpo docente de que a pedagogia é eficaz. Mesmo agora, muitos membros do corpo docente pensam que o curso é uma piada. Há estudantes que disseram ao Eric e a mim que eles foram aconselhados a não fazerem a disciplina por seus conselheiros acadêmicos porque não aprenderiam muita física. Essa percepção ainda é um desafio contínuo. (Professora L)

A resistência dos alunos à implementação de métodos ativos é uma barreira amplamente discutida na literatura (Henderson e Dancy, 2007; Finnelli et al., 2019; Petter, Espinosa e Araujo, 2021). Embora haja consenso sobre as vantagens desses métodos em termos de desempenho em testes padronizados (Freeman et al., 2014), os estudantes relatam sentir que aprendem menos em aulas com abordagens ativas (Deslauriers et al., 2019). Esse fenômeno, que pode ser considerado uma hipótese explicativa para a resistência dos alunos à AP50, está relacionado, em parte, ao esforço cognitivo exigido em ambientes de aprendizagem ativa (Deslauriers et al., 2019).

Apesar de certa tensão institucional, as condições anteriormente explicitadas (a experiência prévia e o prestígio social do inovador, a disponibilidade de tempo e a liberdade institucional) foram suficientes para que o professor Mazur e seus colaboradores dessem início à etapa de pesquisa, que envolveu leituras e visitas a diferentes universidades.

Então, eu fiz diversas leituras. Visitei várias universidades para analisar suas abordagens de ensino. Eu realmente tentei me educar sobre abordagens de ensino, da mesma forma que eu faria em pesquisa. (Professor Mazur)

O ano que passamos criando a disciplina, [sujeito omitido], Eric e eu viajamos por aí... e também havia um preceptor que havia sido contratado especificamente para ajudar a projetar o curso [...]. Então nós quatro viajamos para lugares diferentes. Passamos algum tempo no MIT, passamos algum tempo na Olin College, que é uma faculdade de Engenharia das proximidades [...]. Eric ouviu falar de uma mulher cujo nome eu não consigo lembrar, que é uma espécie de especialista em aprendizagem baseada em projetos da Universidade de McMaster. Então, ela veio aqui e trabalhou conosco por um tempo para nos ajudar a desenvolver os projetos. (Professora L)

No decorrer de sua busca, Mazur adotou duas referências que, por meio de um intercâmbio de informações, levaram-no ao desenvolvimento do *logos* (*software*) e da *práxis* (*hardware*) da AP50: o livro "*Who owns the learning*", escrito por Alan November (2012) e as ideias do método *Team-Based Learning* (TBL), desenvolvido por Larry Michaelsen (Michaelsen, Knight e Fink, 2004).

Em termos do *logos*, mais especificamente dos discursos tecnológicos que explicam, justificam e criam as técnicas da AP50, o professor Mazur se apropriou da ideia de motivação intrínseca trazida por Alan November (2012). O autor argumenta que os estudantes precisam se envolver em trabalhos com propósito.

Então, um é o livro cujo título é "*Who owns the learning*". Eu acho esse livro lindo. Esse livro fala de como a maior parte do aprendizado é motivado por fatores extrínsecos. Você irá aprender ou irá ser reprovado nas provas. Você será punido em vez de querer aprender intrinsecamente. Esse livro foi escrito por Alan November, um consultor de ensino k-12. Sua afirmação é: se você prestar atenção nas crianças, elas aprendem não porque nós estamos batendo com um chicote e aplicando provas. Elas estão aprendendo porque a mente está conectada para aprender. Quando crianças, elas continuam perguntando o porquê. Elas querem entender. Então, acho que todos, de certo modo, nascem com um desejo intrínseco de entender o mundo que nos rodeia e de aprender. Infelizmente, no momento que os estudantes chegam ao ensino médio, esse desejo é substituído por um desejo extrínseco de aprender. (Professor Mazur)

Estabelecidas as bases referentes ao *software*, foram geradas as práticas coerentes (*hardware*). Nesse caso, o professor utilizou o desenvolvimento de projetos como forma de estimular a motivação intrínseca. Em um dos projetos, por exemplo, os estudantes são solicitados a construírem um instrumento musical com materiais de baixo custo e, ao final do projeto, doá-los a crianças carentes, criando um sentido ao desenvolvimento do projeto que vai além da aprendizagem do conteúdo.

Em vez de pegar o livro e dizer aos meus estudantes: está aqui, aprendam isso. Isso é bom para você. Eu digo aos alunos: nós vamos

trabalhar em um grande projeto! E eu tento adicionar um componente de empatia ou bem social a isso. Assim, eles podem fazer um bem à sociedade ou fazer algo que pode ser empolgante. Uma vez que eles estão realmente empolgados com o projeto, eu digo a eles que olhar o livro pode ajudá-los. Então, o conteúdo, em vez de ser um objetivo por si só, torna-se um meio de alcançar um objetivo que é mais significativo na mente dos estudantes. (Professor Mazur)

A outra importante influência à criação da AP50, o método TBL (Michaelsen, Knight e Fink, 2004; Espinosa, Araujo e Veit, 2016), enfatiza a importância do desenvolvimento de equipes, transformando a sala de aula em um ambiente colaborativo, no qual os estudantes adquirem habilidades de trabalho colaborativo necessárias à vida em sociedade. Essa ideia, que compõe parte do *software* da inovação, foi transferida para a AP50.

[...] a educação está completamente focada no indivíduo, mas a forma como a sociedade funciona é quase sempre fazendo com que as pessoas trabalhem juntas [...]. No entanto, a educação é focada no indivíduo, você está sozinho na sala de aula ouvindo o professor. Pode haver outras pessoas sentadas ao seu lado, mas não estão falando com você. [...] Então, enviamos nossos graduados, nossos engenheiros, para empresas onde devem trabalhar em equipe e eles descobrem que não conseguem, porque nunca aprenderam [...]. (Professor Mazur)

Na AP50 foram adotadas duas práticas do TBL, as quais contam sempre com atividades individuais e em equipe, usualmente intercaladas. Um exemplo é a tarefa de garantia de preparação (*readiness assurance*), na qual o aluno individualmente responde a uma série de questões (usualmente conceituais) acerca do conteúdo estudado e, em seguida, responde às mesmas questões com a sua equipe. Além disso, a formação de equipes heterogêneas (em termos de conhecimento, interesses, gênero etc.) para o desenvolvimento de equipes de aprendizagem é outro exemplo de *práxis* proveniente do TBL.

O *hardware*, bem como o *software*, do TBL original não era suficientemente coerente com o *software* da AP50 estabelecido pelo professor, mais especificamente com a ideia de motivação intrínseca. Nas palavras do professor Mazur, ele adotou o TBL, mas acredita ter levado as ideias além.

Nós certamente adotamos o TBL. Não há dúvidas. Incluindo a tarefa de preparação. Nós fizemos algumas mudanças na forma como eles implementam, mas acho que o TBL não necessariamente tem um projeto. Também nos certificamos de que, em todos os aspectos do curso sempre haja uma fase individual e outra em equipe. [...] Então, mesmo para a tarefa de casa, você os viu trabalhando primeiro em casa, individualmente, e depois há a fase em equipe em classe. Eu tento pegar a ideia do TBL e levá-la ainda mais além do que eles fazem. (Professor Mazur)

Entre as modificações do TBL ocorridas na AP50, a Professora L destaca que, no TBL original, os grupos se mantêm constantes ao longo do semestre, e na AP50 eles são renovados a cada projeto. Segundo L, o

discurso que justifica tal alteração é a ideia de que os alunos tenham a oportunidade de recomeçarem a partir do que aprenderam com a sua equipe anterior. Além disso, a capacidade dos alunos de trabalharem com diferentes grupos de pessoas é uma habilidade que se busca desenvolver na AP50.

Eu também acho que no TBL regular a equipe é consistente. Eles não trocam de equipe, eles têm as mesmas equipes durante todo o semestre. [...] Eu acho que a razão para isso [a mudança] é dar a eles a oportunidade de ter um novo começo no final de cada projeto. No final de cada projeto, os alunos avaliam uns aos outros e é difícil... eu acho... digamos que a equipe permaneça a mesma consistentemente ao longo do semestre, como no final de cada projeto os quatro ou cinco avaliam uns aos outros, é difícil mudar a dinâmica de uma equipe que já foi estabelecida corretamente. Então, mudando a equipe novamente, você está dando um novo começo. Eles usam as informações, o feedback, de sua primeira equipe sobre como se comportam como membros da equipe na sua segunda equipe. Isso seria difícil de fazer, eu acho, se a equipe permanecesse a mesma porque é difícil quebrar um padrão quando um padrão é estabelecido com o mesmo grupo de pessoas. Você tem quase todos os papéis definidos e, assim, eles têm três tipos de experiências distintas trabalhando com três grupos diferentes de pessoas. Eu acho que é uma boa prática. (Professora L)

O intercâmbio de informações com os desenvolvedores do TBL é constante. Em 2017/2 houve um minicurso com o professor Michael Sweet, um dos desenvolvedores do método da Universidade do Texas, destinado ao departamento de Engenharia e aos envolvidos na AP50. Durante o minicurso foram traçadas comparações entre os elementos do TBL original e aqueles utilizados na AP50. Um dos fatores destacados foi a necessidade de os alunos aprenderem a trabalhar com diferentes grupos de pessoas, conforme defendido pelo professor Mazur e seus colaboradores. Isso contrasta com a abordagem de grupos fixos, que é defendida pelos elaboradores do TBL. O ministrante do minicurso enfatizou que o TBL não é uma estratégia didática rígida e que pode, e deve, ser adaptada para contextos e objetivos educacionais distintos. Além disso, na ocasião, o grupo envolvido na implementação da AP50 estava à procura de um novo sistema para realizar a avaliação entre os colegas de equipe. Nesse contexto, Michael apresentou algumas alternativas, mas elas não foram implementadas, pois impediam a concretização de objetivos de pesquisa previamente estabelecidos, que envolviam mensurar habilidades de trabalho em grupo. Ademais, houve, ao final do minicurso, discussões acerca de resultados de pesquisas.

Outra importante influência, não mencionada pelos professores durante as entrevistas, foi o uso de tutoriais, oriundo do livro *Tutorials in Introductory Physics* (McDermott e Shaffer, 2001).

Todas essas informações que culminam na AP50 podem torná-la possivelmente percebida como complexa por potenciais adotantes. De acordo com Rogers (2003), essa percepção de complexidade afeta as taxas de adoção da inovação.

Três elementos se destacaram como parte da construção social da AP50: os projetos, as tarefas de casa e o perfil discente, afetados por instituições como a sala de aula, o departamento de Engenharia e o grupo de pesquisa em Ensino de Física.

De acordo com o professor Mazur, a definição dos projetos foi a parte mais difícil do desenvolvimento da AP50. Os projetos foram aperfeiçoados semestre após semestre pela equipe responsável pela AP50 (oito monitores e dois instrutores por semestre). Durante o semestre observado (2017/2) a equipe ainda modificava os projetos e os protocolos de avaliação. Além disso, modelos de relatório foram desenvolvidos no referido semestre.

A parte mais difícil foi realmente criar os projetos. [...] quando começamos a disciplina, nós só tínhamos dois projetos. Então, tivemos que pensar muito em como implementá-los. Nós eliminamos, eu acho que depois do primeiro ano... Nós eliminamos um ou dois projetos e os substituímos por outros. Então, ao longo dos anos, substituímos um projeto após o outro. (Professor Mazur)

O *feedback* dos alunos fez com que as tarefas de casa fossem alteradas diversas vezes. Segundo Mazur, muitos estudantes são motivados pela forma de obter as melhores notas com a menor quantidade de esforço, o que o levou a modificar as tarefas de casa (leitura e sistema de correção) algumas vezes. Inclusive, o sistema para leitura colaborativa que é utilizado na disciplina, o *Perusall*, foi desenvolvido para sanar problemas oriundos da sala de aula.

Nós modificamos as tarefas de casa várias vezes. Mudamos a abordagem [...]. Foi muito, muito difícil. A maioria dos estudantes de Harvard é motivado por notas. Eles determinam como vão estudar com base em como obter a maior nota com o menor esforço. [...] No início não tínhamos o *Perusall*. [...] a ideia do *Perusall* surgiu porque eu precisava resolver um problema na sala de aula. (Professor Mazur)

Devido à resistência institucional já mencionada anteriormente, materializada nos discursos dos alunos que participaram das primeiras edições da AP50, a disciplina passou a ser eletiva. Assim, somente aqueles alunos que têm perfil, ao menos parcialmente alinhado com a *práxis* e o *logos* da AP50, são os que a cursam.

Eu acho que um desafio foi convencer os alunos ... bem, esse foi um grande problema no começo ... convencer os alunos de que eles estavam aprendendo alguma coisa [...]. Não é um problema tão grande agora, porque o curso tem uma reputação e os alunos é que optam ou não por fazer a disciplina. Assim, os alunos que não acreditam que este tipo de ensino pode realmente ensinar-lhes qualquer coisa tendem a não fazer o curso. Mas no começo não era esse o caso. Você tinha alunos que não entendiam completamente como seria a disciplina, sem exposições orais. Eu lembro que no primeiro ano, um grupo de estudantes reclamou ao diretor da Escola de Engenharia que não estavam aprendendo nada, que a disciplina era mal construída. [Professora L, tradução nossa]

Em todos os semestres, os alunos interessados em cursar a AP50 respondem a um questionário que visa, entre outras coisas, mensurar as

crenças dos alunos acerca do ensino e aprendizagem de Física e do papel do professor nesse processo. No semestre em que a presente análise fora realizada, por exemplo, entre um total de 87 respondentes, 39% afirmaram concordar fortemente e 49% disseram concordar com a seguinte frase: "Nas aulas de ciência, é fundamental que os professores dediquem tempo para que os estudantes possam discutir os conceitos e ideias centrais com seus colegas de turma.". Apenas 1% concordou fortemente e 9% concordaram com a seguinte afirmativa: "Aulas expositivas são a melhor maneira de eu entender todo o material que eu preciso aprender em uma aula de ciências". Ademais, 54% dos estudantes afirmaram que tiveram, no passado, experiências de trabalho em grupo (ou em equipe) muito positivas. Tais exemplos demonstram uma coerência entre o perfil do aluno que cursa a AP50 com a *práxis* nela estabelecida.

Para diminuir a resistência do corpo docente e discente, são documentadas e divulgadas evidências de sucesso local, como depoimentos de ex-alunos e resultados de pesquisa (Miller et al., 2016; Espinosa et al., 2019). Tais evidências são divulgadas em vídeos e palestras. Além disso, as feiras de avaliação dos projetos desenvolvidos pelos alunos são públicas, situadas em locais de grande movimentação estudantil, e contam com a participação de professores dos departamentos de Física e Engenharia da Universidade para a avaliação dos trabalhos.

O nome escolhido para a disciplina, AP50 (*Applied Physics 50*), foi inspirado em uma reputada disciplina de Harvard, a CS50 (*Computer Science 50*), criada em 1989. Nas palavras da Professora L:

Ele escolheu AP50 porque foi nessa época, ou alguns anos antes, que a CS50 ganhou popularidade como uma disciplina. Havia muita propaganda e então ele pensou que seria um bom nome para a disciplina, para significar que também seria algo novo e empolgante. (Professora L)

Em função da disciplina estar imersa em um grupo de pesquisa em ensino de Física, algumas modificações foram e são realizadas ao longo dos semestres. As pesquisas, sobretudo os resultados provenientes dela, guiam as transformações da AP50. Em função da necessidade de coletar dados referentes às habilidades de trabalho colaborativo desenvolvidas pelos estudantes na disciplina, no semestre de 2017/2, o instrumento que era utilizado para que os colegas de equipe avaliassem uns aos outros foi substituído por um questionário de pesquisa validado (Ohland et al., 2012).

Em análises internas foram verificados os ganhos de desempenho dos alunos no teste padronizado FCI (*Force Concepts Inventory*) ao passarem pela AP50. Os resultados foram superiores aos provenientes do ensino tradicional, mas inferiores aos obtidos com o *Peer Instruction*. Tais resultados fizeram com que o professor Mazur e seus colaboradores questionassem se a análise do desempenho dos alunos em testes conceituais seria a melhor maneira de avaliar a disciplina.

Frente aos discursos que justificam as práticas presentes na AP50, nota-se a pouca ênfase na melhora do desempenho (Araujo et al., 2021). Além do domínio conceitual do conteúdo, outros três aspectos são valorizados, a saber: as habilidades de resolução de problemas, de realização de

atividades experimentais e investigativas, e de trabalho colaborativo. Ademais, como destacado anteriormente, o estímulo à motivação dos alunos é parte inerente à composição da AP50.

A Figura 1 sintetiza o processo de desenvolvimento da AP50. Certamente outros elementos institucionais, não identificados aqui devido ao escopo metodológico adotado, fizeram e fazem parte da construção social da AP50.

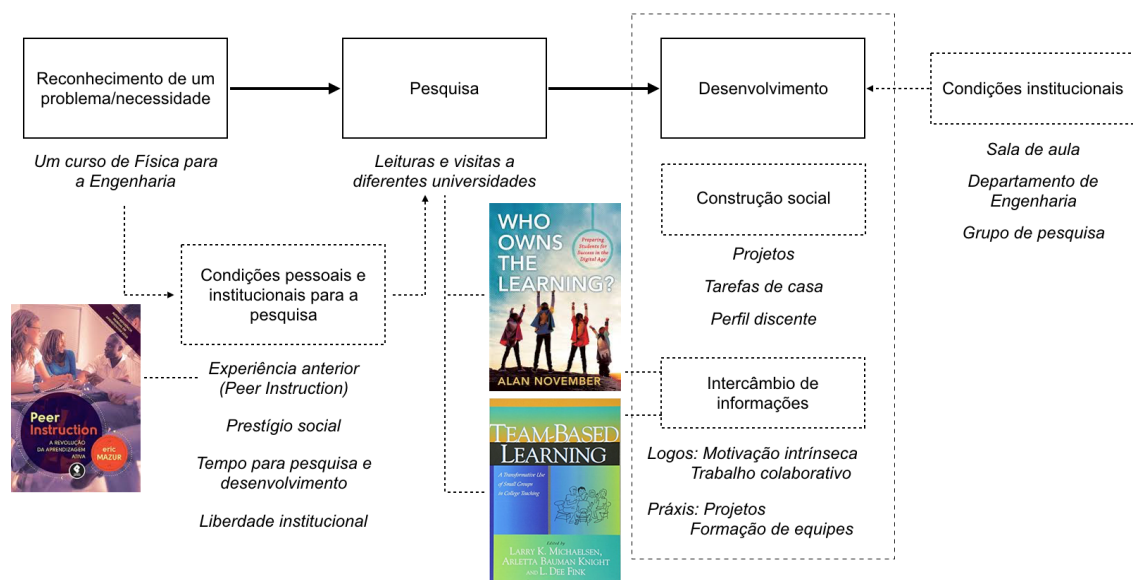


Figura 1. Processo genealógico da AP50.

Podemos destacar do presente estudo que, assim como na adoção, o desenvolvimento de inovações pedagógicas requer uma série de condições que o possibilitem. Em nossa análise, todas as condições facilitadoras à inovação apontadas na revisão da literatura foram, de certo modo, atendidas, a saber (Foote, 2016): suporte administrativo, documentação e divulgação de evidências de sucesso local, financiamento, interação com pessoas externas, equipe de iniciação com múltiplos membros, cultura de apoio ao ensino ativo, ao menos um inovador entusiasta, desenvolvimento profissional e apoio ao corpo docente.

Além disso, no minicurso sobre o TBL, anteriormente citado, eram discutidas possibilidades de modificações do método original e adaptações para contextos específicos, característica que, segundo Olmstead e Turpen (2017), é predominante em minicursos que têm sucesso em disseminar inovações no ensino de Física universitário.

Individualmente, sem o apoio da instituição (tempo e liberdade criativa) e de sua experiência prévia com a criação e difusão de outro método ativo, tornar-se-ia quase impraticável o desenvolvimento da AP50. Mesmo assim, apontamos que na época em que o estudo foi realizado ainda não havia uma expressiva aceitação por parte do corpo docente e discente dos departamentos de Física e Engenharia da Universidade de Harvard a respeito da AP50.

Assim, com certa resistência, a AP50 é percebida como nova nas instituições em que está inserida. Mesmo que possua em sua composição elementos de métodos de ensino que remontam as décadas de 1970 e

1990, como o *Team-Based Learning* e o *Peer Instruction*, respectivamente, a AP50 é percebida como nova em Harvard, uma Universidade tradicional cuja pedagogia dominante é a aula expositiva centrada no professor (*lecture*).

No primeiro semestre de 2020, a disciplina AP50 passou por modificações devido à pandemia da COVID-19. Todas as atividades foram adaptadas para o formato remoto, tanto síncrono quanto assíncrono. Essa transição exigiu a incorporação de tecnologias que viabilizassem os princípios pedagógicos da metodologia de ensino proposta. Para mais detalhes sobre essas mudanças, que fogem ao escopo do presente artigo, consulte o trabalho de Araujo et al. (2021).

Conclusões

A partir do estudo realizado, verificamos que o processo de criação da AP50 envolveu três etapas principais: o reconhecimento de um problema oriundo da forma como os alunos de Engenharia estavam tendo aulas de Física, a pesquisa, que envolveu a leitura de artigos e visitas a universidades, e o desenvolvimento que foi (e ainda é) influenciado pela instituição (construção social) e por intercâmbio de informações com outros métodos de ensino, tanto na construção do *logos* quanto da *práxis* da AP50. Para passar do reconhecimento do problema à pesquisa, foram necessárias certas condições pessoais e institucionais.

Podemos destacar que, assim como na adoção, o desenvolvimento de inovações pedagógicas requer uma série de condições institucionais que o possibilitem. Individualmente, o apoio institucional e o prestígio social foram essenciais para a criação da AP50.

O perfil inovador se mostrou importante para a adoção da inovação pedagógica. Esse perfil é moldado principalmente pela disposição do indivíduo em adotar novas ideias, mas também é influenciado pela sua posição como líder de opinião e pela interação com as normas sociais do ambiente em que está inserido, como evidenciado na gênese da AP50. Portanto, ao considerar a criação de uma nova abordagem pedagógica, é importante que a pessoa ou instituição esteja ciente de que se trata de um processo interrelacional entre sujeito e contexto, envolvendo também uma dimensão política significativa. Além disso, fica evidente a necessidade de busca por apoio institucional e colaboração entre colegas.

A análise genética da AP50 nos permite compreender aspectos importantes de seu *software* e *hardware* que devem ser considerados em possíveis adaptações dos métodos empregados na disciplina para contextos educacionais distintos. Entre esses aspectos, destacamos a distinção entre grupos de estudantes e equipes de aprendizagem, bem como a necessidade de tempo de interação para fomentar essas equipes. Isso envolve a utilização de atividades em classe e extraclasse, individuais e coletivas, que gradualmente se tornam mais complexas e auxiliam na elaboração de um projeto (influenciado pelo método *Team-Based Learning*). Além disso, os projetos precisam ter sentido e propósito para os alunos, de modo a motivá-los a aprender a Física necessária para atingir os objetivos do projeto.

Por fim, reiteramos nossa defesa de que uma análise minuciosa da inovação, que considere aspectos técnicos e teóricos, enriquecida por uma análise genética, pode, além de evitar uma concepção tecnicista de ensino, facilitar o processo de transposição dessa inovação. Essa abordagem é tão crucial quanto as análises contextuais, situacionais e pessoais amplamente realizadas em estudos presentes na literatura internacional.

Agradecimentos

Agradecemos à professora Eliane Angela Veit pelas valiosas sugestões ao texto do artigo e pelas contribuições ao longo do desenvolvimento da pesquisa. Ives Solano Araujo também agradece ao CNPq pela bolsa de Produtividade em Pesquisa.

Referências

Apkarian, N., et al. (2021). What really impacts the use of active learning in undergraduate STEM education? Results from a national survey of chemistry, mathematics, and physics instructors. *PLOS ONE*, 16(2), e0247544. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247544>

Araujo, I., Espinosa, T., Miller, K., e Mazur, E. (2021). Inovação didática no Ensino de Física em Nível Superior: o caso da disciplina Applied Physics50 da Universidade de Harvard. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 43, e20210222. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2021-0222>

Borda, E., et al. (2020). Initial implementation of active learning strategies in large, lecture STEM courses: lessons learned from a multi-institutional, interdisciplinary STEM faculty development program. *International Journal of STEM Education*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-020-0203-2>

Brownell, S. E., e Tanner, K. D. (2012). Barriers to Faculty Pedagogical Change: Lack of Training, Time, Incentives, and...Tensions with Professional Identity? *CBE—Life Sciences Education*, 11(4), 339–346. <https://doi.org/10.1187/cbe.12-09-0163>

Chasteen, S. V., Wilcox, B., Caballero, M. D., Perkins, K. K., Pollock, S. J., e Wieman, C. E. (2015). Educational transformation in upper-division physics: The Science Education Initiative model, outcomes, and lessons learned. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 11(2), 1–21. <http://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.11.020110>

Contreras, J. A. (2012). *A autonomia de professores* (2. ed.). São Paulo: Cortez.

Dancy, M., e Henderson, C. (2012). Experiences of new faculty implementing research-based instructional strategies. In: *AIP CONFERENCE PROCEEDINGS*.

Dancy, M. H., Henderson, C., e Turpen, C. (2016). How faculty learn about and implement research-based instructional strategies: The case of Peer Instruction. *Physical Review Physics Education Research*, 12(1), 010110(17). <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.010110>

Deslauriers, L., McCarty, L. S., Miller, K., Callaghan, K., & Kestin, G. (2019). Measuring actual learning versus feeling of learning in response to being actively engaged in the classroom. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(39), 19251–57. <https://doi.org/10.1073/pnas.1821936116>

Espinosa, T., Araujo, I. S., & Veit, E. A. (2016a). Aprendizagem baseada em equipes (Team-Based Learning): um método ativo para o Ensino de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 33(3), 962–986. <http://doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n3p962>

Espinosa, T., Araujo, I. S., e Veit, E. A. (2019). Análisis Praxeológico de los Métodos de Enseñanza: un Puente entre la Investigación y la Práctica. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 19, 373–397.

Espinosa, T., Miller, K., Araujo, I. S., e Mazur, E. (2019). Reducing the Gender Gap in Students' Physics Self-Efficacy in a Team- and Project-Based Introductory Physics Class. *Physical Review Physics Education Research*, 15(1), 010132. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.010132>

Finelli, C. J., et al. (2019). Promoting adoption of active learning and use of strategies to reduce student resistance to active learning. *Proceedings of the 8th Research in Engineering Education Symposium*.

Foote, K. T. (2016). Curriculum development in studio-style university physics and implications for dissemination of research-based reforms. *Physical Review Physics Education Research*, 12(1), 1–18. <http://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.010127>

Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., e Wenderoth, M. P. (2014). Active Learning Increases Student Performance in Science, Engineering, and Mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410–8415. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>

Frei-Landau, R., Muchnik-Rozanov, Y., & Avidov-Ungar, O. (2022). Using Rogers' diffusion of innovation theory to conceptualize the mobile-learning adoption process in teacher education in the COVID-19 era. *Education and Information Technologies*, 27, 12811–12838. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11148-8>

Greenhalgh, T., Robert, G., Macfarlane, F., Bate, P., & Kyriakidou, O. (2004). Diffusion of innovations in service organizations: Systematic review and recommendations. *Milbank Quarterly*, 82(4), 581–629. <https://doi.org/10.1111/j.0887-378X.2004.00325.x>

Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66, 64–74.

Henderson, C. (2008). Promoting instructional change in new faculty: An evaluation of the physics and astronomy new faculty workshop. *American Journal of Physics*, 76(2). <https://doi.org/10.1119/1.2820393>

Henderson, C., Beach, A., & Famiano, M. (2009). Promoting Instructional Change via CoTeaching. *American Journal of Physics*, 77(3), 274–283. <http://doi.org/10.1119/1.3033744>

Henderson, C., e Dancy, M. H. (2005). Teaching, learning and physics education research: Views of mainstream physics professors. *AIP Conference Proceedings*, 790, 109–112. <http://doi.org/10.1063/1.2084713>

Henderson, C., e Dancy, M. H. (2007). Barriers to the use of research-based instructional strategies: The influence of both individual and situational characteristics. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 3(2), 1–14. <http://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.3.020102>

Henderson, C., e Dancy, M. H. (2008). Physics faculty and educational researchers: Divergent expectations as barriers to the diffusion of innovations. *American Journal of Physics*, 76(1), 79–91. <http://doi.org/10.1063/1.2177045>

Henderson, C., e Dancy, M. H. (2009). Impact of physics education research on the teaching of introductory quantitative physics in the United States. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 5(2), 20107. <http://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.5.020107>

Henderson, C., Dancy, M., e Niewiadomska-Bugaj, M. (2012). Use of research-based instructional strategies in introductory physics: Where do faculty leave the innovation decision process? *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 8(2), 1–15. <http://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.8.020104>

Lavoie, A. L., Dentzman, K., & Wardropper, C. B. (2021). Using diffusion of innovations theory to understand agricultural producer perspectives on cover cropping in the Inland Pacific Northwest, USA. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 36(4), 384–395. <https://doi.org/10.1017/S1742170520000423>

Li, Y., Bernardi, R. C., e Burkholder, E. (2024). The Effects of Active Learning on Students' Sense of Belonging and Academic Performance in Introductory Physics Courses. *European Journal of Physics*, 45(4), 045705. <https://doi.org/10.1088/1361-6404/ad4fcd>

Khatri, R., Henderson, C., Cole, R., Froyd, J. E., Friedrichsen, D., e Stanford, C. (2016). Designing for Sustained Adoption: A Model of Developing Educational Innovations for Successful Propagation. *Physical Review Physics Education Research*, 12(1), 010112. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.010112>

McDermott, L. C., e Shaffer, P. S. (1998). *Tutorials in Introductory Physics* – Preliminary Edition. Upper Saddle River: Prentice Hall.

Michaelsen, L. K., Knight, A. B., e Fink, L. D. (2004). *Team-Based Learning: A transformative use of small groups in college teaching*. Sterling: Stylus.

Miller, K., et al. (2016). Analysis of student engagement in an online annotation system in the context of a flipped introductory physics class. *Physical Review Physics Education Research*, 12(2), 020143. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.020143>

Moraes, K., Heidemann, L., e Espinosa, T. (2020). Métodos ativos de ensino podem ser entendidos como recursos para o combate à evasão em cursos de Ciências Exatas? Uma análise pautada nas ideias de Vincent Tinto. *Caderno Brasileiro De Ensino De Física*, 37(2), 369–405. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2020v37n2p369>

Müller, M. G., Araujo, I. S., Veit, E. A., e Schell, J. (2017). Uma revisão da literatura acerca da implementação da metodologia interativa de ensino Peer Instruction (1991 a 2015). *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 39(3). <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2017-0012>

November, A. (2012). *Who owns the learning? Preparing students for success in the digital age*. Bloomington: Solution Tree Press.

Ohland, M. W., Loughry, M. L., Woehr, D. J., Bullard, L. G., Felder, R. M., Finelli, C. J., e Schmucker, D. G. (2012). The comprehensive assessment of team member effectiveness: Development of a behaviorally anchored rating scale for self- and peer evaluation. *Academy of Management Learning and Education*, 11(4), 609–630. <http://doi.org/10.5465/amle.2010.0177>

Oliveira, V., Veit, E. A., e Araujo, I. S. (2015). Relato de experiência com os métodos Ensino sob Medida (Just-in-Time Teaching) e Instrução pelos Colegas (Peer Instruction) para o Ensino de Tópicos de Eletromagnetismo no nível médio. *Caderno Brasileiro De Ensino De Física*, 32(1), 180–206. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2015v32n1p180>

Olmstead, A., e Turpen, C. (2017). Pedagogical sensemaking or “doing school”: In well-designed workshop sessions, facilitation makes the difference. *Physical Review Physics Education Research*, 13(2), 1–20. <http://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.020123>

Petter, A. A., Espinosa, T., e Araujo, I. S. (2021). Inovação didática no Ensino de Física: um estudo sobre a adoção do método Instrução pelos Colegas (Peer Instruction) no contexto de Mestrados Profissionais em Ensino no Brasil. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 43, e20210070. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2021-0070>

Pigosso, L. T., Ribeiro, B. S., e Heidemann, L. A. (2020). A Evasão na Perspectiva de quem Persiste: um Estudo sobre os Fatores que Influenciam na Decisão de Evadir ou Persistir em Cursos de Licenciatura em Física

Pautado pelos Relatos dos Formandos. *Revista Brasileira De Pesquisa Em Educação Em Ciências*, 20(u), 245–273. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2020u245273>

Shadle, S. E., Marker, A., e Earl, B. (2017). Faculty drivers and barriers: Laying the groundwork for undergraduate STEM education reform in academic departments. *International Journal of STEM Education*, 4(1), 8. <https://doi.org/10.1186/s40594-017-0062-7>

Sturtevant, H., & Wheeler, L. (2019). The STEM Faculty Instructional Barriers and Identity Survey (FIBIS): Development and exploratory results. *International Journal of STEM Education*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-019-0185-0>

Srivastava, J., & Moreland, J. J. (2012). Diffusion of innovations: Communication evolution and influences. *The Communication Review*, 15(4), 294–312. <https://doi.org/10.1080/10714421.2012.728420>

Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of Innovations*. 5th ed. New York: NY Free Press.

Tinto, V. (2024). Student Persistence Through a Different Lens. *Journal of College Student Retention: Research, Theory & Practice*. <https://doi.org/10.1177/15210251241249158>

Turpen, C., Dancy, M., e Henderson, C. (2016). Perceived affordances and constraints regarding instructors' use of Peer Instruction: Implications for promoting instructional change. *Physical Review - Physics Education Research*, 12, 010116. <http://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.010116>

Wieman, C., Deslauriers, L., e Gilley, B. (2013). Use of research-based instructional strategies: How to avoid faculty quitting. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 9(2), 1–5. <http://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.9.023102>

Yin, R. K. (2010). *Estudo de caso: planejamento e métodos*. Porto Alegre: Bookman.

Yin, R. K. (2011). *Qualitative research from start to finish*. New York, NY: Guilford Press