

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
DOUTORADO EM ENSINO DE FÍSICA**

**ADOÇÃO DE INOVAÇÕES DIDÁTICAS NO ENSINO UNIVERSITÁRIO DE FÍSICA
NA PERSPECTIVA DE TRANSPOSIÇÕES PRAXEOLÓGICAS**

TOBIAS ESPINOSA DE OLIVEIRA

**Porto Alegre
2019**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
DOUTORADO EM ENSINO DE FÍSICA**

**ADOÇÃO DE INOVAÇÕES DIDÁTICAS NO ENSINO UNIVERSITÁRIO DE FÍSICA
NA PERSPECTIVA DE TRANSPOSIÇÕES PRAXEOLÓGICAS**

TOBIAS ESPINOSA DE OLIVEIRA

Tese realizada sob a orientação dos professores Ives Solano Araujo e Eric Mazur, apresentada ao Instituto de Física da UFRGS em preenchimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ensino de Física.

**Porto Alegre
2019**

À minha esposa e companheira Laura Krupp Engelmann.

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores, professores Ives e Eric, pela atenção, auxílio e, principalmente, pelo conhecimento inestimável que me proporcionaram.

À professora Eliane pela imensa contribuição que deu ao meu trabalho e à minha formação.

Aos meus colegas e amigos do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da UFRGS, pelos bons momentos de descontração e valiosas discussões que auxiliaram na construção deste trabalho.

Aos meus colegas e amigos do grupo do professor Mazur da Universidade de Harvard, pelo acolhimento, companheirismo e valiosas contribuições ao meu trabalho. Em especial, à Kelly Miller, por todo o apoio prestado no período em que estive em Harvard.

Aos meus pais, Luzia e Renato, por sempre me proporcionarem acesso à educação de qualidade e incentivo aos estudos. Em especial, à minha mãe, pelas inúmeras leituras e sugestões ao texto dessa tese.

Ao meu irmão, Tiago, pelo companheirismo e amizade e pelas constantes críticas e conversas que me inspiraram a trilhar o caminho de pesquisador.

A todos os professores que tive e me inspiraram pelas suas qualidades como educadores e pessoas que são.

Das utopias

*Se as coisas são inatingíveis... ora!
Não é motivo para não querê-las...
Que tristes os caminhos, se não fora
A presença distante das estrelas!*

Mario Quintana

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	19
2.1	ADOÇÃO E DIFUSÃO DE INOVAÇÕES DIDÁTICAS: ESTUDOS ANTERIORES NO ENSINO DE FÍSICA	19
2.1.1	<i>Artigos de revisão da literatura</i>	<i>20</i>
2.1.2	<i>Como os métodos ativos de ensino são implementados?</i>	<i>21</i>
2.1.3	<i>Quais as principais barreiras à adoção de inovações didáticas?</i>	<i>25</i>
2.1.4	<i>Como são difundidos os métodos ativos de ensino?</i>	<i>27</i>
2.1.5	<i>Que estratégias facilitam mudanças no método de ensino?</i>	<i>28</i>
2.1.6	<i>Teoria da Difusão de Inovações.....</i>	<i>30</i>
2.1.7	<i>Implicações para a pesquisa.....</i>	<i>32</i>
2.2	A TEORIA ANTROPOLÓGICA DO DIDÁTICO NOS PRINCIPAIS PERIÓDICOS DO ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA	35
2.2.1	<i>Metodologia.....</i>	<i>35</i>
2.2.2	<i>Qual o perfil da produção acadêmica a respeito da Teoria Antropológica do Didático nos principais periódicos do Ensino de Ciências e Matemática?.....</i>	<i>39</i>
2.2.3	<i>Como se configura o perfil metodológico das pesquisas com a TAD?</i>	<i>47</i>
2.2.4	<i>Implicações para a pesquisa.....</i>	<i>55</i>
3	REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO	57
3.1	TEORIA ANTROPOLÓGICA DO DIDÁTICO	57
3.1.1	<i>Organizações Praxeológicas</i>	<i>59</i>
4	ESTUDO TEÓRICO: ANÁLISE PRAXEOLÓGICA DE MÉTODOS DE ENSINO	65
4.1	A TEORIA ANTROPOLÓGICA DO DIDÁTICO COMO REFERENCIAL PARA O ESTUDO DE MÉTODOS DE ENSINO	65
4.2	UMA ORGANIZAÇÃO PRAXEOLÓGICA DE REFERÊNCIA PARA O MÉTODO TEAM-BASED LEARNING.....	70
4.3	MODIFICAÇÕES NA ORGANIZAÇÃO DO MÉTODO DE ENSINO TBL EM UMA DISCIPLINA DE FÍSICA UNIVERSITÁRIA.....	77
5	ESTUDO EMPÍRICO: GÊNESE, PLANEJAMENTO, IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE UMA INOVAÇÃO DIDÁTICA NA UNIVERSIDADE DE HARVARD	83
5.1	METODOLOGIA DE PESQUISA	83

5.1.1	<i>Estudo de caso na perspectiva de Robert Yin</i>	83
5.1.2	<i>Contexto do estudo</i>	87
5.1.3	<i>Caracterização e procedimentos do estudo</i>	93
5.2	A GÊNESE DE UMA INOVAÇÃO DIDÁTICA NO ENSINO DE FÍSICA: UM ESTUDO DE CASO EXPLORATÓRIO NA UNIVERSIDADE DE HARVARD	95
5.3	<i>APPLIED PHYSICS 50</i> : UMA PRAXEOLOGIA PLANEJADA NA UNIVERSIDADE DE HARVARD	105
5.4	<i>APPLIED PHYSICS 50</i> : UMA PRAXEOLOGIA IMPLEMENTADA NA UNIVERSIDADE DE HARVARD	113
5.5	UMA AVALIAÇÃO DA <i>APPLIED PHYSICS 50</i> : PARA ALÉM DO DESEMPENHO DISCENTE EM TESTES PADRONIZADOS	121
5.5.1	<i>A avaliação da AP50 em termos de autoeficácia em física dos alunos</i>	123
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	126
	REFERÊNCIAS	132
	APÊNDICE 1 – PHYSICS SELF-EFFICACY SURVEY	146
	APÊNDICE 2 – SOURCES OF PHYSICS SELF-EFFICACY SURVEY	148
	APÊNDICE 3 – TERMO DE CONSENTIMENTO ASSINADO PELOS PARTICIPANTES DA PESQUISA	150
	ANEXO 1 – SALA DE AULA INVERTIDA (<i>FLIPPED CLASSROOM</i>): INOVANDO AS AULAS DE FÍSICA	151
	ANEXO 2 – APRENDIZAGEM BASEADA EM EQUIPES (<i>TEAM-BASED LEARNING</i>): UM MÉTODO ATIVO PARA O ENSINO DE FÍSICA	162

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Lista de periódicos revisados.	36
Quadro 2 - Número de artigos por periódico.	38
Quadro 3 - Classificação dos trabalhos quanto à sua natureza e nível de ensino.	42
Quadro 4 - Categorização dos artigos de pesquisa a partir do tema central.	44
Quadro 5 - Categorização dos artigos de reflexão, proposta, aplicação e apresentação a partir do tema central.	46
Quadro 6 - Categorização dos artigos a partir do tema central e da ferramenta analítica utilizada.	48
Quadro 7- Categorização de um método de ensino em termos de tipos de tarefa, técnicas, tecnologias e teorias.	67
Quadro 8 – Exemplo do processo de categorização e interpretação da Organização do Método <i>Team-Based Learning</i> no <i>topos</i> do aluno.	71
Quadro 9 - Atividades do TBL em termos de Tipos de tarefa (T), Técnicas (τ) e Tecnologias (θ), descritas no <i>topos</i> do aluno (sinalizado pelo índice “a”).	72
Quadro 10 - Atividades do TBL em termos de Tipos de tarefa (T), Técnicas (τ) e Tecnologias (θ), descritas no <i>topos</i> do professor (sinalizado pelo índice “p”).	74
Quadro 11 - Modificações planejadas no TBL em termos de Técnicas (τ) e Tecnologias (θ), descritas no <i>topos</i> do aluno (sinalizado pelo índice “a”). O símbolo “ ’ ” representa uma modificação no elemento da OP original.	78
Quadro 12 - Modificações planejadas no TBL em termos de Técnicas (τ) e Tecnologias (θ), descritas no <i>topos</i> do professor (sinalizado pelo índice “p”). O símbolo “ ’ ” representa uma modificação no elemento da OP original.	79
Quadro 13 - Atividades da AP50 em termos de Tipos de tarefa (T), Técnicas (τ) e Tecnologias (θ), descritas no <i>topos</i> do aluno (sinalizado pelo índice “a”).	106
Quadro 14 - Atividades da AP50 em termos de Tipos de tarefa (T), Técnicas (τ) e Tecnologias (θ), descritas no <i>topos</i> do professor (sinalizado pelo índice “p”).	109

Quadro 15 - Modificações implementadas na AP50 em termos de Tipos de tarefa (T), Técnicas (τ) e Tecnologias (θ), descritas no *topos* do aluno (sinalizado pelo índice “a”). O símbolo “” representa uma modificação no elemento da OME planejada. 115

Quadro 16 - Modificações implementadas na AP50 em termos de Tipos de tarefa (T), Técnicas (τ) e Tecnologias (θ), descritas no *topos* do professor (sinalizado pelo índice “p”). O símbolo “” representa uma modificação no elemento da OME planejada. 117

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Número de artigos por ano de publicação em periódicos especializados (Qualis A1, A2 e B1 da CAPES) do Ensino de Ciências e Matemática.	36
Figura 2 - Distribuição dos artigos por países nos quais os trabalhos foram conduzidos. Alguns artigos são oriundos de colaboração entre dois países. Nesses casos, o artigo foi computado uma vez para cada país.	40
Figura 3 - Colaborações internacionais nas pesquisas com a TAD. A tonalidade de azul e o tamanho do círculo indicam a quantidade de artigos, sendo que azul fraco e círculos menores indicam os países com menos publicações. As linhas pretas representam as colaborações entre países.	40
Figura 4 - Distribuição dos artigos por disciplina.	41
Figura 5 - Distribuição dos artigos quanto à sua natureza (N = 97).	41
Figura 6 - Distribuição dos artigos quanto ao nível de ensino.	42
Figura 7 - Exemplo de mapa praxeológico utilizado para estabelecer relações entre elementos de uma OP. (Fonte: Barbé, Espinoza e Gellert, 2017)	50
Figura 8 - Exemplo de diagrama PEP (ou diagrama de árvore) para criação e análise de atividades didáticas. (Fonte: Winsløw, Matheron e Mercier, 2013)	53
Figura 9 - Níveis de codeterminação didática (adaptado de Artigue e Winsløw, 2010; Barquero, Bosch e Gascón, 2014).	54
Figura 10 - Elementos constituintes de uma instituição (Adaptado de Henriques, Nagamine e Nagamine, 2012).	58
Figura 11 - Relações dialéticas entre Organização Física (OF), Organização Didática (OD) e Organização do Método de Ensino (OME).	66
Figura 12 - Transposição praxeológica de um método de ensino (baseado em Winsløw, 2011).	69
Figura 13 - Os tipos de estudos de caso propostos por Yin (Heidemann, 2015).	84
Figura 14 - Caracterização dos estudos de caso (Yin, 2010).	85

Figura 15 – Sala de aula da AP50. (Fonte: https://harvardmagazine.com/2012/09/reinventing-the-classroom).....	88
Figura 16 – Material resultante da discussão entre os alunos na plataforma <i>Perusall</i>	89
Figura 17 – Exemplo de questão conceitual no <i>Learning Catalytics</i> na visão do professor durante a segunda votação dos alunos.....	90
Figura 18 – Processo genealógico da AP50.....	97

RESUMO

Diminuir a distância entre pesquisa e prática em Educação em Ciências é um objetivo a ser perseguido. Em particular, algumas inovações didáticas, como métodos ativos de ensino, que apresentam bons resultados em pesquisas empíricas, enfrentam dificuldades ao serem inseridas na prática docente em outros contextos. A disseminação de inovações didáticas se constitui em um problema em aberto. A leitura canônica de métodos de ensino como meras técnicas dificulta o entendimento de suas especificidades e, conseqüentemente, das transformações necessárias para adequá-los a uma realidade particular. Esses e outros problemas atrelados à disseminação e adoção de inovações didáticas necessitam de uma ferramenta analítica capaz de orientar as pesquisas da área e a prática de professores e instituições que desejem romper com *status quo* educacional. O objetivo principal desta tese é propor, a partir da literatura e da Teoria Antropológica do Didático (TAD), uma ressignificação ontológica, epistemológica e metodológica das inovações didáticas, destacando a noção de Organização Praxeológica (OP) como ferramenta analítica útil para a análise de métodos de ensino. Para isso, buscamos responder duas questões de pesquisa: (i) *Como as inovações didáticas e sua adoção podem ser situados no âmbito da antropologia didática de Yves Chevallard?* (ii) *Como se deram a gênese, o planejamento, a implementação e a avaliação de uma inovação didática na Universidade de Harvard?* Com o intuito de responder à primeira questão, realizamos um estudo teórico, situando a TAD como referencial útil para o estudo de inovações didáticas. Nessa perspectiva, os métodos são vistos como conhecimentos institucionalizados - social e historicamente legitimados - que podem ser estudados em termos da *práxis* (tipos de tarefa e técnicas) e do *logos* (discursos tecnológicos e teóricos). Ilustramos essas ideias com a construção de uma OP de referência para o método *Team-Based Learning* e da OP planejada para uma aplicação desse método em uma universidade pública brasileira. A partir dessa construção teórica, conduzimos um estudo de caso exploratório para compreender a gênese, o planejamento, a implementação e a avaliação de uma inovação didática em desenvolvimento na Universidade de Harvard, a *Applied Physics 50* (AP50). 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. A AP50, segundo nossa análise, utiliza elementos de aprendizagem por equipes e desenvolvimento de projetos, e é caracterizada, principalmente, por uma abordagem do tipo *scaffolding* e avaliação diversificada. Ao ser implementada, mesmo no local de origem, algumas modificações ocorreram, em função, principalmente, dos constantes conflitos entre as instituições (e seus sujeitos) e a inovação. A principal alteração foi a inserção de provas orais aos alunos, remetendo a uma pedagogia tradicional. Por fim, a avaliação por meio de pesquisa é, para a AP50, determinante para o seu desenvolvimento e evolução. Nos semestres de 2016/2 e 2017/2 foram realizadas medidas de autoeficácia discente em ações específicas da AP50, cujos resultados legitimaram a *práxis* desenvolvida na disciplina. A análise da estrutura da AP50 auxiliou na criação do instrumento para a medida do construto mencionado. A perspectiva trazida pela TAD para os métodos de ensino auxilia no entendimento de suas especificidades, transformações, articulações com outros métodos e referenciais teóricos e avaliações – contribuindo para a diminuição da lacuna entre pesquisa e prática.

Palavras-chave: Teoria Antropológica do Didático, Inovações didáticas, Organização praxeológica, Métodos de ensino, Ensino de Física.

ABSTRACT

Bridging the gap between research and practice in Science Education is a goal to be pursued. In particular, some pedagogical innovations, such as active teaching strategies, present good empirical results, but face difficulties when inserted into other contexts. The dissemination of pedagogical innovations is an unsolved issue. The canonical view of teaching strategies as simple techniques makes it difficult to understand their specificities and, consequently, the necessary transformations to adapt them to a particular reality. These and other issues related to the dissemination and adoption of pedagogical innovations need an analytical tool able to guide the research field and the practice of teachers and institutions wishing to change the current pedagogy. The main objective of this thesis is to propose, based on the Anthropological Theory of Didactics (ATD), an ontological, epistemological and methodological re-signification of the pedagogical innovations, highlighting the notion of Praxeological Organization (PO) as a useful analytical tool for the analysis of teaching strategies. To this end, we investigated two research questions: (i) *How can pedagogical innovations and their adoption be situated into the Chevallard's didactic anthropology?* (ii) *How did the genesis, planning, implementation, and evaluation of a pedagogical innovation at Harvard University occur?* In order to answer the first question, we carried out, from a theoretical study, a re-reading of teaching methods, placing ATD as a theoretical framework for the study of pedagogical innovations. In this perspective, methods are seen as institutionalized knowledge - socially and historically legitimized - that can be studied in terms of *praxis* (types of task and techniques) and *logos* (technological and theoretical discourses). We illustrate these ideas with the construction of a reference PO for the Team-Based Learning method and the planned PO for an application of the method in a Brazilian public university. From this theoretical construct, we conducted an exploratory case study to understand the genesis, planning, implementation, and evaluation of a pedagogical innovation under development at Harvard University, the Applied Physics 50 (AP50). We found the process of creating the AP50 involved three main steps: the recognition of a problem arising from the way engineering students were taking physics classes, the research, which involved reading papers and visits to universities, and the development that was (and still is) influenced by the institution (social construction) and exchange of information with other teaching strategies, both in the construction of *logos* and in the *praxis* of the AP50. The AP50, according to our analysis, uses elements of team learning and project development, and is characterized, mainly, by a scaffolding approach and diversified evaluation. When implemented, even at the origin place, some modifications occurred, mainly due to the constant conflicts between institutions (and their subjects) and innovation. The main change was the insertion of oral tests to the students, referring to a traditional pedagogy. Finally, the evaluation through research is, for the AP50, determinant for its development and evolution. In the semesters of 2016/2 and 2017/2 student self-efficacy measures were performed in specific actions of the AP50, whose results legitimized the *praxis* developed in the course. Analysis of the structure of the AP50 aided the creation of the survey for the measurement of the mentioned construct. ATD's approach to teaching strategies assists in understanding its specificities, transformations, articulations with other strategies and theoretical frameworks and evaluations - contributing to the reduction of the gap between research and practice.

Keywords: Anthropological Theory of Didactics, Didactic innovation, Praxeological Organization, Teaching methods, Physics Education.

1 INTRODUÇÃO

Um dos principais desafios da pesquisa em Educação em Ciências tem sido a redução da lacuna entre pesquisa e prática docente (e.g. McIntyre, 2005; Miretzky, 2007; El-Hani & Greca, 2012; Tibaud, 2017). Por um lado, muitos pesquisadores têm a percepção de que os professores não se utilizam do conhecimento oriundo de pesquisa para construir e refletir sua prática; por outro, há professores que percebem o saber gerado no ambiente acadêmico como distante, ou alheio, à sua realidade.

Certos métodos ativos de ensino - entendidos como aqueles que promovem o engajamento ativo e colaborativo dos estudantes no processo de ensino e aprendizagem - são exemplos de conhecimentos gerados e avaliados em pesquisas empíricas que enfrentam dificuldades para serem disseminados à prática docente (Khatri et al., 2017). Casos ilustrativos, como o *Peer Instruction* (Mazur, 2015), o *Just-in-Time Teaching* (Novak et al., 1999) e o *Team-Based Learning* (Michaelsen, Knight & Fink, 2004) apresentam resultados empíricos positivos, principalmente no Ensino de Ciências universitário (e.g. Hake, 1998; Crouch & Mazur, 2001; Rudolph et al., 2014), mas, mesmo assim, não são amplamente adotados.

A forma canônica de lidar com o problema da disseminação passa por convencer os professores de que suas concepções de ensino são, no mínimo, incompletas e por lhes apresentar outras concepções, ligadas a estratégias voltadas à aprendizagem ativa. Segundo Henderson e Dancy (2007), essa maneira de lidar com o problema está baseada na suposição de que os professores utilizam abordagens tradicionais devido a, pelo menos, algumas das seguintes razões: os professores têm concepções tradicionais sobre o ensino e aprendizagem; estão satisfeitos com o ensino tradicional; e/ou não têm conhecimentos a respeito de inovações didáticas. De acordo com os autores, algumas, ou talvez todas essas suposições estão incorretas na maior parte das vezes. Eles apontam que alguns professores têm crenças sobre ensino e aprendizagem que são mais compatíveis com aquelas propostas por métodos ativos de ensino do que com suas próprias práticas tradicionais. Nesse sentido, algumas barreiras à inovação da prática estão associadas a fatores situacionais, tais como a atitude dos estudantes em relação à universidade, a expectativa de cobrir o conteúdo e a falta de tempo e não as crenças e atitudes dos professores em si.

Diversos fatores situacionais estão ligados à instituição¹, seja em nível da sala de aula ou da sociedade. Muitas inovações didáticas acabam não sendo implementadas com sucesso por serem apenas tentativas de transferência da prática de uma instituição para outra, ou seja, tentam aplicar um método oriundo de um contexto específico em outro contexto totalmente diferente, como por exemplo, a tentativa de “copiar e colar” estratégias bem-sucedidas do modelo de ensino finlandês em contextos educacionais dos mais diversos. Infelizmente, não basta importar soluções prontas. A adoção e, conseqüentemente, difusão de uma inovação didática passa por uma reconstrução didática institucionalizada.

Ao serem transpostos à realidade escolar de instituições distintas às de origem, os métodos sofrem modificações, que são, em parte, devidas à mudança de contexto epistemológico (Chevallard, 1991). Essas modificações podem ser ditas positivas quando potencializam as ideias originais do método, expandindo-as para contemplar um contexto inédito, ou, dito de outra forma, quando o conhecimento acadêmico é incorporado a uma nova situação didática (Rogers, 2003; Henderson & Dancy, 2008); e negativas quando ocorrem simplificações indevidas que desvirtuam as intenções originais do método. Muitas vezes, isso se dá em função de pressões institucionais fortemente calcadas em um paradigma de ensino tradicional (monumentalista²).

Não raro, métodos ativos de ensino são interpretados como meras técnicas à disposição do professor, contribuindo para uma atuação docente racionalista técnica, cuja “prática profissional consiste na solução instrumental de problemas mediante a aplicação de um conhecimento teórico e técnico, previamente disponível, que procede da pesquisa científica” (Contreras, 2012, p. 101). Entretanto, além de serem constituídos por técnicas, os métodos também são compostos por discursos que, apesar de nem sempre serem explicitados, legitimam tais técnicas.

¹ Utilizamos o termo instituição no sentido atribuído por Mary Douglas (1986) e Chevallard (2000), isto é, como um agrupamento social legitimado, seja uma família, um jogo, uma aula. A autoridade legitimadora pode ser pessoal, um pai, um juiz, um professor; ou uma autoridade difusa, baseada na concordância em torno de alguns princípios.

² O paradigma monumentalista é aquele no qual os alunos, como se visitassem obras em uma exposição, recebem passivamente as informações, sem questioná-las e alheios à sua construção social. Nesse paradigma, o conhecimento “É apresentado como um monumento com valor em si, que os alunos devem admirar e apreciar, mesmo que não saibam quase nada sobre suas razões de ser, nem atuais nem passadas.” (Chevallard, 2013, p. 164, tradução nossa)

Por exemplo, o método *Peer Instruction* é, em linhas gerais, composto por técnicas como a votação em questões conceituais e a discussão entre pares das respostas, sustentadas pelo argumento discursivo que associa a promoção da aprendizagem conceitual à interação entre os alunos. Em classe, o professor, após uma breve exposição oral, apresenta aos estudantes uma questão conceitual de escolha múltipla. Cada aluno responde à questão individualmente utilizando um sistema de votação (e.g. *Flashcards* ou *Clickers*). Dependendo da quantidade de respostas corretas (de 30 a 70%), os alunos são orientados a discutirem e convencerem seus colegas de suas respostas. Por fim, uma nova votação é realizada e, a partir da nova distribuição de respostas, o professor decide se parte para um novo tópico ou retoma o conteúdo com uma nova questão conceitual (Araujo & Mazur, 2013; Mazur, 2015). Essa *práxis* do PI se baseia na ideia de que a troca de informações entre os alunos é essencial para a construção do conhecimento e que a ação de ensinar ou aprender com um colega complementa e expande o ensinamento do professor. Nesse sentido, uma técnica como a votação, já mencionada, além de proporcionar um *feedback* para o professor acerca da compreensão dos estudantes sobre os conceitos-chave em estudo, o auxilia a orientar as discussões entre os pares. Ao passo que, ao ser transposta para uma instituição em que a pedagogia dominante está associada a uma visão transmissionista do conhecimento, essa mesma técnica pode ser reinterpretada meramente como uma maneira de avaliar o recebimento adequado da mensagem transmitida pelo professor. Nesse enfoque, uma baixa frequência de acertos pode ser entendida pelo professor como uma falha na transmissão do conhecimento, levando-o a substituir a técnica subsequente, que originalmente é a discussão entre os pares, por exposições orais mais detalhadas de sua parte. Essa mudança indevida nitidamente descaracterizaria o método, sendo uma modificação negativa realizada em função das crenças sobre ensino-aprendizagem dominantes na instituição.

Na busca de uma melhor compreensão de métodos de ensino e de transformações que ocorrem ao serem incorporados à prática docente, faz-se necessária uma ferramenta analítica que explicita as razões subjacentes ao uso das técnicas e tarefas propostas. Tal iniciativa vai ao encontro da redução da lacuna entre pesquisa e sala de aula na medida em que estabelece uma linguagem em comum para o diálogo entre teoria e prática. Para isso, propomos na presente tese a Teoria Antropológica do Didático (TAD) como aporte para o estudo da criação, implementação e avaliação de métodos de ensino.

A TAD, desenvolvida principalmente por Yves Chevallard (1999), propõe que toda atividade humana, social e historicamente legitimada, pode ser descrita em um modelo

denominado Organização Praxeológica (OP), constituído de dois níveis: o saber-fazer (*práxis*) e o saber (*logos*). O primeiro nível é expresso em tipos de tarefas e técnicas para realizá-las; já o *logos* é composto por tecnologias, entendidas no âmbito da TAD a partir da etimologia da palavra, ou seja, como discursos que justificam, explicam e geram as técnicas, e por teorias, que se constituem em discursos que - em um grau maior de profundidade - justificam, explicam e geram as tecnologias. Nesse sentido, consideramos neste trabalho os métodos como OPs, isto é, compostos não apenas por técnicas, mas também por tipos de tarefas, tecnologias e teorias.

As pesquisas com a TAD apresentam diferentes enfoques, sendo que a maioria deles utiliza a OP como ferramenta analítica. As OPs são empregadas, principalmente, na análise de material didático (e.g. Schivani, Brockington & Pietrocola, 2013; Barbé, Espinoza & Gellert, 2017) e da prática em sala de aula (e.g. Barbé et al., 2005; Corica & Otero, 2011). Além disso, são utilizadas no diálogo entre teorias (e.g. Trigueros & Martínez-Planell, 2015; Bosch, Gascón & Trigueros, 2016) e na didática museal (e.g. Achiam, 2013; Marandino et al., 2016). Na análise dos materiais didáticos, são destacados os elementos de uma OP, seja ela Física, Matemática ou Didática, que estão presentes no material escrito, com o intuito de melhor compreendê-lo. Por meio de observações e entrevistas, são construídas OPs que descrevem a estrutura da prática de sala de aula. Nos diálogos, as teorias científicas são consideradas praxeologias de investigação, ou seja, possuem tipos de tarefa, técnicas, tecnologias e teorias. Nessa visão epistemológica, os diálogos tomam como ponto de partida: os tipos de problema, os elementos teóricos e o componente metodológico (incluindo as técnicas e tecnologias) de cada teoria. Por fim, na didática museal, as OPs são utilizadas para a compreensão das transformações sofridas pelo saber ao ser transposto para exposições em museus de Ciências. Outras ferramentas analíticas propostas pela TAD são: os momentos didáticos, que descrevem o funcionamento das atividades didáticas (Chevallard, 1999); e os níveis de codeterminação, que auxiliam no entendimento das condições e restrições (dimensão ecológica) da institucionalização de uma determinada OP (Artigue & Winsløw, 2010; Barquero, Bosch & Gascón, 2013). Já no aspecto prático docente, como decorrência da TAD, é proposto o Percorso de Estudo e Pesquisa (PEP) como uma forma de organização didática pautada na construção de diferentes caminhos a partir de uma sucessão de perguntas e respostas articuladas por meio de processos de modelagem (Barquero, Bosch & Gascón, 2011).

Em particular, os resultados obtidos na análise de livros didáticos, na prática da sala de aula e nas transposições praxeológicas da didática museal nos permitem vislumbrar a potencialidade das OPs para uma nova aplicação que propomos: análise de métodos de ensino

em sua concepção original; os planejamentos de suas implementações em determinados contextos; e seus efetivos usos em sala de aula.

O objetivo principal desta tese é propor, a partir da literatura e da Teoria Antropológica do Didático, uma ressignificação ontológica, epistemológica e metodológica das inovações didáticas, destacando a noção de Organização Praxeológica como ferramenta analítica útil para a análise de métodos de ensino, considerando-os como corpos de conhecimento - constituintes de tipos de tarefas, técnicas, tecnologias e teorias - que sofrem transformações ao transitarem interinstitucionalmente. Para tal partimos de duas questões de pesquisa, as quais passamos a apresentar e comentar.

Q1 – Como as inovações didáticas e sua adoção podem ser situadas no âmbito da antropologia didática de Yves Chevallard?

A primeira questão envolveu um estudo teórico, proveniente de uma profunda apropriação da TAD e de duas revisões da literatura, uma a respeito da própria teoria e outra acerca de inovações didáticas no ensino de Física. A partir disso, caracterizamos os métodos de ensino, sob um ponto de vista antropológico, como corpos de conhecimento, social e historicamente legitimados, constituintes de *logos* e *práxis* que sofrem mutações ao serem transpostos de um contexto epistemológico a outro. Como resultado, propusemos um quadro analítico, apresentado no Capítulo 4, que pode ser utilizado para a construção de Organizações Praxeológicas de métodos de ensino em suas diferentes etapas de transformação.

Para sustentar nossa proposta e testar a ferramenta analítica desenvolvida, analisamos o método *Team-Based Learning* (TBL) em sua proposta original (Michaelson, Knight & Fink, 2004) e no planejamento para uma transposição realizada no Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). A escolha do TBL se deu por duas razões: (i) ele já havia sido transposto para o contexto de ensino de física universitário brasileiro; e (ii) porque ele foi um dos métodos utilizados no estudo empírico realizado posteriormente, o que possibilitou que vislumbrássemos as vantagens da ferramenta analítica para a análise comparativa e da articulação entre métodos de ensino.

Em um segundo estudo, a partir da construção teórica estabelecida, buscamos investigar a gênese, o planejamento, a implementação e a avaliação de uma inovação didática em desenvolvimento. Para isso, o autor desta tese teve a oportunidade de realizar um estágio de

doutorado sanduíche na Universidade de Harvard, no grupo de Ensino de Física do professor Eric Mazur, coorientador do presente trabalho. O professor Mazur é reconhecido internacionalmente como referência na inovação didática no ensino de Física. Na década de 90, Mazur criou o método *Peer Instruction* (PI) (em uma tradução livre, Instrução pelos Colegas); e atualmente ministra uma disciplina introdutória de Física Aplicada (*Applied Physics 50 - AP50*) com uma adaptação dos métodos PI, *Team-Based Learning* (Aprendizagem Baseada em Equipes) (Michaelsen, Knight e Fink, 2004) e *Project-Based Learning* (Aprendizagem Baseada em Projetos) (Blumenfeld et al., 1991). Maiores detalhes a respeito da AP50 são fornecidos no Capítulo 5.

O PI já foi adotado em instituições de diversos países e em diferentes níveis de ensino. Uma série de trabalhos já foi publicada sobre aplicações do método no Brasil (e.g. Araujo e Mazur, 2013; Müller et al., 2012; Oliveira, Veit e Araujo, 2015) e algumas universidades, como a UNICAMP, em São Paulo, adotaram o método massivamente em disciplinas de Física Geral. Já a AP50, disciplina que abarca métodos nos quais os estudantes, em casa, fazem uma preparação prévia, e, em sala de aula, trabalham em equipes na resolução de problemas e desenvolvimento de projetos, trata-se de uma inovação menos conhecida, e, por isso, consistiu, no âmbito deste trabalho, em um objeto de análise promissor para ser investigado. Assim, buscamos responder à seguinte questão:

Q2 - Como se deram a gênese, o planejamento, a implementação e a avaliação de uma inovação didática na Universidade de Harvard?

A coleta de dados para o estudo na Universidade de Harvard ocorreu no segundo semestre de 2017. Foram realizadas observações, durante um semestre letivo, de todas as aulas da AP50 e reuniões de grupo semanais. Além disso, foram conduzidas entrevistas com o Professor Mazur, principal desenvolvedor da AP50, e com os instrutores e monitores da disciplina.

Na sequência, apresentamos, no Capítulo 2, uma revisão da literatura a respeito de difusão e adoção de inovações didáticas no ensino de Física e outra acerca da Teoria Antropológica do Didático no ensino de Ciências e Matemática. Para cada uma das revisões, expomos suas implicações para a presente pesquisa (subseções 2.1.7 e 2.2.4, respectivamente).

No Capítulo 3 apresentamos, em detalhes, o referencial teórico-metodológico: a Teoria Antropológica do Didático. No capítulo seguinte (Capítulo 4) descrevemos o estudo teórico, respondendo à primeira questão de pesquisa. No Capítulo 5 expomos o estudo empírico, iniciando pela metodologia de pesquisa, na qual explicamos o contexto do estudo de Harvard, os instrumentos de pesquisa utilizados e como foram analisados os dados. Na sequência, expomos os resultados do estudo, respondendo à segunda questão de pesquisa.. Por fim, no Capítulo 6 apresentamos algumas considerações finais e perspectivas de pesquisas futuras.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo são apresentados os resultados das duas revisões sistemáticas da literatura, uma a respeito da adoção e difusão de inovações didáticas, no período de 2005 a agosto de 2018 (Seção 2.1), e outra acerca da Teoria Antropológica do Didático no Ensino de Ciências e Matemática, no período de 2000 a 2017 (Seção 2.2). Expomos, respectivamente, o escopo e os principais resultados. Dada a relevância da Teoria da Difusão de Inovações (TDI) de Everett Rogers nos trabalhos analisados, a descrevemos em maiores detalhes na subseção 2.1.6. Por fim, nas subseções 2.1.7 e 2.2.4 destacamos as implicações à pesquisa.

2.1 ADOÇÃO E DIFUSÃO DE INOVAÇÕES DIDÁTICAS: ESTUDOS ANTERIORES NO ENSINO DE FÍSICA

Para entendermos o estado da arte dos estudos a respeito de adoção e difusão de inovações didáticas, ampliamos a revisão da literatura realizada por Müller (2017). Com isso, buscamos compreender, mesmo que parcialmente, as razões pelas quais a abordagem de ensino tradicional ainda é prática comum em nível universitário, vislumbrar possíveis ações que possam alterar esse quadro e compreender as limitações das teorias, modelos e metodologias utilizadas pelos pesquisadores da área.

Müller (Ibid.), em uma revisão da literatura sistemática que abrange o período de 2005 a 2015, encontrou e analisou 17 artigos tendo como foco inicial estudos acerca de adoção e difusão de inovações didáticas no ensino de Física em nível superior. Desses 17, três são artigos de revisão da literatura a respeito do tema. Ampliamos a busca até agosto de 2018 e encontramos 10 trabalhos adicionais, totalizando 27 artigos analisados, 26 redigidos em inglês e um em português. A busca foi feita na plataforma “*Google Scholar*” e por meio de duas bases de dados internacionais: *Social Sciences Citation Index (SSCI)* (plataforma *Web of Science*) e *Education Resources Information Center (ERIC)*. Utilizamos os termos “*Physics Education*” AND “*Diffusion of Innovation*”, bem como os termos “*Physics Education*” AND “*Instructional Change*” e seus correspondentes em português (Difusão de Inovações, Ensino de Física e Mudança Instrucional) e em espanhol (*Difusión de Innovación, Enseñanza de la Física, Cambio de Instrucción*). A seguir, passamos a sintetizar, primeiramente, os artigos de revisão e, em seguida, os demais trabalhos separados em quatro categorias, as quais apresentamos em forma

de perguntas: como os métodos ativos de ensino são implementados? Quais as principais barreiras à adoção de inovações didáticas? Como são difundidos os métodos ativos de ensino? Que estratégias facilitam mudanças no método de ensino?

2.1.1 Artigos de revisão da literatura

Os três artigos apontados por Müller (Ibid.) que tratam de revisão da literatura versam sobre as seguintes temáticas: difusão de inovações educacionais no ensino superior (Smith, 2012); mudança da prática instrucional em disciplinas STEM (*Science, Technology, Engineering e Mathematics*) (Henderson, Beach e Finkelstein, 2011); e o uso da Teoria da Difusão de Inovações (TDI) em pesquisas científicas de todas as áreas do conhecimento (Kapoor, Dwivedi e Williams, 2014). Esse último foi agregado à revisão após a constatação da relevância da TDI para as pesquisas sobre adoção e difusão de inovações didáticas no Ensino de Física.

Com o intuito de sintetizar os fatores que facilitam ou impedem a difusão de inovações didáticas no Ensino Superior, Smith (2012) analisou 89 artigos publicados dos anos 2000 a 2009. Em síntese, a autora destaca que os professores usualmente implementam inovações em sua prática quando: (i) recebem incentivo (benefícios) da instituição, em alguns casos financeiro, por modificarem suas aulas; (ii) o discurso institucional vai ao encontro da mudança da prática docente; (iii) grupos de apoio são criados para discussões acerca de práticas inovadoras; (iv) a instituição disponibiliza a infraestrutura adequada para a inserção da inovação; (v) a inovação é condição para a solução de problemas institucionais; e (vi) tiveram experiências anteriores com práticas inovadoras de ensino. A respeito dos fatores que dificultam a difusão de inovações didáticas, a autora destaca as necessidades de: (i) tempo para a adaptação com as novas práticas; e (ii) desenvolvimento das habilidades requeridas pela prática inovadora.

Kapoor, Dwivedi e Williams (2011) revisaram as pesquisas publicadas entre 1996 e 2011 que usaram a TDI como referencial teórico. Os autores localizaram um total de 1377 artigos que citam a 4ª edição do livro do Rogers sobre a TDI. Nesta revisão, foram identificados quais os atributos da inovação expostos por Rogers (2003) (vantagem relativa, compatibilidade,

complexidade, testagem e visibilidade)³ têm sido mais citados nas pesquisas. A complexidade foi o atributo mais citado (N = 834), seguido de compatibilidade (N = 653) e vantagem relativa (N = 536). Além disso, destaca-se um aumento exponencial no número de publicações a partir de 2005, o que denota a relevância da teoria para o estudo de inovações no âmbito educacional.

Henderson, Beach e Finkelstein (2011) analisaram 191 publicações, entre os anos de 1995 a 2008, com o objetivo de entender como são destacadas as maneiras de se promover mudanças na prática de ensino em cursos da área de STEM. A partir da revisão, os autores identificaram quatro categorias de estratégias de mudança instrucional: (i) disseminação de currículo e pedagogia; (ii) desenvolvimento de professores reflexivos; (iii) adoção de políticas; e (iv) desenvolvimento de visão compartilhada.

A análise dos 24 artigos restantes, que se referem à adoção e difusão de práticas inovadoras de ensino em disciplinas de Física universitária, é sintetizada a seguir por meio da discussão de quatro questões: como os métodos ativos de ensino são implementados? (N = 6); quais as principais barreiras à adoção de inovações didáticas? (N = 6); como são difundidos os métodos ativos de ensino? (N = 4); que estratégias facilitam mudanças no método de ensino? (N = 8).

2.1.2 Como os métodos ativos de ensino são implementados?

Utilizando a Teoria da Difusão de Inovações (TDI), Henderson (2005) realizou um estudo de caso com um professor de Física universitária que tentou inovar sua prática. O estudo buscava compreender detalhadamente o processo de mudança instrucional. Em tal processo, foram identificados percalços que limitaram o professor a modificar sua prática. O primeiro deles foi o foco excessivo na aprendizagem conceitual, deixando de lado o desenvolvimento de habilidades voltadas à resolução de problemas. O segundo foi que o professor não se apropriou bem dos conhecimentos a respeito dos métodos de ensino. Além desses, o docente planejou de forma otimista suas atividades, não prevendo eventuais problemas, como a necessidade de

³ A vantagem relativa representa o quanto a inovação é percebida como sendo melhor que as alternativas precedentes. A compatibilidade diz respeito à percepção do quanto a inovação é vista como compatível com os valores, experiências passadas e necessidades. A complexidade indica o quão difícil de entender e usar a inovação é percebida. A testagem é o grau com que uma inovação pode ser testada. Por fim, a visibilidade representa o quão visível, para os possíveis adotantes, são os resultados provenientes da inovação.

muito tempo para a preparação dos materiais para as aulas e a escassez de tempo para as atividades previstas para a sala de aula. Esses fatores fizeram com que fosse adotada uma versão limitada do seu planejamento e que optasse por aulas com pouco trabalho colaborativo.

O trabalho de Pundak e Rozner (2008), também utilizando a TDI como referencial teórico, buscou investigar o processo de implementação de inovação com quatro professores de Física e três de Cálculo de uma universidade em Israel. Para isso, foi utilizado o modelo de Rogers, constituído por cinco etapas: (i) conhecimento; (ii) persuasão; (iii) decisão; (iv) implementação; e (v) confirmação⁴. O conhecimento se deu ora por meio de encontros entre os professores da instituição e no Centro para o Desenvolvimento e Avanço do Ensino de Ciências na Universidade, e ora pela iniciativa do próprio professor. Baseados no conhecimento construído e por meio do exercício de planejamento de como adotar métodos ativos de ensino, alguns professores se mostraram persuadidos de que poderiam modificar suas aulas. Na etapa de decisão, que durou cerca de 10 meses, os professores desenvolveram materiais e escolheram o(s) método(s) de ensino que usariam. Durante a implementação, os professores enfrentaram algumas dificuldades, como: a limitação temporal para implementar uma variedade de métodos; o tempo excessivo necessário para preparar as aulas; desafios no uso de tecnologias. Pundak e Rozner destacam que a presença de um professor assistente, que tenha conhecimento e experiência com os métodos ativos de ensino, auxilia o professor que está modificando sua prática a lidar com os problemas assim que eles ocorrem.

Com o objetivo de investigar o processo de mudança da prática docente de uma professora de Física de uma universidade pública brasileira que adotou os métodos PI e JiTT, Müller, Araujo e Veit (2018) realizaram um estudo de caso amparado na TDI de Rogers. Segundo os autores, a adoção das inovações didáticas foi bem-sucedida e ocorreu de maneira gradual. Tal resultado se deve às características pessoais da professora (perfil inovador e práticas anteriores), as quais são consideradas pré-requisitos à adoção de inovações, segundo o modelo do Rogers; e à forma como os métodos de ensino foram incorporados à prática da professora, contando com o auxílio de um dos pesquisadores - que atuou como monitor da disciplina, reduzindo a complexidade percebida da inovação -, e testando os métodos em

⁴ (i) Conhecimento: ocorre quando o sujeito (ou instituição) toma o primeiro contato com a inovação; (ii) persuasão: acontece quando o sujeito (ou instituição) cria uma atitude positiva ou negativa a respeito da inovação; (iii) decisão: sucede quando o sujeito (ou instituição) se engaja em atividades que o levam a adotar ou não uma inovação; (iv) implementação: ocorre quando a inovação é colocada em prática; e (v) confirmação: acontece após a percepção de sucesso na etapa de implementação.

módulos de ensino reduzidos (*trial version*), sem o comprometimento com uma modificação radical de suas estratégias de ensino.

Rogers et al. (2015) realizaram um estudo de caso longitudinal para analisar o processo de adoção do método de ensino SCALE-UP⁵ (*Student-Centered Active Learning Environment with Upside-down Pedagogies*) em disciplinas introdutórias de Física e Astronomia. A escolha do método ocorreu após a participação de um dos professores da universidade no *New Faculty Workshop* (NFW). Os resultados do estudo recomendam que a adoção de uma inovação didática seja realizada por meio de um planejamento a longo prazo, e que os inovadores tenham ciência de que, nos primeiros anos, há a possibilidade de se obter resultados insatisfatórios. Tal planejamento precisa contar com todos os docentes das disciplinas em que novos métodos de ensino serão implementados, bem como com os atores responsáveis pela gestão da disciplina. Dessa forma, argumenta-se que os resultados negativos sirvam de ponto de partida para que as inovações sejam repensadas e aprimoradas ao contexto específico.

Foote (2016) 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 (Ibid.) utilizou um modelo de três estágios para adoção de inovações didáticas, baseado no modelo de Rogers, anteriormente discutido. Os três estágios são: i) motivação para mudar – os sujeitos e instituições percebem a necessidade de mudança, ou seja, 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 as estratégias supostamente funcionam; 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 (Ibid.) 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

⁵ O SCALE-UP, além de modificar aspectos pedagógicos como outros métodos ativos, transforma a sala de aula, visando minimizar as aulas expositivas e facilitar a interação entre os estudantes. Os alunos se organizam em grupos em mesas usualmente circulares que facilitam a interação. Além disso, quadros móveis são espalhados pela sala e não há uma posição na frente da sala para o professor [12].

estavam cientes das potencialidades dos métodos inovadores de ensino e decidiram testá-los. Em todas as instituições a aprendizagem e coleta de informações a respeito do método de ensino 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. Foote (Ibid.) argumenta que é necessário que os desenvolvedores discutam com os professores os princípios do método, isto é, os discursos subjacentes às técnicas, destacando aqueles elementos que são flexíveis e aqueles que descaracterizariam a proposta. Mesmo que sejam necessárias à institucionalização de uma inovação didática, as modificações devem ser realizadas de forma reflexiva.

A esse respeito, Dancy, Henderson e Turpen (2016) analisaram, por meio de entrevistas e embasados na Teoria da Difusão de Inovações (TDI), 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 PI⁶) (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% pede para que os estudantes votem após a discussão.

⁶ Dancy, Henderson e Turpen [35] definem nove elementos que compõem o método PI, a saber: i) o professor adapta suas ações às respostas dos alunos às tarefas desenvolvidas em classe; ii) os alunos não são avaliados nas tarefas de aula; iii) os estudantes têm um tempo para pensarem individualmente e se comprometerem com uma resposta à tarefa antes de discutirem com os colegas; iv) são utilizadas questões conceituais na sala de aula; v) as questões conceituais se baseiam em ideias prévias comuns e dificuldades dos alunos; vi) as questões de sala de aula são de múltipla escolha; vii) as tarefas são intercaladas ao longo da aula; viii) os alunos discutem suas ideias a respeito das respostas às atividades com os seus colegas; ix) os estudantes votam individualmente após a discussão entre os colegas.

2.1.3 *Quais as principais barreiras à adoção de inovações didáticas?*

Ao entrevistar quatro experientes professores de Física universitária, Henderson e Dancy (2005) constataram que os professores têm crenças sobre ensino e aprendizagem relacionadas as ideias fundamentais dos métodos interativos de ensino. No entanto, suas práticas correspondem apenas parcialmente a suas crenças. Uma possível barreira exposta por Henderson e Dancy (Ibid.) é que os professores interpretam os métodos erroneamente ou tenham uma baixa confiabilidade nas pesquisas em Ensino de Física.

Henderson e Dancy (2007) constataram, em pesquisa com outros cinco professores, que mesmo tendo crenças compatíveis com os métodos ativos de ensino, os professores não as adotam devido a alguns fatores situacionais limitantes, como: atitude negativa dos estudantes em relação à universidade; expectativa do professor de cobrir todo o conteúdo; falta de tempo; normas do departamento; resistência dos estudantes quanto à interação com outros colegas; número elevado de estudantes e o *layout* tradicional das salas. Além disso, Henderson e Dancy (2008), em estudo com os mesmos cinco professores, desenvolveram um modelo para explicar diferentes maneiras pelas quais as inovações didáticas são incorporadas na ação docente. O modelo é composto por quatro categorias: (i) adoção completa da prática; (ii) adoção com pequenas modificações; (iii) reinvenção a partir de um método; (iv) invenção de acordo com as crenças pessoais do educador. De acordo com os autores, 70% das mudanças realizadas pelos professores se enquadram como reinvenção ou invenção. Isso mostra, segundo Henderson e Dancy (ibid.), que existem diferentes expectativas entre pesquisadores e professores, e esse *gap* é uma possível barreira para a adoção de inovações didáticas.

Segundo Henderson, Dancy e Niewiadomska-Bugaj (2012) poucos professores dão continuidade à adoção de inovações didáticas e, de acordo com os autores, isso se deve à maneira como os docentes são apresentados a elas. Usualmente, eles tomam conhecimento por meio de palestras e *workshops* e, quando decidem implementar, não recebem suporte para enfrentar os problemas que naturalmente surgem, levando-os a uma descontinuidade na adoção.

Em um estudo mais recente, Henderson, Mestre e Slakey (2015) identificaram algumas barreiras para a difusão e adoção de contribuições da Ciência Cognitiva (CC)⁷ em disciplinas

⁷ Dois exemplos de resultados da Ciência Cognitiva não adotados nas disciplinas STEM são [38]: a prática intercalada e a distribuída. Na primeira, entende-se que há uma melhor aprendizagem quando os alunos revisitam constantemente conceitos já estudados. Na aceção da prática distribuída, os estudantes retêm melhor os conceitos

STEM. Os autores refletem sobre as causas de poucos resultados da CC serem usados como suporte para a prática instrucional em disciplinas de Física e STEM, apesar da expressiva relevância de tais resultados. Apesar da notável relevância, a CC não é comumente utilizada como suporte para a ação docente nas disciplinas STEM. A primeira barreira para isso é a pouca fundamentação teórica dos métodos ativos na CC. Ou seja, falta diálogo entre os pesquisadores da CC e aqueles que investigam métodos de ensino. A segunda barreira é identificada pelos autores como “obstáculo estrutural”. De acordo com os autores, alguns desenvolvedores e pesquisadores assumem que basta produzir resultados convincentes para convencer os professores a adotarem um método de ensino. É, de fato, negligenciada a complexidade dos sistemas didáticos que estão sujeitos a normas institucionais, expectativas dos professores e dos alunos, estrutura das salas de aula, número de estudantes nas turmas etc.

A percepção dos professores acerca das barreiras e vantagens à implementação de inovações didáticas no Ensino de Física é, de acordo com o modelo de Rogers (2003), importante para que os sujeitos decidam inovar, bem como se engajem em um uso contínuo da inovação. Nesse sentido, Turpen, Dancy e Henderson (2016) avaliaram, por meio de entrevistas, as barreiras e vantagens percebidas por 35 professores de Física universitária (os mesmos sujeitos do artigo de Dancy, Henderson e Turpen (2016)) a respeito da implementação do *Peer Instruction* (PI). Todos os docentes estavam previamente familiarizados com o PI, sendo que sete deles são considerados pelos autores Usuários Plenos (UP), 18 Usuários Híbridos (UH) e 10 Não Usuários (NU). Segundo os autores, os professores percebem vantagens em alinhar suas práticas ao PI, principalmente, por ele não ser centrado em aulas expositivas (mencionado por 6/7 UP e 14/18 UH) e porque tiveram, no passado, experiências positivas com o método (5/7 UP, 10/18 UH e 5/10 NU). Já as razões mais comuns para não utilizar o PI são que a modificação na prática docente requer tempo (10/18 UH e 9/10 NU), a dificuldade em cobrir todo o conteúdo requerido institucionalmente (9/18 UH e 5/10 NU) e a dificuldade em engajar os alunos nas atividades (7/7 UP). É possível notar que as barreiras percebidas são diferentes para usuários (híbridos e plenos) e não usuários do PI. Aqueles que não utilizam o método usualmente percebem dificuldades associadas à falta de tempo e aqueles que utilizam regularmente o PI percebem barreiras relacionadas à implementação (e.g. encontrar boas questões conceituais que gerem discussões entre os alunos).

caso os estudem de forma distribuída ao longo de vários dias em vez de realizarem intensas seções de estudos na véspera das provas.

2.1.4 Como são difundidos os métodos ativos de ensino?

Foote et al. (2014), amparados pela TDI, investigaram 812 professores universitários para entender a difusão da metodologia de ensino SCALE-UP (“*Student-Centered Active Learning Environment with Upside-down Pedagogies*”), a qual consiste em modificar a dinâmica (alunos ativos em sala de aula) e o *design* da sala de aula (quadros brancos para os estudantes, mesas redondas, computadores, projetores etc.) para maximizar a interação e o trabalho colaborativo entre os estudantes. Por meio de análise de questionários, os autores constataram que SCALE-UP foi difundido em 314 departamentos em 189 instituições universitárias de 21 países, tendo destaque para as disciplinas de Física (114 departamentos), cuja representatividade se deve, segundo os autores, ao fato do SCALE-UP ter sido criado em um curso introdutório de Física. Para o conhecimento sobre a metodologia, foram usados, principalmente, canais de comunicação interpessoais, ou seja, palestras, *workshops* e conversas com professores que já utilizavam o SCALE-UP. Foote e colaboradores destacam que, apesar da necessidade de infraestrutura parecer um impedimento, o investimento feito pelas instituições para implementar a metodologia aumenta a sua visibilidade, o que contribui para a taxa de adoção.

Khatri et al. (2015, 2016) analisaram, em um estudo histórico, a difusão do método *Peer Instruction* (PI), desenvolvido em Harvard pelo professor de Física, e coorientador do presente trabalho, Eric Mazur. No PI, o professor apresenta uma questão conceitual aos alunos, os quais a respondem individualmente, utilizando algum sistema de votação, tais como cartelas de respostas (*flashcards*) ou *Clickers*. Dependendo da quantidade de respostas corretas (de 30 a 70%), os alunos são orientados a discutirem e convencerem seus colegas de suas respostas. Por fim, uma nova votação é feita e, a partir da nova distribuição de respostas, o professor decide se parte para o próximo tópico ou retoma o conteúdo com uma nova questão conceitual (Araujo e Mazur, 2003; Mazur, 2015).

O PI já é altamente difundido e, para explicar essa expressiva difusão, Khatri et al. (2015) desenvolveram um modelo de propagação que elenca os principais fatores para a difusão, a saber:

(i) desenvolvimento interativo: o professor Mazur desenvolveu o PI em colaboração com outros pesquisadores de Harvard, bem como professores de outras instituições de ensino, o que tornou o método adaptável a diferentes contextos;

(ii) disseminação interativa: o PI foi disseminado por meio de colóquios para os departamentos, produção de vídeos e um manual de usuário (Mazur, 1997);

(iii) suporte: a disponibilização de um manual com uma quantidade considerável de questões conceituais contribui para a redução do trabalho que o professor tem ao implementar o PI.

A expressiva difusão do PI no ensino de Física universitário também fez com que Dancy, Turpen e Henderson (2010) analisassem sua disseminação em universidades americanas, conduzindo entrevistas com 15 professores de Física e, com isso, identificando como os professores tiveram o primeiro contato com o método e quais foram suas motivações para adotá-lo. Segundo os autores, o conhecimento do método por parte dos professores se deu por meio de conversas entre colegas e apresentações, o que reforça a importância dos canais interpessoais para a difusão de inovações. Já os fatores que motivaram os docentes a modificarem suas práticas foram a insatisfação com a abordagem tradicional de ensino, a ideia de que o PI é coerente com as suas crenças educacionais e os resultados apresentados a respeito do impacto do PI na aprendizagem dos estudantes.

2.1.5 *Que estratégias facilitam mudanças no método de ensino?*

Com o objetivo de identificar fatores que comumente facilitam a mudança da prática tradicional para o SCALE-UP, Foote et al. (2016) entrevistaram 21 pessoas que fizeram uma implementação bem-sucedida do método. De acordo com a análise dos autores, os principais fatores que facilitam a implementação e continuação do SCALE-UP são: documentação e divulgação de evidências de sucesso local, suporte administrativo, interação com professores de fora da instituição que utilizam o método, e financiamento.

Brewe, Dou e Shand (2018) discutem o problema da falta de verba para a implementação de alguns métodos ativos, que se configura como uma barreira à adoção. Mais especificamente, os autores compararam os custos associados a uma disciplina de Física tradicional com uma que utiliza o método *Modeling Instruction*⁸ (MI), ambas desenvolvidas na Universidade Internacional da Flórida. Para isso, Brewe, Dou e Shand (Ibid.) utilizaram uma

⁸ O *Modeling Instruction* é um método que foca no desenvolvimento e teste de modelos físicos qualitativos e quantitativos, contrastando modelos teóricos com experimentos reais. Os alunos, em pequenos grupos, exploram e resolvem problemas. Em seguida, discutem as soluções entre os grupos [60].

métrica da Economia Educacional, a relação Custo-Efetividade (CE), que representa o custo total por aluno que é aprovado na disciplina. Os resultados apontaram para um maior CE para o MI (1.030/estudante aprovado) em comparação com a disciplina tradicional (790/estudante aprovado). Uma solução apontada pelos autores para reduzir o CE associado ao MI no contexto estudado é adaptar as aulas, que usualmente comportam cerca de 30 estudantes, para aulas com mais de 100 estudantes (equivalente ao número de alunos nas disciplinas tradicionais na mesma universidade). Os métodos SCALE-UP (Beichner et al., 2007) e *Team-Based Learning* (Michaelsen e Sweet, 2011) são exemplos de abordagens que podem ser adaptadas a turmas com mais de 100 pessoas. Articular elementos desses métodos ao MI pode facilitar a adaptação.

Henderson (2008) e Dancy e Henderson (2012) avaliaram o impacto de um *workshop*, o *New Faculty Workshop* (NFW), na adoção de métodos ativos de ensino (e.g. *Peer Instruction*) por parte de 15 professores de Física. O NFW tinha o intuito de familiarizar os professores com diferentes métodos ativos de ensino. Como resultado, 14 professores aderiram aos métodos, sendo o *Peer Instruction* (PI) o mais adotado (nove professores). Para facilitar o processo de adoção, os professores contaram com o apoio de outros docentes experientes com o uso de métodos ativos, bem como apoio institucional.

Também, Olmstead e Turpen (2017) analisaram duas aplicações do *workshop* NFW que apresentam bons resultados no sentido de engajarem seus participantes a adotarem inovações didáticas no ensino de Física. A partir de gravações em áudio e vídeo das sessões, analisaram as interações entre os participantes e os mediadores para compreender as potencialidades do NFW. Como resultado, os autores indicam que os *workshops* precisam prover sentido pedagógico às inovações didáticas, discutindo as razões subjacentes às práticas inovadoras. Nas sessões analisadas pelos autores, isso foi realizado propondo aos participantes a observação e análise de aulas com métodos ativos, buscando dar sentido às práticas.

Olmstead e Turpen (Ibid.) também destacam algumas diferenças nos *workshops* que podem gerar engajamento dos participantes, quais sejam: moldar as discussões negociando com as expectativas dos participantes em vez de apenas apresentar as inovações; trabalhar para minimizar as diferenças de poder entre os ministrantes e os participantes do curso em vez de enfatizar as qualificações dos ministrantes; e encorajar os participantes a pensarem acerca de possíveis adaptações dos métodos ao seu contexto em vez de apenas enfatizar os benefícios das estratégias.

Chasteen et al. (2015) e Wieman et al. (2013) reportam resultados positivos com a implementação de um programa denominado SEI (*Science Education Initiative*), cujo objetivo

é a transformação das disciplinas por meio do desenvolvimento de materiais instrucionais baseados nas dificuldades apresentadas pelos alunos. Essa estratégia foi bem-sucedida nos contextos estudados (EUA e Canadá, respectivamente), fazendo com que os professores passassem a utilizar métodos ativos de ensino. Segundo Wieman e colaboradores (Ibid.), o sucesso do SEI se deve a dois fatores: o auxílio de especialistas durante o processo de adoção e o ambiente de apoio com compromisso coletivo gerado no programa.

Outro programa de incentivo investigado foi o “*Co-Teaching*”, que prevê que professores experientes compartilhem experiências com professores novatos em instituições em que se deseja inovar as práticas. Henderson, Beach e Famiano (2009), ao acompanharem a trajetória de um professor de Física novato, perceberam que o suporte fornecido por um professor experiente, que o acompanhou, foi de extrema importância para a adoção da inovação didática por parte do professor iniciante.

Conforme destacado ao longo da revisão, há uma proeminente presença da Teoria da Difusão de Inovações (Rogers, 2003) como aporte teórico para as pesquisas anteriormente descritas. Por isso, detalhamos alguns dos pontos mais importantes dessa teoria na seção seguinte.

2.1.6 Teoria da Difusão de Inovações

A Teoria de Difusão de Inovações (TDI) foi proposta pelo sociólogo Everett Rogers em 1962. Desde então, estudos de diversas áreas foram conduzidos, tornando-a uma referência para entender as variáveis que afetam 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 (Ibid.), 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 que leva um

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.

O modelo que descreve o processo de adoção de inovações, descrito pela TDI, apresenta cinco etapas fundamentais: conhecimento, persuasão, decisão, implementação e confirmação. Esses estágios não ocorrem necessariamente nessa ordem. Segundo Rogers (Ibid.), 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 (Ibid.) indica que existem cinco características principais das inovações que influenciam a formação de atitudes. São elas:

(i) *Vantagem relativa*: representa o grau com que uma inovação é percebida pelo sujeito (ou grupo) como sendo melhor que as alternativas precedentes (e.g. quais as vantagens dos métodos ativos em relação a 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 (Ibid.), 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 a 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.

Outro modelo da TDI é o que descreve o processo de desenvolvimento de uma inovação. Segundo Rogers (2003), nesse processo estão presentes três etapas 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.

2.1.7 Implicações para a pesquisa

Além da evidente importância em investigar o processo de adoção de novas práticas destacada nessa revisão da literatura e na introdução deste trabalho, destacamos três pontos que emergiram da nossa interpretação da leitura da TDI e dos artigos anteriormente discutidos: i) a ausência de especificidade e identidade das inovações didáticas; ii) barreiras e condições

situacionais à implementação de inovações didáticas; e iii) a importância de suporte (pessoal e material) para a adoção de métodos ativos de ensino.

A respeito do primeiro ponto, em alguns trabalhos destacados na literatura, a ausência das especificidades dos métodos de ensino dificulta um melhor entendimento das questões trazidas pelos autores. Ao analisar o processo de adoção de uma inovação didática, Pundak e Rozner (2008) utilizam o modelo de Rogers (2003), que envolve cinco etapas, sendo a primeira o conhecimento da inovação. Pundak e Rozner (Ibid.) destacam que o conhecimento da inovação didática se deu em encontros entre professores. Nesse sentido, as perguntas que nos fazemos são: Quais partes do método foram discutidas? Com que ênfase? Foram apresentadas as técnicas discutindo as justificativas e possíveis teorias construtivistas capazes de embasá-las? Afinal, segundo Henderson e Dancy (2005), uma possível barreira à adoção de uma inovação é que os professores interpretam os métodos erroneamente. Nesse sentido, não basta entendermos os canais nos quais a inovação é comunicada, é preciso estruturar as especificidades do método.

Outro exemplo da carência de especificidade dos métodos de ensino está presente no modelo de incorporação de inovações de Henderson e Dancy (2008), a saber: (i) adoção completa da prática; (ii) adoção com pequenas modificações; (iii) reinvenção a partir de um método; (iv) invenção de acordo com as crenças pessoais do educador. Mesmo que aparentemente as técnicas aplicadas sejam as originais, uma modificação nas justificativas subjacentes a elas pode gerar alterações futuras que podem comprometer a continuidade e disseminação da inovação. Ademais, como podemos avaliar as modificações? Até que ponto elas são benéficas ou descaracterizam o método? Como é possível articular dois ou mais métodos de ensino de forma coerente? Ou melhor, como potencializá-lo a partir de conhecimentos teóricos advindos das pesquisas em Educação em Ciências?

Dado o embasamento de tais trabalhos na Teoria da Difusão de Inovações de Rogers (2003), entendemos que a natureza ontológica dos métodos ativos de ensino, usualmente adotados e divulgados como meras técnicas ou práticas, dificulta o estudo de suas especificidades e, conseqüentemente, o avanço nas pesquisas a respeito de adoção e difusão de inovações. No Capítulo 4, propomos uma ressignificação ontológica e epistêmica das inovações didáticas a partir da Teoria Antropológica do Didático de Yves Chevallard (1999).

No segundo ponto, a revisão da literatura aponta uma série de barreiras e condições que dificultam ou facilitam a implementação de inovações didáticas no Ensino de Física. Henderson e Dancy (2008), por exemplo, explicitam elementos como: a atitude dos estudantes para com a

universidade, expectativa do professor em cumprir o conteúdo, falta de tempo, *layout* da sala, normas do departamento etc. Chamamos tais elementos de barreiras e condições extradidáticas, pois, apesar de extremamente relevantes, não enfatizam as relações da própria inovação (objeto de estudo) com a instituição. Tais relações, se bem entendidas, podem contribuir para as pesquisas da área.

Destacamos a ênfase dada por diversos autores (Henderson, Beach e Famiano, 2012; Dancy e Henderson, 2012; Wieman et al., 2013; Müller, 2017) para a necessidade de suporte no processo de adoção, seja ele material ou pessoal, como imprescindível. Acreditamos que essa é uma condição essencial, principalmente no estabelecimento de um diálogo entre pesquisa e prática. Nenhum dos trabalhos trata a respeito da gênese de uma inovação didática. Apenas Khatri et al. (2015) argumentam que o desenvolvimento do PI ocorreu de forma interativa, e isso explica parcialmente, segundo os autores, a expressiva difusão do método. Essa constatação reforça que a afirmação feita em 2003 por Rogers, autor da TDI, de que há poucas pesquisas com o intuito de entender o processo de desenvolvimento das inovações, ainda é válida. O desdobramento genético das inovações didáticas pode contribuir para a compreensão das especificidades do método e, conseqüentemente, auxiliar nos processos de transposição para contextos educacionais distintos aos de origem. No Capítulo 5 analisamos a gênese de uma inovação didática e mostramos como tal estudo auxilia na compreensão detalhada do método de ensino.

Além disso, como já explicitado por Rogers (2003) e Müller (2017), a literatura a respeito de adoção e difusão de inovações concentra poucos esforços na avaliação das inovações, a qual, muitas vezes, exerce um papel crucial em seu desenvolvimento. Ou seja, nas conseqüências da adoção e difusão de inovações didáticas. Ao implementar um método ativo de ensino, é interessante avaliar se as conseqüências esperadas foram atingidas e se algo inesperado aconteceu. Por exemplo, Nissen e Shemwell (2016) constataram que, apesar de melhorar o desempenho dos estudantes em testes conceituais, métodos ativos de ensino são prejudiciais à autoeficácia em Física dos estudantes de gênero feminino.

2.2 A TEORIA ANTROPOLÓGICA DO DIDÁTICO NOS PRINCIPAIS PERIÓDICOS DO ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

Nesta seção são apresentados resultados da revisão da literatura sistemática a respeito da Teoria Antropológica do Didático (TAD) no contexto de Ensino de Ciências e Matemática. A revisão teve como propósito obter um panorama geral das pesquisas com a TAD a fim de entender como são conduzidas e as principais aplicações da teoria. Para isso, organizamos a revisão da literatura a partir de duas questões de pesquisa:

- Qual o perfil da produção acadêmica a respeito da Teoria Antropológica do Didático nos principais periódicos do Ensino de Ciências e Matemática?
- Como se configura o perfil metodológico das pesquisas com a TAD?

Nas subseções seguintes serão apresentadas: a metodologia, na qual será detalhada a definição do escopo; os principais resultados, respondendo às questões propostas; e considerações acerca das implicações dos resultados para a presente tese.

2.2.1 *Metodologia*

Seguindo as orientações e definições de Cooper et al. (2009), desenvolvemos uma revisão sistemática da literatura que considerou as seguintes etapas: definição do problema, busca na literatura, avaliação e análise dos dados, interpretação dos resultados e apresentação pública.

A presente revisão abarcou publicações de 2000 - ano em que ocorreu uma maior divulgação da TAD (Marandino et al., 2016) - a 2017. Foi realizada uma busca minuciosa em periódicos especializados no Ensino de Ciências e Matemática classificados nas categorias A1, A2 e B1 no Qualis 2016 da área 46 - Ensino, da CAPES. Encontramos um total de 106 artigos que citavam a Teoria Antropológica do Didático em quatro idiomas: Português, Espanhol (*Teoría Antropológica de lo Didáctico*), Francês (*Théorie Anthropologique du Didactique*) e

Inglês (*Anthropological Theory of the Didactic*, *Anthropological Theory of Didactics* ou *Anthropological Theory of Didactic*).

Após a seleção, foi feita a leitura de todos os resumos. A partir disso, excluimos nove dos 106 artigos, os quais não apresentavam qualquer menção à TAD ou a qualquer termo relacionado a ela (e.g. praxeologia, modelo epistemológico de referência, níveis de codeterminação etc.) no resumo. Além disso, verificamos que nesses artigos a TAD era apenas citada no corpo do texto. O Quadro 1 apresenta uma lista completa dos periódicos revisados e o Quadro 2 exhibe a lista de periódicos cujas pesquisas com a TAD estão presentes e a respectiva distribuição dos 97 artigos que compõem a presente revisão. Ademais, a Figura 1 expõe a quantidade de artigos publicados a cada ano. Podemos notar um expressivo aumento no número de pesquisas no último ano (2017).

Estamos cientes de que o escopo escolhido é limitado e restringe uma série de artigos de qualidade que compõem as pesquisas com TAD, em caráter nacional e internacional. Entretanto, para o objetivo estabelecido, a delimitação foi suficiente. Pretendemos, no futuro, ampliar a revisão.

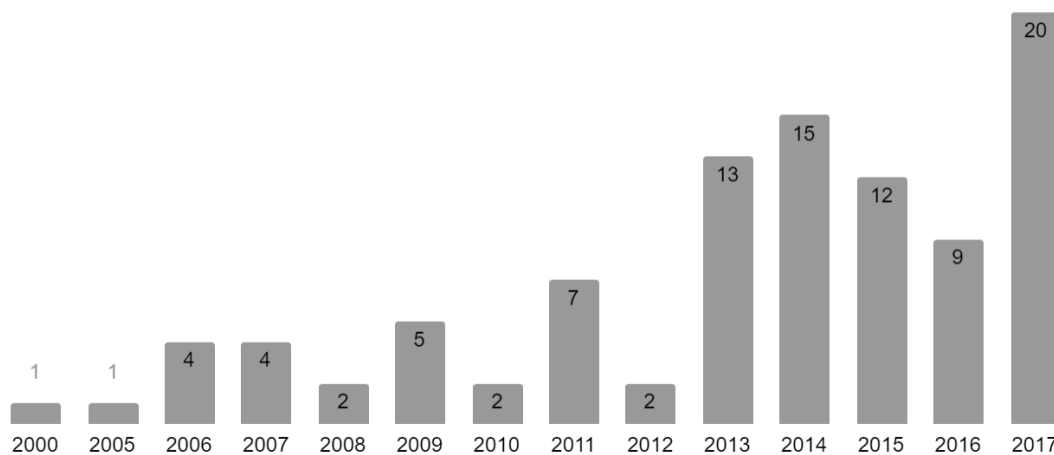


Figura 1 - Número de artigos por ano de publicação em periódicos especializados (Qualis A1, A2 e B1 da CAPES) do Ensino de Ciências e Matemática.

Quadro 1 - Lista de periódicos revisados.

Classificação	Periódicos
A1	<p><i>American Journal Of Physics, Biochemistry And Molecular Biology Education, Chemistry Education - Research And Practice In Europe, Ciência e Educação (Online), Cultural Studies Of Science Education (Online), Educaci3n Química, Ensaio: Pesquisa Em Educa33o Em Ciéncias (Online), Enseñanza De Las Ciencias, European Journal Of Physics (Print), Interciencia (Caracas), International Journal Of Science Education, Journal Of Baltic Science Education, Journal Of Biological Education, Journal Of Science Education And Technology, Physical Review Special Topics - Physics Education Research, Physics Education (Bristol. Print), Research In Science Education, Revista Brasileira De Ensino De Física (Online), Revista De Educaci3n De Las Ciencias, Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgaci3n De Las Ciencias, Science e Education (Dordrecht), Science (Online), Science Education (Salem, Mass. Print), The Physics Teacher, Bolema (Rio Claro), Cadernos Cedex (Impresso), Educa33o e Sociedade, Educational Studies In Mathematics, International Journal Of Mathematical Education In Science And Technology, International Journal Of Science And Mathematical Education, Teaching Mathematics And Its Applications, The Journal Of Mathematical Behavior e ZDM - Mathematics Education.</i></p>
A2	<p><i>Acta Scientiae: Revista De Ensino De Ciéncias E Matemática, Acta Scientiarum. Education (Online), Alexandria (UFSC), Anais Da Academia Brasileira De Ciéncias (Online), Areté - Revista Amaz3nica De Ensino De Ciéncias, Australian Journal Of Chemistry (Print), Caderno Brasileiro De Ensino De Física (Online), Ciência E Cultura, Comciéncia (Unicamp), Contexto e Educa33o, Current Science (Bangalore), Dynamis (Furb. Online), Educa33o Unisinos (Online), Enseñanza De Las Ciencias De La Tierra, Imagens Da Educa33o, Interfaces Científicas - Educa33o, Investiga33es Em Ensino De Ciéncias (Online), Latin - American Journal Of Physics Education Nuances, Public Understanding Of Science (Print), Rbpg - Revista Brasileira Da Pós-gradua33o, Reec - Revista Eletr3nica De Enseñanza De Las Ciencias, Reflex3o E A33o (Vers3o Eletr3nica), Rencima, Revista Brasileira De Ensino De Ciência E Tecnologia, Revista Brasileira De Pesquisa Em Educa33o Em Ciéncias, Revista De Educa33o, Ciéncias E Matemática, Revista De Ensino De Ciéncias E Matemática (Rencima), Revista Eletr3nica De Investigaci3n En Educaci3n En Ciéncias (En Línea), Revista Exitus, Revista Iberoamericana De Educaci3n (Online), Revista Praxis e Saber: Maestría En Educaci3n, Revista Tempos E Espaços Em Educa33o (Online), Scientific Research And Essays, Senso-e Revista Multimédia De Investiga33o Em Educa33o, Tempos E Espaços Em Educa33o, Vidya (Online), Zetetiké (Online), Amazônia - Revista De Educa33o Em Ciéncias E Matemáticas (Online), Educa33o Matemática Em Revista, Educa33o Matemática Em Revista (São Paulo), Educa33o Matemática Em Revista-rs, Educa33o Matemática Pesquisa, Jornal Internacional De Estudos Em Educa33o Matemática, Mathematical Problems In Engineering (Print), Pna - Revista De Investigaci3n En Didáctica De La Matemática, Redimat - Journal Of Research In Mathematics Education, Revemat : Revista Eletr3nica De Educa33o Matemática, Revista Latinoamericana De Investigacion En Matematica Educativa e Relime - Revista Latinoamericana De Investigaci3n En Matemática Educativa.</i></p>
B1	<p><i>Alambique (Barcelona), Biota Amazônia, Ciência e Ensino (Online), Ciencia, Docencia Y Tecnologia, Ciência Em Tela, Colabor@ (Curitiba), Cuadernos De Educaci3n Y Desarrollo, Eccos Revista Científica (Online), Educa - Revista Multidisciplinar Em Educa33o, Ensino De Ciéncias E Tecnologia Em Revista, Experiéncias Em Ensino De Ciéncias, Foundations Of Science (Print), Genética Na Escola, G3ndola, Enseñanza Y Aprendizaje De Las Ciencias, La Fisica Nella Scuola, Natural Science Education, Natureza e Conserva33o, Quimica Nova Na Escola, Revista Brasileira De Ensino De Bioquímica E Biologia Molecular, Revista Brasileira De Ensino De Química, Revista Brasileira De História Da Ciência, Revista Ciencia E Tecnologia, Revista Ciéncias e Idéias, Revista De Biotecnologia e Ciência, Revista De Educaci3n En Biología, Revista De Enseñanza De La Física, Revista De Ensino De Bioquímica, Revista De La Facultad De Ciencia Y Tecnologia, Revista Eletr3nica Científica Ensino Interdisciplinar, Revista Eletr3nica Debates Em Educa33o Científica E Tecnológica, Revista Iberoamericana De, Ciencia Tecnologia Y Sociedad (En Línea), Science Education International (Online), Science In School, Scientiae Studia, Scientometrics (Online), Tear - Revista De Educa33o, Ciência E Tecnologia, Themes In Science And Technology Education, Boletim Gepem (Online), Boletim Online De Educa33o Matemática, Educa33o E Matemática: Revista Da Associa33o De Professores De Matemática, Em Teia - Revista De</i></p>

Classificação	Periódicos
	<i>Educação Matemática E Tecnológica Iberoamericana, Perspectivas Da Educação Matemática, Revista Brasileira De História Da Matemática, Revista Paranaense De Educação Matemática e Tendências Em Matemática Aplicada E Computacional</i>

Quadro 2 - Número de artigos por periódico.

Classificação	Periódico	Nº de artigos
A1	<i>Enseñanza De Las Ciencias</i>	6
	<i>International Journal Of Science Education</i>	3
	<i>Journal Of Science Education And Technology</i>	1
	<i>Bolema</i>	7
	<i>Educational Studies In Mathematics</i>	7
	<i>ZDM - Mathematics Education</i>	5
A2	<i>Investigações Em Ensino De Ciências (Online)</i>	1
	<i>Revista De Educação, Ciências E Matemática</i>	1
	<i>Revista Electrónica De Investigación En Educación En Ciencias (En Línea)</i>	10
	<i>Zetetiké (On Line)</i>	1
	<i>Amazônia - Revista De Educação Em Ciências E Matemáticas (Online)</i>	8
	<i>Educação Matemática Em Revista-rs</i>	2
	<i>Educação Matemática Pesquisa</i>	11
	<i>Jornal Internacional De Estudos Em Educação Matemática</i>	1
	<i>Redimat - Journal Of Research In Mathematics Education</i>	3
	<i>Revemat - Revista Eletrônica De Educação Matemática</i>	5
	<i>Relime - Revista Latinoamericana De Investigación En Matemática Educativa</i>	9
B1	<i>Cuadernos De Educación Y Desarrollo</i>	1
	<i>Revista De Educación En Biología</i>	1
	<i>Revista De Enseñanza De La Física</i>	1
	<i>Em Teia - Revista De Educação Matemática E Tecnológica Iberoamericana</i>	2
	<i>Perspectivas Da Educação Matemática</i>	10
	<i>Revista Paranaense De Educação Matemática</i>	1
Total		97

2.2.2 *Qual o perfil da produção acadêmica a respeito da Teoria Antropológica do Didático nos principais periódicos do Ensino de Ciências e Matemática?*

Para delinear o perfil da produção acadêmica, apresentamos as classificações dos artigos quanto ao seu país, disciplina, natureza, nível de ensino e tema central.

A. País dos trabalhos: Os 97 artigos analisados expõem trabalhos em 17 países diferentes. A Figura 2 mostra a distribuição das publicações por países nos quais o trabalho foi conduzido. Naturalmente, o escopo adotado (artigos Qualis A1, A2 e B1 da área de ensino da CAPES) é limitado e influencia o resultado. Entretanto, consideramos tal análise pertinente, pois possibilitou identificarmos grupos de pesquisa com a TAD em diferentes países e suas colaborações internacionais (Figura 3).

No Brasil são 39 artigos, seguido da Espanha (N = 20), Argentina (N = 15), Dinamarca (N = 6), França (N = 5) e os demais. O destaque de pesquisas brasileiras se deve, em parte, ao escopo escolhido. No entanto, se avaliarmos as relações entre países na Figura 3, é possível notar que a Espanha centraliza grande parte das pesquisas a respeito da TAD, as quais são lideradas por pesquisadores como Josep Gascón, Marianna Bosch, Berta Barquero e outros que colaboram diretamente com o Yves Chevallard.

B. Disciplina: Os artigos foram separados por disciplina (Figura 4). A grande maioria dos trabalhos (N = 80, ~80%) aborda a Matemática como única disciplina. Ademais, a Matemática aparece em conjunto com a Física (N = 2), a Química (N = 1), a Biologia (N = 1) e as Ciências em geral (N = 2). Apenas quatro trabalhos enfatizam a Física e quatro a Biologia. A proeminência de trabalhos que tratam da Matemática reflete a origem da Teoria Antropológica do Didático no campo da didática Matemática. A baixa quantidade de trabalhos nas outras áreas indica uma formação ainda muito incipiente da didática das Ciências, em especial ao uso da TAD na área.

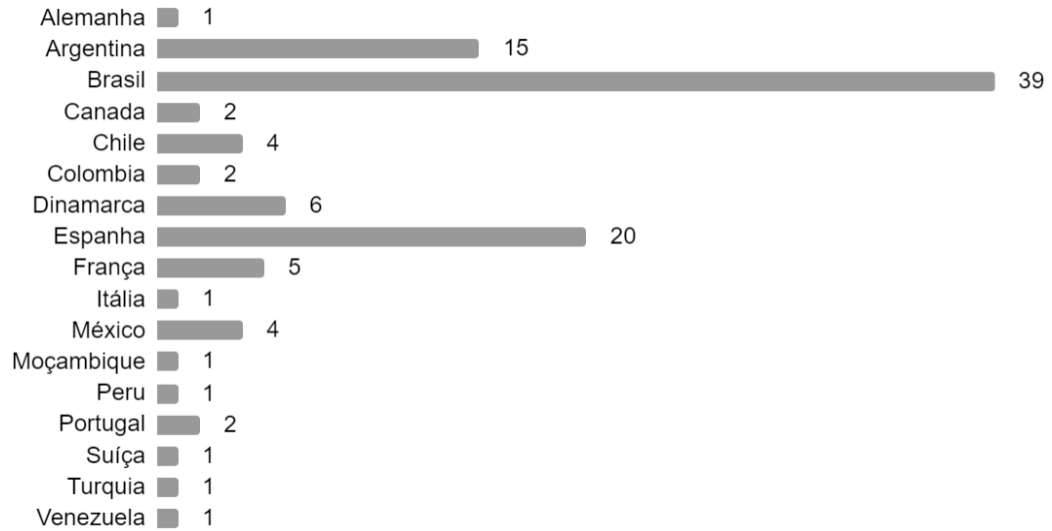


Figura 2 - Distribuição dos artigos por países nos quais os trabalhos foram conduzidos. Alguns artigos são oriundos de colaboração entre dois países. Nesses casos, o artigo foi computado uma vez para cada país.

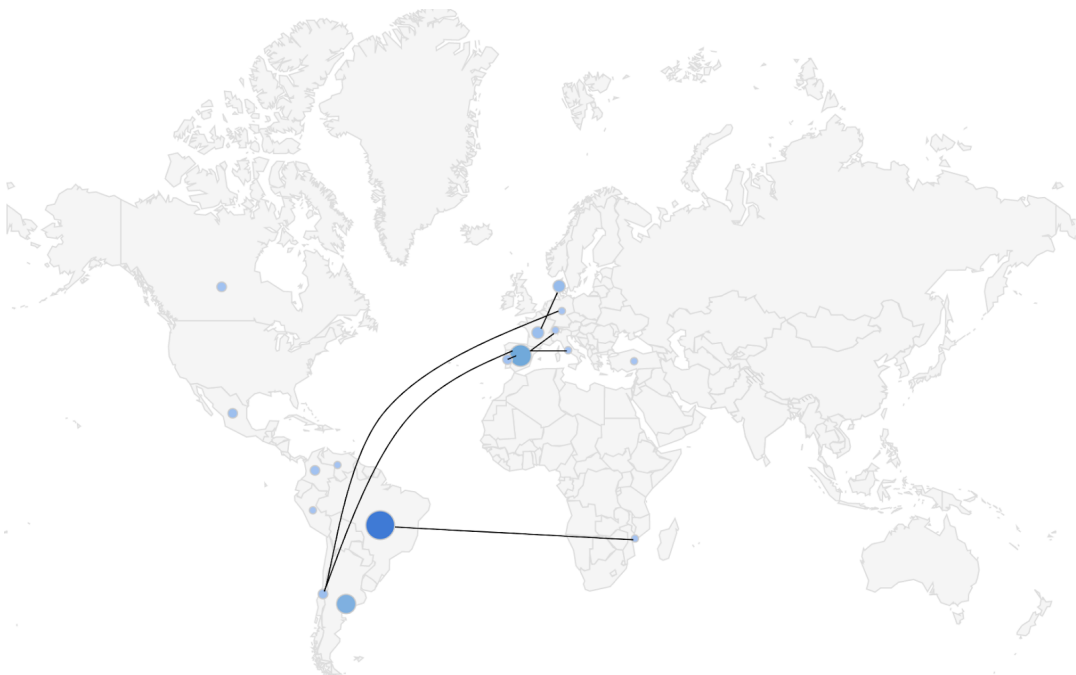


Figura 3 - Colaborações internacionais nas pesquisas com a TAD. A tonalidade de azul e o tamanho do círculo indicam a quantidade de artigos, sendo que azul fraco e círculos menores indicam os países com menos publicações. As linhas pretas representam as colaborações entre países.

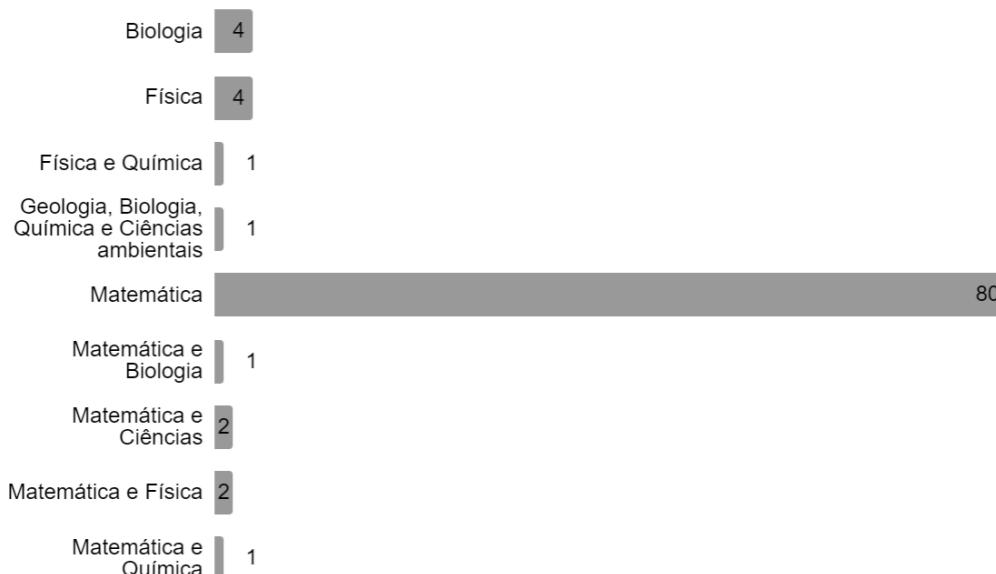


Figura 4 - Distribuição dos artigos por disciplina.

C. Natureza dos trabalhos: Os artigos foram classificados em: i) pesquisa (contém metodologia de pesquisa e análise de resultados empírico e/ou teórico); ii) aplicação (inclui propostas aplicadas sem as especificidades e rigor de uma pesquisa); iii) reflexão (abrange reflexões de cunho teórico a respeito da TAD); iv) apresentação (apresenta elementos da TAD) e v) proposta (contém proposta a partir de elementos da TAD). Como exposto na Figura 5, a maioria dos trabalhos foram classificados como pesquisa (N = 64), seguido dos artigos de reflexão (N = 16), proposta (N = 12), aplicação (N = 3) e apresentação (N = 2). No Quadro 3 são apresentados, juntamente com a categorização quanto ao nível de ensino, os resultados acerca da natureza dos trabalhos analisados.

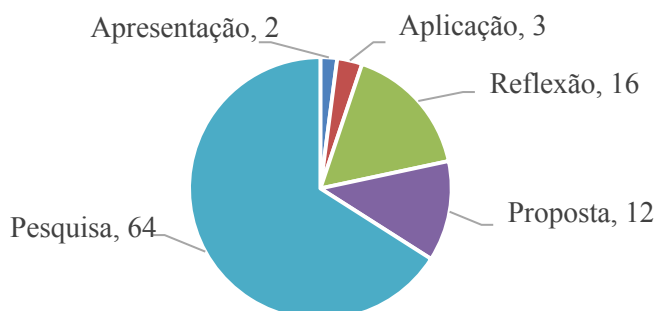


Figura 5 - Distribuição dos artigos quanto à sua natureza (N = 97).

D. Nível de ensino: Os artigos foram categorizados quanto ao nível de ensino (Figura 6). Há uma boa distribuição entre os níveis de Ensino Fundamental (EF) (N = 26), Ensino Médio (EM) (N = 24) e Ensino Superior (ES) (N = 23). Alguns trabalhos abarcam mais de um nível de ensino, como, por exemplo, Ensino Médio e Ensino Superior (N = 3) e Ensino Médio, Superior e Pós-Graduação (PG) (N = 1). Tal constatação indica a possibilidade do uso da TAD para estabelecer comparações acerca de uma Organização Praxeológica em diferentes níveis de ensino. Além disso, destacam-se alguns trabalhos envolvendo a Educação Não Formal (ENF) (N = 3) na didática de museus de Ciências e um abrangendo Educação de Jovens e Adultos (EJA) (N = 3) na didática de museus de Ciências e um abrangendo Educação de Jovens e Adultos (EJA).

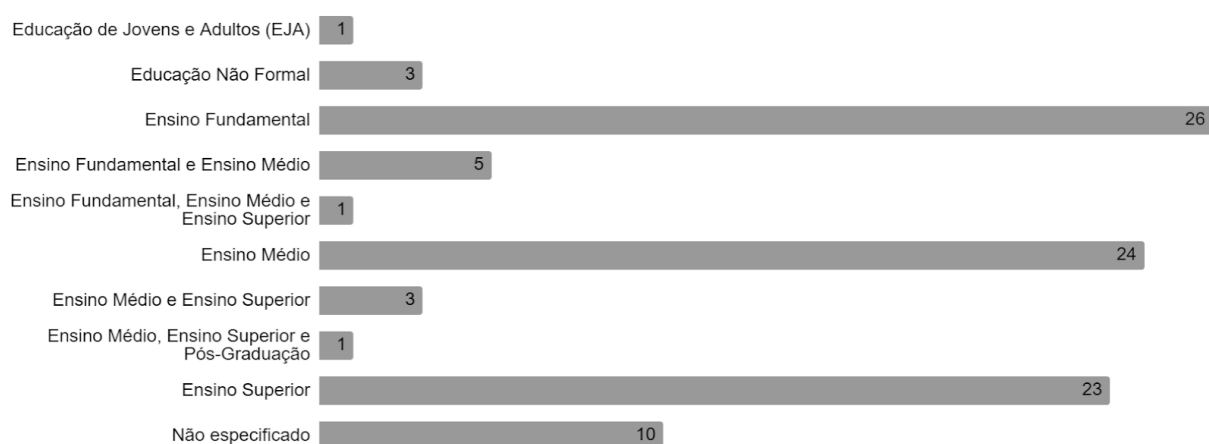


Figura 6 - Distribuição dos artigos quanto ao nível de ensino.

Quadro 3 - Classificação dos trabalhos quanto à sua natureza e nível de ensino.

Natureza	Nível de Ensino	Artigos
Pesquisa	ENF	Achiam, 2011; Achiam, 2013; Achiam, Simony e Lindow, 2016
	EJA	Carvalho e Bellemain, 2015
	EF	Barbosa e Lima, 2014; Barbosa e Lima, 2016; Barbosa e Lins, 2013; Gellert, Barbé e Espinoza, 2013; Gonçalves e Bittar, 2017; Machado e Weckerlin, 2017; Mendes, 2015; Mendes, 2017a; Mendes, 2017b; Munzón, Bosch e Gascón, 2015; Oliveira e Bittar, 2017; Oliveira Júnior e Anjos, 2017; Ordoñez, 2013; Pereira, Silva e Nunes, 2017; Rasmussem, 2016; Rossini, 2007; Ruiz-Higueras e García, 2011; Santos e Santos, 2015; Santos, Pereira e Nunes, 2017; Silva, Nunes e Guerra, 2016
	EF e EM	Dorier e García, 2013; Rodríguez e Parraguez, 2014
	EM	Barbé, Espinoza e Gascón, 2005; Barbé, Espinoza e Gellert, 2017; Barquero; Bosch e Gascón, 2013; Corica e Otero, 2007; Días e Mateus, 2015; Farias, Carvalho e Souza, 2014; Llanos, Otero e Bilbao, 2011; Llanos e Otero, 2015; Nagamine et al., 2011; Rodríguez, Bosch e Gascón, 2008; Santos e Freitas,

Natureza	Nível de Ensino	Artigos
		2015; Silva, Henriques e Serôdio, 2017; Solares e Kieran, 2013; Vargas-Alejo e Guzmán-Hernández, 2012; Zanardi; Kneubil e Pereira, 2013
	EM e ES	Lucas et al., 2014
	EM, ES e PG	Saglam-Arslam, 2010
	ES	Barquero, Bosch e Gascón, 2011; Barquero, Bosch e Gascón, 2014; Bergé, 2006; Bergé, 2008; Chavez e Vásquez, 2014; Corica, 2000; Corica e Otero, 2009; Corica e Otero, 2016; Cunha e Pinto, 2014; Dias e Mateus, 2017; Guerra e Hernández, 2014; Hardy, 2009; Matos et al., 2017; Parra e Otero, 2007; Parra e Otero, 2009; Regner e Rodríguez, 2016; Santos e Almouloud, 2014; Trigueros e Marínez-Planell, 2015; Verónica, Otero e Elichiribehety, 2006; Yamazaki, Angotti e Delizoicov, 2017
	Não especificado	Bosch, Gascón e Trigueros, 2016
Reflexão	EF	Machado, 2014; Sales e Felice, 2014
	EF e EM	Guerra e Silva, 2009
	EM	Acuña, 2011; Britto, Andrade e Guerra, 2016; Delgado, Casabó e Gascón, 2013; Otero, Fanaro e Llanos, 2013; Santos e Freitas, 2017
	Não especificado	Almouloud e Silva, 2012; Artigue, 2016; Artigue e Blomhoj, 2013; Bittar, Freitas e Pais, 2014; Comiti, 2014; D'amore e Godino, 2007; Godino et al., 2006; Otero, 2010
Proposta	EF	Delgado e García, 2015; García et al., 2006; Gascón, 2011; Pérez et al., 2017
	EF e EM	Mesquita e Guerra, 2017
	EF, EM e ES	Winsløw, Matheron e Mercier, 2013
	EM	Lucas, Gascón e Bon, 2017; Olarría et al., 2013; Pereira e Nunes, 2017
	EM e ES	Bon, Gascón e Lucas, 2014; Rodrigues, Menezes e Santos, 2017;
	ES	Parra, Otero e Fanaro, 2009
Aplicação	EM	Gazzola et al., 2015
	ES	Barquero, 2015; Souza e Henriques, 2014
Apresentação	EF e EM	Santos e Menezes, 2015
	Não especificado	Almouloud, 2017

E. Tema central: Os artigos foram categorizados a partir dos seus temas centrais. Identificamos, para os artigos de pesquisa, 10 temas, a saber: i) Análise da prática didática (N = 8); ii) Análise de atividade didática (N = 6); iii) Análise de livro didático (N = 14); iv) Condições e restrições para a implementação de uma Organização Praxeológica (OP) (N = 6); v) Currículo (N = 4); vi) Diálogo e/ou comparação entre teorias (N = 5); vii) Formação docente

(N = 6); viii) Percursos (ou Atividades) de Estudo e Pesquisa⁹ (N = 4); ix) Resolução de problemas (N = 3); x) Transposição praxeológica (N = 5). Três artigos foram classificados como “Outros”, pois não deram ênfase às discussões com a TAD - ou a utilizaram superficialmente - e, por isso, não se encaixaram nas categorias. O Quadro 4 expõe a categorização dos 64 artigos de pesquisa e uma descrição de cada tema central. É possível notar uma proeminência de trabalhos voltados à análise de material didático, principalmente de livro-texto, e uma ampla gama de aplicações da TAD.

Quadro 4 - Categorização dos artigos de pesquisa a partir do tema central.

Tema central	Descrição do tema	Artigos
Análise da prática didática	Análise do saber ensinado , na prática de sala de aula, em determinada instituição.	Barbé, Espinoza e Gascón, 2005; Bergé, 2006; Bergé, 2008; Corica e Otero, 2009; Farias, Carvalho e Souza, 2014; Ruiz-Higueras e García, 2011; Santos e Freitas, 2015; Verónica, Otero e Elichiribehety, 2006
Análise de atividade didática	Análise do saber a ser ensinado em determinada instituição em nível da escola (ou universidade).	Achiam, Simony e Lindow, 2016; Chavez e Vásquez, 2014; Cunha e Pinto, 2014; Machado e Weckerlin, 2017; Nagamine et al., 2011; Ordoñez, 2013
Análise de livro didático	Análise do saber a ser ensinado não apenas em nível de escola (ou universidade), mas em nível de sociedade (estado, região).	Barbé, Espinoza e Gellert, 2017; Barbosa e Lima, 2014; Barbosa e Lins, 2013; Dias e Mateus, 2017; Gonçalves e Bittar, 2017; Guerra e Hernández, 2014; Matos et al., 2017; Mendes, 2015; Mendes, 2017; Santos e Almouloud, 2014; Santos e Santos, 2015; Silva, Henriques e Seródio, 2017; Yamazaki, Angotti e Delizoicov, 2017; Zanardi; Kneubil e Pereira, 2013
Condições e restrições para a implementação de uma OP	Avaliação das razões , de origem didática, que facilitam ou dificultam que uma OP seja instaurada em determinada instituição.	Barquero, Bosch e Gascón, 2014; Barquero; Bosch e Gascón, 2013; Dorier e García, 2013; Lucas et al., 2014; Munzón, Bosch e Gascón, 2015; Parra e Otero, 2009
Currículo	Detalhamento das escolhas curriculares feitas por uma instituição em documentos oficiais - normalmente expostas em níveis superiores da escala de codeterminação.	Barbosa e Lima, 2016; Carvalho e Bellemain, 2015; Dias e Mateus, 2015; Oliveira Júnior e Anjos, 2017

⁹ As Atividades de Estudo e Pesquisa e os Percursos de Estudo e Pesquisa são dispositivos didáticos, criados a partir da Teoria Antropológica do Didático. Eles partem de uma questão geratriz que, por sua vez, origina diversas outras questões derivadas que recuperam a razão de ser da organização do conteúdo em estudo. Por meio de percursos investigativos em busca de soluções a tais questões, os saberes são construídos. Segundo Barquero, Bosch e Gascón (2011) a lógica pergunta-resposta pretende recuperar a relação responsável pela gênese do conhecimento científico.

Tema central	Descrição do tema	Artigos
Diálogo e/ou comparação entre teorias	Estabelecimento de relações entre teorias ou comparações entre conceitos com o intuito de enriquecer a discussão do campo da didática. Em um dos trabalhos, a ideia de OP é utilizada como ferramenta analítica para o estabelecimento de diálogos entre teorias, ou entre Praxeologias de Investigação .	Bosch, Gascón e Trigueros, 2016; Gellert, Barbé e Espinoza, 2013; Hardy, 2009; Rodríguez, Bosch e Gascón, 2008; Trigueros e Marínez-Planell, 2015
Formação docente	Discussões acerca da formação de professores e, principalmente, sua relação com o saber.	Corica e Otero, 2016; Oliveira e Bittar, 2017; Pereira, Silva e Nunes, 2017; Rasmussem, 2016; Rossini, 2007; Santos, Pereira e Nunes, 2017
Percursos (ou Atividades) de Estudo e Pesquisa	Análises e avaliações a respeito dos desdobramentos práticos (métodos de ensino) da TAD, como os Percursos de Estudo e Pesquisa (PEP) e as Atividades de Estudo e Pesquisa (AEP).	Barquero, Bosch e Gascón, 2011; Llanos e Otero, 2015; Llanos, Otero e Bilbao, 2011; Regner e Rodríguez, 2016
Resolução de problemas	Utilização de elementos da TAD para a análise e avaliação de resolução de problemas.	Rodríguez e Parraguez, 2014; Solares e Kieran, 2013; Vargas-Alejo e Guzmán-Hernández, 2012
Transposição praxeológica	Análise das transformações do saber ao transitar entre diferentes instituições cujos contextos epistemológicos diferem. Estão presentes nessa categoria artigos voltados à didática museal.	Achiam, 2011; Achiam, 2013; Mendes, 2017; Parra e Otero, 2007; Silva, Nunes e Guerra, 2016
Outros	Discussões sem ênfase na TAD ou com o uso superficial de elementos da teoria.	Corica, 2000; Corica e Otero, 2007; Saglam-Arslam, 2010

Os 16 artigos de reflexão foram classificados da seguinte maneira: i) Diálogo e/ou comparação entre teorias (N = 4); ii) Formação docente (N = 5); iii) Percursos de Estudo e Pesquisa (PEP) e métodos de ensino (N = 3). Assim como nos artigos de pesquisa, três dos artigos de reflexão foram categorizados como “Outros”. As descrições dos temas são as mesmas destacadas pelos artigos de pesquisa (Quadro 4).

Para os artigos de proposta (N = 12), emergiram quatro categorias: i) Formação docente (N = 2); ii) Proposta de ferramenta analítica (N = 3); iii) Proposta de Organização Praxeológica (OP) ou Modelo Epistemológico de Referência (MER) (N = 5); iv) Proposta de PEP (N = 2). Os trabalhos categorizados como aplicação foram classificados em: i) Aplicação de atividade didática (N = 1); e ii) Aplicação de PEP. Por fim, dois trabalhos foram classificados como Apresentação da TAD, cujo principal intuito é divulgar a teoria. No Quadro 5 são apresentados os artigos que não são de pesquisa e os temas correspondentes.

Quadro 5 - Categorização dos artigos de reflexão, proposta, aplicação e apresentação a partir do tema central.

Natureza	Tema central	Artigos
Reflexão	Diálogo e/ou comparação entre teorias	Godino et al., 2006; Otero, 2010
	Formação docente	Acuña, 2011; Comiti, 2014; Delgado, Casabó e Gascón, 2013; Machado, 2014; Santos e Freitas, 2017
	Outro	Bittar, Freitas e Pais, 2014; Guerra e Silva, 2009; Sales e Felice, 2014
Proposta	Formação docente	Olarria et al., 2013; Delgado e García, 2015;
	Proposta de ferramenta analítica	Gascón, 2011; Winsløw, Matheron e Mercier, 2013; Mesquita e Guerra, 2017
	Proposta de OP ou MER	Parra, Otero e Fanaro, 2009; Bon, Gascón e Lucas, 2014; Pereira e Nunes, 2017; Pérez et al., 2017; Lucas, Gascón e Bon, 2017
	Proposta de PEP	García, Gascón, Higuera e Bosch, 2006; Rodrigues, Menezes e Santos, 2017
Aplicação	Aplicação de atividade didática	Souza e Henriques, 2014
	Aplicação de PEP	Barquero, 2015; Gazzola et al., 2015
Apresentação	Apresentação da TAD	Almouloud, 2017; Santos e Menezes, 2015

Em um breve levantamento a respeito dos trabalhos com a Teoria da Transposição Didática (TTD) e com a TAD, Marandino et al. (2016) apontaram uma ênfase em estudos que analisam materiais didáticos e/ou formação de professores. O levantamento desses autores é coerente com o da presente revisão que apontou que 21,9% dos trabalhos de pesquisa versam sobre a análise de livro-texto e 9,4% a respeito da análise de atividades didáticas. Nesse sentido, a análise de materiais didáticos compõe boa parte da produção sobre a TAD no ensino de Ciências e Matemática. O tema “formação docente” aparece em menor número (~9,4% dos artigos de pesquisa), mas se faz presente também nos trabalhos de reflexão (~31,3% dos artigos dessa natureza) e de proposta (~16,7% dos artigos dessa natureza).

Também em ressonância com a nossa análise, Marandino et al. (Ibid., p. 82-83) destacam o uso da TAD e da TTD “para a análise de atividades específicas em sala de aula, museus, sequências didáticas e em observações de aula com recortes nos níveis de ensino fundamental, médio e ensino superior.”. Reforçamos o que foi dito pelos autores e acrescentamos a aplicação da TAD em temas como: Condições e restrições para a implementação de uma Organização Praxeológica; Currículo; Diálogo e/ou comparação entre teorias; Percursos (ou Atividades) de Estudo e Pesquisa; Resolução de problemas; e Transposição praxeológica.

O perfil acadêmico dos trabalhos com a TAD se configura com: um elevado número de publicações em idioma hispânico (Espanha, Argentina, Chile, México etc.). Inclusive identificamos um grupo de pesquisas centralizado na Espanha com colaborações internacionais. A grande maioria dos trabalhos ainda está situada na Educação Matemática, campo de origem da teoria. As publicações são em sua maioria de natureza investigativa abarcando todos os níveis de ensino e as relações do saber em diferentes níveis. Além disso, pesquisas com a TAD estão presentes, inclusive em ambientes de educação não formal em museus de Ciências.

2.2.3 Como se configura o perfil metodológico das pesquisas com a TAD?

Para delinear o perfil metodológico das pesquisas com a TAD, apresentamos as classificações dos artigos de pesquisa quanto à sua metodologia, fontes de dados e ferramentas analíticas.

A. Metodologia de pesquisa: Em relação aos 64 artigos de pesquisa, há um número expressivamente maior de pesquisas qualitativas (N = 58) em comparação às quantitativas (N = 3) e mistas (N = 3). Destaca-se que dentre as investigações quantitativas, todas são de caráter descritivo. Dentre as pesquisas qualitativas e mistas, poucas explicitam a metodologia de pesquisa (N = 17). Na maioria dos casos, principalmente quando não há pesquisa empírica (e.g. análise de livro didático, currículo etc.), a própria TAD é utilizada como referencial teórico e metodológico. As pesquisas qualitativas empíricas variam entre abordagens de estudo de caso (e.g. Parra e Otero, 2009; Regner e Rodríguez, 2016), etnografia (e.g. Santos e Freitas, 2015; Silva, Nunes e Guerra, 2016) e observação naturalista (Barquero, Bosch e Gascón, 2014). Apenas uma pesquisa aponta a pesquisa-ação como metodologia (Rossini, 2007). Isto é, na maioria dos trabalhos empíricos, o pesquisador atua como observador não participante.

B. Fontes de dados: Os trabalhos empíricos utilizam múltiplas fontes de evidências, as quais variam entre combinações de: registros de observações (N = 22); gravações em áudio e/ou vídeo (N = 18); materiais dos estudantes (N = 19); entrevistas (N = 10); materiais do professor(a) (N = 7); atividades propostas aos alunos (N = 7); e questionários (N = 7). Nos demais trabalhos,

de natureza teórica, as principais fontes, geralmente únicas, são: livro didático (N = 16); material didático (N = 5); e documentos oficiais (N = 7).

C. Ferramenta analítica: As ferramentas analíticas, oriundas da TAD, presentes nos artigos de pesquisa revisados são: Organização Praxeológica (OP) (N = 41); Mapa praxeológico (N = 1); TTT (Tarefa, Técnica, Teoria); Momentos Didáticos (MD) (N = 11); Funções didáticas (Cronogênese, Topogênese e Mesogênese) (N = 2); Diagrama de árvore (N = 1); Heurística das três dimensões do problema didático (N = 1); Níveis de codeterminação (N = 5). Nem todos os artigos apresentam ferramenta analítica explicitada. No Quadro 6 é apresentada a categorização dos artigos a partir do tema central e ferramenta analítica.

Quadro 6 - Categorização dos artigos a partir do tema central e da ferramenta analítica utilizada.

Tema central	Ferramenta analítica	Artigos
Análise da prática didática	Organização Praxeológica	Bergé, 2006; Bergé, 2008; Corica e Otero, 2009; Farias, Carvalho e Souza, 2014; Ruiz-Higueras e García, 2011; Verónica, Otero e Elichiribehety, 2006
	Funções Didáticas	Ruiz-Higueras e García, 2011
	Momentos Didáticos	Ruiz-Higueras e García, 2011; Santos e Freitas, 2015
Análise de atividade didática	Organização Praxeológica	Achiam, Simony e Lindow, 2016; Chavez e Vásquez, 2014; Cunha e Pinto, 2014; Machado e Weckerlin, 2017; Nagamine et al., 2011; Ordoñez, 2013
Análise de livro didático	Organização Praxeológica	Barbé, Espinoza e Gellert, 2017; Barbosa e Lima, 2014; Barbosa e Lins, 2013; Dias e Mateus, 2017; Gonçalves e Bittar, 2017; Guerra e Hernández, 2014; Matos et al., 2017; Mendes, 2015; Mendes, 2017; Santos e Almouloud, 2014; Santos e Santos, 2015; Silva, Henriques e Serôdio, 2017; Yamazaki, Angotti e Delizoicov, 2017; Zanardi; Kneubil e Pereira, 2013
	Momentos Didáticos	Gonçalves e Bittar, 2017; Santos e Santos, 2015
	Mapa Praxeológico	Barbé, Espinoza e Gellert, 2017
Condições e restrições para a implementação de uma OP	Níveis de codeterminação	Barquero, Bosch e Gascón, 2014; Dorier e García, 2013; Munzón, Bosch e Gascón, 2015
	Heurística das três dimensões de um problema didático	Barquero; Bosch e Gascón, 2013
	Momentos Didáticos	Parra e Otero, 2009
Currículo	Organização Praxeológica	Barbosa e Lima, 2016
	Níveis de codeterminação	Carvalho e Bellemain, 2015
	Organização Praxeológica	Bosch, Gascón e Trigueros, 2016; Hardy, 2009

Tema central	Ferramenta analítica	Artigos
Diálogo e/ou comparação entre teorias	Momentos Didáticos	Trigueros e Marínez-Planell, 2015
Formação docente	Organização Praxeológica	Corica e Otero, 2016; Oliveira e Bittar, 2017; Pereira, Silva e Nunes, 2017; Rossini, 2007
	Diagrama de árvore	Rasmussem, 2016
	Momentos Didáticos	Rossini, 2007
Percurso (ou Atividades) de Estudo e Pesquisa	Organização Praxeológica	Llanos, Otero e Bilbao, 2011; Regner e Rodríguez, 2016
	Funções Didáticas	Llanos e Otero, 2015
	Momentos Didáticos	Barquero, Bosch e Gascón, 2011
	Níveis de codeterminação	Barquero, Bosch e Gascón, 2011
Resolução de problemas	Organização Praxeológica	Rodríguez e Parraguez, 2014; Solares e Kieran, 2013
	TTT (Tarefa, Técnica, Teoria)	Vargas-Alejo e Guzmán-Hernández, 2012
Transposição praxeológica	Organização Praxeológica	Achiam, 2011; Achiam, 2013; Mendes, 2017; Parra e Otero, 2007; Silva, Nunes e Guerra, 2016
	Momentos Didáticos	Achiam, 2013

Seja na análise de materiais didáticos, na prática ou no diálogo entre teorias científicas, as OPs assumem papel central nas pesquisas com a TAD. A utilização da OP tem potencial de explicitar problemas de origem didática. Yamazaki, Angotti e Delizoicov (2017), por exemplo, analisaram a estrutura de um livro didático de Física do ciclo básico universitário amplamente utilizado no Brasil (Fundamentos de Física, do autor Halliday, separado em quatro volumes) para correlacioná-la com as concepções e ações docentes divulgadas a respeito do ensino de Física, como a ideia de que a Física é um conglomerado de equações. Mais especificamente, os autores (Ibid., p. 8) buscaram responder a seguinte questão de pesquisa: “a forma com que a Física é apresentada nos manuais tem alguma correlação com as concepções alternativas dos professores encontradas na literatura da área? É possível que o manual de Física seja um criador ou reforçador destas concepções?”. Para responder a essa questão, os autores categorizaram partes do texto nos elementos de uma OP (Tipos de tarefa, técnicas, tecnologias e teorias). Tal análise levou os autores ao resultado de que há uma congruência entre a apresentação dos conteúdos no livro analisado e a noções espontâneas dos professores.

Outro exemplo de aplicação das OPs é no diálogo entre teorias. Bosch, Gascón e Trigueros (2016) estabelecem um diálogo entre a teoria APOS (*action-process-object-schema*, em português, ação-processo-objeto-esquema) e a TAD. Para isso, ambas teorias foram

estruturadas como praxeologias de investigação. A partir disso, foram estabelecidas três modalidades de diálogo que tomam como ponto de partida: os tipos de problemas, os elementos teóricos e o componente metodológico (incluindo as técnicas e tecnologias) associadas a cada teoria.

Barbé, Espinoza e Gellert (2017) utilizaram os mapas praxeológicos (Figura 7), que têm como função explicitar as relações entre elementos de uma organização praxeológica. No mapa, as tarefas são indicadas por retângulos, cujas áreas indicam o destaque dado à tarefa no objeto de análise (aula, livro etc.). A intersecção entre os retângulos indica que as tarefas compartilham alguns aspectos técnicos em sua resolução. As linhas curvas pontilhadas representam os discursos tecnológicos que fundamentam as técnicas. Se a curva da tecnologia não engloba uma técnica por completo, significa que a sua resolução requer outros fundamentos que não se encontram na tecnologia representada. Barbé, Espinoza e Gellert (Ibid.) comparam um mapa de uma organização praxeológica de referência com a exposta em um livro-texto e constataram que a OP presente no livro, ao contrário da de referência, possui as tarefas e tecnologias fortemente desarticuladas entre si.

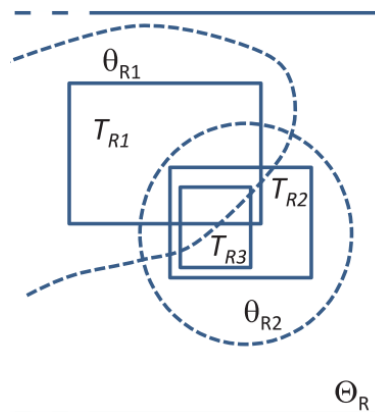


Figura 7 - Exemplo de mapa praxeológico utilizado para estabelecer relações entre elementos de uma OP. (Fonte: Barbé, Espinoza e Gellert, 2017)

Outra ferramenta analítica relacionada às OPs é a TTT (Tarefa, Técnica, Teoria), proposta por Artigue (2002), e utilizada por Vargas-Alejo e Guzmán-Hernández (2012) para analisar resoluções de problemas. Nessa ferramenta, a teoria equivale ao que Chevallard (1999) chama de teoria e tecnologia. A autora ressalta à ideia de técnica, proposta por Chevallard, o seu valor pragmático e epistêmico. O valor pragmático refere-se ao potencial produtivo da técnica, já seu valor epistêmico auxilia a entender os objetos do conteúdo mobilizados na

resolução de problemas. A partir do uso dessa ferramenta, Vargas-Alejo e Guzmán-Hernández (2012) observaram que o uso, por parte de estudantes de primeiro semestre de um curso de Matemática, de planilhas eletrônicas na resolução de problemas auxilia no desenvolvimento de um raciocínio algébrico relacionado à generalização e expressão de generalidades, utilizando linguagens simbólicas cada vez mais sofisticadas.

Segundo Chevallard (1999), não importa o caminho percorrido em um estudo, algumas situações estão sempre presentes. Essas situações são os Momentos Didáticos (MD) que constituem o aspecto funcional da TAD e são utilizados como ferramenta analítica para o estudo, principalmente, do saber ensinado na prática didática (Ruiz-Higueras e García, 2011; Santos e Freitas, 2015) e do saber a ser ensinado em livros-texto (Gonçalves e Bittar, 2017; Santos e Santos, 2015). Os MD não necessariamente ocorrem sucessivamente na ordem apresentada a seguir, eles podem se repetir e ocorrer simultaneamente.

Momento do Primeiro Encontro: representa o primeiro contato com determinada organização. O conhecimento de um tipo de tarefa T_i é uma possibilidade de primeiro encontro.

Momento Exploratório: consiste em explorar o tipo de tarefa T_i , buscando a elaboração de técnicas τ_i .

Momento da Constituição do Âmbito Tecnológico-Teórico: representa o estabelecimento dos discursos que justificam/descrevem/explicam as técnicas usadas para lidar com os tipos de problema (tecnologias) e as próprias tecnologias (teorias). Esse momento didático está interconectado com os outros cinco.

Momento de Trabalho da Técnica: nesse momento, busca-se melhorar a técnica expandindo o conhecimento que se tem sobre ela e tornando-a mais eficaz e confiável, o que, geralmente, implica em ajustes nas tecnologias.

Momento da Institucionalização: é o momento no qual a organização praxeológica (Física, por exemplo) é formalmente estabelecida. Os blocos prático-técnico e tecnológico-teórico são expostos de maneira lógica, em acordo com a instituição que promove a OP.

Momento de Avaliação: em articulação com o momento de institucionalização, a avaliação é o momento de reflexão, no qual se analisa o que de fato foi aprendido e tem valor.

As funções didáticas apresentam-se como outra ferramenta possível que explicita aspectos funcionais da atividade didática, utilizada na análise da prática didática (Ruiz-Higueras e García, 2011), inclusive dos Percursos de Estudo e Pesquisa (Llanos e Otero, 2015). Tais funções são as seguintes:

Cronogênese: diz respeito ao domínio de tempo estabelecido em uma instituição para o estudo de uma organização praxeológica.

Topogênese: refere-se à distribuição das responsabilidades entre os agentes de uma sala de aula.

Mesogênese: indica como o meio didático é constituído e gerenciado.

Destacamos ainda que três artigos de proposta visam recomendar ferramentas analíticas para investigações com a TAD. A seguir descrevemos cada uma delas, sendo que duas - a heurística das três dimensões do problema didático e o diagrama de árvore - foram utilizadas em artigos classificados como pesquisa.

Mesquita e Guerra (2017) propõem um dispositivo teórico-metodológico capaz de evidenciar as modificações nas relações do professor com o saber. O dispositivo consiste em estabelecer um diálogo entre a ideia de Percursos de Estudo e Pesquisa (PEP), desenvolvida na TAD, e as ideias de transposição externa e interna da Teoria da Transposição Didática para desenvolver o que os autores chamam de Percurso de Formação Pessoal do Professor (PFPP). Tal percurso parte de uma pergunta didática, como, por exemplo: *O que ensinar sobre equações de Maxwell e como ensinar?* Assim, as buscas por respostas prontas em materiais didáticos e as transformações dessas respostas em função da relação do professor com essas obras e com sistemas auxiliares traça um percurso até uma resposta que o professor toma como admissível, que atenda as suas intenções didáticas, as da escola, programas oficiais etc.

Também baseados nos PEP, Winsløw, Matheron e Mercier (2013) propõem um diagrama representacional (diagrama de árvore) baseado na ideia de partir de questões, as quais são investigadas a fim de construir uma resposta plausível. Os diagramas possibilitam a criação/desenvolvimento e análise de uma atividade didática, principalmente de cunho investigativo. A Figura 8 é um exemplo de construção de tais diagramas, onde a letra Q (*Question*) representa as questões e a letra A (*Answer*), possíveis respostas. A partir de uma questão colocada pelo professor, novas questões derivadas são construídas pelos alunos e

professor, até chegar a uma questão cuja resposta pode ser investigada a partir de uma praxeologia específica. A partir desses diagramas é possível criar os percursos didáticos percorridos em sala de aula. Pode-se usar diversos códigos de cores para representar diferentes conteúdos e diferenciar as questões propostas pelo professor e as geradas pelos alunos (Hansen e Winsløw, 2011).

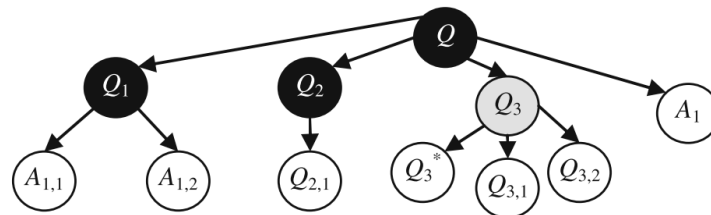


Figura 8 - Exemplo de diagrama PEP (ou diagrama de árvore) para criação e análise de atividades didáticas. (Fonte: Winsløw, Matheron e Mercier, 2013)

Gascón (2011) propõe um esquema heurístico que possibilita descrever o desenvolvimento de um problema didático. Nesse esquema, exposto em seguida, é possível estabelecer as condições e restrições que explicam o estado didático atual de determinada OP institucionalizada e também de uma nova organização, a fim de modificar o paradigma tradicional monumentalista.

$$\{[(P_0 \oplus P_1) \hookrightarrow P_2] \hookrightarrow P_3\} \hookrightarrow P_\delta$$

Nesse esquema, P_1 , P_2 e P_3 representam as três dimensões fundamentais de um problema didático: *epistemológica*, *econômica* e *ecológica*, respectivamente. P_0 (problema docente) consiste em uma formulação inicial de alguns tipos de problemas didáticos, a qual é realizada, utilizando as noções disponíveis na cultura escolar (e.g. noções de motivação, de aprendizagem, aquisição de um conceito, competência) (Gascón, 2011; Farras, Bosch e Gascón, 2013). O símbolo \oplus representa a incompletude de P_0 , apontando a necessidade de se explicitar a dimensão epistemológica. O símbolo \hookrightarrow significa inclusão. P_δ é denominado “problema didático” e pode ser considerado uma formulação que contém as três dimensões essenciais do problema, as quais descrevemos aqui:

Dimensão epistemológica (P_1): descrição/interpretação do que o didata (pesquisador) entende pelo o que é (ou como deve ser) o fenômeno que está sendo estudado (e.g. o ensino de Física ou de Matemática, os métodos de ensino).

Dimensão econômica (P_2): interpretação institucional acerca das atividades didáticas.

Dimensão ecológica (P_3): problematização em torno dos motivos pelos quais as relações entre a instituição e as atividades didáticas são como são e que condições são requeridas para modificá-las.

Nessa mesma linha de análise das condições e restrições para a institucionalização de uma organização praxeológica (dimensão ecológica de um problema didático), alguns artigos utilizam os níveis de codeterminação didática (Figura 9) propostos por Chevallard (2002), os quais levam em consideração a incidência mútua entre a organização do conteúdo específico (Matemática, Física) e a organização do sistema de ensino e aprendizagem em diferentes níveis. Essa ferramenta analítica possibilita situar o problema nos seguintes níveis: disciplina, pedagogia, escola (ou universidade), sociedade e civilização. Assim, o professor, ou o didata, é capaz de buscar uma solução específica e coerente com o contexto em que o problema aparece.

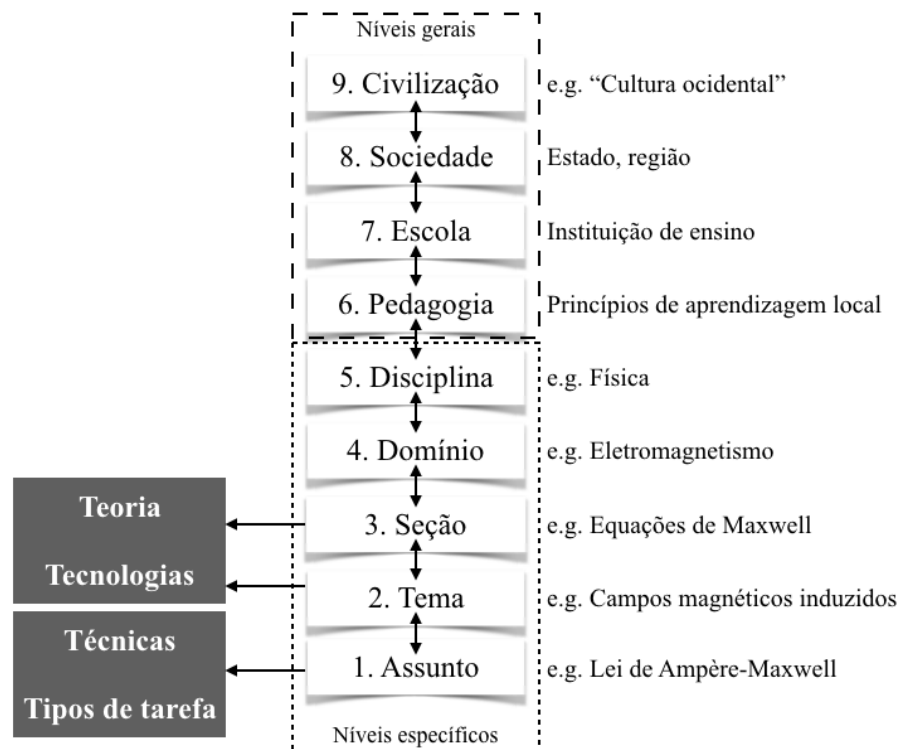


Figura 9 - Níveis de codeterminação didática (adaptado de Artigue e Winsløw, 2010; Barquero, Bosch e Gascón, 2014).

Os níveis mais gerais influenciam nos níveis mais específicos. Segundo Barquero, Bosch e Gascón (2014, p.88, tradução nossa), “muitas das restrições que surgem nos níveis específicos frequentemente podem ser explicadas como consequência de restrições genéricas”. Isto é, políticas públicas, documentos oficiais, ou até mesmo influências de poder, implicam diretamente na sala de aula. Entretanto, a consciência disso por meio dos níveis de codeterminação, em vez de paralisar o professor frente a impotência de atuação em escala macrossocial, indica a possibilidade de ação, mesmo que em escala reduzida, para estabelecer condições de modificação do *status quo* do sistema educacional.

O perfil metodológico dos trabalhos de pesquisa com a TAD se configura com uma abordagem prioritariamente qualitativa, com pesquisas empíricas do tipo estudo de caso e etnográfica, ou seja, de natureza fenomenológica. Nos trabalhos de análise de documentos e materiais didáticos a própria TAD é utilizada como referencial teórico e metodológico. As principais fontes de dados para os estudos empíricos são: registros de observações, gravações em áudio e vídeo, entrevistas etc. Esses trabalhos contam com múltiplas fontes de evidência para triangulação de dados. A principal ferramenta analítica, utilizada tanto em trabalhos empíricos quanto teóricos, é a Organização Praxeológica (OP). Entre as variações possíveis da OP estão: o TTT (Tarefa, Técnica, Teoria), para análise de resolução de problemas; e o mapa praxeológico, utilizado para relacionar os elementos de uma OP. Para a análise funcional da atividade didática, os trabalhos utilizam os Momentos Didáticos e as Funções Didáticas. Com o intuito de analisar as condições e as restrições para a institucionalização de um saber, as ferramentas são: a heurística para a formulação de um problema didático e os níveis de codeterminação didática.

2.2.4 Implicações para a pesquisa

Notamos que, apesar de haver um número expressivo de publicações brasileiras com a TAD, elas estão pouco articuladas com as pesquisas da Europa, em especial da Espanha. Tal constatação foi crucial para a decisão do periódico que submetemos o trabalho teórico apresentado no Capítulo 4. Buscando um possível futuro diálogo com pesquisadores internacionais, optamos por submeter o trabalho para a revista *Enseñanza de las Ciencias*. Tal

periódico, além de ser um dos poucos voltados ao ensino de Ciências, conta com publicações de pesquisadores com tradição e colaborações com Yves Chevallard.

A falta de investigações voltadas ao Ensino de Ciências destacadas pela revisão sugere a necessidade de maiores esforços para situar as pesquisas dentro de uma perspectiva da didática das ciências e, em específico, da Didática da Física. Todas as diferentes aplicações da TAD e ferramentas analíticas apresentadas podem contribuir para o desenvolvimento de pesquisas na área.

Os diferentes temas identificados na revisão da literatura indicaram possibilidades para a inserção da TAD nas pesquisas sobre adoção e difusão de inovações didáticas. As potencialidades da Organização Praxeológica – explorada no Capítulo 4 – para avaliar as especificidades dos métodos de ensino e, conseqüentemente, a sua transformação ao transitar interinstitucionalmente, foram vislumbradas nos trabalhos que tratam a respeito de transposições praxeológicas do saber. Além disso, a análise de livro didático e da prática de sala de aula, amplamente utilizada, indicaram as possibilidades de analisar livros e materiais de referência sobre os métodos de ensino, bem como a prática de quem os utiliza em diferentes contextos, para coletar informações que possibilitem a construção e análise minuciosa de organizações praxeológicas de métodos de ensino – tanto em sua concepção original, quanto em adaptações sofridas em sua institucionalização.

O tema central “condições e restrições para a implementação de uma OP” indicou a potencialidade da TAD para analisar as barreiras e condições para a adoção de uma inovação didática. Os níveis de codeterminação didática (ferramenta analítica) expõem diferentes níveis nos quais pode-se investigar e atuar para solucionar e entender melhor os problemas associados à difusão e adoção das inovações didáticas. Nos trabalhos analisados na revisão anterior, as barreiras e condições para a implementação de métodos ativos de ensino analisadas pelos autores estão situadas nos níveis da escola e pedagogia da escala de codeterminação. Isso indica a existência de todo um espectro que pode ser analisado e, conseqüentemente, contribuir para o entendimento dos processos de adoção e difusão, bem como para uma aproximação entre pesquisa e prática docente. Outras discussões são feitas no Capítulo 4, no qual situamos a TAD como referencial para o estudo de inovações didáticas.

No capítulo seguinte, apresentamos a Teoria Antropológica do Didático – referencial teórico que utilizamos para propor um enriquecimento teórico-metodológico para as pesquisas sobre inovações didáticas, lidando com as limitações da área aqui destacadas.

3 REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO

A fim de especificar a natureza das inovações didáticas e situá-las em sistemas didáticos institucionalizados, expomos, na Seção 3.1, a Teoria Antropológica do Didático (TAD), de Yves Chevallard, em especial a ideia de Organização Praxeológica, amplamente utilizada neste trabalho.

3.1 TEORIA ANTROPOLÓGICA DO DIDÁTICO

A Teoria Antropológica do Didático (TAD) situa o estudo, originalmente da Matemática, no conjunto das atividades humanas e das instituições sociais. Assim como a sociedade é permeada por fatos econômicos e políticos, há também fatos didáticos (Chevallard, 2013). Chevallard (2007) define fato didático como qualquer situação que possa ser percebida como o efeito de um desejo socialmente estabelecido de que alguém aprenda alguma coisa. O didático é, segundo o autor, uma dimensão vital das sociedades humanas.

Em uma definição mais ampla, Chevallard diz que a didática é

a ciência da difusão do conhecimento em qualquer instituição, como uma turma de alunos, a sociedade em geral etc. Mais particularmente, a didática é o estudo científico (e o conhecimento do resultado) das inúmeras ações tomadas para causar (ou impedir) a difusão de algum conhecimento em alguma instituição. (Ibid., p. 133, tradução nossa).

Nessa perspectiva, considera-se o axioma de que um indivíduo “não é, na realidade, mais do que a emergência de um complexo de sujeições institucionais” (Chevallard, 2000, p. 132); e a liberdade individual se dá no conflito entre elas. Aquele que participa de determinada atividade social se torna sujeito da instituição, submetendo-se a certas restrições determinadas por ela. Cabe ressaltar que na TAD, a palavra “sujeito” não é empregada como sinônimo de indivíduo, mas sim em seu sentido etimológico latino: *sub-jectus* – o que está “situado abaixo”. Assim, o termo sujeito remete a um conjunto de atividades, intenções, expectativas e restrições institucionais que caracterizam uma posição (*topos*) do sujeito na instituição (Castela, 2016).

Na perspectiva chevallardiana, as pessoas não são apenas produtos do meio. Há uma relação dialética entre indivíduo e instituição. Nas palavras de Chevallard (2007, p. 132, tradução nossa):

Por trás das pessoas e do conhecimento apareceram as instituições, para serem consideradas no mesmo nível das pessoas, à luz de uma dialética entre pessoas e instituições. As pessoas são criadoras de instituições, as quais, por sua vez, são criadoras de pessoas. Geralmente, no entanto, as instituições vêm antes dessas pessoas – seus “sujeitos” – graças a quem elas continuarão a existir e mudar.

Nesse sentido, o entendimento da atividade humana – do porquê ela é como é – depende da compreensão de como vivem e se desenvolvem as instituições em que a atividade ocorre (Ibid.).

Imbricado às instituições está o que Chevallard (1999, 2000) chama de sistema didático $S(X, Y, \hat{\sigma}_T)$, que é composto por um ou vários sujeitos que ocupam uma posição de estudante (X), um ou vários indivíduos que ocupam a posição de professor (Y) e uma questão a ser estudada ($\hat{\sigma}_T$). As alterações nas relações pessoais estão, frequentemente, ligadas a uma intenção institucional, a qual é alterada pelas relações pessoais, que, por sua vez, estão antropologicamente correlacionadas com o surgimento de intenções didáticas (Chevallard, 2000). Na Figura 10 são expostos alguns dos elementos que podem constituir uma instituição, influenciando, dialeticamente, os sistemas didáticos.

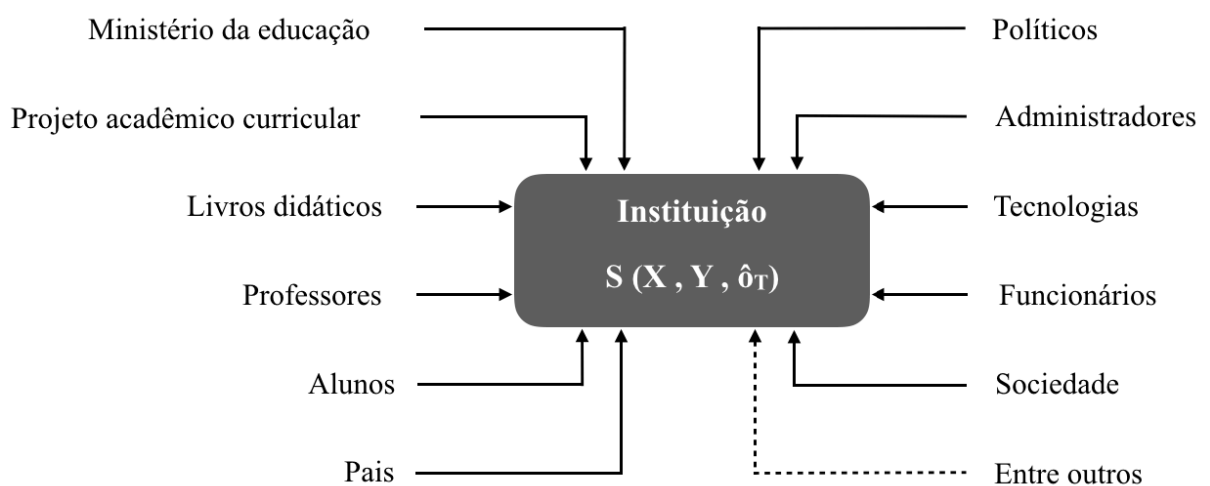


Figura 10 - Elementos constituintes de uma instituição (Adaptado de Henriques, Nagamine e Nagamine, 2012).

Pela TAD, o fenômeno didático pode ser descrito em termos estruturais e funcionais. No primeiro, aspecto central da teoria, Chevallard (1999) destaca que toda atividade humana pode ser organizada em um modelo único, denominado praxeologia.

3.1.1 Organizações Praxeológicas

Uma Organização Praxeológica (OP) é constituída por dois blocos complementares: um prático-técnico e outro tecnológico-teórico. O bloco prático-técnico (*práxis*), associado ao saber fazer, é expresso pelo conjunto $[T, \tau]$, onde T representa o tipo de tarefa, que compreende uma, ou mais, técnica τ ; o bloco tecnológico-teórico (*logos*), associado ao saber, é expresso pelo conjunto $[\theta, \Theta]$, onde θ representa a tecnologia e Θ a teoria. Em síntese, uma organização praxeológica é constituída pelo conjunto $[T, \tau, \theta, \Theta]$. As OPs são historicamente legitimadas por uma instituição e podem ser aplicadas a qualquer forma de atividade humana.

3.1.1.1 Tipo de tarefa $[T]$ e Tarefa $[t]$

Chevallard (1999) diz que as tarefas estão na raiz da praxeologia. A cada tipo de tarefa T podem estar associadas diversas tarefas t , que variam em grau de especificidade. Quando uma tarefa t pertence a um tipo de tarefa T , escrevemos $t \in T$. Geralmente as Tarefas e Tipos de tarefa são expressas por um verbo: andar, correr, brincar, escrever, calcular etc. O autor alerta sobre três pontos importantes:

- 1) Na TAD, a noção de tarefa tem conotação mais ampla que na linguagem comum. “Coçar a bochecha, ir do sofá ao armário, e até sorrir para alguém, também são tarefas.” (Ibid., p. 222).
- 2) A noção de Tipo de tarefa empregada na teoria pressupõe um determinado grau de precisão. “Calcular o volume de uma esfera” ou “Escrever uma redação” são Tipos de tarefa, mas apenas “Calcular” ou “Escrever” não são. “Calcular” e “Escrever” são ditos gêneros de tarefa.

Especificamente, um gênero de tarefas só existe sob a forma de diferentes tipos de tarefas, cujo conteúdo está estreitamente especificado. Calcular ... é, como tem sido dito, um gênero de tarefas; porém calcular o valor (exato) de uma expressão numérica contendo um radical é um tipo de tarefa, o mesmo que calcular o valor de uma expressão contendo a letra X quando a X é dado um determinado valor. Durante os anos de escola, o gênero calcular ... é enriquecido com novos tipos de tarefa; o mesmo vai acontecer na instituição, onde o aluno vai primeiro aprender a calcular com vetores, depois, mais tarde, calcular uma integral ou uma primitiva, etc. E se repetirá o mesmo, é claro, com os gêneros Demonstrar ..., Construir..., ou também Expressar ..., em função de... (Ibid., p. 222, tradução nossa).

3) Por fim, os elementos gêneros, Tipos de tarefa e Tarefas são construções institucionais e não dados da natureza.

Vejam os exemplos de gênero, Tipo de tarefa e Tarefa para a Física. “Calcular” pode ser considerado um gênero de tarefa, enquanto que “calcular a magnitude do campo elétrico na vizinhança de distribuições de carga simétricas” é um Tipo de tarefa. “Calcular a magnitude do campo elétrico de um fio longo uniformemente carregado em um ponto p próximo a ele” pode ser considerada uma tarefa t pertencente ao Tipo de tarefa T apresentado.

3.1.1.2 Técnica [τ]

Para solucionar uma tarefa, necessita-se de uma maneira de resolvê-la, uma técnica. Assim, a técnica faz referência à maneira de resolver uma tarefa $t \in T$. Chevallard (1999) novamente alerta para três pontos importantes.

- 1) As técnicas têm alcance limitado, sendo capazes de resolver uma quantidade específica de tarefas. Assim, uma técnica pode ser superior a outra. Essa noção é importante, sobretudo na avaliação de praxeologias.
- 2) As técnicas não podem ser confundidas com algoritmos, os quais são tipos particulares de técnicas. Apenas em casos excepcionais uma técnica é um algoritmo. Normalmente, a aplicação de uma técnica pressupõe certo grau de indeterminação, mesmo que ela esteja bem definida (Chevallard, Bosch e Gascón, 2001).
- 3) Em uma instituição específica, há, geralmente, apenas uma técnica para resolver um Tipo de tarefa – ou pelo menos um número muito reduzido de técnicas reconhecidas na instituição. Muitas vezes ocorre a exclusão de técnicas alternativas que podem funcionar muito bem em uma outra instituição. Isso acontece devido a uma constante naturalização da técnica.

Voltando ao exemplo físico, para resolver a tarefa t exposta anteriormente uma técnica possível é a aplicação da Lei de Gauss para a eletricidade. Outra técnica possível seria considerar elementos infinitesimais de carga e utilizar o princípio da superposição, calculando a magnitude do campo elétrico no ponto p a partir da Lei de Coulomb.

Uma tarefa t pode ser resolvida com diferentes técnicas – algumas têm alcance e precisão melhores que outras. Nesse sentido, é possível estabelecer relações entre técnicas e instituir um grau de superioridade entre elas.

3.1.1.3 Tecnologia [θ]

Para a institucionalização de uma técnica, ela deve ser compreensível e, principalmente, justificável. A existência de uma técnica pressupõe a existência subjacente de uma tecnologia (de *tékhnē*, técnica, e *logos*, discurso), ou seja, de um discurso racional que justifica, explica ou gera a técnica. A palavra *tecnologia*, diferentemente do senso comum, é empregada por Chevallard (1999) no sentido etimológico. O autor ressalta que o estilo de racionalidade varia de acordo com a instituição, seu espaço e história. Desse modo, uma racionalidade estabelecida em uma instituição em determinado tempo histórico pode não parecer razoável em outra.

Em uma determinada instituição, seja qual for o Tipo de tarefa, a respectiva técnica sempre é acompanhada por, pelo menos, um vestígio de tecnologia. Muitas vezes, elementos tecnológicos estão integrados à técnica. Vejamos um exemplo exposto pelo próprio Chevallard:

Assim ocorre tradicionalmente em aritmética elementar, na qual o mesmo discurso tem uma dupla função, técnica e tecnológica, na medida em que permite tanto encontrar o resultado exigido (função técnica) como justificar que este é o resultado esperado (função tecnológica), como quando alguém diz: ‘Se 8 pirulitos custam 10 Francos, 24 pirulitos, são 3 vezes 8 pirulitos, custarão 3 vezes mais, logo 3 vezes 10 Francos’. (Ibid., p. 224, tradução nossa).

Por outro lado, algumas técnicas, em determinadas instituições, podem ser consideradas autotecnológicas, pois são canônicas e não necessitam de justificação.

A tecnologia, assim como os outros elementos da OP, pode ser reconhecida em uma instituição e não ser em outra. Além disso, o discurso tecnológico em torno de uma técnica em certa instituição pode ser transposto para outra instituição.

A tecnologia que justifica o uso da Lei de Gauss, como técnica para determinar o campo elétrico de um fio longo e carregado, é que os cálculos se tornam mais simples em questões cujas linhas de campo elétrico tenham alto grau de simetria. Outro discurso tecnológico, que neste caso explica a técnica, é que o fluxo elétrico de uma superfície gaussiana é diretamente proporcional à carga líquida no seu interior.

3.1.1.4 Teoria [Θ]

O mesmo papel que as tecnologias exercem em relação às técnicas, as teorias exercem em relação às tecnologias. Ou seja, uma teoria justifica, explica ou gera uma ou mais tecnologias. Ela é um grau superior de discurso de justificação, explicação e construção (Chevallard, 1999), que nem sempre está explícito nas descrições das atividades humanas.

Claro, se pode imaginar que esta regressão justificativa seja perseguida ao infinito - que existe uma teoria da teoria, etc. De fato, a descrição em três níveis (técnica/ tecnologia/teoria) é geralmente suficiente para dar conta da atividade que se quer analisar. A teoria, terra de escolha de obviedades, tautologias e outras evidências, é ainda frequentemente evanescente: a justificação de uma dada tecnologia é, em muitas instituições, tratada por simples transmissão para outra instituição, real ou suposta, considerada possuidora de tal justificação. Este é o sentido clássico: "Demonstra-se em matemática..." do professor de física, ou mesmo a "Como visto em geometria ..." o professor de matemática de outrora. (Ibid., p. 225, tradução nossa).

Voltando ao nosso exemplo, a teoria que justifica, explica e gera o discurso tecnológico relativo à Lei de Gauss é a Teoria Eletromagnética.

O bloco teórico-tecnológico é o que permite a preservação das práticas e sua comunicação para os outros, para que também possam participar em sua construção.

Além do exemplo apresentado de uma Organização Física (OF), outro tipo, recorrente nas obras de Chevallard, são as Organizações Didáticas (OD). Segundo o autor, as OD são respostas às questões sobre como estudar uma determinada questão, ou obra específica OF. Entre as possíveis organizações do conteúdo específico e as didáticas há uma inter-relação, ou seja, a forma de uma interfere na outra e vice e versa.

A respeito da gênese das Organizações Praxeológicas, Chevallard destaca:

Toda obra, e toda obra matemática em particular, surge como resposta a uma questão ou conjunto de questões problemáticas. Já vimos que essas questões podem não parecer matemáticas: como dividir as balas entre meus amigos? Como calcular a distância até o horizonte?, etc. E também observamos que muitas questões podem surgir dentro da própria matemática: a soma de dois números ímpares consecutivos sempre é um múltiplo de 4? Quantas soluções têm a equação $x^3 + 3x -$

4 = 0? Como se calcula a área de uma elipse?, etc. (Chevallard, Bosch e Gascón, 2001, p. 123).

Se alguma das questões apontadas anteriormente se torna problemática, isto é, não é resolvida imediatamente, a resposta poderia ser construída em termos dos quatro elementos da organização praxeológica: “os tipos de problemas, que surgem das questões; as técnicas, que permitem resolver esses problemas; as tecnologias, que justificam e tornam compreensíveis as técnicas, e as teorias que servem de fundamento para as tecnologias.” (Ibid., p. 125). Esses são, segundo os autores, os componentes essenciais de qualquer obra, seja ela matemática ou física.

Ao serem transpostos de um contexto epistemológico a outro, as OPs podem sofrer transformações (Chevallard, 1991; Winsløw, 2011). Por exemplo, o conhecimento desenvolvido por físicos pesquisadores (saber sábio) sofre mutações para, a partir de pressões institucionais externas à escola, se tornar o conhecimento que o professor ensina na escola (saber a ser ensinado), usualmente presente em livros didáticos. O saber a ser ensinado, por sua vez, ao ser transposto à sala de aula, passa por uma segunda transformação (transposição interna) que gera a OP do saber ensinado.

Na Teoria Antropológica do Didático, essas transposições não acontecem apenas com os saberes físicos ou matemáticos, mas com qualquer atividade humana – qualquer Organização Praxeológica. Ao passo que surgem novas tarefas, as OPs podem envelhecer e se tornarem obsoletas. Assim, podem nascer novas praxeologias dentro de uma determinada instituição, as quais podem ter sido produzidas na própria instituição ou incorporadas de uma outra.

Constantemente, em uma dada instituição I, surgem novas praxeologias que, pelo menos uma parte dos atores de I, considerada como necessária para melhorar o funcionamento de I. Essas praxeologias devem, conseqüentemente, ser produzidas, ou mais frequentemente reproduzidas, na medida em que já existam em qualquer outra instituição I' - a partir da qual se poderá propor “importá-las” para I. As condições impostas pela ecologia de I fazem com que a praxeologia desejada não possa ser reproduzida ali de maneira idêntica, mas “sofrerá”, nessa “transferência”, certas modificações adaptativas: falaremos, então, não de transferência, mas de transposição de I' para I. (Chevallard, 1999, p. 228, tradução nossa)

Chevallard (1999) salienta que esse processo de transposição das praxeologias não necessariamente as degrada. O autor defende:

[...] em matéria de transposição *didática*, ou seja, quando I é uma instituição didática (uma escola, uma classe, ...) ocorre com frequência, sobretudo quando I' não é uma instituição sábia, que o trabalho

transpositivo seja a ocasião de *melhorar* a praxeologia existente – simplificando-a, dando mais precisão a alguns de seus elementos, etc. Em todo caso, a transposição enriquece o mundo das praxeologias *socialmente disponíveis* – na medida em que ela cria uma praxeologia adaptada a certas condições institucionais *inéditas*. (Chevallard, 1999, p. 228, tradução nossa)

No capítulo seguinte explicamos quais foram os procedimentos metodológicos utilizados para conduzir as investigações teóricas e empíricas realizadas.

4 ESTUDO TEÓRICO: ANÁLISE PRAXEOLÓGICA DE MÉTODOS DE ENSINO

Neste capítulo, buscamos ampliar o estudo acerca de inovações didáticas a partir das ressignificações ontológica, epistemológica e metodológica das inovações didáticas por meio da Teoria Antropológica do Didático (TAD). A TAD nos proporciona um olhar às especificidades dos métodos de ensino não proporcionada pela Teoria da Difusão de Inovações (TDI) e pesquisas relacionadas. Mais especificamente, na Seção 4.1 defendemos a tese de que a TAD pode ser utilizada como referencial teórico-metodológico para a análise de métodos de ensino; e nas Seções 4.2 e 4.3 sustentamos a tese a partir da análise praxeológica do método *Team-Based Learning* (como proposta por seus idealizadores) e das modificações planejadas para sua aplicação em uma instituição diferente daquela em que foi originado.¹⁰

4.1 A TEORIA ANTROPOLÓGICA DO DIDÁTICO COMO REFERENCIAL PARA O ESTUDO DE MÉTODOS DE ENSINO

Os artigos que tratam de inovações didáticas na literatura utilizam, em grande parte, a TDI de Rogers (2003) como embasamento teórico. Como vimos no Capítulo 2, a TDI é uma teoria geral que tenta abarcar qualquer tipo de inovação. Nesse sentido, as pesquisas com a TDI compartilham uma mesma visão ontológica das inovações proposta pelo autor. Rogers (Ibid., p. 12, tradução nossa) afirma que “uma inovação é uma ideia, prática ou objeto que é percebido como novo por um indivíduo ou outra unidade de adoção.” Entender os métodos de ensino dessa maneira traz limitações, já expostas na introdução e na revisão da literatura deste trabalho, que dificultam o próprio entendimento das especificidades do método, de sua adoção e da análise crítica de seus componentes, limitando a própria autonomia do professor que deseja modificar a sua prática. Propomos, a partir da TAD, uma ressignificação do que é um método de ensino e, a partir disso, do que é uma inovação didática.

Geralmente, as investigações que usam a Teoria Antropológica do Didático discutem dois tipos de Organizações Praxeológicas (OPs): organizações do conteúdo específico (e.g. organizações matemáticas, físicas etc.), que se referem à estruturação do conhecimento em uma

¹⁰ As principais ideias expostas nesse capítulo, que se constituem no “coração” da presente tese, foram submetidas em forma de um artigo que está em avaliação na revista *Enseñanza de las Ciencias*.

determinada instituição; e organizações didáticas, que estruturam como o conhecimento é estudado na instituição. Nesse sentido, propomos o estudo específico de métodos de ensino como conhecimento a ser estudado. Ou seja, não consideramos os métodos de ensino como ideias, práticas ou objetos, entendemos que compõem um corpo de conhecimento, cuja natureza é antropológica, social e historicamente legitimado. Os métodos se transformam ao passar de um contexto epistemológico a outro.

Assim como podemos estudar as organizações matemáticas e físicas, podemos estudar a Organização do Método de Ensino (OME) (e.g. organização do *Peer Instruction*, *Team-Based Learning* etc.). A partir de diferentes organizações didáticas, é possível isolar elementos comuns que correspondem ao método de ensino adotado (Figura 11). Isto é, há diferentes Organizações Físicas (OF) e distintas Organizações Didáticas (OD), entretanto todas elas podem ser organizadas com um mesmo método de ensino. Obviamente, a escolha de um método de ensino específico interfere na OD, assim como a OD interfere na OME. Por exemplo, uma OD que privilegia o estudo de aspectos conceituais de determinado conteúdo em detrimento de aplicações matemáticas pode levar a instituição a adotar métodos de ensino como o *Peer Instruction* (PI); de maneira análoga, uma escolha institucional pelo método PI pode transformar uma OD que privilegiava aspectos matemáticos.

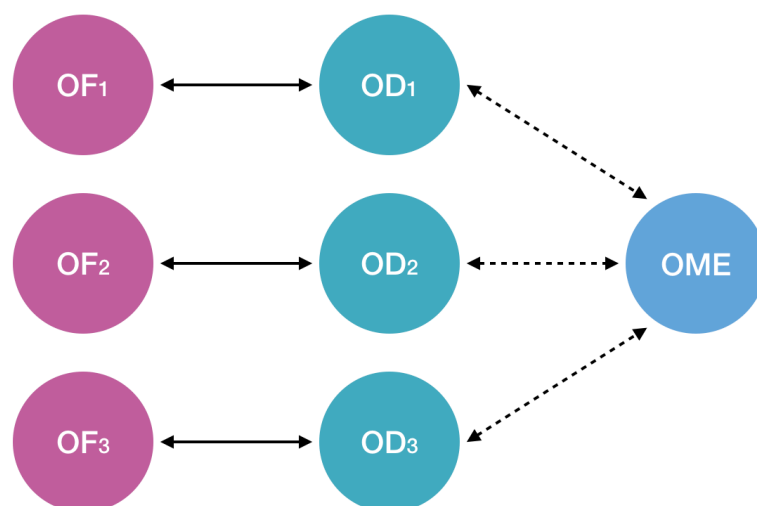


Figura 11 - Relações dialéticas entre Organização Física (OF), Organização Didática (OD) e Organização do Método de Ensino (OME).

Adicionalmente, podemos pensar em organizações didáticas dos métodos de ensino, as quais estruturam como os métodos são estudados em certa instituição.

Sendo assim, um método de ensino é composto por Tipos de tarefas que devem ser realizadas – algumas pelos estudantes outras pelo professor –, técnicas para realizá-las, tecnologias que justificam, descrevem e geram as técnicas e teorias que justificam, descrevem e geram as tecnologias. Cabe ressaltar que o *logos* é estabelecido a partir dos sujeitos e instituição que propõem, planejam e/ou implementam a Praxeologia, não dos indivíduos que executam a práxis.

O Quadro 7 mostra como podem ser identificados os elementos de um método de ensino. Nesse sentido, uma inovação didática consiste em um tipo de tarefa, técnica, tecnologia ou teoria – ou uma OME completa – percebida como nova em uma instituição.

Quadro 7- Categorização de um método de ensino em termos de tipos de tarefa, técnicas, tecnologias e teorias.

Tipo de Tarefa (T)	Técnica (τ)	Tecnologia (θ)	Teoria (Θ)
<p>São agrupadas nessa categoria as declarações relacionadas às ações atribuídas ao professor e ao aluno para o funcionamento do método de ensino.</p> <p>- <i>Quais são, do ponto de vista do professor e dos alunos, as ações requeridas para a aplicação do método?</i></p>	<p>Argumentos que expressam os meios que o professor e os alunos podem seguir para realizar as ações propostas pelo método de ensino são alocadas nessa categoria.</p> <p>- <i>Como, do ponto de vista do professor e dos alunos, deve-se realizar as ações propostas pelo método de ensino?</i></p>	<p>Declarações racionais que justificam, explicam ou criam as estratégias adotadas para a aplicação do método são colocadas nessa categoria.</p> <p>- <i>Por que são sugeridas tais estratégias para a aplicação do método de ensino?</i></p>	<p>São alocados nessa categoria os argumentos racionais que justificam, explicam ou criam os argumentos que são usados para justificar, explicar e criar as estratégias adotadas. Tais discursos podem estar fundamentados em bases epistemológicas e/ou teóricas.</p> <p>- <i>Por que os discursos que legitimam as estratégias do método de ensino são proferidos? Em que estão fundamentados?</i></p>

Na metodologia de ensino *Flipped Classroom*, por exemplo, proposta no livro escrito por Bergmann e Sams (2012), encontra-se, no *topos*¹¹ do estudante, a seguinte tarefa: estudar previamente às aulas. Para realizá-la, é indicada a seguinte técnica: assistir a um vídeo proposto pelo professor, fazendo anotações e elaborando perguntas. Um discurso tecnológico que justifica o uso de tal técnica é que o aluno adquire controle sobre a própria aprendizagem, podendo estudar em um ritmo próprio. O estudante pode assistir ao vídeo quantas vezes considerar necessário, pode pará-lo, buscar por outras fontes e fazer perguntas específicas para o professor acerca dos pontos em que teve dificuldades de compreensão. No livro, as teorias não estão presentes explicitamente.

Os métodos ativos de ensino muitas vezes são apresentados com demasiada ênfase no bloco técnico-prático. O conhecimento do bloco tecnológico-teórico é fundamental para que o professor possa compreender a inovação didática e, de maneira reflexiva, participar de sua construção e institucionalização. Além disso, como já destacado na introdução, abordar os métodos de ensino como conjuntos de técnicas pode dificultar o diálogo entre pesquisa e prática, o qual perpassa pelo entendimento das transformações dos métodos de ensino quando transitam interinstitucionalmente.¹²

Considerando a Organização do Método de Ensino como uma Organização Praxeológica, as transformações que ocorrem ao levar de uma instituição para a outra podem ser sintetizadas como na Figura 12. A OME desenvolvida em seu contexto de origem, normalmente por pesquisadores, constitui um saber de referência, que costuma ser exposto em livros ou artigos científicos. Essa OME de referência passa pela transposição externa, transformando-se na OME planejada. Nessa transformação, atuam fatores externos à sala de aula na qual se pretende implementar o método de ensino, como, por exemplo, políticas públicas, avaliações externas, normas das instituições, concepções sobre ensino e aprendizagem institucionalizadas e pedagogia dominante. Em essência, as modificações advindas da transposição externa são pouco influenciadas pelo professor. Já a transposição interna, que gera

¹¹ O *topos* representa o papel (ou lugar) de um determinado ator em um atividade humana complexa.

¹² Nesse sentido, publicamos um artigo a respeito da Sala de Aula Invertida no Ensino de Física (Anexo 1), voltado para professores de Ensino Médio, no qual demos ênfase nas razões para o uso de determinadas técnicas (discursos tecnológicos), destacando, inclusive, possíveis vieses teóricos que podem embasar algumas das técnicas (Espinosa, Araujo e Veit, 2016b). Para uma maior divulgação, o artigo foi traduzido para o espanhol (Espinosa, Araujo e Veit, 2018).

a transformação da OME planejada para a OME aplicada, é impulsionada, principalmente, por decisões do docente ao se deparar com exigências de uma turma específica.

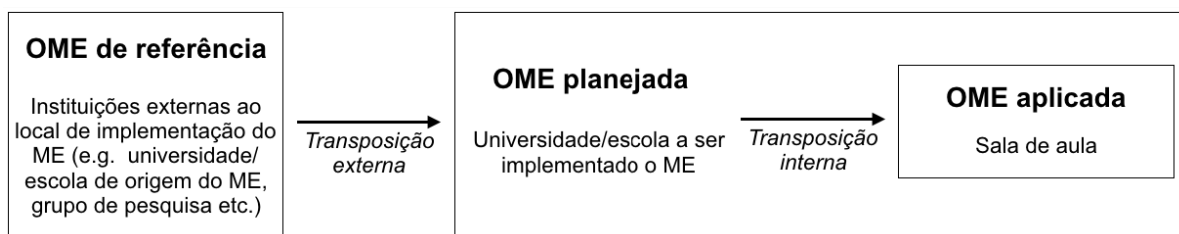


Figura 12 - Transposição praxeológica de um método de ensino (baseado em Winsløw, 2011).

A partir da ressignificação das inovações didática exposta, é possível analisar as condições que facilitam e as restrições que dificultam a institucionalização de um método de ensino em determinada instituição. Essa análise ecológica pode ser amparada pelos níveis de codeterminação didática (Figura 9). Como vimos na revisão de literatura a respeito da difusão e adoção de inovações didáticas, a maioria das barreiras apontadas pelos pesquisadores da área se encontram nos níveis da Pedagogia e da Escola, como, por exemplo: a aceitação da instituição de ensino, o tempo necessário para preparação das aulas, atitudes dos estudantes para com a escola/universidade, normas de departamento, expectativas do professor de cobrir o conteúdo etc.

Considerar as inovações didáticas como corpos de conhecimento social e historicamente legitimados que sofrem pressões de diferentes instituições e se transformam ao transitarem de um contexto epistemológico a outro, nos possibilita vislumbrar outros níveis de entendimento das razões que dificultam a institucionalização de métodos ativos de ensino. A própria constituição do conhecimento (o método) e a forma que ele é estudado em uma instituição podem ser avaliados, em termos de OP (níveis mais específicos), para entendermos o problema de sua institucionalização. Ademais, níveis mais gerais, ligados a estrutura da sociedade, e como ela entende as razões de ser das inovações didáticas, do ensino aprendizagem e do conteúdo específico, podem ser analisados para entender problemas ligados a adoção e difusão de inovações didáticas e o problema da lacuna entre pesquisa com métodos ativos e prática docente. Por exemplo, Chevallard (2013) aponta que uma das razões da dificuldade de mudanças educacionais é que, em níveis mais gerais, o modelo atual de ensino (monumentalista) corresponde perfeitamente ao padrão social onipresente que une as posições de poder e de obediência nas diferentes instituições.

A seguir, como subsídio ao argumento de que as Organizações Praxeológica podem servir como ferramenta analítica para o estudo de métodos de ensino, apresentamos a construção de uma organização de referência do método de ensino *Team-Based Learning* e o planejamento de suas modificações em uma implementação no ensino de Física de uma universidade pública brasileira.

4.2 UMA ORGANIZAÇÃO PRAXEOLÓGICA DE REFERÊNCIA PARA O MÉTODO TEAM-BASED LEARNING

Para que o leitor acompanhe a análise realizada, apresentamos inicialmente uma breve descrição do método *Team-Based Learning* (TBL).¹³

O TBL, originalmente descrito por Michaelsen, Fink e Knight (2004), tem dois principais objetivos: melhorar a compreensão do conteúdo e desenvolver equipes de aprendizagem. Uma disciplina que usa o TBL é organizada em módulos, com duas fases principais: a preparação e a aplicação. Na primeira, os alunos, antes da aula, realizam uma leitura prévia. Em sala de aula, ainda na fase de preparação, eles respondem, individualmente, a um teste com questões de múltipla escolha que abordam os aspectos centrais da leitura (Teste de Preparação individual – TPi). Em sequência, o mesmo teste é respondido em equipe (Teste de Preparação em equipe – TPe). Cada equipe recebe uma cartela (semelhante àquelas de premiação instantânea) com uma grade de respostas; discutem entre os colegas de equipe e tentam entrar em um consenso quanto à alternativa que consideram correta. Ao raspar essa alternativa na cartela, de imediato tomam conhecimento se a resposta é a correta ou não. Em caso negativo, os alunos voltam a discutir e a tentar entender porque optaram pela alternativa errada. Na fase de aplicação, os estudantes, em casa, individualmente, resolvem uma série de problemas de aplicação dos conceitos estudados na fase de preparação. Em sala, resolvem, em equipe, problemas de aplicação mais complexos. As equipes trabalham em um problema por vez e, ao final de cada solução, expõem as respostas para as outras equipes para discutir as diferentes soluções.

¹³ A partir das leituras sobre o método, uma revisão da literatura e da experiência didática na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, escrevemos um artigo divulgando-o no ensino de Física (Anexo 2) (Espinosa, Araujo e Veit, 2016a).e

A fim de construir uma Organização do Método de Ensino (OME de referência) para o TBL, buscamos identificar os principais tipos de tarefa do método, no *topos* do aluno e no do professor, as técnicas e discursos tecnológicos, tais como descritos no livro de Michaelsen, Fink e Knight (2004). A análise se deu por meio da leitura integral do livro, categorização e interpretação a partir do Quadro 7. Os dados não estavam originalmente organizados, ou seja, os autores não apresentam as tarefas, seguido das técnicas e justificativas. Sendo assim, a análise consistiu em encontrar elementos em comum e interpretá-los à luz dos componentes da Organização Praxeológica. No Quadro 8 é exposto um exemplo do processo de análise (categorização e interpretação) realizado no *topos* do aluno.

Quadro 8 – Exemplo do processo de categorização e interpretação da Organização do Método *Team-Based Learning* no *topos* do aluno.

Questão guia	Fragmentos do livro	Interpretação
[Tipo de Tarefa – T] <i>Quais são, do ponto de vista dos alunos, as ações requeridas para a aplicação do método?</i>	"Macro-unidades de instrução do <i>Team-Based Learning</i> normalmente envolvem três tipos diferentes de atividades em sala de aula, cada uma das quais é precedida por preparação prévia ." (p. 36, tradução nossa, grifo nosso)	T₁ - Preparar-se previamente às aulas.
[Técnica – τ] <i>Como, do ponto de vista dos alunos, deve-se realizar as ações propostas pelo método de ensino?</i>	"Na maioria dos casos, os alunos são inicialmente expostos a conceitos por meio de leituras indicadas ." (p. 38, tradução nossa, grifo nosso) " Os alunos devem completar as leituras e chegar à aula seguinte preparados para fazerem um teste a respeito do material que acabaram de ler." (p. 42, tradução nossa, grifo nosso)	τ_1 - Ler, fora da sala de aula, um material indicado pelo professor.
[Tecnologia – θ] <i>Por que são sugeridas tais estratégias para a aplicação do método de ensino?</i>	"Se os alunos individualmente não conseguirem completar as tarefas prévias, eles não poderão contribuir com a sua equipe." (p. 31, tradução nossa) "[...] cada membro é explicitamente responsável por sua preparação prévia" (p. 43, tradução nossa). "O instrutor [...] tem amplo tempo em aula para permitir que os alunos se envolvam com as tarefas de aplicação e	θ_1 - O primeiro contato extraclasse valoriza o tempo em sala de aula. Além disso, o aluno se responsabiliza pela própria preparação. Essa atividade visa preparar o estudante para a discussão e resolução dos

Questão guia	Fragmentos do livro	Interpretação
	desenvolvam habilidades de aprendizagem de alto nível.” (p. 43, tradução nossa)	problemas de aplicação.

Existem alguns elementos da OME que não são encontrados de forma explícita no livro em análise, eles são identificados implicitamente. Nesses casos, nós os identificamos nos quadros com um asterisco (*). Por exemplo, o Tipo de tarefa “Selecionar/desenvolver a leitura de preparação”, localizado no *topos* do professor (T^*_{p2} , Quadro 10) não está explicitado. No entanto, como os alunos devem ler um material indicado pelo professor (τ_{a1} , Quadro 9), podemos inferir que o docente deve desenvolver ou selecionar esse material.

Nos Quadros 9 e 10 é exposta a OME de referência construída, no *topos* do aluno e do professor, respectivamente. Em seguida descrevemos a interpretação dos quadros.

Quadro 9 - Atividades do TBL em termos de Tipos de tarefa (T), Técnicas (τ) e Tecnologias (θ), descritas no *topos* do aluno (sinalizado pelo índice “a”).

T_{a1}	Preparar-se previamente às aulas.
τ_{a1}	Ler, fora da sala de aula, um material indicado pelo professor.
θ_{a1}	O primeiro contato extraclasse valoriza o tempo em sala de aula. Além disso, o aluno se responsabiliza pela própria preparação. Essa atividade visa preparar o estudante para a discussão e resolução dos problemas de aplicação.
T_{a2}	Preparar-se individualmente, em sala de aula, para a resolução de problemas de aplicação em equipe.
τ_{a2}	Responder, individualmente, a um teste conceitual de múltipla escolha (Teste de Preparação individual - TPi) com questões curtas e diretamente relacionadas ao material lido.
θ_{a2}	As respostas do aluno ao TPi são avaliadas em termos de conhecimento, o que o incentiva a se responsabilizar pelo próprio estudo e se dedicar à leitura de casa. As questões são curtas e diretas para avaliar o conhecimento básico do aluno a respeito do material lido, ou seja, devem conter fatos facilmente identificados no livro, sem entrar em problemas complexos de tomada de decisão. Essa atividade visa preparar o estudante para a discussão e resolução dos problemas de aplicação.
T_{a3}	Preparar-se colaborativamente, em sala de aula, para a resolução de problemas de aplicação em equipe.
τ_{a3}	Responder, em equipe, o mesmo teste resolvido individualmente (Teste de Preparação em equipe - TPe), discutindo com os colegas para entrar em um consenso em relação à resposta certa, marcando-a em uma cartela de correção instantânea.

θ_{a3} Ao discutir as mesmas questões do TPi com os colegas, estimula-se a colaboração e, conseqüentemente, o desenvolvimento de equipes de aprendizagem. São necessárias pelo menos 20 horas de interação para que um grupo se torne uma equipe.

O TPe também é avaliado em termos de conhecimento, o que faz com que o estudante seja cobrado por seus pares a se preparar previamente às aulas, tornando-o responsável pela a aprendizagem dos colegas. Uma maneira de aumentar a coesão do grupo é recompensar o seu desempenho.

As cartelas proporcionam um *feedback* instantâneo que possibilita, em caso de erro, discussões acerca dos problemas de entendimento.

Essa atividade visa preparar o estudante para a discussão e resolução dos problemas de aplicação.

T_{a4} Caso necessário, interpor recursos (apelações) acerca das tarefas expostas na fase de preparação em equipe.

τ_{a4} Escrever, em equipe, um texto argumentativo, utilizando referências do material estudado em casa.

θ_{a4} Os recursos permitem que os estudantes retomem o conteúdo estudado. A fim de estimular o desenvolvimento das equipes, as apelações devem ser escritas pela equipe e não por um indivíduo.

T*_{a5} Engajar-se cognitivamente na exposição oral do professor.

τ*_{a5} Fazer anotações dos pontos principais e questionar os pontos que não estejam claros.

θ*_{a5} A partir das anotações e questionamentos, almeja-se garantir que as dúvidas remanescentes da leitura e do TPe sejam sanadas.

Essa atividade visa preparar o estudante para a discussão e resolução dos problemas de aplicação.

T_{a6} Aplicar, fora da sala de aula, os conhecimentos construídos na fase de preparação.

τ_{a6} Resolver, individualmente em casa, problemas de aplicação dos conceitos estudados na fase de preparação.

θ_{a6} Identificar e desenvolver as técnicas para solucionar problemas ajuda os alunos a conseguirem resolver, em equipe, os problemas de aplicação propostos em sala de aula, os quais são mais complexos.

T_{a7} Envolver-se, ativamente com sua equipe em sala de aula, em atividades de aplicação dos conceitos.

τ_{a7} Resolver, na sala de aula em equipe, problemas de aplicação.

θ_{a7} A solução dos problemas em equipe estimula o trabalho colaborativo e, conseqüentemente, o desenvolvimento de equipes de aprendizagem. São necessárias pelo menos 20 horas de interação para que um grupo se torne uma equipe. Em equipe, os alunos são capazes de resolver problemas que não conseguiriam individualmente. Geralmente, o desempenho da equipe é superior ao do melhor integrante do grupo.

T_{a8} Divulgar as respostas e/ou soluções das atividades de aplicação, construídas em equipe, para a turma.

τ_{a8} Por meio de recurso visual (e.g. *flashcards*, quadros brancos), expor a resposta e/ou resolução da equipe para a turma e, verbalmente, explicá-la.

θ_{a8} A exposição das soluções para que possam ser contrastadas estimula a interação entre as equipes, bem como auxilia no desenvolvimento de habilidades de comunicação por parte dos alunos.

T_{a9}	Avaliar os colegas de equipe.
τ_{a9}	Atribuir uma nota e uma justificativa para cada colega de equipe, levando em consideração os seguintes aspectos: os colegas chegam preparados para as aulas? Eles contribuem positivamente para as discussões e trabalho em grupo? Os colegas encorajam os demais a contribuírem com suas ideias? Eles são flexíveis diante de conflitos e discordâncias?
θ_{a9}	A avaliação dos colegas, feita dessa maneira, faz com que os estudantes se sintam responsáveis pela aprendizagem dos colegas e pelo desenvolvimento de suas equipes. Além disso, a avaliação permite que o professor tenha acesso ao desenvolvimento dos grupos e consiga, caso necessário, intervir a fim de eliminar possíveis barreiras à evolução das equipes.

Quadro 10 - Atividades do TBL em termos de Tipos de tarefa (T), Técnicas (τ) e Tecnologias (θ), descritas no *topos* do professor (sinalizado pelo índice “p”).

T_{p1}	Organizar equipes de aprendizagem.
τ_{p1}	Aplicar um questionário com especificidades a respeito da vida pessoal e acadêmica do aluno, capaz de organizar grupos heterogêneos em termos de conhecimentos, habilidades e interesses.
θ_{p1}	A organização das equipes de maneira heterogênea favorece o surgimento de equipes com níveis semelhantes de interatividade, bem como evita a constituição de subgrupos, os quais podem prejudicar o trabalho colaborativo. O professor precisa levar em consideração que são necessárias pelo menos 20 horas de interação para que um grupo se torne uma equipe.

T*_{p2}	Selecionar/desenvolver o texto a ser lido pelos alunos previamente às aulas.
τ*_{p2}	Buscar textos que introduzam o conteúdo, contendo os conceitos-chave em estudo.
θ*_{p2}	O primeiro contato com o conteúdo se dá por meio do texto, e tem por objetivo estabelecer uma base conceitual que será aprofundada nas demais atividades de preparação em sala. Essa atividade visa preparar o estudante para a discussão e resolução de problemas de aplicação.

T_{p3}	Selecionar/desenvolver questões para a fase de preparação.
τ_{p3}	Buscar questões diretas que expressem conceitos-chave do conteúdo, cujas respostas estejam presentes no texto que os alunos devem ler antes da aula.
θ_{p3}	As questões testam a compreensão dos alunos no estudo de casa.

T_{p4}	Julgar possíveis recursos (apelações) submetidos pelos alunos referentes às tarefas de preparação em equipe
τ_{p4}	Avaliar a coerência e a validade dos argumentos expostos pelos alunos.
θ_{p4}	No caso de uma apelação bem-sucedida, o professor atribui uma nota aos estudantes. Apenas os alunos da equipe que interpôs o recurso recebem a pontuação. Assim, todas as equipes se esforçam para redigi-los.

T_{p5}	Realizar pequenas exposições orais levando em consideração as dificuldades dos alunos.
τ_{p5}	Explanar acerca dos erros encontrados em uma breve verificação da distribuição de respostas do TPe.

θ_{p5}	A exposição oral tenta garantir que as dúvidas remanescentes da leitura e da discussão em equipe no TPe sejam esclarecidas e, com isso, que os estudantes estejam preparados para aplicar os conceitos em resolução de problemas.
T^*_{p6}	Selecionar/desenvolver problemas para a tarefa de casa da etapa de aplicação.
τ^*_{p6}	Buscar problemas de aplicação dos conceitos estudados na etapa de preparação.
θ^*_{p6}	Os problemas devem ser simples o suficiente para que o aluno consiga resolver individualmente. Essa atividade auxilia o estudante a identificar e desenvolver as técnicas necessárias para resolver os problemas de aplicação mais complexas, em equipe.
T_{p7}	Selecionar/desenvolver e coordenar atividades de resolução de problemas da fase de aplicação.
τ_{p7}	Propor aos estudantes problemas significativos, que demandem a aplicação de conceitos anteriormente aprendidos, e que contenham uma resposta única; sincronizar o trabalho das equipes de modo que todas resolvam, simultaneamente, o mesmo problema; ao final da solução, propor que as equipes relatem suas soluções para discutir com as outras equipes.
θ_{p7}	Problemas significativos proporcionam um engajamento cognitivo e a resposta específica estimula a interação entre as equipes na discussão acerca de diferentes soluções; todas as equipes resolvendo o mesmo problema estimula a colaboração e evita o particionamento de tarefas; o relato simultâneo facilita a comunicação entre as equipes.
T_{p8}	Avaliar os estudantes.
τ_{p8}	Determinar uma nota a partir do desempenho individual, da equipe e da avaliação entre os colegas. Sendo que cerca de 30% da nota final deve estar destinada ao desempenho individual, 60% ao desempenho da equipe e 10% para a avaliação entre os colegas.
θ_{p8}	Esse tipo de avaliação auxilia no desenvolvimento de equipes de aprendizagem e desencoraja o isolamento social. A avaliação de desempenho é constituída exclusivamente pelo grau de correção das respostas.

Na Organização Praxeológica do *Team Based Learning*, ou Organização do Método de Ensino (TBL), destacam-se algumas características principais: (i) a ausência de teorias explícitas; (ii) a importância dada ao desenvolvimento de equipes e o tempo necessário à transformação de grupos em equipes; (iii) a noção de que o entendimento conceitual é essencial para a resolução de problemas; e (iv) o incentivo à realização de tarefas por meio da cobrança em testes avaliados por correção de respostas. Passamos a discutir cada uma dessas características.

O desenvolvimento pragmático, a partir de problemas docentes da sala de aula, é característica dos métodos de ensino norte americanos, como o TBL. Nesse sentido, é difícil encontrar teorias explícitas que justifiquem as tecnologias. O desenvolvimento é concretizado na prática e os avanços e mudanças são realizados a partir de resultados de pesquisa empírica. Uma técnica como a resolução de problemas de aplicação em equipe (τ_{a7}), por exemplo, é

parcialmente justificada (θ_{a7}) por uma afirmativa resultante de pesquisa: “geralmente, o desempenho da equipe é superior ao do melhor integrante do grupo”. Segundo Watson, Michaelsen e Sharp (1991) em 98% dos casos, o desempenho da equipe supera o desempenho individual do melhor membro da equipe.

Em várias tecnologias (θ_{a3} , θ_{a7} , θ_{a9} , θ_{p1} e θ_{p8}) aparecem destacadas a importância dada pelos autores ao desenvolvimento de equipes de aprendizagem e o tempo mínimo necessário para que grupos se tornem equipes (20 horas de interação). O desenvolvimento de equipes é, para Michaelsen, Fink e Knight (2004), tão importante quanto a aprendizagem. Em certo sentido, o desenvolvimento de equipes é uma etapa necessária à aprendizagem. As tecnologias que geram as técnicas – e em certa medida as tarefas – relacionadas ao desenvolvimento de equipes têm raízes no contexto de ensino universitário de gestão e negócios. Posteriormente, seu desenvolvimento histórico ocorreu no ensino de disciplinas da área da saúde (Michaelsen et al., 2007). As duas áreas, historicamente, valorizam o trabalho em equipe mais do que em disciplinas como a Física, a Química e a Matemática. Outra influência dessas áreas na construção da OP do TBL pode ser vista na técnica τ_{p7} , na qual o professor precisa elaborar problemas de tomada de decisão que contenham uma única solução, como a melhor escolha para o gerenciamento de um negócio ou o melhor diagnóstico médico para um paciente enfermo.

O tempo necessário à formação de equipes de aprendizagem é uma característica fundamental do TBL. Com isso, diferentemente de outros métodos, cujas tarefas e técnicas podem ser testadas em poucas aulas (e.g. *Peer Instruction*, *Just-in-Time Teaching*), a adoção do TBL exige um planejamento a longo prazo e maior modificação nas tarefas e técnicas tradicionais. Poderíamos dizer que não faz sentido pensar em aplicar o TBL em uma única aula. Observemos que uma interpretação da *práxis* do TBL, sem o *logos*, pode resultar em modificações nas técnicas do método que o descaracterizariam, como modificações dos grupos ao longo de um semestre letivo.

Em certas tarefas (T_{a1} , T_{a2} e T_{a3}) os estudantes se preparam, adquirindo conceitos básicos para a realização de tarefas subsequentes (T_{a6} e T_{a7}). Essa lógica pressupõe que é necessário adquirir o conhecimento básico dos conceitos para estar apto à resolução de problemas que envolvam a aplicação desses conceitos (θ_{a1} , θ_{a2} e θ_{a3}).

Todas as tarefas de conteúdo são avaliadas pelo docente em termos de acerto ou erro, se constituindo em uma forma de incentivar a realização das atividades e se responsabilizar com

a equipe. Nas questões do TPi (T_{a2} e τ_{a2}), por exemplo, os alunos são avaliados antes de receberem qualquer *feedback* referente às dúvidas remanescentes da leitura de casa (T_{a1} e τ_{a1}). O estímulo à leitura do material indicado é gerado mediante a recompensa e punição dada pela nota referente aos acertos e erros no TPi. O mesmo acontece no incentivo à interposição de recurso, no qual apenas os alunos da equipe que o redigiu são recompensados com nota (θ_{p4}), e no TPe, cuja maneira de aumentar a coesão dos grupos é recompensando o seu desempenho (θ_{a3}). Nas palavras de Fink (2004, p. 58), “a maneira mais óbvia de incentivar os membros a dedicarem tempo e energia ao trabalho em grupo é incluindo o desempenho do grupo no sistema de avaliação”. Identificamos essa característica como pertencentes a teorias (implícitas) behavioristas. Como já dito anteriormente, a origem do TBL é atórica, pelo menos explicitamente. Ou seja, o método foi desenvolvido com base na experiência prática e nos conhecimentos que os autores tinham acerca de sua disciplina de origem (gestão e negócios) e pesquisas da área. É natural que, apesar de inovador, em contextos educacionais mais conservadores, o método tenha algumas características tradicionais, pois necessita, *a priori*, adaptar-se a condições institucionais normalmente calcadas em uma pedagogia dominante de cunho comportamentalista.

4.3 MODIFICAÇÕES NA ORGANIZAÇÃO DO MÉTODO DE ENSINO TBL EM UMA DISCIPLINA DE FÍSICA UNIVERSITÁRIA

No primeiro semestre de 2015, decidimos implementar o método *Team-Based Learning* em uma disciplina de Física Geral III (eletromagnetismo básico) do curso de Física diurno da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). A disciplina, cuja carga horária total é de 90h, é de caráter teórico e consta na grade curricular no terceiro semestre de todas as ênfases do curso de Física (Astrofísica, Física Computacional, Materiais e Nanotecnologia, Pesquisa Básica e Licenciatura). Os 29 estudantes matriculados tinham em média 20,9 anos. O número de alunos – elevado para uma turma de curso de Física brasileiro – foi essencial para a escolha da turma para a aplicação do TBL, pois o método prevê equipes de cinco a sete alunos, as quais, em certo momento, devem discutir os resultados umas com as outras.

O Instituto de Física da universidade em questão conta com um programa de pós-graduação em Ensino de Física, o que, em certa medida, facilita a institucionalização de inovações didáticas. Entretanto, com exceção de alguns casos pontuais de implementações

bem-sucedidas com os métodos *Peer Instruction* e *Just-in-Time Teaching*, a pedagogia dominante do Instituto de Física é tradicional. Ambas as instituições – programa de pós-graduação e Instituto de Física – levaram a mudanças no método de ensino.

Para a institucionalização do TBL, as seguintes modificações foram planejadas: (i) a inserção do método *Just-in-Time Teaching* (JiTT); (ii) o tipo de questão presente no Teste de Preparação individual (TPi) e a inclusão de um campo para justificativa das respostas; (iii) a valorização da reflexão e engajamento nos testes de preparação; (iv) as técnicas utilizadas pelo professor para avaliar os alunos. Todas as modificações são expostas nos quadros 11 e 12.

Quadro 11 - Modificações planejadas no TBL em termos de Técnicas (τ) e Tecnologias (θ), descritas no *topos* do aluno (sinalizado pelo índice “a”). O símbolo “ ’ ” representa uma modificação no elemento da OP original.

T_{a1}	Preparar-se previamente às aulas.
τ'_{a1}	Ler um material indicado pelo professor e responder cerca de três questões, sendo que duas delas abordam as ideias principais dos conceitos que estão sendo estudados e a outra avalia o entendimento e o engajamento do aluno perante a atividade. O aluno envia suas respostas eletronicamente para o professor.
θ'_{a1}	O primeiro contato extraclasse valoriza o tempo em sala de aula. Além disso, o aluno se responsabiliza pela própria preparação. Ao tentar realizar as atividades, o estudante percebe lacunas na compreensão do material estudado. Ademais, a partir da avaliação da própria aprendizagem, o sujeito pode se autorregular no sentido de superar suas dificuldades. As respostas do aluno são avaliadas em termos de raciocínio demonstrado e de engajamento com a atividade, assim os alunos não ficam inibidos em errar e se sentem incentivados a tentar responder.
T_{a2}	Preparar-se individualmente, em sala de aula, para a resolução de problemas de aplicação em equipe.
τ'_{a2}	Responder, individualmente, a um teste conceitual de múltipla escolha com questões que envolvam reflexão (Teste de Preparação individual - TPi). É necessário atribuir uma justificativa a cada resposta marcada no teste.
θ'_{a2}	As respostas do aluno ao TPi são avaliadas em termos de raciocínio demonstrado e de engajamento na atividade, assim o estudante não fica inibido em errar e se sente incentivado a tentar responder. Ao justificar as respostas, o estudante reflete sobre o próprio entendimento e constrói argumentos para discutir com os colegas de equipe no TPe. As questões do teste incentivam a reflexão do aluno referente ao material lido, não exigindo apenas a memorização do que está no texto.
T_{a3}	Preparar-se colaborativamente, em sala de aula, para a resolução de problemas de aplicação em equipe.

- τ_{a3}** Responder, em equipe, o mesmo teste resolvido individualmente (Teste de Preparação em equipe - TPe), discutindo com os colegas para entrar em um consenso em relação à resposta certa, marcando-a em uma cartela de correção instantânea.
- θ'_{a3}** Ao discutir as mesmas questões do TPi com os colegas, estimula-se a colaboração e, conseqüentemente, o desenvolvimento de equipes de aprendizagem. São necessárias pelo menos 20 horas de interação para que um grupo se torne uma equipe.
- O TPe é avaliado em termos de conhecimento o que faz com que o estudante se responsabilize pela a aprendizagem dos colegas.
- As cartelas proporcionam um *feedback* instantâneo que possibilita, em caso de erro, discussões acerca dos problemas de entendimento.
- Essa atividade visa preparar o estudante para a discussão e resolução dos problemas de aplicação.

T' a9 Avaliar os colegas de equipe e se autoavaliar.

- τ'_{a9}** Atribuir uma nota e uma justificativa para si e para cada colega de equipe, levando em consideração os seguintes aspectos: preparação prévia; contribuição para as discussões e trabalho em grupo; incentivo à contribuição dos outros colegas; e flexibilidade diante de conflitos e discordâncias.
- θ'_{a9}** A autoavaliação e a avaliação dos colegas, feitas dessa maneira, fazem com que os estudantes reflitam acerca do desenvolvimento da equipe e do próprio desenvolvimento como membro do time, pensando maneiras de melhorar e se responsabilizando com a aprendizagem dos colegas. Além disso, a avaliação permite que o professor tenha acesso ao desenvolvimento do grupo e consiga, caso necessário, intervir a fim de eliminar possíveis barreiras ao desenvolvimento das equipes.

Quadro 12 - Modificações planejadas no TBL em termos de Técnicas (τ) e Tecnologias (θ), descritas no *topos* do professor (sinalizado pelo índice “p”). O símbolo “ ’ ” representa uma modificação no elemento da OP original.

T_{p3} Escolher/desenvolver questões para a fase de preparação.

- τ'_{p3}** Buscar questões que expressem conceitos-chave do conteúdo e que abordem possíveis concepções alternativas.
- θ'_{p3}** As questões fazem com que os alunos reflitam sobre o próprio entendimento do conteúdo estudado em casa e da exposição oral realizada pelo professor no início da aula.

T_{p5} Realizar pequenas exposições orais levando em consideração as dificuldades dos alunos.

- τ'_{p5}** Organizar a apresentação dos argumentos expondo, de maneira organizada e lógica, as dúvidas dos alunos que foram enviadas previamente via meio eletrônico.
- θ'_{p5}** A exposição oral tenta garantir que as dúvidas remanescentes da leitura sejam esclarecidas. Além disso, apresentar as dúvidas dos alunos faz com que se sintam valorizados e engajados nas discussões.

T_{p8} Avaliar os estudantes.

- τ'_{p8}** Determinar uma nota a partir do desempenho individual, da equipe e da avaliação entre os colegas. Essa nota é constituída por meio de 7 instrumentos avaliativos: (1) estudo prévio e questionário individual (15%); (2) questionário em equipe (10%); (3) resolução de

problemas individualmente (10%); (4) resolução de problemas em equipe (10%); (5) provas individuais (40%); (6) avaliação pelos colegas e autoavaliação (10%); (7) participação nas atividades (5%).

θ'_{p8} Esse tipo de avaliação valoriza o desenvolvimento de habilidades voltadas ao trabalho colaborativo. Os critérios de avaliação dos instrumentos (1) e (7) são a participação e o raciocínio demonstrado. Os demais instrumentos, com exceção do (6), são avaliados mediante a correção das respostas, raciocínio demonstrado e clareza nas respostas.

Os alunos, além de lerem antes da aula (τ_{a1}), como já era previsto no TBL, respondiam cerca de três questões relacionadas à leitura (Tarefa de Leitura) cujas respostas eram enviadas, previamente às aulas, ao professor (τ'_{a1}). Como destacado na técnica τ'_{a1} , duas questões abordam conceitos que estão sendo estudados e uma delas avalia o entendimento e engajamento do aluno na atividade. A tecnologia que justifica tal mudança (θ'_{a1}) argumenta que, ao tentar realizar as atividades, o aluno percebe lacunas no próprio entendimento e, com isso, consegue orientar o próprio processo de aprendizagem. No TBL original, o aluno se depara com questões apenas em sala de aula, durante o Teste de Preparação individual (TPi).

Com acesso às dúvidas dos alunos, o professor conta com subsídios para criar uma exposição oral mais direcionada às dificuldades dos estudantes (T_{p5} e τ'_{p5}), o que é inerente ao JiTT. No TBL original, destaca-se a necessidade de a exposição oral ser voltada para as dificuldades dos alunos (T_{p5} e τ_{p5}), no entanto, não é apresentada uma técnica referente a como ter acesso às dúvidas.

Outra modificação advinda da implementação do JiTT foi colocar a exposição oral do professor antes dos testes de preparação (TPi e TPe). Assim, as principais dúvidas dos alunos, provenientes da Tarefa de Leitura (TL), eram sanadas antes que respondessem às questões conceituais e as discutissem com os colegas. Isso nos leva à próxima modificação: o tipo de questão presente nos testes de preparação.

Originalmente, no TBL, são usadas questões diretas que expressem conceitos-chave do material estudado (τ_{p3}); no método modificado a técnica foi alterada visando ao uso de questões de cunho reflexivo, explorando possíveis concepções alternativas (τ'_{p3}). Ou seja, as respostas não eram necessariamente encontradas de forma direta no livro; buscava-se a reflexão em vez da memorização. Adicionalmente, as questões da TPi exigiam uma justificativa para que o aluno mostrasse o raciocínio que o levou a resposta e refletisse sobre ele. Essa mudança se deu, principalmente, devido à mudança no discurso tecnológico.

No TBL original as questões conceituais buscam apenas testar a compreensão dos alunos a respeito da leitura de casa (τ_{p3} e θ_{p3}). A avaliação do Teste de Preparação Individual, por exemplo, é por correção das respostas, e busca, a partir da nota, incentivar a preparação dos estudantes para as aulas (θ_{a2}). Tal característica, como destacado na seção anterior, é um tanto comportamentalista (punitiva). O conhecimento de teorias de aprendizagem e pesquisas no Ensino de Física levaram-nos a modificar esse aspecto do TBL em um sentido construtivista¹⁴. As formas de correção da TPI e da TL eram em termos de esforço (θ'_{a2}). Com isso, para cada resposta era exigida uma justificativa para que o aluno demonstrasse o raciocínio e expressasse as dúvidas (τ'_{a2}). Assim, os estudantes não ficavam inibidos em errar e se sentiam incentivados a se dedicar à leitura, bem como refletiam acerca da própria aprendizagem. Com essa modificação, os alunos não tinham que responder a um teste, avaliado por acertos, antes de terem suas dúvidas sanadas pelo professor, que no início da aula as abordava (τ'_{p5}). A partir disso, as questões, tanto da TL quanto do TPI, podiam ser mais reflexivas e menos mnemônicas.

No sistema avaliativo da disciplina foram acrescentadas a participação e o raciocínio demonstrado na correção das tarefas (τ'_{p8}). No TBL original previa-se uma avaliação de cerca de 30% destinada ao desempenho individual, 60% ao desempenho da equipe e 10% para a avaliação entre os colegas (τ_{p8}). Devido às modificações já mencionadas em termos do discurso tecnológico originalmente comportamentalista, bem como às imposições institucionais do curso de Física da UFRGS, 40% da avaliação foi destinada ao desempenho em exames. O restante foi dividido entre: Tarefa de Leitura e Teste de Preparação individual (15%); Teste de Preparação em equipe (10%); resolução de problemas individualmente (10%); resolução de problemas em equipe (10%); avaliação entre os colegas e autoavaliação (10%); e participação (5%).

A partir da análise praxeológica, foi possível investigar se as modificações propostas no TBL alteraram ou não sua essência. Segundo Michaelsen e Sweet (2011), os aspectos fundamentais do TBL são: (i) o professor deve ser responsável por formar e gerenciar as equipes; (ii) os estudantes se tornam responsáveis pela própria aprendizagem e pela aprendizagem da equipe; (iii) os alunos recebem constante *feedback*; (iv) as tarefas são desenvolvidas de forma que promovam tanto o aprendizado como o desenvolvimento da equipe. No primeiro item não houve qualquer modificação, pois as equipes foram gerenciadas pelo professor. Em termos de responsabilidade, manteve-se as tarefas e técnicas que colocam

¹⁴ Utilizamos o termo construtivista em um sentido amplo de que o conhecimento é construído.

os estudantes a estudarem em casa e a avaliação entre os colegas, tornando-os responsáveis pela própria aprendizagem e pela dos colegas. Apenas a forma de incentivar os alunos a executarem as tarefas foi alterada. Eles não eram mais cobrados a partir da correção de respostas (certo ou errado), mas a partir do engajamento na tarefa. Em termos de *feedback* foram acrescentadas questões referentes à leitura, as quais o professor tinha acesso antes da aula e, com isso, era capaz de dar um retorno ao aluno acerca do entendimento que ele estava tendo do material. Por fim, as tarefas ainda buscavam promover, além da aprendizagem, o desenvolvimento de equipes de aprendizagem.

É importante ressaltar que as modificações que ocorreram foram devidas às diferentes “forças” institucionais. A decisão de adicionar o método JiTT e elementos construtivistas à abordagem foram ocasionadas devido ao envolvimento dos autores em um grupo de pesquisa em Ensino de Física, cujas pesquisas recentes envolvem o método JiTT e outras inovações didáticas. Além disso, mudanças em elementos de avaliação, como o uso de provas individuais com determinado peso na avaliação total, foram ocasionadas devido a tradições do instituto de Física da universidade. Detalhar as influências das diferentes instituições – e diferentes níveis de codeterminação – na construção da organização praxeológica não é objetivo neste capítulo, mas reconhecemos a potencialidade da TAD em explorar investigações no sentido ecológico.

A perspectiva trazida pela TAD à pesquisa de métodos de ensino viabiliza novos caminhos para a área, possibilitando uma redução da lacuna entre pesquisa e prática. Além da análise da transposição do método de ensino, o diálogo entre métodos de ensino e referenciais teóricos e a articulação de diferentes métodos, que usualmente são feitos de maneira acrítica, podem ser estudados de maneira reflexiva. Ademais, a Organização Praxeológica como ferramenta analítica pode ser aplicada à formação de professores, os quais podem, em regime de observação ou autoavaliação da prática, comparar os métodos de ensino originais com aqueles implementados e tentar entender as modificações, e em que medida elas podem agregar ou denegrir uma ideia originalmente promissora.

5 ESTUDO EMPÍRICO: GÊNESE, PLANEJAMENTO, IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE UMA INOVAÇÃO DIDÁTICA NA UNIVERSIDADE DE HARVARD

Neste capítulo, são explicitados a metodologia e os resultados acerca da análise da gênese de uma inovação didática em desenvolvimento no ensino de Física da Universidade de Harvard e suas Organizações Praxeológicas planejada e implementada no segundo semestre de 2017. Na última seção, discutimos a avaliação de tal inovação.

5.1 METODOLOGIA DE PESQUISA

Nesta seção explicamos a metodologia de pesquisa adotada no estudo empírico. Em coerência com o perfil metodológico das pesquisas empíricas com a TAD destacado na revisão da literatura (Capítulo 2) – adotamos a metodologia de estudo de caso, mais especificamente, a acepção de Robert Yin (2010).

Na sequência, apresentamos: as concepções sobre estudo de caso de Robert Yin (2010); o contexto do estudo empírico realizado na universidade de Harvard com uma descrição da disciplina *Applied Physics 50* (AP50); os instrumentos de coleta de dados; e os procedimentos de análise de dados.

5.1.1 *Estudo de caso na perspectiva de Robert Yin*

Na acepção de Yin (2010), estudos de caso têm por objetivo investigar fenômenos sociais em grande profundidade e inseridos em seu contexto, principalmente, quando o limite entre esses fenômenos e o contexto não estão nitidamente definidos. Isso leva a uma definição técnica para o estudo de caso, segundo a qual a investigação:

- enfrenta a situação tecnicamente diferenciada em que **existirão muito mais variáveis de interesse do que pontos de dados**, e, como resultado

- conta com **múltiplas fontes de evidência**, com os dados precisando convergir de maneira triangular, e como outro resultado
- beneficia-se do desenvolvimento anterior das **proposições teóricas** para orientar a coleta e análise de dados. Yin (Ibid., p. 40, grifo nosso)

Yin (2010) define que podem existir basicamente três tipos de estudos de casos: *exploratórios*, *descritivos* e *explanatórios* (Figura 13). Estudos de caso exploratórios têm o propósito de inferir proposições e hipóteses que guiarão estudos posteriores, podendo ser utilizado em resposta a questões de pesquisa do tipo “o quê”. Estudos de caso descritivos têm por objetivo descrever certo fenômeno social. Por fim, os estudos explanatórios procuram articular proposições teóricas com teorias já existentes, buscando responder, geralmente, questões do tipo “como” e “por que”.

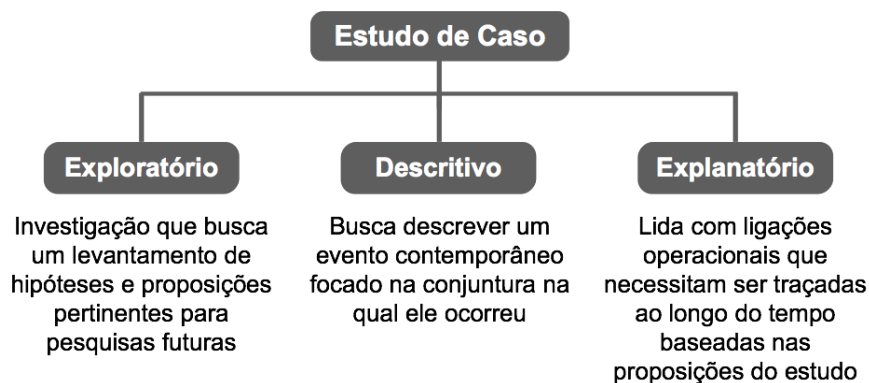


Figura 13 - Os tipos de estudos de caso propostos por Yin (Heidemann, 2015).

Os projetos de estudo de caso são diferenciados por dois tipos: os de *caso único* e os de *casos múltiplos*.

Yin (ibid.) defende que o uso de caso único é justificável nas seguintes circunstâncias:

(i) *caso crítico*: quando um caso é crítico para determinar se as proposições ou algum conjunto de explicações estão corretas ou possuem relevância;

(ii) *caso extremo ou peculiar*: utilizado quando se tem algo diferente do comum, muitas vezes raros;

(iii) *caso representativo ou crítico*: abordado com o objetivo de investigar situações corriqueiras ou de um lugar comum no qual os resultados possam ser, de certa forma generalizados, para contextos semelhantes;

(iv) *caso revelador*: empregado em situação na qual o investigador tem acesso a um fenômeno anteriormente inacessível;

(v) *caso longitudinal*: quando se estuda o mesmo caso único em diferentes pontos temporais.

No entanto, um mesmo estudo pode conter vários casos, o qual leva ao estudo de casos múltiplos. “[...] a justificativa para os projetos de casos múltiplos deriva, diretamente, de seu entendimento das *replicações literais e teóricas*” (Ibid., p.83). Estudos de casos múltiplos apresentam vantagens e desvantagens em comparação com estudos de casos únicos. Eles são considerados pesquisas mais arraigadas, porém podem exigir recursos e tempos mais extensos, além de não atender em certas condições do estudo de caso único, tais como os casos críticos, revelador ou peculiar (Ibid.).

Os casos únicos, assim como os casos múltiplos, podem conter mais de uma unidade de análise, consistindo em um *estudo de caso incorporado*. No caso de apenas uma unidade de análise, se tem um *estudo de caso holístico* (Ibid.). A Figura 14 apresenta uma caracterização detalhada dos estudos de caso na concepção de Yin.

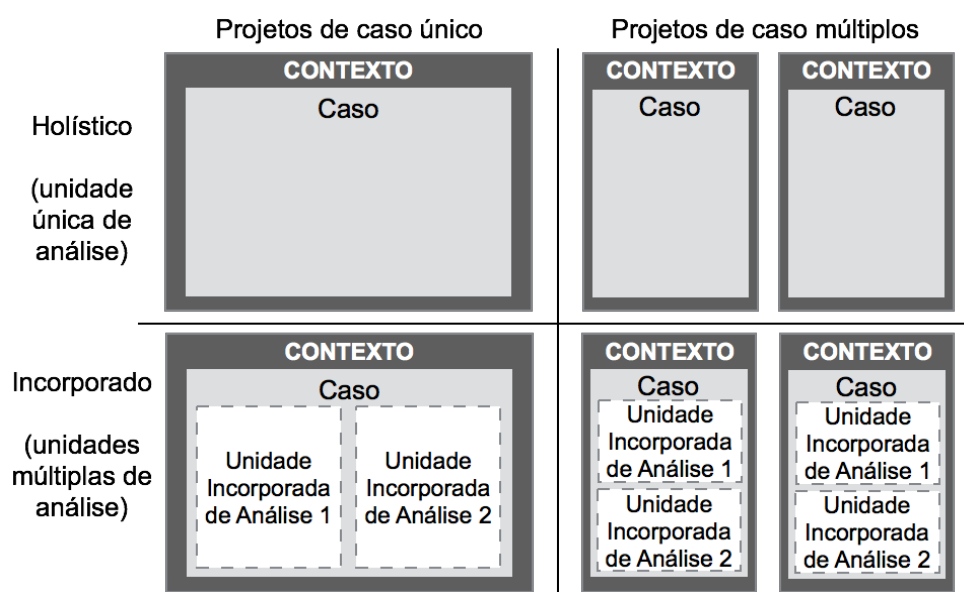


Figura 14 - Caracterização dos estudos de caso (Yin, 2010).

Yin (Ibid.) menciona que a coleta de dados do estudo de caso segue os seguintes princípios:

(i) uso de *múltiplas fontes de evidências*;

(ii) criação de um *banco de dados*;

(iii) formulação de vínculos que constituem um *encadeamento de evidências* entre as questões de pesquisa, os dados adquiridos e as conclusões do estudo.

Esses princípios servem para qualquer fonte de evidência que o pesquisador procure utilizar. Yin (Ibid.) relaciona como fontes de evidências comumente utilizadas: as documentações, registros em arquivo, entrevistas, observação direta, observação participante e artefatos físicos. É importante ressaltar que o estudo de caso permite a utilização de outras ferramentas que possam complementá-lo, tal como questionário de levantamento, além de permitir como forma de análise, o uso de dados quantitativos associados aos dados qualitativos.

Para a análise dos dados, Yin (2011) 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 nesta 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.

A seguir, apresentamos o contexto do estudo, o caracterizamos e descrevemos os instrumentos e procedimentos de análise para responder à questão de pesquisa 2 da presente tese:

Q2 - Como se deram a gênese, o planejamento, a implementação e a avaliação de uma inovação didática na Universidade de Harvard?

5.1.2 Contexto do estudo

No segundo semestre de 2017, o autor da presente tese realizou um estágio de doutorado sanduíche na Universidade de Harvard, no grupo do professor Eric Mazur. Esse estágio possibilitou o estudo de inovações didáticas em uma universidade que tem tradição em lançar inovações didáticas no ensino de Física, o que faz com que as inovações oriundas dessa universidade tenham potencial de serem difundidas, como foi o caso do método *Peer Instruction*. Na ocasião, diante do desenvolvimento de um novo método, posto em prática por meio da criação da disciplina *Applied Physics 50* (AP50), tivemos a oportunidade única de entender o desenvolvimento e implementação de uma inovação didática com potencial.

A AP50 é uma disciplina de Física introdutória voltada a estudantes de engenharia, caracterizada por uma aprendizagem orientada ao desenvolvimento de equipes e à elaboração de projetos. Há duas edições da disciplina, a AP50a e a AP50b. A primeira trata dos temas relacionados à mecânica clássica, e a segunda de tópicos sobre eletromagnetismo. Cada uma das edições é ofertada uma vez por ano, em sequência. A AP50 conta com no máximo 75 alunos por turma, divididos em equipes de 4-5 estudantes, e com a presença de cerca de oito monitores e dois professores. As equipes são modificadas três vezes ao longo do semestre, isto é, 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 *design* propício ao trabalho colaborativo, incluindo quadros brancos móveis (Figura 15).

A partir de um *software* de leitura colaborativa (*Perusall*¹⁵), os estudantes, em casa, leem e discutem algumas páginas do livro-texto. O *Perusall* permite que os estudantes façam marcações no livro-texto, façam perguntas e respondam às dos colegas. Na Figura 16, apresentamos um exemplo do ambiente virtual e da dinâmica de leitura colaborativa no *software*.

¹⁵ O *Perusall* (<https://perusall.com/>) é um *software* gratuito, utilizado para estudo prévio, que permite a colaboração entre estudantes por meio de marcações e anotações em arquivos no formato PDF compartilhados pelo professor.

Em sala, os alunos se envolvem em uma série de atividades que vão, progressivamente, possibilitando o domínio dos conceitos necessários para a construção dos projetos, a serem apresentados em feiras com avaliadores externos à disciplina. As atividades são as seguintes (Miller et al., 2016): Instrução pelos colegas (*Peer Instruction*), Tutoriais (*Tutorials*), Atividades de estimativa (*Estimation Activity*), Atividades experimentais (*Experimental Design Activity*), Resoluções de problemas e reflexão (*Problem Set & Reflection*) e Atividades de garantia de preparação (*Readiness Assurance Activities*). A seguir, discutimos cada uma das atividades.



Figura 15 – Sala de aula da AP50. (Fonte: <https://harvardmagazine.com/2012/09/reinventing-the-classroom>)

The image shows a screenshot of the Perusall platform. On the left, a textbook page titled "CHAPTER 2 MOTION IN ONE DIMENSION" is displayed. It contains text about vector magnitude and unit vectors, along with three diagrams (a, b, c) illustrating vector operations on a number line. Diagram (a) shows a unit vector \hat{i} pointing right. Diagram (b) shows a vector \vec{b} of length 2.0 m pointing right. Diagram (c) shows a vector \vec{c} of length 1.5 m pointing left. To the right of the textbook page, a chat window titled "Current conversation" is open, showing several messages from students asking for clarification on the "hat" notation for unit vectors.

Figure 2.16 The product of a unit vector \hat{i} and a scalar b_x yields a vector $\vec{b} = b_x \hat{i}$.

(a) Unit vector \hat{i} defines axis.

(b) Multiplying \hat{i} by $b_x = +2.0$ m gives \vec{b} .

(c) Multiplying \hat{i} by $c_x = -1.5$ m gives \vec{c} .

The magnitude of a vector tells us how much there is of that vector. In Exercise 2.4c, for instance, the magnitude of your friend's displacement is 3 m. When we draw one vector arrow longer than another in a diagram, we are saying that the vector represented by the longer arrow has a magnitude that is greater than the magnitude of the vector represented by the shorter arrow. A magnitude never has a sign associated with it.

There are two common ways of designating the magnitude of a vector symbolically: by drawing vertical lines on either side of its symbol or by removing the overarrow. Thus the magnitude of vector \vec{b} is denoted by either $|\vec{b}|$ or b . In this book, we usually use b for simplicity.

To specify vectors mathematically, we introduce a **unit vector**—a vector whose sole purpose is to define a direction in space. Unit vectors have no units, and the number associated with them (their *magnitude*) is one. They are denoted by a caret or "hat" ($\hat{}$) to distinguish them from ordinary vectors, whose magnitude can have any value; for example, the unit vector pointing in the direction of increasing x along the x -axis is denoted by \hat{i} (pronounced *i-hat*). In Figure 2.16a this unit vector is represented by a black arrow that points in the direction of increasing x along the axis. Because unit vectors have a magnitude of 1 and no units, we have

$$|\hat{i}| = 1. \quad (2.1)$$

Any vector along the x -axis can be written in **unit vector notation** as the product of a scalar and this unit vector:

$$\vec{b} = b_x \hat{i} \quad (\text{one dimension}) \quad (2.2)$$

where b_x is a scalar called the x *component* of the vector \vec{b} . The subscript x indicates that the quantity refers to the x axis and reminds you that the sign of b_x depends on our choice of axis direction. If the vector \vec{b} points in the positive x -direction (that is, in the direction of \hat{i} , the direction of increasing x), the scalar b_x is positive. If the vector \vec{b} points in the negative x -direction (that is, opposite the direction of \hat{i} , the direction of decreasing x), the scalar b_x is negative.

If we take the absolute value of Eq. 2.2 and substitute Eq. 2.1, we see that, for vectors in one dimension, the magnitude of the vector \vec{b} is equal to the absolute value of b_x :

$$b = |\vec{b}| = |b_x \hat{i}| = |b_x| |\hat{i}| = |b_x| \quad (\text{one dimension}). \quad (2.3)$$

Chat messages:

- I have never seen the "hat" notation used before. I do not understand how you are supposed to know if it is positive or negative based on the "hat". Could someone clarify how to use this? (Sep 1 4:45 pm)
- My understanding is that a vector with a hat is a unit vector, described in the paragraph above. Unit vectors simply indicate a direction, and they always have a magnitude of 1. In this notation, with b_x next to i -hat, b_x is just a scalar number that indicates the magnitude of the vector along the x -axis. The i -hat is a unit vector that shows the direction of increasing x . Together, these components make up a vector, written to the left of the "=" as b with an arrow above. (Sep 1 10:10 pm)
- I think that it can be a bit confusing to think of vectors as positive or negative. A vector can point in any direction, so it is more frequently expressed as pointing somewhere between 0–360 degrees. (Sep 3 3:05 am)
- The i -hat/unit vector notation is confusing to me as well, and I don't completely understand its purpose. Is it always defined before written in context with the scalar and vector? (Sep 4 1:30 pm)

Figura 16 – Material resultante da discussão entre os alunos na plataforma *Perusall*.

Instrução pelos colegas (Peer Instruction): ao longo do semestre, o professor conduz cerca de oito seções de *Peer Instruction* (como já descritas na introdução da presente tese), com aproximadamente 1h45min cada. Em uma seção, os alunos respondem de 8 a 12 testes conceituais (*Conceptests*) a respeito do texto lido antes da aula. Os alunos respondem cada questão individualmente e depois de discutí-la com a sua turma, respondem-na novamente. Esse processo é realizado com o *software Learning Catalytics*¹⁶, que possibilita que o professor crie e organize as questões, bem como monitore as respostas dos alunos em tempo real. Na Figura 17, apresentamos um exemplo de teste conceitual na tela do *Learning Catalytics* vista pelo professor durante a segunda votação dos alunos.

¹⁶ O *software* pode ser acessado em: <https://www.pearson.com/us/higher-education/products-services-teaching/learning-engagement-tools/learning-catalytics.html>

learning | catalytics™ Tobias Espinosa de Oliveira | UFRGS | Log out

Courses Questions Classrooms Training and Support Help Feedback Student view


My Courses > AP50a F2017 > Ch10 in-class > Session 65159549

Download results Attendance information Messages Delete data

Jump to 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

2. multiple choice

A box sits on the horizontal bed of a moving truck. Static friction between the box and the truck keeps the box from sliding around as the truck drives. If the truck moves with a constant acceleration to the left, as shown, in which direction is the static frictional force acting on the box?



A. to the left
B. to the right
C. The static friction is zero.

Round 1	Round 2
54 responses, 41% correct	55 responses, 91% correct
A. 41%	A. 91%
B. 56%	B. 9%
C. 4%	C. 0%

Figura 17 – Exemplo de questão conceitual no *Learning Catalytics* na visão do professor durante a segunda votação dos alunos.

Tutoriais: em sala de aula, as equipes trabalham para preencher uma lista de questões desenvolvidas para abordar as principais concepções alternativas do conteúdo em estudo. Durante um semestre são utilizados de 6 a 8 tutoriais do livro “*Tutorials in Introductory Physics*” (McDermott e Shaffer, 1998), nos quais os estudantes trabalham, por aproximadamente 1h, com suas equipes. Abaixo, expomos um exemplo de questão utilizada nessa etapa.

II – Desenhando diagramas de forças

Esboce um diagrama de forças para um livro em repouso sobre uma mesa nivelada. (Lembre-se: um diagrama de forças adequado não deve ter nada nele além da representação do livro e as forças agindo sobre o livro.)

Certifique-se de que o rótulo dado para cada uma das forças indique:

- o tipo de força (gravitacional, atrito etc.);
- o objeto sobre o qual a força age;
- o objeto que exerce a força.

1. Que evidência você tem da existência de cada uma das forças que você colocou no diagrama?

2. Que observações você pode fazer que permitam que você determine as magnitudes relativas das forças agindo sobre o bloco?

De que maneira você mostrou as magnitudes relativas das forças no seu diagrama? (McDermott e Shaffer, 1998, tradução nossa).

Atividades de estimativa: os estudantes recebem cerca de cinco quantidades a serem estimadas relacionadas ao tópico de estudo. Eles têm aproximadamente 30 min para pensar e trabalhar nas estimativas com seus colegas de equipe. As soluções são apresentadas em ordem de grandeza. A seguir, apresentamos um exemplo de atividade de estimativa utilizada no semestre observado.

Instruções: Estime (não adivinhe nem procure na internet!) a ordem de grandeza mais próxima das quantidades abaixo. Relate todas as suas respostas como uma ordem de grandeza (utilizando as unidades indicadas). Passe os primeiros cinco minutos pensando individualmente acerca de uma estratégia para abordar o problema e, em seguida, discuta com a sua equipe. Você tem exatamente 30 minutos, então pense rápido!

Quando sua equipe concluir todas as perguntas, verifique suas respostas com um dos professores ou monitores.

Importante: comece pelo que você sabe; não procure valores. Finja que você está sendo questionado sobre essas questões em uma entrevista de emprego. Ou que você quer surpreender as pessoas em um jantar.

Calcule a força de sustentação gerada pelas asas de um avião durante a decolagem. Unidade da resposta: [N]

Estime a altura da montanha que um estudante universitário poderia escalar com a energia economizada apagando as luzes do dormitório, em vez de mantê-las acesas para fazer uma tarefa de casa durante a noite toda. Unidade da resposta: [m] (material da disciplina, tradução nossa)

Atividades experimentais: atividades de laboratório e/ou simulações computacionais (ao estilo PhET¹⁷) que auxiliam no desenvolvimento de habilidades experimentais e analíticas para o desenvolvimento do projeto. Em uma atividade experimental, intitulada “Pêndulo balístico”, os alunos são solicitados a realizarem cálculos, testar seus aparatos e produzir um vídeo para subsequente análise via *software Tracker*. Segue, como exemplo, as orientações iniciais da referida tarefa.

¹⁷ Simulações interativas disponíveis em: <https://phet.colorado.edu/en/simulations/category/physics>

Para a atividade experimental de hoje, você construirá um aparato para transformar uma esfera em um projétil. Você será solicitado a calcular onde o projétil pousará (no chão) e colocará o alvo exatamente naquele local. Em seguida, você testará seu aparato e determinará a proximidade da sua esfera em relação ao alvo colocado. Você gravará um vídeo do seu projétil e o analisará no *Tracker* para verificar os cálculos que você realizou na parte 1. (material da disciplina, tradução nossa).

Resoluções de problemas e reflexão: listas com 4-5 problemas em que os estudantes têm uma semana para trabalharem sozinhos, em casa. É recomendado aos estudantes que se esforcem nas soluções sem consultar os colegas. Em classe, os alunos trabalham com a suas equipes na atividade de reflexão dos problemas. Nessa atividade, os estudantes discutem com seus colegas para melhorar as soluções dos problemas feitas em casa, e são instruídos a refletirem a respeito das partes das soluções que precisam ser melhoradas. Ao final dessa atividade, os alunos entregam as suas soluções e reflexões por escrito ao professor. Um exemplo de problema utilizado nessa etapa é exposto a seguir.

Star Galactic. Em um novo filme intitulado “Star Galactic”, o vilão, Sir Barron B. Bad, escapa de uma prisão da estação espacial. A prisão está localizada entre galáxias distantes de alguma estrela. Barron rouba uma pequena nave espacial. Ele a acelera em uma linha reta na aceleração máxima possível da nave de 30 m/s^2 . Após 12 minutos, todo o combustível é queimado e a nave desacelera a uma velocidade constante. Enquanto isso, a heroína, capitã Hailey Comet, ouve falar sobre a fuga e corre para recapturar o Sr. Bad. Hailey parte para a perseguição em uma nave cuja aceleração máxima é idêntica a do vilão. Infelizmente, o Sr. Bad tem uma vantagem de 30 minutos. Por sorte, a nave de Barron não estava com o tanque de combustível cheio ao início de sua fuga. Com o tanque cheio, a capitã Comet consegue manter a aceleração máxima por 15 minutos. Quanto tempo levará para a nave de Comet alcançar a de Barron? (material da disciplina, tradução nossa).

Atividades avaliativas de garantia de preparação para o projeto: tratam-se de avaliações realizadas cinco vezes por semestre com o objetivo de garantir que os estudantes estão na mesma linha de aprendizagem dos conceitos básicos do conteúdo. Durante a primeira metade da atividade, os estudantes trabalham individualmente para resolver uma série problemas. Os alunos podem consultar o livro-texto ou a internet, mas não têm permissão para conversar com os colegas. Na segunda metade da atividade, os alunos discutem os mesmos problemas e tentam chegar a um consenso. Ao final, a equipe submete as respostas para avaliação em um software apropriado (*Learning Catalytics*). Depois de submeter as respostas, o sistema indica se as

respostas estão certas ou erradas, e, em caso de erro, os estudantes voltam a discutir a questão e podem respondê-la novamente, mas recebem metade da nota referente a questão.

Os alunos ainda avaliam seus colegas de equipe. Todas as equipes se envolvem em projetos com objetivos e orientações similares, dados pelos professores. 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.

5.1.3 Caracterização e procedimentos do estudo

Para obter informações acerca da gênese de uma inovação didática, realizamos um estudo exploratório, em contexto único com duas unidades de análise: o professor Eric Mazur, principal responsável pela criação da inovação didática em estudo; e a Professora L, uma colaboradora que esteve presente desde a criação da inovação. 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 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 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.

As entrevistas semiestruturadas, realizadas ao final do semestre, tiveram duração de aproximadamente 30 minutos cada e eram constituídas de três questões, cujo objetivo era obter uma descrição do processo de desenvolvimento da AP50. Cada questão foi acompanhada de uma série de subquestões que auxiliaram a guiar a discussão.

- 1) Conte-me um pouco sobre a história da AP50? Como que a ideia da AP50 surgiu? 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 TBL, 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) descritas anteriormente.

Para a construção da Organização Praxeológica (OP) planejada da AP50, realizamos uma categorização, em termos de Tipos de tarefa, Técnicas, Tecnologias e Teorias, por meio da análise dos seguintes materiais: Plano de ensino (*Syllabus*), livro-texto, Protocolos de avaliação (*Rubrics*), Orientações de projetos (*Project Briefs*), Artigo de Miller et al. (2016) e um vídeo de apresentação da AP50¹⁸.

Já a construção da OP da AP50 aplicada foi feita por meio das observações, notas de campo e entrevistas com os dois instrutores (Professora L e Professor P) e seis dos oito monitores da disciplina no semestre vigente. O professor Eric Mazur não estava ministrando as aulas neste semestre, deixando o cargo ao Professor P, que nunca havia lecionado qualquer disciplina com metodologias ativas de ensino. Dois monitores não manifestaram interesse em participar das entrevistas. As oito entrevistas tiveram duração média de 30 minutos cada e todos os participantes assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido (Apêndice 3).

A entrevista semiestruturada realizada com o corpo docente da AP50 continha quatro questões. Tendo em vista que as transformações nas Ops ocorrem, em grande parte, devido às instituições, as questões 1, 2 e 4 visavam instigar discussões que nos possibilitasse entender algumas das relações dos sujeitos com a instituição AP50 e com outras que fazem ou fizeram parte, destacando, sobretudo, conflitos entre experiências de ensino em instituições de aprendizagem ativas e tradicionais. A terceira questão questionava os participantes diretamente acerca das mudanças que ocorreram no método de ensino (Tipos de tarefa e Técnicas) e das razões (Tecnologias).

¹⁸ Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=Wzs2zX1_aZc

- 1) Em geral, fale sobre a sua experiência com a AP50. O que você pensa sobre a AP50? Esta é a sua primeira experiência com metodologias ativas de ensino?
- 2) Comparando a AP50 com outros métodos de ensino – tradicionais e ativos –, que vantagens e desvantagens você destacaria?
- 3) Com relação ao que foi planejado no início do semestre, que mudanças foram feitas na AP50 nesse semestre? Por quê?
- 4) Se você pudesse mudar qualquer coisa na AP50, o que você mudaria?

5.2 A GÊNESE DE UMA INOVAÇÃO DIDÁTICA NO ENSINO DE FÍSICA: UM ESTUDO DE CASO EXPLORATÓRIO NA UNIVERSIDADE DE HARVARD

Descrevemos nesta seção o processo de desenvolvimento da disciplina *Applied Physics 50* (AP50) (Figura 18) 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)¹⁹. As observações do pesquisador, proveniente da vivência *in loco*, também foram consideradas para a análise e interpretação dos resultados que passamos a explicar.

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 tanto pelo modelo de Rogers quanto pela TAD, 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 atrás, 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

¹⁹ Uma versão reduzida do estudo exposto nesta seção foi apresentada no XVII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física.

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. [Mazur, tradução nossa]

A Professora L reforça a argumentação:

Como muitos estudantes de engenharia estavam cursando a *Physics II* [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, tradução nossa]

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 tinha experiência no desenvolvimento de um método ativo de ensino, bem como leituras e pesquisas na área, formando um conjunto de condições que lhe possibilitaram desenvolver a AP50. O professor mencionou que na construção da AP50, diferentemente do PI, era necessário pensar a experiência como um todo.

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. [Mazur, tradução nossa]

Durante alguns anos, Eric lecionou, no departamento de Física, uma disciplina chamada *Physics II*, 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, tradução nossa]

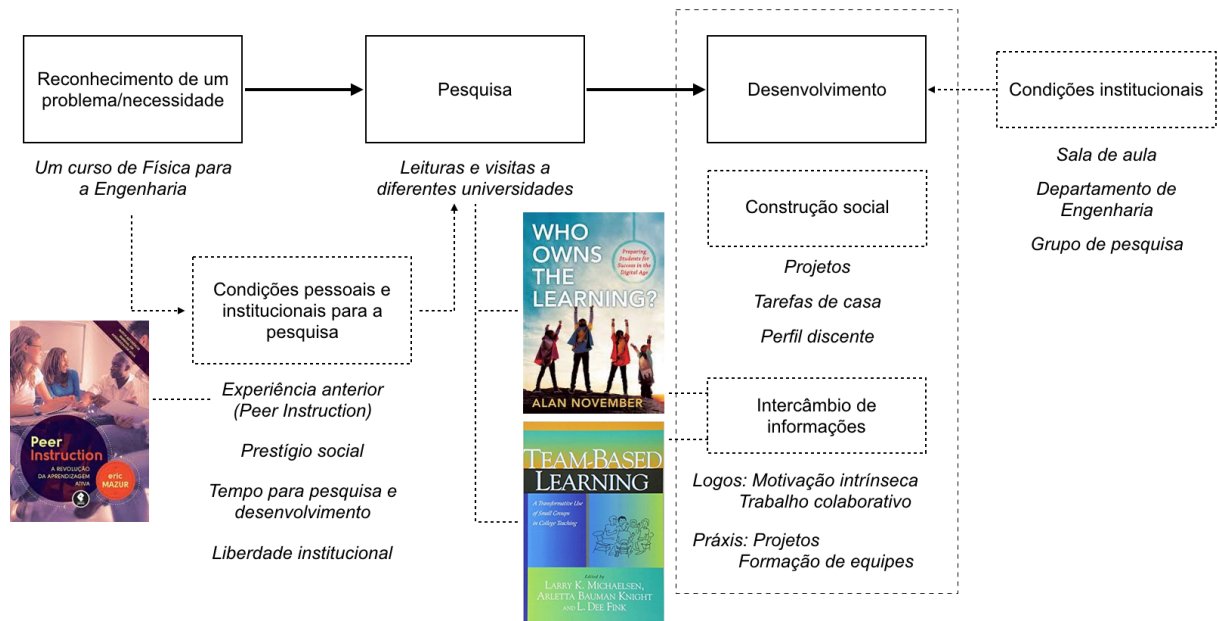


Figura 18 – Processo genealógico da AP50.

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). Esses fatores possivelmente o colocaram em uma posição política privilegiada na instituição 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 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. [Mazur, tradução nossa]

Ademais, diferentemente do departamento de Física de Harvard, a Escola de Engenharia é uma instituição menos conservadora frente às inovações didáticas. Segundo 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. Sendo assim, 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 o departamento de Física. Acho que porque, em parte, permitiu que ele tivesse mais controle sobre a pedagogia. [Professora L, tradução nossa]

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 compreendam 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, tradução nossa]

É importante salientar que, em contexto norte americano, os cursos de engenharia têm grande prestígio, pois são responsáveis pela formação de grande parte das pessoas que desenvolverão as inovações tecnológicas. Nesse sentido, é razoável que o professor Eric Mazur tenha ganho incentivo 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 acham 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, tradução nossa]

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. [Mazur, tradução nossa]

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, tradução nossa]

No decorrer de sua busca, Mazur adotou duas referências que, por meio de um **intercâmbio de informações**, levaram-no ao desenvolvimento do *logos* e da *práxis* da AP50: o livro “*Who owns the learning*”, escrito por Alan November (2012) e as ideias do método *Team-Based Learning*, 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. [Mazur, tradução nossa]

Estabelecidas as bases tecnológicas, foram geradas as técnicas e tarefas (*práxis*) coerentes. 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. [Mazur, tradução nossa]

A outra importante influência à criação da AP50, o método *Team-Based Learning* (TBL), 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 da tecnologia do método, 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 [...] [Mazur, tradução nossa]

Na AP50 foram adotados os tipos de tarefas do TBL que contam sempre com atividades individuais e em equipe, usualmente intercaladas. Um exemplo é a tarefa de garantia de preparação (*readiness assurance*), cujo 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) para o desenvolvimento de equipes de aprendizagem é outro exemplo de *práxis* proveniente do TBL. As tarefas e técnicas, bem como as tecnologias, do TBL original não eram suficientemente coerentes com o *logos* 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. [Mazur, tradução nossa]

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, tradução nossa]

O intercâmbio de informações com os desenvolvedores do TBL é constante. Em 2017/2 houve um minicurso com o professor Michael Sweet, 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 explicitados foi a já mencionada necessidade de que os alunos aprendam a trabalhar com diferentes grupos de pessoas, defendida pelo professor Mazur e seus colaboradores. 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 sentido, Michael apresentou algumas alternativas, as quais não foram implementadas devido a objetivos de pesquisa do grupo do professor Mazur. Ademais, houve, ao final do minicurso, discussões acerca de resultados de pesquisas. Ficou evidente a proximidade entre os professores Eric Mazur e Michael Sweet.

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).

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. [Mazur, tradução nossa]

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. [Mazur, tradução nossa]

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. Isto é, 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 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 de 2017/2, por exemplo, entre um total de 87 respondentes, 39% afirmaram concordar fortemente e 49% disseram concordar com a seguinte frase: “Em aulas de ciência, é importante que os professores reservem tempo de aula para que possam discutir os principais conceitos e ideias com outros estudantes da 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). 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*). 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, tradução nossa]

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 técnicas presentes na AP50, nota-se a pouca ênfase na melhora do desempenho. 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.

Sabendo que o julgamento do sujeito acerca da própria capacidade de realizar ações e tarefas (crença de autoeficácia) é um fator essencial à motivação (Bandura, 1997; Bzuneck, 2004), Mazur e colaboradores começaram a envidar esforços para analisar o impacto da AP50 nas crenças de autoeficácia dos estudantes em quatro dimensões: entendimento conceitual, resolução de problemas, trabalho colaborativo e realização de atividades experimentais e investigativas. Frente aos resultados não tão animadores em termos de ganhos de desempenho em testes padronizados, os resultados sobre autoeficácia seriam determinantes para a dinâmica evolutiva da organização praxeológica da AP50. O autor da presente tese participou da construção e validação de um questionário para a mensuração da autoeficácia discente, bem como de sua aplicação e análise. Os resultados desse estudo são apresentados na Seção 5.5.

Certamente, outros elementos institucionais, não identificados aqui devido ao escopo metodológico adotado, fizeram e fazem parte da construção social da AP50.

A partir da análise, 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 do presente estudo que, assim como na adoção, o desenvolvimento de inovações didáticas requer uma série de condições que o possibilitem. Em nossa análise, todas as condições 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 e 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 contexto específicos, característica que, segundo Olmstead e Turpen (2017), é predominante em minicursos que têm sucesso em disseminar inovações didáticas 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 ainda não há 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*).

5.3 *APPLIED PHYSICS 50*: UMA PRAXEOLOGIA PLANEJADA NA UNIVERSIDADE DE HARVARD

A partir dos processos metodológicos descritos no Capítulo 4 e na Seção 5.1, construímos uma Organização do Método (OME) planejada para a implementação da disciplina *Applied Physics 50* (AP50) na Universidade de Harvard. Tal construção, exposta nos quadros

13 e 14, nos possibilitou identificar algumas das principais características do método, as quais auxiliaram na análise da implementação do método na própria Universidade de Harvard.

Nos quadros 13 e 14 é exposta a OME planejada, no *topos* do aluno e do professor, respectivamente. Em seguida descrevemos a interpretação dos quadros.

Quadro 13 - Atividades da AP50 em termos de Tipos de tarefa (T), Técnicas (τ) e Tecnologias (θ), descritas no *topos* do aluno (sinalizado pelo índice “a”).

T_{a1}	Ler e fazer anotações em um capítulo do livro-texto indicado pelo professor.
τ_{a1}	Os estudantes, fora da sala de aula, acessam o livro-texto via um <i>software</i> de leitura colaborativa <i>online</i> (<i>Perusall</i>). As anotações são feitas destacando passagens do livro e escrevendo em um campo de texto que aparece na margem da página. Nesse campo, os estudantes fazem comentários e perguntas acerca do que estão lendo e respondem às questões feitas pelos colegas.
θ_{a1}	O primeiro contato extraclasse valoriza o tempo em sala de aula. As anotações feitas durante a leitura contribuem para que o aluno adquira prática na leitura de textos técnicos, se responsabilize pela própria aprendizagem e forneça um <i>feedback</i> ao professor, que se torna capaz de ajustar as atividades em sala de aula às necessidades dos alunos. As anotações são avaliadas pela qualidade (reflexão), quantidade, pontualidade e distribuição, incentivando os estudantes a adquirirem habilidades de aprendizagem autodirigida.
T_{a2}	Resolver uma série de questões (8-12 <i>Conceptests</i>) que focam em conceitos específicos selecionados da leitura realizada fora da sala de aula.
τ_{a2}	<i>Peer Instruction</i> : Individualmente, cada aluno pensa e responde a uma questão posta pelo professor no <i>software Learning Catalytics</i> . Depois que todos responderam, caso as respostas sejam divergentes, eles as discutem em equipe, tentando um convencer ao outro, e a respondem novamente no sistema. Em seguida, outra questão é proposta.
θ_{a2}	A instrução pelos colegas auxilia no aprofundamento do conhecimento construído no estudo prévio e em dirimir qualquer dúvida remanescente da leitura. As habilidades desenvolvidas nessa atividade ajudam os estudantes no desenvolvimento das atividades seguintes (<i>Problem sets</i> e <i>readiness assurance activities</i>). Ao discutir as questões com os colegas estimula-se: a capacidade de questionar, ouvir e identificar múltiplas abordagens e pontos de vista. Essa atividade não é avaliada em termos de conhecimento. O estudante é avaliado pela participação, pontualidade e ética – o que constitui em uma pontuação referente ao profissionalismo. Esse tipo de avaliação incentiva os estudantes a tentarem, mesmo com a possibilidade de erro. Não ter medo do erro é determinante para a criatividade e para a inovação.
T_{a3}	Resolver uma folha de tarefas, consideradas mais difíceis, acerca do conteúdo que está sendo estudado.
τ_{a3}	<i>Tutorials</i> : Em equipe, os alunos discutem seus pensamentos acerca de questões consideradas mais difíceis. Eles utilizam quadros brancos móveis para auxiliar nas explicações. Os professores e monitores contribuem para as discussões. Ao término da atividade, as equipes devem verificar as respostas com o mentor da equipe.
θ_{a3}	Os tutoriais auxiliam no aprofundamento do conhecimento construído no estudo prévio por meio das questões mais difíceis que envolvem o conteúdo, tentando eliminar as concepções alternativas.

As habilidades desenvolvidas nessa atividade ajudam os estudantes no desenvolvimento das atividades seguintes (*Problem sets e readiness assurance activities*).

Ao discutir as questões com os colegas estimula-se: a capacidade de questionar, ouvir e identificar múltiplas abordagens e pontos de vista.

Essa atividade não é avaliada em termos de conhecimento. O estudante é avaliado pela participação, pontualidade e ética – o que constitui em uma pontuação referente ao profissionalismo. Esse tipo de avaliação incentiva os estudantes a tentarem, mesmo com a possibilidade de erro. Não ter medo do erro é determinante para a criatividade e para a inovação.

T_{a4} Resolver uma lista com cinco ou seis quantidades físicas a serem determinadas em ordens de grandeza.

τ_{a4} *Estimation Activity*: Individualmente, durante aproximadamente cinco minutos, os alunos pensam em uma estratégia para estimar as quantidades pedidas nos problemas. Em seguida, discutem as questões em equipe para encontrar uma solução. Eles utilizam quadros brancos móveis para auxiliar nas explicações.

Para realizar as estimativas, os estudantes são orientados a utilizar as ideias apontadas no Capítulo 1 do livro-texto, que são: (i) Desenvolver uma estratégia; (ii) Simplificar; (iii) Estimar; (iv) Usar fragmentos de conhecimento.

θ_{a4} Essa atividade busca desenvolver habilidades de estimativas, as quais são essenciais para a resolução de problemas. As atividades de estimativa permitem que o sujeito desenvolva uma intuição física dos problemas antes de tentar resolvê-los. Também possibilitam que o aluno aprenda a validar suas respostas mediante a análise da ordem de grandeza dos resultados. A estimativa é um aspecto importante da ciência, capaz de possibilitar *insights* e desenvolvimento de habilidades analíticas e de pensar fora da caixa (Mazur, 2016).

As habilidades desenvolvidas nessa atividade ajudam os estudantes no desenvolvimento das atividades seguintes (*Problem sets e readiness assurance activities*).

Ao discutir as questões com os colegas estimula-se: a capacidade de questionar, ouvir e identificar múltiplas abordagens e pontos de vista.

Essa atividade não é avaliada em termos de conhecimento. O estudante é avaliado pela participação, pontualidade e ética – o que constitui em uma pontuação referente ao profissionalismo. Esse tipo de avaliação incentiva os estudantes a tentarem, mesmo com a possibilidade de erro. Não ter medo do erro é determinante para a criatividade e para a inovação.

T_{a5} Resolver uma série de atividades de cunho experimental.

τ_{a5} *Experimental Design Activity*: Os estudantes, com suas equipes, realizam ações ligadas a medidas, análise de dados e simulações computacionais.

θ_{a5} A realização das atividades propostas contribui para que os estudantes desenvolvam habilidades experimentais e analíticas que são importantes para o desenvolvimento do projeto.

Ao discutir as questões com os colegas estimula-se: a capacidade de questionar, ouvir e identificar múltiplas abordagens e pontos de vista.

Essa atividade não é avaliada em termos de conhecimento. O estudante é avaliado pela participação, pontualidade e ética – o que constitui em uma pontuação referente ao profissionalismo. Esse tipo de avaliação incentiva os estudantes a tentarem, mesmo com a possibilidade de erro. Não ter medo do erro é determinante para a criatividade e para a inovação.

T_{a6} Resolver reflexivamente a uma série de problemas de aplicação dos conceitos estudados.

- τ_{a6}** *Problem sets and Reflection*: O estudante, individualmente em casa, envida esforços para resolver os problemas propostos pelos professores, usando o seguinte procedimento (*Problem Solving Rubric*): (i) Introdução: o estudante deve indicar as informações importantes e resumir o problema. Se possível, deve incluir um diagrama e anotar os pressupostos a serem considerados; (ii) Elaborar um plano: o aluno deve dividir o problema em questões menores e gerenciáveis, identificando quais as relações físicas que irá aplicar; (iii) Executar o plano: o esquema proposto é colocado em prática, explicando cada passo; (iv) Avaliar a solução: o estudante deve verificar a razoabilidade física dos resultados encontrados.

Em sala de aula, os alunos trabalham com as equipes para discutir e melhorar as soluções, resolver dificuldades conceituais e refletir acerca das áreas que precisam ser melhoradas (*Problem Set Reflection*). Eles utilizam quadros brancos móveis para auxiliar nas explicações.

Para a reflexão, o estudante preenche um formulário de autoavaliação no qual ele precisa explicar as partes que mais encontrou dificuldades ao trabalhar individualmente e como fez para superá-las.

- θ_{a6}** A resolução de problemas com a técnica proposta auxilia no desenvolvimento de habilidades de resolução de problemas e na autoavaliação do próprio conhecimento e das próprias habilidades.

Seguindo as instruções, os alunos podem aprender algumas práticas que auxiliam na resolução de problemas, como:

- planejar a solução;
- quebrar um problema complexo em problemas menores;
- verificar a solução justificando a sua razoabilidade, verificando a sua simetria, avaliando casos limitantes e especiais, relacionando a solução com outras situações ou soluções conhecidas, conferindo unidades, análise dimensional e/ou verificando a ordem de grandeza da resposta.

Ao discutir as questões com os colegas estimula-se: a capacidade de questionar, ouvir e identificar múltiplas abordagens e pontos de vista. Além disso, em equipe, os alunos são capazes de resolver problemas que não conseguiriam individualmente.

A avaliação dessa atividade analisa a habilidade do sujeito de resolver problemas, de avaliar o próprio trabalho e de determinar o que precisa ser revisado. Tal avaliação visa estimular a habilidade de aprendizagem autodirigida dos alunos.

- T_{a7}** Resolver uma série de questões avaliativas que servem como garantia de preparação.

- τ_{a7}** *Readiness Assurance Process (RAA)*: Primeiramente, os alunos trabalham individualmente para resolver um conjunto de problemas. Para isso, os estudantes podem consultar o livro-texto e a internet, mas não podem discutir com os colegas.

Em seguida, os estudantes se juntam com a equipe para discutir os problemas até que entrem em um consenso. Depois disso, a equipe deve submeter as respostas. O sistema (*Learning Catalytics*) indica se a resposta está correta ou não (*feedback* instantâneo). Caso esteja incorreta, a equipe volta a discutir a questão e a responde novamente. Eles utilizam quadros brancos móveis para auxiliar nas explicações.

- θ_{a7}** O RAA tem como propósito garantir que todos os estudantes estejam na mesma linha de aprendizagem dos conceitos que foram estudados até o momento. Trata-se de uma avaliação das habilidades em resolver problemas individualmente (50%) e em equipe (50%), incentivando o domínio do conteúdo. Geralmente, o desempenho da equipe é superior ao do melhor integrante da equipe.

A parte da atividade desenvolvida em equipe oportuniza ao estudante aprender em um ambiente colaborativo, consolidar o conhecimento, aperfeiçoar suas habilidades de trabalho colaborativo para alcançar os melhores resultados possíveis e receber *feedback* imediato do desempenho, tanto individual como em equipe.

O *feedback* instantâneo possibilita, em caso de erro, discussões acerca dos problemas de entendimento.

T_{a8} Desenvolver projetos de investigação orientada que abordam os conteúdos de física estudados (três projetos durante o semestre).

τ_{a8} Os alunos leem cuidadosamente o manual de instruções do projeto entregue pelos professores. Em seguida, em equipe, redigem uma proposta (modelo) e um contrato destacando as responsabilidades de cada membro da equipe. Após a aprovação da proposta e do contrato, os alunos devem se engajar na construção do projeto, cujos materiais são disponibilizados pelos professores. A montagem dos protótipos geralmente acontece nas seções de laboratório (uma vez por semana), nas quais os alunos têm acesso aos materiais necessários à montagem do projeto. Na construção, recomenda-se que se utilize um caderno de campo e siga o seguinte processo: (i) Identificar a necessidade ou problema; (ii) pesquisar a necessidade ou problema; (iii) desenvolver possíveis soluções; (iv) selecionar as melhores soluções; (v) construir um protótipo (um modelo); (vi) testar a(s) solução(ões); (vii) comunicar a(s) solução(ões); e (viii) remodelar a solução com base nas informações coletadas durante os testes e soluções. O projeto é apresentado em uma feira, na qual os alunos divulgam os resultados e são avaliados por jurados externos. Em seguida, redigem um relatório.

θ_{a8} Os projetos têm como propósito transferir a aprendizagem e o entendimento dos alunos acerca dos conceitos estudados para o contexto do “mundo real”.

A construção dos projetos a partir da técnica descrita auxilia no desenvolvimento e no aprimoramento de uma série de habilidades que são trabalhadas nas tarefas anteriores: análise qualitativa, análise quantitativa, diagnóstico, *design*, trabalho em equipe, comunicação, aprendizagem contínua e ética.

A avaliação da apresentação e discussão dos projetos é feita por jurados externos, os quais avaliam os resultados do trabalho em equipe. Nos relatórios são avaliados o conteúdo e a estrutura.

T_{a9} Avaliar os colegas de equipe e se autoavaliar.

τ_{a9} Três vezes no semestre, os estudantes preenchem um formulário (*Peer Assessment*) no qual os alunos avaliam uns aos outros, e a si mesmo, levando em consideração os seguintes aspectos: preparação para as aulas, contribuição para as discussões, respeito pelas ideias dos outros e flexibilidade em discordâncias. Além disso, destaca-se os pontos fortes de cada um e sugestões daquilo que pode ser melhorado.

θ_{a9} É importante que os estudantes que estão trabalhando e contribuindo para o bem da equipe recebam feedbacks positivos; e que aqueles que não estão trabalhando bem recebam sugestões para que possam melhorar.

Esse sistema de avaliação possibilita que os indivíduos possam melhorar suas práticas como membros de equipe, tais como: chegar em classe preparado; participar ativamente das atividades; estar preparado para compartilhar a abordagem escolhida individualmente para a solução das atividades, o porquê escolheu tal abordagem e o quão confiante está a respeito disso; respeitar e ouvir o ponto de vista dos colegas; e deliberar enquanto o tempo permitir.

Quadro 14 - Atividades da AP50 em termos de Tipos de tarefa (T), Técnicas (τ) e Tecnologias (θ), descritas no *topos* do professor (sinalizado pelo índice “p”).

T_{p1} Organizar equipes de aprendizagem.

τ_{p1} Por meio de um *software*, as equipes são divididas de forma heterogênea em termos de conhecimentos de física. Antes da disciplina os alunos respondem a um questionário de física básica e a nota adquirida nesse teste é usada para separar os grupos.

Em cada projeto, novas equipes são montadas, seguindo o mesmo critério de heterogeneidade.

0_{p1}	<p>A organização das equipes de maneira heterogênea favorece o surgimento de equipes com níveis semelhantes de interatividade, bem como evita a constituição de subgrupos, os quais podem prejudicar o trabalho colaborativo.</p> <p>As equipes mudam em cada projeto para que os alunos tenham chance de contribuir efetivamente em diferentes funções em equipes diversas e sejam capazes de ouvir e identificar múltiplas abordagens e pontos de vista.</p>
T_{p2}	<p>Realizar breves exposições com base nas dúvidas expressas pelos estudantes na leitura de casa.</p> <p>τ_{p2} Antes da aula, o professor analisa as discussões e dúvidas dos alunos expostas na leitura realizada no <i>software Perusall</i>. Com isso, o docente organiza exposições sob medida para a turma.</p> <p>O professor, antes de apresentar cada questão conceitual no <i>Learning Catalytics (Peer Instruction)</i>, expõe as principais dúvidas dos alunos e as responde.</p> <p>0_{p2} A exposição oral tenta garantir que as dúvidas remanescentes da leitura e da discussão em equipe sejam esclarecidas e, com isso, que os estudantes estejam preparados para aplicar os conceitos aprendidos nas tarefas seguintes.</p>
T_{p3}	<p>Escolher/desenvolver questões/problemas para cada atividade desenvolvida na AP50.</p> <p>τ_{p3} Novas questões e adaptações para cada atividade são discutidas em reuniões – normalmente realizadas pelo menos uma vez por semana.</p> <p>0_{p3} Assim como nas aulas, as atividades da AP50 são desenvolvidas por meio de trabalho colaborativo entre os professores e os monitores.</p>
T_{p4}	<p>Orientar os alunos no desenvolvimento dos projetos.</p> <p>τ_{p4} Um monitor fica responsável por duas ou três equipes. Toda semana os monitores se encontram com as suas equipes nas seções de laboratório. Os alunos podem fazer perguntas aos seus monitores a qualquer momento e os monitores tentam garantir que os alunos façam as melhores escolhas para seu projeto, sem interferir diretamente. Algumas das dúvidas dos alunos são trazidas pelo monitor responsável para serem discutidas nas reuniões com os professores e os demais monitores.</p> <p>0_{p4} O desenvolvimento de um projeto gera muitas dúvidas nos alunos. Com um tempo limitado pela disciplina, é preciso que eles tenham algum tipo de orientação.</p>
T_{p5}	<p>Avaliar os alunos.</p> <p>τ_{p5} Na AP50 os alunos não são avaliados por meio de testes, eles são avaliados em todas as atividades que fazem parte da disciplina, em uma escala de três pontos:</p> <p>3 = excedeu significativamente as expectativas (dado apenas em casos excepcionais)</p> <p>2 = satisfaz as expectativas</p> <p>1 = precisa melhorar</p> <p>0 = insuficiente</p> <p>A nota final dos alunos é atribuída em quatro domínios:</p> <p>(i) Aprendizagem autodirigida (anotações no livro-texto (T_{a1}) e <i>Problem sets and Reflection</i> (T_{a6}));</p> <p>(ii) Domínio do conteúdo (<i>Readiness Assurance Activities</i> (T_{a7}) e Relatórios dos projetos (T_{a8}));</p> <p>(iii) Trabalho em equipe (Apresentação do projeto (T_{a8}) e <i>Peer Assessment</i> (T_{a9}));</p> <p>(iv) Profissionalismo (participação, pontualidade e ética (T_{a2}, T_{a3}, T_{a4}, T_{a5})).</p>

- θ_{p5} A avaliação na disciplina não é calcada apenas no domínio dos conteúdos de Física, pois busca desenvolver, por meio dessa avaliação diversificada, as habilidades de análise quantitativa, análise qualitativa, *design*, diagnóstico, trabalho em equipe, comunicação, aprendizagem contínua e ética.
-

Na OME planejada para a disciplina AP50, destacam-se algumas características principais: (i) a ausência de teorias explícitas; (ii) as tarefas do *topos* dos alunos são prioritariamente voltadas à resolução de atividades; (iii) abordagem *scaffolding*; (iv) a influência de *softwares* nas técnicas do método; (v) a importância dada ao desenvolvimento de habilidades voltadas ao trabalho colaborativo; (vi) a ênfase ao desenvolvimento de habilidades de aprendizagem autogerida; (vii) a valorização do erro; e (viii) a avaliação diversificada.

Assim como nas características levantadas anteriormente acerca da OME de referência do *Team-Based Learning* (TBL), a OME planejada da AP50 não conta com teorias explícitas que justifiquem, descrevam ou gerem os discursos tecnológicos. Assim como o TBL, a AP50 tem origem pragmática, característica dos métodos ativos desenvolvidos em contexto norte americano. Entretanto, a análise da Seção 5.2 nos permitiu inferir que os discursos teóricos implícitos subjacentes aos discursos tecnológicos descritos nos quadros 13 e 14 têm raiz em teorias sobre motivação extrínseca e intrínseca. As atividades propostas na AP50 visam preparar os estudantes para aplicar os conceitos aprendidos no desenvolvimento de um projeto cuja motivação seja intrínseca. Isto é, a motivação parte de um propósito que move o sujeito para ações que façam sentido a ele, e não por motivos externos, como notas.

Visivelmente, a quantidade de Tipos de tarefa no *topos* do aluno é maior que a quantidade do *topos* do professor, o que é coerente com uma abordagem didática em que o aluno é ativo. Dentre os Tipos de tarefa do *topos* dos estudantes, o gênero que se sobressai é o verbo “resolver” ($T_{a2} - T_{a7}$). Ou seja, as tarefas dos alunos se constituem, prioritariamente, na resolução de atividades. O tipo de tarefa T_{a8} e T_{a9} têm como gênero, respectivamente, os verbos “desenvolver” e “avaliar”. Nesse sentido, cabe ao aluno desenvolver um projeto e avaliar os colegas e a si mesmo. Além desses, os gêneros “Ler e fazer” aparecem na primeira tarefa, com o intuito de preparação para os tipos de tarefa subsequentes.

A partir de alguns discursos tecnológicos (θ_{a2} , θ_{a3} , θ_{a4} e θ_{a5}), podemos notar que tais atividades são organizadas em uma abordagem do tipo *scaffolding*, o que significa que as técnicas são desenvolvidas de maneira que os alunos sejam progressivamente guiados em direção a uma maior compreensão do conteúdo e ao desenvolvimento das habilidades necessárias para a execução dos projetos. Os discursos citados justificam parcialmente as

técnicas correspondentes (τ_{a2} , τ_{a3} , τ_{a4} e τ_{a5}) pela sua necessidade para a realização do Tipo de tarefa seguinte.

Muitas das técnicas (τ_{a1} , τ_{a2} , τ_{a7} e τ_{p1}) presentes na OME construída pressupõem a utilização de algum *software*. Essas técnicas facilitam a realização dos Tipos de tarefa por meio da utilização do *software*. O *Perusall*, por exemplo, foi desenvolvido, como vimos na análise da gênese da AP50, para solucionar problemas advindos da institucionalização da AP50. Com ele, os estudantes acessam o livro-texto *online* e podem realizar marcações e anotações, ao mesmo tempo em que discutem com os colegas. O *software* ainda conta com um sistema de avaliação automatizado que possibilita a análise do engajamento do aluno na leitura. Como exposto na tecnologia θ_{a1} , as anotações são avaliadas pela qualidade da reflexão, quantidade, pontualidade e distribuição, o que seria inviável de ser feito manualmente.

O *Learning Catalytics* (LC) é outro *software* utilizado na disciplina. O LC possibilita uma maior interação dos estudantes na resolução de questões conceituais, pois permite a inserção de outros tipos de questões que não sejam de múltipla escolha (e.g. a, b, c, d ou e), como, por exemplo, questões em que o estudante pode desenhar um vetor ou escrever uma equação. O LC também retorna ao professor a distribuição de respostas dos alunos em tempo real. Podendo ser utilizado para direcionar as ações seguintes nas atividades de *Peer Instruction* (τ_{a2}). Além disso, possibilita o *feedback* imediato durante a técnica τ_{a7} (*Readiness Assurance Activity* - RAA), similar às cartelas de correção instantânea utilizadas no TBL. Nesse sentido, o LC se apresenta como uma solução tecnológica – no sentido não chevallardiano – para a solução de diversos tipos de tarefa, inclusive àquela cuja origem é proveniente do TBL. Inclusive, a T_{p1} , que consiste em organizar as equipes de aprendizagem, que também é originária do TBL, e que é parcialmente resolvida pela divisão, de forma heterogênea, das equipes, é realizada pelo professor com o auxílio de um *software* específico que separa os estudantes a partir das notas recebidas em um teste de conhecimento aplicado antes do início do semestre. No TBL original, a divisão das equipes é feita por meio das respostas a um questionário, e leva em consideração outras variáveis, não apenas o desempenho prévio em um teste de conhecimento específico.

Ainda em comparação com o TBL, podemos notar na AP50 alguns discursos tecnológicos (θ_{a5} e θ_{a7}) que enfatizam a importância do desenvolvimento de habilidades voltadas ao trabalho colaborativo. O TBL, como vimos no capítulo anterior, visa desenvolver equipes de aprendizagem com especial ênfase na melhora no desempenho; já na AP50, o foco está mais no desenvolvimento de habilidades, como: capacidade de questionar, ouvir e

identificar múltiplas abordagens e pontos de vista. Essa variação tecnológica, que pode ser vista em θ_{p1} , fez com que a técnica τ_{p1} fosse modificada em relação com a sua correspondente do TBL. No TBL as equipes são fixas, enquanto que na AP50 as equipes são modificadas a cada novo projeto. Nos discursos da AP50 valoriza-se o desenvolvimento de habilidades que são potencializadas pela mudança de equipes; no TBL valoriza-se o desenvolvimento da confiança entre membros de uma equipe, que aumenta com o tempo de interação proporcionado por equipes fixas.

A AP50 também enfatiza o desenvolvimento de habilidades de aprendizagem autodirigida (τ_{a1} , θ_{a1} , τ_{a6} e θ_{a6}). Isto é, estimulam-se habilidades metacognitivas por meio da reflexão acerca da própria solução de problemas e leitura do livro-texto. Nesse sentido, em algumas tecnologias (θ_{a2} , θ_{a4} e θ_{a5}) é destacado, e valorizado, o papel do erro na aprendizagem.

Por fim, a AP50 caracteriza-se por uma avaliação diversificada. O domínio do conteúdo é colocado como uma dimensão entre várias outras importantes para serem desenvolvidas. Na tecnologia θ_{p5} , podemos verificar que são valorizadas as habilidades dos alunos de análise quantitativa, análise qualitativa, *design*, diagnóstico, trabalho em equipe, comunicação, aprendizagem contínua e ética. Em diversas tecnologias (θ_{a2} , θ_{a3} , θ_{a4} e θ_{a5}), o profissionalismo (participação, pontualidade e ética) se apresenta como o meio de avaliação e de incentivo à realização de uma tarefa.

A avaliação por correção (certo ou errado) como incentivo para a realização das tarefas, fortemente presente no TBL, é substituída na AP50 por avaliações de profissionalismo e pelo desenvolvimento de um projeto significativo (motivação intrínseca). Na fala do professor Eric Mazur, durante a entrevista, notamos que ele defende a não existência de testes na disciplina, que atuariam como motivação externa.

A análise da gênese da inovação contribuiu para o entendimento de discursos implícitos àqueles explicitados nos documentos analisados para a construção da OME planejada. Notamos que, apesar da forte influência do TBL, o professor Mazur e seus colaboradores modificaram as características que apontamos como comportamentalistas no estudo anterior.

5.4 *APPLIED PHYSICS 50*: UMA PRAXEOLOGIA IMPLEMENTADA NA UNIVERSIDADE DE HARVARD

Durante o segundo semestre de 2017, o autor da presente tese acompanhou a implementação da AP50 na Universidade de Harvard. Nessa aplicação, a disciplina contou com oito monitores (seis alunos de doutorado e dois da graduação) e dois professores. A Professora L, já citada na Seção 5.2 como uma das colaboradoras do Professor Mazur, e o francês Professor P foram os instrutores responsáveis. O instrutor P faz parte dos departamentos de Engenharia e Física Aplicada e de Biologia Molecular e Celular, onde tem o seu próprio grupo de pesquisa. Nesse semestre, lecionou pela primeira vez em uma classe com métodos ativos de ensino, a convite do professor Eric Mazur, que não esteve envolvido nessa edição da AP50. Apenas a Professora L e dois dos monitores tinham experiência prévia com a AP50.

Foram entrevistados seis monitores, quatro homens (Monitores A, B, D e F) e duas mulheres (Monitoras C e E), entre 20 e 30 anos. Nenhum deles pesquisa na área de Ensino. O Monitor A era o mais experiente do grupo. Ele estava terminando o doutorado em Engenharia e Física aplicada sob orientação do Professor Eric Mazur, já havia sido monitor em outras edições da disciplina e estava sendo preparado para ser um dos instrutores da edição seguinte. No semestre do estudo, o Monitor A era responsável pelas Atividades de garantia de preparação (*Readiness Assurance Activities*) e de resolução de problemas e reflexão (*Problem Set & Reflection*). Por isso, estava constantemente engajado na elaboração de novos problemas. A Monitora E, responsável pelas atividades experimentais e de resolução de problemas, também era aluna de doutorado do Professor Mazur, mas era iniciante na AP50 e não havia tido qualquer experiência prévia com metodologias ativas de ensino, apesar de conhecer algumas delas, como o *Peer Instruction*.

Os Monitores B e F e a Monitora C eram alunos de doutorado externos ao grupo do Mazur. Apenas o Monitor F, responsável pelas atividades experimentais e pelos tutoriais, possuía experiência prévia com a AP50 e, inclusive, foi o responsável pelos demais membros do grupo (*HEAD Teaching Fellow*). O Monitor B trabalhava na preparação das atividades experimentais e de estimativa; enquanto que a Monitora C estava envolvida com as tarefas de resolução de problemas e de estimativa.

Por fim, o Monitor D era aluno da graduação e havia participado, como estudante, de uma versão anterior da AP50. Ele recebeu a tarefa de auxiliar os alunos nas seções de laboratório.

Todos os monitores se reuniam uma vez por semana com os instrutores para revisar as tarefas da semana seguinte e esclarecer qualquer dúvida que tivessem. Além disso, reuniam-se em horários alternativos em grupos menores referentes a cada uma das atividades da AP50.

Poder-se-ia esperar que não houvesse qualquer modificação da OME planejada para a aplicada – uma vez que o método foi criado, planejado e vem sendo desenvolvido a mais de seis anos na mesma instituição. Entretanto, como defendemos no Capítulo 4, a dinamicidade e complexidade dos contextos e dos atores envolvidos em dado momento temporal transformam os métodos de ensino. Tais transformações, como são decorrentes de uma transposição interna (da OME planejada para a OME aplicada), são impulsionadas, principalmente, por decisões do corpo docente ao se deparar com conflitos e exigências de uma turma específica.

É importante salientar que entender as metodologias de ensino como corpos de conhecimento de natureza antropológica, social e historicamente legitimados, é o que permite a percepção das minúcias das transformações ocorridas nelas. Além disso, possibilita a inferência de algumas pressões institucionais que moldam a metodologia.

Para a investigação, analisamos as entrevistas com os dois professores e seis dos oito monitores da disciplina. Além disso, analisamos as notas de campo da vivência *in loco* do pesquisador, que esteve presente em todas as aulas do segundo semestre de 2017 e participou de todas as reuniões, que eram realizadas semanalmente com todos os professores e monitores presentes. Com isso, a seguir descrevemos a análise da OME da AP50 aplicada, destacando suas transformações.

Na implementação da AP50, as seguintes modificações foram realizadas em relação à OME planejada: (i) a eliminação das aulas sob medida; (ii) a inserção de provas orais; (iii) a implantação de técnicas dirigidas para a apresentação dos resultados do projeto; (iv) a nova avaliação entre os colegas de equipe; (v) a aplicação de questionários de pesquisa. Todas as modificações são expostas nos quadros 15 e 16 e posteriormente discutidas.

Quadro 15 - Modificações implementadas na AP50 em termos de Tipos de tarefa (T), Técnicas (τ) e Tecnologias (θ), descritas no *topos* do aluno (sinalizado pelo índice “a”). O símbolo “’” representa uma modificação no elemento da OME planejada.

T_{a1}	Ler e fazer anotações em um capítulo do livro-texto indicado pelo professor.
τ_{a1}	Os estudantes, fora da sala de aula, acessam o livro-texto via um <i>software</i> de leitura colaborativa <i>online</i> (<i>Perusal</i>). As anotações são feitas destacando passagens do livro e escrevendo em um campo de texto que aparece na margem da página. Nesse campo, os estudantes fazem comentários e perguntas acerca do que estão lendo e respondem as questões feitas pelos colegas.
θ'_{a1}	O primeiro contato extraclasse valoriza o tempo em sala de aula. As anotações feitas durante a leitura contribuem para que o aluno adquira prática na leitura de textos técnicos e se responsabilize pela própria aprendizagem.

As anotações são avaliadas pela qualidade (reflexão), quantidade, pontualidade e distribuição, incentivando os estudantes a adquirirem habilidades de aprendizagem autodirigida.

T_{a7} Resolver uma série de questões avaliativas que servem como garantia de preparação.

τ_{a7} *Readiness Assurance Process (RAA)*: Primeiramente, os alunos trabalham individualmente para resolver um conjunto de problemas. Para isso, os estudantes podem consultar o livro-texto e a internet, mas não podem discutir com os colegas.

Em seguida, os estudantes se juntam com a equipe para discutir os problemas até que entrem em um consenso. Depois disso, a equipe deve submeter as respostas. O sistema (*Learning Catalytics*) indica se a resposta está correta ou não (*feedback* instantâneo). Caso esteja incorreta, a equipe volta a discutir a questão e a responde novamente. Eles utilizam quadros brancos móveis para auxiliar nas explicações.

Em caso de ausência ou de um baixo desempenho no RAA, o estudante é submetido, individualmente, a um exame oral.

θ_{a7} O RAA tem como propósito garantir que todos os estudantes estejam na mesma linha de aprendizagem dos conceitos que foram estudados até o momento. Trata-se de uma avaliação das habilidades em resolver problemas individualmente (50%) e em equipe (50%), incentivando o domínio do conteúdo. Geralmente, o desempenho da equipe é superior ao do melhor integrante da equipe.

A parte da atividade desenvolvida em equipe oportuniza ao estudante aprender em um ambiente colaborativo, consolidar o conhecimento, aperfeiçoar suas habilidades de trabalho colaborativo para alcançar os melhores resultados possíveis e receber *feedback* imediato do desempenho, tanto individual como em equipe.

O *feedback* instantâneo possibilita, em caso de erro, discussões acerca dos problemas de entendimento.

O exame oral dá aos estudantes a oportunidade de recuperarem as notas baixas no RAA.

T_{a8} Desenvolver projetos de investigação orientada que abordam os conteúdos de física estudados (três projetos durante o semestre).

τ_{a8} Os alunos leem cuidadosamente o manual de instruções do projeto entregue pelos professores. Em seguida, em equipe, redigem uma proposta (modelo) e um contrato destacando as responsabilidades de cada membro da equipe. Após a aprovação da proposta e do contrato, os alunos devem se engajar na construção do projeto, cujos materiais são disponibilizados pelos professores. A montagem dos protótipos geralmente acontece nas seções de laboratório (uma vez por semana), nas quais os alunos têm acesso aos materiais necessários à montagem do projeto. Na construção, recomenda-se que se utilize um caderno de campo e siga o seguinte processo: (i) Identificar a necessidade ou problema; (ii) pesquisar a necessidade ou problema; (iii) desenvolver possíveis soluções; (iv) selecionar as melhores soluções; (v) construir um protótipo (um modelo); (vi) testar a(s) solução(ões); (vii) comunicar a(s) solução(ões); e (viii) remodelar a solução com base nas informações coletadas durante os testes e soluções. O projeto é apresentado em uma feira, na qual os alunos divulgam os resultados e são questionados por avaliadores externos a respeito dos processos de montagem por trás de cada decisão que tomaram e dos conceitos físicos envolvidos. Os estudantes recebem uma lista de possíveis questões a serem feitas pelos avaliadores para que possam se preparar. Em seguida, redigem um relatório, nos moldes de um artigo científico, seguindo o modelo proposto pelo professor.

θ_{a8} Os projetos têm como propósito transferir a aprendizagem e o entendimento dos alunos acerca dos conceitos estudados para o contexto do “mundo real”.

A construção dos projetos a partir da técnica descrita auxilia no desenvolvimento e no aprimoramento de uma série de habilidades que são trabalhadas nas tarefas anteriores: análise qualitativa, análise quantitativa, diagnóstico, *design*, trabalho em equipe, comunicação, aprendizagem contínua e ética.

A avaliação da apresentação e discussão dos projetos é feita por jurados externos, os quais avaliam os resultados do trabalho em equipe. Nos relatórios são avaliados o conteúdo e a estrutura.

A lista de possíveis questões a serem realizadas pelos avaliadores e o modelo de relatório garantem uma certa orientação e qualidade dos trabalhos.

T_{a9}	Avaliar os colegas de equipe e se autoavaliar.
τ_{a9}	Três vezes no semestre, os estudantes preenchem um formulário (<i>Comprehensive Assessment of Team Member Effectiveness – CATME</i>) no qual os alunos avaliam uns aos outros, e a si mesmo, levando em consideração os seguintes aspectos: contribuição para o trabalho em equipe, interação com os colegas, sustentação do trabalho em equipe, expectativa de qualidade e conhecimentos, habilidades e competências relevantes.
θ_{a9}	É importante que os estudantes que estão trabalhando e contribuindo para o bem da equipe recebam <i>feedbacks</i> positivos; e que aqueles que não estão trabalhando bem recebam sugestões para que possam melhorar. Esse sistema de avaliação possibilita mensurar se há, em algum nível, um desenvolvimento das habilidades dos estudantes em trabalhar colaborativamente, contribuindo para pesquisas sobre a AP50 e sua evolução.

T_{a10}	Participar das pesquisas desenvolvidas na AP50.
τ_{a10}	Por meio do <i>software Learning Catalytics</i> , os estudantes respondem, fora da sala de aula, questionários que visam mensurar: desempenho, atitudes, concepções e experiências de aprendizagem e crenças de autoeficácia.
θ_{a10}	Os resultados advindos da pesquisa são basilares à divulgação e aprimoramento da disciplina.

Quadro 16 - Modificações implementadas na AP50 em termos de Tipos de tarefa (T), Técnicas (τ) e Tecnologias (θ), descritas no *topos* do professor (sinalizado pelo índice “p”). O símbolo “” representa uma modificação no elemento da OME planejada.

T_{p2}	Realizar breves exposições.
τ_{p2}	O professor, ao término de cada questão respondida no <i>Learning Catalytics (Peer Instruction)</i> , argumenta acerca das possíveis soluções e principais conceitos envolvidos nas questões.
θ_{p2}	A exposição oral tenta garantir que as dúvidas remanescentes das questões discutidas em equipe sejam sanadas e que os principais conceitos sejam compreendidos. Assim, os estudantes estão preparados para aplicar os conceitos aprendidos nas tarefas seguintes.

No planejamento da AP50 previa-se – por influência do método *Just-in-Time Teaching* (Ensino sob Medida), usualmente articulado com o *Peer Instruction* pelo professor Eric Mazur – que as exposições orais, realizadas pelos docentes em sala de aula, fossem organizadas em função das dúvidas apresentadas pelos estudantes durante a tarefa de leitura (T_{p2}). Em suma, a metodologia de ensino da AP50 prevê exposições orais sob medida.

Durante a implementação da AP50, o Tipo de tarefa (T_{p2}), a técnica (τ_{p2}) e a tecnologia (θ_{p2}) associada ao Ensino sob Medida foram modificadas. O Tipo de tarefa passou a ser realizar breves exposições orais (T'_{p2}), sem que fossem baseadas nas dúvidas dos estudantes; e a respectiva técnica passou a ser a argumentação de possíveis soluções às questões conceituais propostas em aula, explicando os principais conceitos envolvidos na questão (τ'_{p2}). O discurso que justifica a técnica, por sua vez (θ'_{p2}), é de que se deve garantir que os principais conceitos sejam compreendidos pelos estudantes, para que estejam aptos à realização das atividades seguintes. Dessa forma, as aulas muitas vezes se resumiam a uma repetição daquilo que os alunos haviam lido no livro-texto.

De acordo com a Professora L, essa modificação ocorreu especificamente no semestre estudado devido à falta de tempo e dificuldades de comunicação com o professor P. Nas palavras da professora:

Quando leciono com Eric [...], sempre fazemos isso [*Just-in-Time Teaching*]. Em teoria, isso deve sempre ser feito. Nós não o fizemos tanto neste semestre, em parte por causa da maneira como [o professor P] e eu trabalhamos juntos. Nem sempre tínhamos tempo para encontrar bons exemplos ou decidir qual é a coisa mais importante a apresentar. Então, eu acho ... Em outros semestres em que lecionei, a aula sempre começou assim [com as principais dúvidas dos estudantes referentes à leitura feita em casa]. [Professora L, tradução nossa]

Durante as reuniões semanais, os monitores e professores expressavam uma preocupação de que os alunos não entenderiam os conceitos básicos por meio da leitura e posterior discussão em equipe. Tal preocupação levou os envolvidos a dispenderem, em sala de aula, mais tempo para exposições orais, substituindo as previstas breves explicações (~10 min) por longas aulas expositivas (~40-50 min). Isso se deve, em parte, a uma concepção transmissionista de ensino, de que o docente é o transmissor e os alunos, os receptores. Nessa concepção, se os alunos não estão “captando” as informações, o professor deve ajustar sua transmissão, dispendendo mais tempo em suas explicações e buscando diferentes formas de realizá-las. Podemos inferir que a pouca experiência do professor P e de alguns monitores com metodologias ativas de ensino tenha contribuído para o cenário descrito.

Em entrevista, três dos seis monitores entrevistados expressaram enfaticamente a necessidade de ser destinado mais tempo para exposições orais na AP50. As transcrições abaixo ilustram esse ponto.

Eu acho que uma ou duas vezes por mês você [precisa] dar uma aula inteira expositiva ou uma aula síntese. [Monitor F, tradução nossa]

Eu acho que a explicação ativa reforça a compreensão deles [dos alunos], mas para as dificuldades que eu vejo algumas vezes, como as equipes que ficam emperradas, ajudaria, às vezes, ter alguém explicando mais no estilo de uma aula expositiva. [Monitor C, tradução nossa]

Resquícios de uma pedagogia tradicional, ainda fortemente institucionalizada, também emergem quando a equipe de instrutores da AP50 decide implementar testes orais (τ_{a7}) para lidar com o problema do baixo desempenho dos estudantes durante os RAAs (*Readiness Assurance Activities*). Aqueles alunos que quisessem melhorar a sua nota poderiam agendar um horário com algum dos monitores para realizar o teste.

Em um dos exames, percebemos que os alunos não se saíram tão bem. Então, decidimos fazer o que eu fiz na minha turma anterior [cujo método de ensino era tradicional]. Eu disse: agora que você sabe as respostas, venha a nossa sala e vamos pegar duas perguntas do exame para você explicar. Se percebemos que você entendeu, podemos aumentar um pouco a sua nota. [Professor P, tradução nossa]

As questões utilizadas eram as mesmas do RAA, o que gerou respostas nitidamente memorizadas e reproduzidas de forma mecânica. Ao final do semestre os monitores e professores concordaram que os testes, da forma como foram conduzidos, não foram uma boa ideia, e caso fossem repeti-los em um semestre posterior, o fariam utilizando questões inéditas. Cinco dos oito entrevistados demonstraram algum tipo de insatisfação quanto a utilização de questões repetidas no exame oral, como ilustrado na transcrição abaixo.

A maneira como implementamos a prova oral não foi a melhor. Os alunos sabiam as perguntas que seriam feitas. Eles ainda tinham que demonstrar que podiam explicar a física, mas acho que se fizéssemos isso de novo, deveríamos ter um conjunto maior de perguntas para avaliar o conhecimento dos alunos. [Monitor A, tradução nossa]

A ideia de inserir a técnica dos testes orais partiu do professor P, o qual demonstrava constante insegurança quanto à eficácia dos métodos de ensino empregados na AP50. Em determinada ocasião, o professor P dissera não entender por que os alunos precisavam resolver problemas na sala de aula, já que estavam acostumados a fazer isso em casa (comparando com o ensino tradicional). Claramente a visão de ensino de P não se alinhava completamente aos discursos tecnológicos da AP50. Ademais, em uma das discussões acerca do mau desempenho

dos alunos nos RAAs, dois monitores comentaram que os estudantes precisavam de mais aulas expositivas e menos resolução de problemas.

Com relação ao desenvolvimento dos projetos – aspecto central da AP50 –, os estudantes passaram a receber orientações para a apresentação dos resultados (τ'_{as}). Entre elas, os alunos receberam, antes de cada feira, uma lista de possíveis questões a serem feitas pelos avaliadores externos, os quais também receberam a lista.

Outra mudança que fizemos foi... [...] nós demos aos alunos uma lista de perguntas que eles poderiam esperar dos avaliadores durante a feira. Nós não costumávamos fazer isso. [Professora L, tradução nossa]

As questões versavam acerca das escolhas de montagem do artefato e da física envolvida. Abaixo, ilustramos algumas das questões utilizadas no terceiro projeto, que visava à construção de um instrumento musical a partir de materiais de baixo custo.

O que vocês fariam para tornar o som emitido pelo seu instrumento mais alto sem modificar o tom das notas?

Quais fatores afetam a afinação do seu instrumento? Até quanto vocês podem ajustar o tom?

Vocês podem explicar qualitativamente a presença ou ausência de harmônicos produzidos por seu instrumento? [tradução nossa]

Além disso, os estudantes receberam um modelo de relatório, nos moldes de um artigo científico.

Nós não costumávamos dar orientação [para os relatórios dos projetos]. Nós apenas dizíamos: escreva um relatório final. [...] Nós não fornecíamos a eles um modelo e, nesse semestre, nós fornecemos. Percebemos que a qualidade dos relatórios melhorou muito. [Professora L, tradução nossa]

A implantação de atividades mais dirigidas na apresentação dos resultados dos projetos advém, segundo a Professora L, de um suposto *feedback* negativo dos avaliadores, que argumentariam que os alunos não sabem física, e da necessidade de aumentar a qualidade dos relatórios. De acordo com a professora, tais medidas foram bem-sucedidas.

Como resultado, muitos dos jurados sentiriam que essas crianças não sabem física. Receberíamos *feedback* ruim dos avaliadores. Então, acho que fazemos um trabalho melhor preparando os alunos para os tipos de perguntas que eles poderiam esperar na feira. [Professora L, tradução nossa]

Uma das instituições que exerceram, e exercem, influência na implementação e na dinâmica das transformações da AP50 é o grupo de pesquisa do professor Eric Mazur. Em função dos objetivos de pesquisa, o questionário que era comumente utilizado para a avaliação entre os colegas de equipe foi substituído por outro questionário validado para fins de pesquisa, mais especificamente para mensurar a habilidade dos sujeitos de trabalhar colaborativamente. Assim, a técnica τ_{a9} foi alterada. Na OME planejada, por influência do método *Team-Based Learning*, os alunos avaliavam uns aos outros considerando aspectos como: preparação para as aulas, contribuição para as discussões, respeito pelas ideias dos outros e flexibilidade; já na OME aplicada, passou-se a considerar os seguintes parâmetros (τ'_{a9}): contribuição para o trabalho em equipe, interação com os colegas, sustentação do trabalho em equipe, expectativa de qualidade e conhecimentos, habilidades e competências relevantes. Os novos parâmetros não foram deliberadamente escolhidos, eles estão condicionados ao instrumento de pesquisa, denominado *Comprehensive Assessment of Team Member Effectiveness* (CATME) (Ohland et al., 2012).

Por fim, também vinculado à inserção da AP50 em um grupo de pesquisa, os alunos são incentivados a participarem como sujeitos das investigações (T_{a10} , τ_{a10} , θ_{a10}), respondendo a uma série de questionários que medem: desempenho, atitudes, concepções e experiências de aprendizagem e crenças de autoeficácia.

No semestre do presente estudo de caso, o grupo envidava esforços para, principalmente, realizar medidas de autoeficácia em entender física conceitual, resolver problemas, trabalhar colaborativamente e realizar atividades experimentais. Dado o papel central das crenças de autoeficácia para a motivação, bem como os resultados não tão animadores a respeito do ganho de desempenho dos estudantes em testes padronizados, a avaliação da AP50 em termos de sua potencialidade para aumentar os níveis de autoeficácia dos alunos foi essencial. Como destacado no estudo da gênese (Seção 5.2), na AP50 a pesquisa exerce importante papel regulador do próprio método, legitimando, ou não, sua *práxis*. Na próxima seção, apresentamos o estudo realizado para avaliar a inovação didática.

5.5 UMA AVALIAÇÃO DA *APPLIED PHYSICS 50*: PARA ALÉM DO DESEMPENHO DISCENTE EM TESTES PADRONIZADOS

Como destacado na revisão da literatura, a avaliação do impacto das inovações, tanto para os indivíduos, quanto para as instituições, é um aspecto importante e pouco explorado na literatura. No caso da AP50, a importância da avaliação da inovação é ainda maior, uma vez que, como apontado nas Seções 6.1 e 6.3, é determinante a sua legitimação institucional e, conseqüentemente, a sua evolução.

Na seção anterior, percebemos que na OME aplicada da AP50, os alunos participam como sujeitos de pesquisa (T_{a10}), preenchendo alguns questionários que visam mensurar desempenho em teste padronizado, atitudes em relação à Física, concepções e experiências de aprendizagem e crenças de autoeficácia a respeito de atividades relacionadas ao estudo da física (τ_{a10}).

Mesmo quando alguns resultados esperados são alcançados, outros inesperados podem surgir. Em algumas pesquisas com métodos ativos, por exemplo, espera-se, e atinge-se, desempenhos em testes padronizados superiores aos obtidos com métodos tradicionais de ensino (e.g. Hake, 1998; Crouch e Mazur, 2001; Rudolph et al., 2014). No caso da AP50, o mesmo acontece. Entretanto, tais desempenhos são inferiores aos atingidos com o método *Peer Instruction*, cuja implementação é nitidamente mais simples.

Ao analisarmos a Organização Praxeológica da AP50, percebemos que o resultado anteriormente destacado é coerente. Nos discursos tecnológicos, os ganhos de desempenho, alinhados ao entendimento conceitual, não são mais valorizados que outros aspectos, como a resolução de problemas, a realização de atividades experimentais e as habilidades de trabalho colaborativo. Além disso, por meio do estudo da gênese da AP50, notamos que a motivação discente é um elemento balizador para os métodos de ensino empregados na disciplina, sobretudo para o desenvolvimento dos projetos.

Nesse sentido, o grupo de pesquisa do professor Eric Mazur, a partir de 2016, envida esforços para avaliar se, e como, a AP50 influencia nas crenças de autoeficácia dos estudantes – construto central para a motivação e capaz de ser analisado em diferentes domínios de ações (entendimento conceitual, resolução de problemas, realização de atividades experimentais e trabalho colaborativo). A seguir, apresentamos o conceito de autoeficácia e um resumo do estudo desenvolvido a fim de avaliar a OME da AP50 e determinar sua evolução.²⁰

²⁰ O estudo completo foi submetido à publicação em revista especializada.

5.5.1 A avaliação da AP50 em termos de autoeficácia em física dos alunos

A percepção de autoeficácia é um julgamento do indivíduo sobre a própria capacidade de realizar e organizar cursos de ações específicas. Essas crenças afetam a maneira como o sujeito age e pensa sobre o mundo. Não se trata de ter capacidade; não basta que a pessoa saiba realizar certa tarefa. Trata-se de o sujeito acreditar ou não ser capaz de realizá-la. Também não se trata do número de habilidades que ele tem, mas sim o que acredita ser capaz de fazer com as habilidades que possui em uma variedade de circunstâncias (Bandura, 1997). Essas crenças, segundo Pajares e Olaz (2008), são a base para a motivação humana. Bandura (1997) destaca que o “nível de motivação, os estados afetivos e as ações das pessoas baseiam-se mais no que elas acreditam do que no que é objetivamente verdadeiro” (p.2).

Bandura (Ibid.) apresenta quatro principais fontes de autoeficácia: experiências pessoais, experiências vicárias, persuasão social e indicadores fisiológicos. As experiências pessoais, que podem ser positivas ou negativas, são, segundo o autor, a principal referência para o julgamento de eficácia pessoal. As experiências positivas são recorrentes experiências de sucesso vivenciadas pelo próprio estudante na sua participação ativa que, como sabemos, não é valorizada no ensino tradicional, que conta com alunos, geralmente, passivos no processo de aprendizagem. A experiência passiva em sala de aula pouco contribui para o desenvolvimento de crenças de autoeficácia; já experiências de fracasso tendem a diminuí-la. As experiências vicárias caracterizam-se como experiências nas quais o indivíduo se inspira pelo sucesso, ou se afeta pelo fracasso, de outra pessoa, que ele considera como semelhante, um colega, por exemplo.

Técnicas como interação entre colegas em sala de aula têm o potencial de aflorar experiências vicárias, no entanto, tais momentos são raros em abordagens de ensino tradicionais. A persuasão social pode ocorrer através de expressões verbais ou não verbais, como o discurso e o comportamento do professor, mas também devido ao ambiente escolar, à estrutura do método de ensino empregado e ao “clima” em sala de aula, por exemplo. Por fim, os indicadores fisiológicos podem ser identificados na forma de redução ou aumento de estresse. A redução de estresse se caracteriza pela eliminação de obstáculos emocionais que, por ventura, possam ser percebidos pelo indivíduo como falta de capacidade de realizar uma ação. Uma avaliação calcada toda, ou quase toda, na nota em provas, como é característico da

práxis das aulas tradicionais, pode deixar os estudantes ansiosos e com medo, aumentando o estresse e, conseqüentemente, reduzindo seu senso de autoeficácia (Espinosa et al., 2017; Selau et al., 2019).

Ao que tudo indica, os métodos ativos de ensino contribuem para o desenvolvimento das crenças dos estudantes sobre a sua própria capacidade de aprender física (Espinosa et al., 2017). Entretanto, no contexto do ensino de Física, existem trabalhos que, por meio de medidas de pré e pós-teste, apontam para um efeito nulo ou até mesmo negativo na modificação das crenças de autoeficácia em física de estudantes que vivenciaram métodos ativos de ensino (e.g. Sawtelle, Brewe e Kramer, 2012; Dou et al., 2016). Além disso, aumentam o *gap* entre a autoeficácia em aprender física de homens e mulheres (e.g. Nissen e Shemwell, 2016).

A partir desses resultados, avaliamos a inovação didática em estudo na Universidade de Harvard, a AP50. Para isso, foram criados e aplicados dois questionários - um para medida de níveis e outro para fontes de autoeficácia -, ambos desenvolvidos especificamente para o contexto de estudo.

Para a criação dos questionários, analisou-se a OP planejada da AP50 e constatou-se quatro dimensões principais, as quais delimitam quatro domínios de ações presentes na *práxis* da AP50: entendimento de física conceitual (*Conceptual Physics Understanding – CPU*), resolução de problemas (*Problem-Solving – PS*), atividades experimentais (*Lab and Hands-on Activities – LHA*) e trabalho colaborativo (*Collaborative Work – CW*).

A medida de níveis de autoeficácia (Physics Self-Efficacy Survey – PSES – Apêndice 1) foi realizada em dois semestres da AP50 (*Fall* 2016: N = 65; *Fall* 2017: N = 39), com pré e pós-testes; já o instrumento destinado a medidas de fontes (*Sources of Physics Self-Efficacy Survey – SPSES – Apêndice 2*) foi aplicado apenas na turma de 2017, ao final do semestre.

A partir desse estudo, destacamos quatro principais resultados: (i) nos dois semestres analisados havia uma lacuna inicial entre os níveis de autoeficácia dos homens e mulheres que desapareceu ao final da disciplina, contrariando resultados de pesquisas pregressos com outros métodos ativos de ensino; (ii) a autoeficácia das estudantes mulheres aumentou significativamente, ao passo que não houve mudança estatisticamente significativa na autoeficácia dos estudantes do sexo masculino; (iii) particularmente, as lacunas de gênero nas dimensões de autoeficácia em entendimento conceitual e resolução de problemas foram significativamente reduzidas; e (iv) há uma diferença significativa entre os tipos de experiências em sala de aula que influenciam o desenvolvimento das crenças de autoeficácia das mulheres,

mas não há para os homens. Em outras palavras, para os estudantes do sexo masculino, não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre as quatro fontes de autoeficácia (experiências pessoais, experiências vicárias, persuasão social e indicadores fisiológicos e afetivos); todas as quatro influenciaram a autoeficácia em física (todas as dimensões) igualmente. Para as estudantes, experiências de persuasão social e estados fisiológicos tiveram uma influência significativamente maior do que as outras duas fontes.

Esse estudo representa um passo inicial para entender a influência das estratégias pedagógicas da AP50 na redução da lacuna de gênero nas crenças de autoeficácia em física. Podemos inferir que a ênfase em uma *práxis* colaborativa, envolvendo técnicas como a discussão entre os colegas, cria oportunidades para a persuasão social. Ademais, a diminuição da ansiedade proveniente de uma avaliação distribuída, não calcada em provas individuais, auxilia a criar condições para estados fisiológicos e afetivos positivos.

Os resultados positivos em termos de autoeficácia discente serviram como indicadores de que o desenvolvimento da AP50 está no caminho certo e poderão fazer parte dos discursos tecnológicos da OME. Como sabemos, os novos discursos tecnológicos, além de justificarem as técnicas já existentes, podem criar outras novas. Como perspectiva para futuros estudos, Mazur e colaboradores buscam identificar as estratégias que mais contribuem para o desenvolvimento da autoeficácia dos alunos e o porquê, para então poder aprimorá-las ainda mais e, eventualmente, modificar algumas Técnicas e Tipos de tarefa de modo a contemplar os novos discursos tecnológicos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme já argumentado, a diminuição da lacuna entre pesquisa e prática em educação em Ciências é um objetivo importante a ser perseguido. As inovações didáticas, como métodos ativos de ensino, currículos que enfatizam as inter-relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade e a inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea e História e Filosofia da Ciência na sala de aula, passam quase que despercebidas pela grande maioria das instituições de ensino, tanto básico quanto superior. Na realidade, presenciamos um ensino de Física desatualizado em termos de conteúdos e tecnologias, focado no professor, comportamentalista e que aborda a Física como uma ciência acabada, construída por gênios e neutra em relação à sociedade. Atrelado a isso, faltam professores de Física, o trabalho docente é precarizado e a identidade dos currículos é estéril.

Aguns métodos ativos de ensino, que apresentam bons resultados em pesquisa empírica, mas que dificilmente são inseridos na prática docente em contextos distintos aos de origem, foram as inovações didáticas investigadas nesta tese. A adoção e difusão de inovações didáticas é um problema em aberto na área de pesquisa em Ensino de Física, e é acentuado por uma concepção dos métodos de ensino como técnicas criadas por pesquisadores para “resolver” os problemas dos professores.

Nesse sentido, buscou-se na presente tese defender o uso da Teoria Antropológica do Didático (TAD), de Yves Chevallard, como aporte para o estudo de método de ensino, possibilitando maior compreensão dos métodos e das transformações que ocorrem quando são incorporados à prática docente. Mais especificamente, propusemos uma ressignificação dos métodos de ensino, destacando a noção de Organização Praxeológica (OP) da TAD como ferramenta analítica para enriquecer os estudos sobre inovações didáticas no geral, e métodos de ensino especificamente. Nessa perspectiva, os métodos são constituintes de tipos de tarefas, técnicas, tecnologias e teorias. Para tal fim, realizamos dois estudos, um teórico e outro empírico, buscando responder às seguintes questões:

Q1 – Como as inovações didáticas e sua adoção podem ser situadas no âmbito da antropologia didática de Yves Chevallard?

Q2 - Como se deram a gênese, o planejamento, a implementação e a avaliação de uma inovação didática na Universidade de Harvard?

Na resposta à primeira questão, acrescentamos à ampla gama de possibilidades de aplicação da TAD, a releitura de métodos de ensino. Usualmente vistos como meras técnicas à disposição do professor, os métodos de ensino, a partir de uma perspectiva antropológica, são vislumbrados como corpos de conhecimento social e historicamente legitimados e sensíveis a transformações, cujas composições podem ser descritas e analisadas em termos de Organizações Praxeológicas (OPs). Para sustentar a nossa proposta, desenvolvemos uma praxeologia de referência para o método *Team-Based Learning* original, como proposto no livro de referência, e das modificações realizadas em uma adoção do TBL em uma universidade pública brasileira. A partir disso, destacamos que é possível construir uma OP para qualquer método de ensino, o que possibilita maior clareza a respeito das partes que o compõe e suas justificativas.

A partir da análise praxeológica do TBL original, pudemos constatar, entre outras coisas, que, assim como a maioria das inovações didáticas de origem norte-americana, o TBL, devido a sua origem pragmática voltada à sala de aula, não apresenta teorias explícitas. O método valoriza, por meio dos discursos tecnológicos, tarefas e técnicas voltadas à formação de equipes de aprendizagem tanto quanto a aprendizagem. Inclusive, apresenta o desenvolvimento das equipes como condição necessária para melhor realização das tarefas que propõe. No entanto, a realização de algumas técnicas que buscam o desenvolvimento de equipes de aprendizagem necessita de um tempo mínimo de interação de aproximadamente 20 horas, o que pode dificultar que o método seja testado em uma escala reduzida, necessitando uma transformação mais robusta das atividades tradicionais. Outra característica do método é que ele defende que o entendimento conceitual é essencial para a resolução de problemas, dividindo as tarefas em dois grandes grupos: as de preparação e aplicação dos conceitos. Por fim, a realização das tarefas é quase que exclusivamente incentivada por meio de avaliações de correções de respostas (certo ou errado), o que caracteriza uma noção comportamentalista implícita.

No processo de adoção do TBL no curso de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), o método foi articulado com o método *Just-in-Time Teaching* (JITT), o que acarretou na mudança de alguns discursos tecnológicos e, conseqüentemente, de algumas técnicas. Foram alterados: o tipo de questão constituintes do Teste de Preparação individual (TPi), que passaram a ser mais reflexivos e menos miméticos; as técnicas de avaliação que precisavam se enquadrar à instituição na qual o TBL estava sendo aplicado; e a valorização da reflexão e do engajamento na correção das tarefas.

A partir da análise praxeológica, foi possível investigar se as modificações no TBL alteraram ou não sua essência. Segundo Michaelsen e Sweet (2011), os aspectos fundamentais do TBL são: (i) o professor deve ser responsável por formar e gerenciar as equipes; (ii) os estudantes se tornam responsáveis pela própria aprendizagem e pela aprendizagem da equipe; (iii) os alunos recebem constante feedback; (iv) as tarefas são desenvolvidas de forma que promovam tanto o aprendizado como o desenvolvimento da equipe. No primeiro item não houve qualquer modificação, pois as equipes foram gerenciadas pelo professor. Em termos de responsabilidade, manteve-se as tarefas e técnicas que colocam os estudantes a estudarem em casa e a avaliação entre os colegas, tornando-os responsáveis pela própria aprendizagem e pela dos colegas. Apenas a forma de incentivar os alunos a executarem as tarefas foi alterada. Eles não eram mais cobrados a partir da correção de respostas (certo ou errado), mas a partir do engajamento na tarefa. Em termos de *feedback* foram acrescentadas questões referentes à leitura, as quais o professor tinha acesso antes da aula e, com isso, era capaz de dar um retorno ao aluno acerca do entendimento que ele estava tendo do material. Por fim, as tarefas ainda buscavam promover, além da aprendizagem, o desenvolvimento de equipes de aprendizagem.

É importante ressaltar que as modificações que ocorreram foram devidas às diferentes “forças” institucionais. A decisão de adicionar o método JiTT e elementos construtivistas à abordagem foram ocasionadas devido ao envolvimento dos autores em um grupo de pesquisa em Ensino de Física, cujas pesquisas recentes envolvem o método JiTT e outras inovações didáticas. Além disso, mudanças em elementos de avaliação, como o uso de provas individuais com determinado peso na avaliação total, foram ocasionadas devido a tradições do instituto de Física da universidade.

A perspectiva apresentada nesta tese, articuladora da TAD com a pesquisa de métodos de ensino, possibilita novos caminhos para a área. O que usualmente é feito de maneira acrítica, como o diálogo entre métodos de ensino e referenciais teóricos e a articulação de diferentes métodos, pode ser estudado de maneira reflexiva. Além disso, a OP como ferramenta analítica pode ser usada na formação de professores, os quais podem, em regime de observação ou autoavaliação da prática, comparar os métodos de ensino originais com aqueles implementados e tentar entender as modificações, e em que medida elas podem agregar ou degenerar uma ideia originalmente promissora.

A partir dos resultados da questão 2 – referente à gênese, planejamento, implementação e avaliação de uma inovação didática de Harvard –, verificamos que o processo de criação da *Applied Physics 50* (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 do estudo empírico que, assim como na adoção, o desenvolvimento de inovações didáticas requer uma série de condições institucionais que o possibilitem. Individualmente, sem o apoio da instituição (tempo e liberdade criativa) e de sua experiência prévia com a criação e difusão de outro método ativo, bem como o seu prestígio social, tornar-se-ia quase impraticável que o professor Mazur desenvolvesse a AP50.

Na implementação da AP50 na própria Universidade de Harvard, destacamos a partir da análise praxeológica, cinco modificações em relação ao planejamento prévio: a eliminação das aulas sob medida (método *Just-in-Time Teaching*); a inserção de provas orais como forma de recuperação; a implantação de técnicas dirigidas para a apresentação dos resultados dos projetos; a nova avaliação entre os colegas de equipe; e a aplicação de questionários de pesquisa. Tais modificações foram, segundo a nossa análise, interferências de diferentes instituições que permeiam a AP50 (e.g. departamentos de Física e Engenharia, grupos de pesquisa), bem como dos atores envolvidos, principalmente devido a um professor novato em termos de metodologias ativas de ensino.

Destacamos que mesmo no local de origem, as OMEs se transformam – não são estáticas. Ademais, percebe-se que as barreiras que aparecem durante a implementação são resolvidas com *práxis* relacionadas a métodos tradicionais de ensino, o que é coerente com o caráter ainda tradicional da Universidade de Harvard. Evidentemente, há um constante conflito entre as instituições (e seus sujeitos), e a inovação. De forma dialética, ambas se transformam; instituições, professores e alunos passam a legitimar determinadas *práxis* inovadoras; e, em contrapartida, a inovação sofre modificações, mesmo que passageiras, para ser legitimada institucionalmente.

No caso da AP50, o grupo de pesquisa do professor Mazur exerce influência em suas modificações. Por isso, a constante avaliação dos resultados provenientes das aplicações da AP50 pode legitimar ou não a continuidade de certas práticas. Em particular, no semestre estudado, foram avaliadas como a AP50 influencia nas crenças de autoeficácia dos alunos em entender física conceitual, resolver problemas, trabalhar colaborativamente e realizar atividades

experimentais. Os resultados foram positivos, o que levou à continuidade da OP planejada no referido semestre, bem como a novas investigações que possibilitem identificar quais Tipos de tarefa e Técnicas são mais determinantes ao desenvolvimento da autoeficácia discente.

Destacamos do estudo empírico que a análise praxeológica dos métodos de ensino auxilia: na determinação do que é relevante ou não ser avaliado; e no delineamento de pesquisas para tal fim, ou seja, em determinar como avaliar as inovações. No caso da AP50, a autoeficácia se mostrou um elemento relevante a ser avaliado, uma vez que possui uma ligação direta com a motivação – aspecto central da metodologia. A OME da AP50 auxiliou na construção dos questionários destinados à avaliação de níveis e fontes de autoeficácia.

Além disso, os resultados aqui destacados podem servir como base para o estudo da adoção e difusão da AP50 para contextos educacionais distintos. Ao compreendermos a origem dos discursos que legitimam as técnicas empregadas no método, bem como seu planejamento e implementação no local de origem, podemos realizar modificações nas técnicas e tipos de tarefa do método que não o descaracterizem, usufruindo de seus benefícios e adaptando-o a contextos educacionais brasileiros.

A tese apresentada se enquadra em um projeto mais amplo: a construção de um referencial teórico-metodológico para a criação, implementação, avaliação e difusão de inovações didáticas no Ensino de Física. Assim, estaremos mais aptos a lidar com os problemas atrelados à adoção e difusão de inovações didáticas. A construção de um referencial para inovações didáticas permeia três grandes questões: o que são inovações didáticas? Como acontecem as inovações dessa natureza? Por que ocorrem? A resposta à primeira questão indica a natureza ontológica e epistemológica das inovações didáticas; à segunda, estabelece os processos, transformações, condições e restrições à inovação; e à terceira, constitui-se em uma dimensão crítica que possibilita o estudo das razões e interesses explícitos e implícitos subjacentes à inovação. Acreditamos ter avançado, com a inserção da TAD na discussão acerca de inovações didáticas, na resposta às duas primeiras perguntas.

A fim de avançar na construção do referencial teórico, faz-se necessário o estabelecimento de diálogos entre a TAD – amplamente discutida no presente trabalho – e a Teoria da Difusão de Inovações (TDI) – atualmente a principal referência para estudos sobre inovações em geral.

Com isso, almejamos estabelecer alguns princípios norteadores para adoção de inovações didáticas e para a análise dos processos de adoção. Contribuindo, assim, tanto para a

pesquisa em Educação em Ciências, quanto para a prática docente, servindo como uma possível ponte entre pesquisa e prática.

Para os mais pessimistas, almejar uma redução da lacuna entre pesquisa e prática no Ensino de Física pode não passar de uma utopia. Mas, como disse Mário Quintana em seu poema "Das Utopias":

Se as coisas são inatingíveis... ora!
não é motivo para não querê-las...
Que tristes os caminhos, se não fora
a presença distante das estrelas!

REFERÊNCIAS

- Achiam, M. (2013). A Content-oriented Model for Science Exhibit Engineering. *International Journal of Science Education*, 3(3), 214–232. <http://doi.org/10.1080/21548455.2012.698445>
- Achiam, M. F. (2013). A Content-oriented Model for Science Exhibit Engineering. *International Journal of Science Education, Part B*, 3(3), 214–232. <http://doi.org/10.1080/21548455.2012.698445>
- Achiam, M., Simony, L., & Lindow, B. E. K. (2016). Objects prompt authentic scientific activities among learners in a museum programme. *International Journal of Science Education*, 38(6), 1012–1035. <http://doi.org/10.1080/09500693.2016.1178869>
- Acuña, Y. (2011). Análisis antropológico de las prácticas docentes en educación matemática. *Cuadernos de Educación Y Desarrollo*, 3(26).
- Almouloud, S. A. (2017). Fundamentos norteadores das teorias da Educação Matemática: perspectivas e diversidade. *Amazônia - Revista de Educação Em Ciências E Matemáticas*, 13(27), 5–35.
- Almouloud, S. A., & Da Silva, M. J. F. (2012). Engenharia didática: evolução e diversidade. *Revemat - Revista Eletrônica de Educação Matemática*, 7(2), 22. <http://doi.org/10.5007/1981-1322.2012v7n2p22>
- Araujo, I. S., & Mazur, E. (2013). Instrução pelos colegas e ensino sob medida: uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino-aprendizagem de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 30(2), 362–384. <http://doi.org/10.5007/2175-7941.2013v30n2p362>
- Artigue, M. (2016). Mathematical working spaces through networking lens. *ZDM - Mathematics Education*, 48(6), 935–939. <http://doi.org/10.1007/s11858-016-0810-z>
- Artigue, M., & Blomhøj, M. (2013). Conceptualizing inquiry-based education in mathematics. *ZDM - Mathematics Education*, 45(6), 797–810. <http://doi.org/10.1007/s11858-013-0506-6>
- Artigue, M., & Winsløw, C. (2010). International Comparative Studies on Mathematics Education: a Viewpoint From the Anthropological Theory of Didactics. *Recherches En Didactique Des Mathématiques*, 31(1), 47–82.
- Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: the exercise of control*. New York: W. H. Freeman.
- Barbé, J., Bosch, M., Espinoza, L., & Gascón, J. (2005). Didactic restrictions on the teacher's practice: The case of limits of functions in spanish high schools. *Educational Studies in Mathematics*, 59(1–3), 235–268. http://doi.org/10.1007/0-387-30451-7_9
- Barbé, J., Espinoza, L., & Gellert, U. (2017). El empobrecimiento matemático de las propuestas de enseñanza de Física en los textos oficiales de secundaria. *Enseñanza de Las Ciencias*, 35(1), 71–88. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1730>
- Barbosa, E. J. T., & Lima, A. P. A. B. (2014). Organizações matemática e didática entre duas coleções didáticas sobre equações do primeiro grau. *Revemat - Revista Eletrônica de Educação Matemática*, 9(2), 110–129.

- Barbosa, E. J. T., & Lima, A. P. A. B. (2016). Equação polinomial do primeiro grau: comparativo das praxeologias em documentos oficiais e livro didático. *Educação Matemática Em Revista - RS*, 3(17), 88–99.
- Barbosa, E. J. T., & Lins, A. F. (2013). Organização Praxeológica : Equação Do Primeiro Grau Em Livros Didáticos Do 7 ° Ano Do Ensino Fundamental. *Educação Matemática Em Revista - RS*, 1(14), 29–42.
- Barquero, B. (2015). Enseñando Modelización a Nivel Universitario: la relatividad institucional de los recorridos de estudio e investigación. *Bolema*, 29(52), 593–612. <http://doi.org/10.1590/1980-4415v29n52a09>
- Barquero, B., Bosch, M. y Gascón, J. (2011). Los recorridos de estudio e investigación y la modelización matemática en la enseñanza universitaria de las ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 29(3), 339-352.
- Barquero, B., Bosch, M., & Gascón, J. (2013). Las tres dimensiones del problema didáctico de la modelización matemática. *Educação Matemática Pesquisa*, 14(2), 1–28. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/relime/v14n2/v14n2a4.pdf>
- Barquero, B., Bosch, M., & Gascón, J. (2014). Incidencia del “aplicacionismo” en la integración de la modelización matemática en la enseñanza universitaria de las ciencias experimentales. *Enseñanza de Las Ciencias*, 1, 83–100. <http://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.933>
- Beichner, R. J., Saul, J. M., Abbott, D. S., Morse, J. J., Deardorff, D., Allain, R. J., ... Risley, J. (2007). The Student-Centered Activities for Large Enrollment Undergraduate Programs (SCALE-UP) Project Abstract. *Physics*, 1(1), 1–42. Retrieved from http://www.percentral.com/PER/per_reviews/media/volume1/SCALE-UP-2007.pdf
- Berge, A. (2006). Análisis institucional a propósito de la noción de completitud del conjunto de los números reales. *RELIME - Revista Latinoamericana de Investigación En Matemática Educativa*, 9(1), 31–64.
- Bergé, A. (2008). The completeness property of the set of reals numbers on the transition from calculus to analysis. *Educational Studies in Mathematics*, 67, 217–235. <http://doi.org/10.1007/sl>
- Bergmann, J., & Sams, A. (2012). *Flip your classroom: Reach every student in every class every day*. Washington: International Society for Technology in Education.
- Bittar, M., Freitas, J. L. M. de, & Pais, L. C. (2014). Reflexões sobre a Orientação de Pesquisas de Pós- Graduação em Educação Matemática com o Suporte da Teoria Antropológica do Didático. *Perspectivas Da Educação Matemática*, 7(número temático), 380–406.
- Blumenfeld, P. C., Soloway, E., Marx, R., Krajcik, J., Guzdial, M., & Palincsar, A. (1991). Motivating project-based learning: Sustaining the doing, supporting the learning. *Educational Psychologist*, 26, 369-398.
- Bon, C. F., Pérez, J. G., & Lucas, C. O. (2014). Desarrollo de un modelo epistemológico de referencia en torno a la modelización funcional. *RELIME - Revista Latinoamericana de Investigación En Matemática Educativa*, 17(3), 289–318. <http://doi.org/10.12802/relime.13.1732>

- Bosch, M., Gascón, J., & Trigueros, M. (2016). Dialogue between theories interpreted as research praxeologies: the case of APOS and the ATD. *Educational Studies in Mathematics*, 95(1), 39–52. <http://doi.org/10.1007/s10649-016-9734-3>
- Brewe, E., Dou, R., & Shand, R. (2018). Costs of success: Financial implications of implementation of active learning in introductory physics courses for students and administrators. *Physical Review Physics Education Research*, 14(1), 10109. <http://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.14.010109>
- Britto, V. H. C., Andrade, R. C. D., & Guerra, R. B. (2016). Avaliação Formativa: contribuições da Teoria Antropológica do Didático. *Perspectivas Da Educação Matemática*, 9(21), 1187–1208.
- Carvalho, D. G. de, & Bellemain, P. M. B. (2015). Ensino de Área de Figuras Geométricas Planas no Currículo de Matemática do Projovem Urbano. *Bolema*, 29(51), 123–142. <http://doi.org/DOI:> <http://dx.doi.org/10.1590/1980-4415v29n51a07>
- Castela, C. (2016). Cuando las praxeologías viajan de una institución a otra: una aproximación epistemológica del “boundary crossing”. *Educación Matemática*, 28(2), 9–29.
- Chasteen, S. V., Wilcox, B., Caballero, M. D., Perkins, K. K., Pollock, S. J., & 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>
- Chavez, O. N. C., & Vázquez, A. R. (2014). Modelo Praxeológico Extendido una Herramienta para Analizar las Matemáticas en la Práctica: El caso de la vivienda Maya y levantamiento y trazo topográfico. *Bolema*, 28(48), 128–148. <http://doi.org/10.1590/1980-4415v28n48a07>
- Chevallard, Y. (1991). *La transposición didáctica: Del saber sabio al saber enseñado*. Buenos Aires: Aique.
- Chevallard, Y. (1999). El análisis de las prácticas docentes em la teoria antropológica de lo didáctico. *Recherches em Didactique des Mathématiques*, 19(2), 221–266.
- Chevallard, Y. (2000). Conceitos fundamentais da didáctica: as perspectivas trazidas por uma abordagem antropológica. In Brun, J. (Ed.). *Didáctica das matemáticas*. Lisboa: Instituto Piaget (pp. 115–152).
- Chevallard, Y. (2002). Organiser l’?étude 3. Écologie & régulation. In Dorier, J. L. et al. (Eds.), *Actes de la 11e école de didactique des mathématiques*. Grenoble: La Pensée Sauvage.
- Chevallard, Y. (2013). Enseñar Matemáticas en la Sociedad de Mañana: Alegato a Favor de un Contraparadigma Emergente. *Journal of Research in Mathematics Education REDIMAT - Journal of Research in Mathematics Education*, 2(2), 161–182.
- Chevallard, Y., Bosch, M., & Gascón, J. (2001). *Estudar matemáticas – O elo perdido entre o ensino e a aprendizagem*. Porto Alegre: Artmed.
- Comiti, C. (2014). Recherche en Didactique et Formation des Enseignants. *Perspectivas Da Educação Matemática*, 7.

- Contreras, J. A. (2012). *A autonomía de profesores* (2. ed.). São Paulo: Cortez.
- Corica, A. R. (2000). Aprender Matemática en la Universidad: la perspectiva de estudiantes de primer año. *Revista Electrónica de Investigación En Educación En Ciencias*, Año 4(1), 10–28.
- Corica, A. R., & Otero, M. R. (2007). Las ideas de algunos estudiantes acerca de la enseñanza - aprendizaje de la Matemática en el Nivel Medio. *Revista Electrónica de Investigación En Educación En Ciencias*, 2(1), 40–68.
- Corica, A. R., & Otero, M. R. (2009). Análisis de una praxeología matemática universitaria en torno al límite de funciones y la producción de los estudiantes en el momento de la evaluación. *RELIME - Revista Latinoamericana de Investigación En Matemática Educativa*, 12(3), 305–331.
- Corica, A. R., & Otero, M. R. (2011). Análisis de la dinámica de estudio en un curso universitario de matemática. In *Un panorama de la TAD. III Congreso Internacional sobre la TAD* (pp. 605–625).
- Corica, A. R., & Otero, M. R. (2016). Diseño e Implementación de un Curso para la Formación de Profesores en Matemática: una Propuesta desde la TAD. *Bolema*, 30(55), 763–785. <http://doi.org/10.1590/1980-4415v30n55a22>
- Crouch, C. H., & Mazur, E. (2001). Peer Instruction: Ten years of experience and results. *American Journal of Physics*, 69(9), 970. <http://doi.org/10.1119/1.1374249>
- Cunha, S. R., & Pinto, M. M. F. (2014). O conhecimento esperado sobre limites e continuidade a partir de uma análise das provas unificadas de Cálculo I na UFRJ. *Educação Matemática Pesquisa*, 16(1), 259–278.
- D'Amore, B., & Godino, J. (2007). El Enfoque Ontosemiótico Como Un Desarrollo De La Teoría Antropológica En Didáctica De La Matemática. *RELIME - Revista Latinoamericana de Investigación En Matemática Educativa*, 10(2), 191–218.
- Dancy, M. H., & Henderson, C. (2009). Pedagogical practices of physics faculty in the USA. *AIP Conference Proceedings*, 1179, 121–124. <http://doi.org/10.1063/1.3266693>
- Dancy, M. H., & Henderson, C. (2012). Experiences of new faculty implementing research-based instructional strategies. *AIP Conference Proceedings*, 1413, 163–166. <http://doi.org/10.1063/1.3680020>
- Dancy, M., Henderson, C., & Turpen, C. (2016). How faculty learn about and implement research-based instructional strategies: The case of Peer Instruction. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 12(010110), 1–27. <http://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.010110>
- Dancy, M. H., Turpen, C., & Henderson, C. (2010). Why do faculty try research-based instructional strategies? *Physics Education Research Conference 2010*, 117–120. <http://doi.org/10.1063/1.3515175>
- Delgado, T. Á. S., & García, F. J. G. (2015). ¿Cómo organizar la formación matemático-didáctica del maestro de educación infantil? Propuesta de un recorrido de formación. *Educação Matemática Pesquisa*, 17(4), 767–790.
- Delgado, T. Á. S., Casabó, M. B., & Gascón, J. (2013). El cuestionamiento tecnológico-teórico en la actividad matemática: El caso del algoritmo de la multiplicación. *Bolema*, 27(47), 805–828.

- Días, M. A., & Mateus, P. (2015). Estudo comparado da transição entre o Ensino Médio e o Ensino Superior : análise das organizações didático-matemáticas dos documentos orientadores do Brasil e de Moçambique. *Revemat - Revista Eletrônica de Educação Matemática*, 10(2), 139–154.
- Dias, M. A., & Mateus, P. (2017). Níveis De Conhecimento Esperados Dos Estudantes Como Auxílio Para O Ensino E Aprendizagem Das Noções De Primitiva De Uma Função E Integral De Riemann. *Em Teia - Revista de Educação Matemática E Tecnológica Iberoamericana*, 8(1). Retrieved from <https://periodicos.ufpe.br/revistas/emteia/article/view/2906>
- Dorier, J. L., & García, F. J. (2013). Challenges and opportunities for the implementation of inquiry-based learning in day-to-day teaching. *ZDM - Mathematics Education*, 45(6), 837–849. <http://doi.org/10.1007/s11858-013-0512-8>
- Douglas, M. (1986). *How institutions think*. London: Routledge and Kegan Paul.
- Dou, R. e outros. (2016). Beyond performance metrics: Examining a decrease in students' physics self-efficacy through a social networks lens. *Physical Review Physics Education Research*, 12(2), 20124.
- El-Hani, C. N., & Greca, I. M. (2011). Participação em uma comunidade virtual de prática desenhada como meio de diminuir a lacuna pesquisa-prática na educação em biologia. *Ciência & Educação (Bauru)*, 17(3), 579–601. <http://doi.org/10.1590/S1516-73132011000300005>
- 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., & Veit, E. A. (2016b). Sala de aula invertida (flipped classroom): inovando as aulas de física. *Física Na Escola*, 14(2), 4–13.
- Espinosa, T., Ferreira Selau, F., Araujo, I., & Angela Veit, E. (2017). Medidas de autoeficácia discente e métodos ativos de ensino de física: um estudo de caso explanatório. *Revista de Enseñanza de La Física*, 29(2), 7–20.
- Espinosa, T., Araujo, I. S., & Veit, E. A. (2018). Aula invertida (flipped classroom): innovando las clases de Física. *Revista de Enseñanza de La Física*, 30(2).
- Farias, L. M. S., Carvalho, E. F., & Souza, E. S. de. (2014). Contribuições da Didática da Matemática para compreensão dos impactos do vazio didático na prática dos professores de Matemática que evoca as inter-relações entre os domínios numérico-algébrico e geométrico. *Educação Matemática Pesquisa*, 16(4), 1169–1180.
- 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>
- Foote, K. T., Neumeyer, X., Henderson, C., Dancy, M. H., & Beichner, R. J. (2014). Diffusion of research-based instructional strategies: the case of SCALE-UP.

International Journal of STEM Education, 1(1), 10. <http://doi.org/10.1186/s40594-014-0010-8>

- Foote, K., Knaub, A., Henderson, C., Dancy, M., & Beichner, R. J. (2016). Enabling and challenging factors in institutional reform: The case of SCALE-UP. *Physical Review Physics Education Research*, 12(1), 010103. <http://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.010103>
- García, F. J., Gascón, J., Higuera, L. R., & Bosch, M. (2006). Mathematical modelling as a tool for the connection of school mathematics. *ZDM - Mathematics Education*, 38(3), 226–246. <http://doi.org/10.1007/BF02652807>
- Gascón, J. (2011). Las tres dimensiones fundamentales de un problema didáctico. el caso del Álgebra elemental. *RELIME - Revista Latinoamericana de Investigación En Matemática Educativa*, 14(2), 203–231.
- Gazzola, M. P., Otero, M. R., Llanos, V. C., & Arlego, M. (2015). Enseñanza codisciplinar en Física y Matemática en la Escuela Secundaria por medio de Recorridos de Estudio y de Investigación. *Revista de Enseñanza de La Física*, 27(nº Extra), 117–124. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Gellert, U., Barbé, J., & Espinoza, L. (2013). Towards a local integration of theories: Codes and praxeologies in the case of computer-based instruction. *Educational Studies in Mathematics*, 82(2), 303–321. <http://doi.org/10.1007/s10649-012-9427-5>
- Godino, J. D., Font, V., Contreras, Á., & Wilhelmi, M. R. (2006). Una visión de la didáctica francesa desde el enfoque ontosemiótico de la cognición e instrucción matemática. *RELIME - Revista Latinoamericana de Investigación En Matemática Educativa*, 9(1), 117–150.
- Gonçalves, K. R., & Bittar, M. (2017). A distância entre o saber acadêmico e o saber ensinado revelado em um livro didático de matemática do 7º ano : o caso da adição e subtração com números inteiros. *Amazônia - Revista de Educação Em Ciências E Matemáticas*, 13(27), 107–123.
- Goya, A., Bzuneck, J. A., & Guimarães, S. É. R. (2008). Crenças de eficácia de professores e motivação de adolescentes para aprender física. *Psicologia Escolar e Educacional (Impresso)*, 12(1). <http://doi.org/10.1590/S1413-85572008000100005>
- Guerra, F. U., & Hernández, C. G. (2014). Una praxeología matemática de escala en un texto universitario. *Educación Matemática Pesquisa*, 16(1), 279–293.
- Guerra, R. B., & Silva, F. H. S. da. (2009). Reflexões sobre modelagem matemática crítica e o fazer matemática da escola. *Perspectivas Da Educação Matemática*, 2(3), 95–119.
- Hake, 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(1), 64–74. <http://dx.doi.org/10.1119/1.18809>
- Hardy, N. (2009). Students' perceptions of institutional practices: The case of limits of functions in college level Calculus courses. *Educational Studies in Mathematics*, 72(3), 341–358. <http://doi.org/10.1007/s10649-009-9199-8>

- Heidemann, L. A. (2015). *Ressignificação das atividades experimentais no Ensino de Física por meio do enfoque no processo de modelagem científica*. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Henderson, C. (2005). The challenges of instructional change under the best of circumstances: A case study of one college physics instructor. *American Journal of Physics*, 73(8), 778. <http://doi.org/10.1119/1.1927547>
- 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), 179–187. <http://doi.org/10.1063/1.2820911>
- Henderson, C., & 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., & 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., & 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., & 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., Beach, A., & Famiano, M. (2009). Promoting Instructional Change via Co-Teaching. *American Journal of Physics*, 77(3), 274–283. <http://doi.org/10.1119/1.3033744>
- Henderson, C., Dancy, M., & 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>
- Henderson, C., Mestre, J. P., & Slakey, L. L. (2015). Cognitive Science Research Can Improve Undergraduate STEM Instruction: What Are the Barriers? *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences*, 2(1), 51–60. <http://doi.org/10.1177/2372732215601115>
- Henriques, A., Nagamine, A., & Nagamine, C. M. L. (2012). Reflexões sobre análise institucional: o caso do ensino e aprendizagem de integrais múltiplas. *Bolema: Boletim de Educação Matemática*, 26(44), 1261–1288. <http://doi.org/10.1590/S0103-636X2012000400008>
- Júnior, A. P. de O., & Anjos, R. de C. dos. (2017). O ensino de estocástica no currículo de Matemática do Ensino Fundamental no Brasil. *Educação Matemática Pesquisa*, 19(3), 13–41.

- Kapoor, K. K., Dwivedi, Y. K., & Williams, M. D. (2014). Rogers' Innovation Adoption Attributes: A Systematic Review and Synthesis of Existing Research. *Information Systems Management*, 31(1), 74–91.
- Khatri, R., Henderson, C., Cole, R., Froyd, J. E., Friedrichsen, D., & Stanford, C. (2016). Designing for sustained adoption: A model of developing educational innovations for successful propagation. *Physical Review Physics Education Research*, 12(1), 10112. <http://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.010112>
- Khatri, R., Henderson, C., Cole, R., Froyd, J. E., Friedrichsen, D., & Stanford, C. (2017). Characteristics of well-propagated teaching innovations in undergraduate STEM. *International Journal of STEM Education*, 4(1), 1–10. <http://doi.org/10.1186/s40594-017-0056-5>
- Khatri, R., Henderson, C., Cole, R., Froyd, J., Friedrichsen, D., & Stanford, C. (2015). Characteristics of well-propagated undergraduate STEM teaching innovations. *Proceedings of the 2015 Physics Education Research Conference*, 167–170. <http://doi.org/10.1119/perc.2015.pr.037>
- Llanos, V. C., & Otero, M. R. (2015). La incidencia de las funciones didácticas topogénesis, mesogénesis y cronogénesis en un recorrido de estudio y de investigación: el caso de las funciones polinómicas de segundo grado. *RELIME - Revista Latinoamericana de Investigación En Matemática Educativa*, 18(2), 245–275. <http://doi.org/10.12802/relime.13.1824>
- Llanos, V. C., Otero, M. R., & Bilbao, M. P. (2011). Funciones Polinómicas en la Secundaria: primeros resultados de una Actividad de Estudio y de Investigación (AEI). *Revista Electrónica de Investigación En Educación En Ciencias*, 6(1), 10–12.
- Lucas, C. O., Bon, C. F., Gascón, J., & Casas, J. M. (2014). Aspetos da rigidez e atomização da matemática escolar nos sistemas de ensino de Portugal e da Espanha : análise de um questionário. *Educação Matemática Pesquisa*, 16(1), 1–24.
- Lucas, C. O., Gascón, J., & Fonseca Bon, C. (2017). Razón de ser del cálculo diferencial elemental en la transición entre la enseñanza secundaria y la universitaria. *Journal of Research in Mathematics Education*, 6(3), 283. <http://doi.org/10.17583/redimat.2017.2116>
- Machado, V. (2014). La Formación Docente en Ciencias/Biología y la Organización Praxeológica. *Revista de Educación En Biología*, 17(2), 9–15.
- Machado, V. D. M., & Weckerlin, E. R. (2017). O Ensino de Ciências biológicas a partir de uma organização didática, segundo a Teoria Antropológica do Didático. *Enseñanza de Las Ciencias, Extra*, 361–366.
- Marandino, M., Bueno, J., Kristel, F. L., & Oliveira, A. (2016). Os usos da Teoria da Transposição Didática e da Teoria Antropológica do Didático para o estudo da educação em museus de ciências. *Revista Labore Em Ensino de Ciências*, 1(1), 69–97.
- Matos, F. C. De, Pereira, J. C. de S., Nunes, J. M. V., & Guerra, R. B. (2017). Aspectos epistemológicos a luz da teoria antropológica do didático subjacentes ao tema transformação linear. *Amazônia - Revista de Educação Em Ciências E Matemáticas*, 14(27), 124–141.
- Mazur, E. (2015). *Peer Instruction: A revolução da aprendizagem ativa*. Porto Alegre: Penso.

- McDermott, L. C., & Shaffer, P. S. (1998). *Tutorials in Introductory Physics - Preliminary Edition*. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- McIntyre, D. (2005). Bridging the gap between research and practice. *Cambridge Journal of Education*, 35(3), 357–382. <http://doi.org/10.1080/03057640500319065>
- Mendes, H. do L. (2015). Análise Praxeológica de livro didático de matemática referente ao estudo de números binários. *Revemat - Revista Eletrônica de Educação Matemática*, 10(1), 199–219.
- Mendes, H. do L. (2017). Análise praxeológica de livros didáticos de matemática: o caso dos números binários. *Educação Matemática Pesquisa*, 19(1), 423–444.
- Mendes, H. do L. (2017). Os Números Binários : do Saber Escolar ao Saber Científico. *JIEEM - Jornal Internacional de Estudos Em Educação Matemática*, 10(1), 41–49.
- Mesquita, F. N. A., & Guerra, R. B. (2017). A prática de ensino como formação docente do professor de matemática. *Amazônia - Revista de Educação Em Ciências E Matemáticas*, 14(27), 67–86.
- Michaelsen, L. K., & Sweet, M. (2011). Team-based learning. *New Directions for Teaching and Learning*, (128), 41–51.
- Michaelsen, L. K., Knight, A. B., & Fink, L. D. (2004). *Team-Based Learning: A transformative use of small groups in college teaching*. Sterling: Stylus.
- Michaelsen, L. K., Parmelee, D. X, McMahon, K. K., Levine, R. E., & Billings, D. M. (2007). *Team-Based Learning for Health Professions Education: a guide to using small groups for improving learning*. VA: Stylus Publishing, LLC.
- Miretzky, D. (2007). A view of research from practice: Voices of teachers. *Theory into Practice*, 46(4), 272–280. <http://doi.org/10.1080/00405840701593857>
- Mortensen, M. F. (2011). Analysis of the educational potential of a science museum learning environment: Visitors’ experience with and understanding of an immersion exhibit. *International Journal of Science Education*, 33(4), 517–545. <http://doi.org/10.1080/09500691003754589>
- Müller, M. G. (2017). *Adoção de inovações didáticas em disciplinas de Física Geral em uma universidade pública brasileira: uma investigação à luz da Teoria da Difusão de Inovações*. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Müller, M. G., Araujo, I. S., & Veit, E. A. (2018). Inovação na prática docente: um estudo de caso sobre a adoção de métodos ativos no ensino de Física universitária. *Revista Eletrônica de Enseñanza de Las Ciencias*, 17(1), 44–67.
- Müller, M. G., Brandão, R. V., Araujo, I. S., & Veit, E. A. (2012). Implementação do método de ensino Peer Instruction com o auxílio dos computadores do projeto “UCA” em aulas de Física do Ensino Médio. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 29(0), 491–524. <http://doi.org/10.5007/2175-7941.2012v29nesp1p491>
- Munzón, N. R., Bosch, M., & Gascón, J. (2015). El problema didáctico del Álgebra elemental: un análisis macro-ecológico desde la Teoría Antropológica de lo Didáctico. *Journal of Research in Mathematics Education*, 4(2), 106–131. <http://doi.org/10.4471/redimat.2015>.

- Nagamine, C. M. L., Henriques, A., Utsumi, M. C., & Cazorla, I. M. (2011). Análise Praxeológica dos Passeios Aleatórios da Mônica. *Bolema*, 24(39), 451–472.
- Nissen, J. M. e Shemwell, J. T. (2016). Gender, experience, and self-efficacy in introductory physics. *Physical Review Physics Education Research*, 12(2), 20105.
- Novak, G. M., Patterson, E. T., Gavrin, A., & Christian, W. (1999). *Just-In-Time Teaching: Blending active learning and web technology*. Saddle River: Prentice Hall.
- 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., 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, A. B., & Bittar, M. (2017). Um estudo sobre a prática pedagógica de um professor de matemática. *Revemat - Revista Eletrônica de Educação Matemática*, 12(1), 11–25.
- Oliveira, V., Veit, E. A., & 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. <http://doi.org/10.5007/2175-7941.2015v32n1p180>
- Olmstead, A., & 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>
- Ordoñez, E. A. S. (2013). Razones, proporciones y proporcionalidad en una situación de reparto: Una mirada desde la teoría antropológica de lo didáctico. *RELIME - Revista Latinoamericana de Investigación En Matemática Educativa*, 16(1), 65–97.
- Otero, M. R. (2010). La notion de situation : analysée depuis la théorie des champs conceptuels , la théorie des situations , la dialectique outil- objet et la théorie anthropologique du didactique. *Revista Electrónica de Investigación En Educación En Ciencias*, 5(1).
- Otero, M. R., Fanaro, M. de los Á., & Llanos, V. C. (2013). La Pedagogía de la Investigación y del Cuestionamiento del Mundo y el Inquiry: un análisis desde la enseñanza de la Matemática y la Física. *Revista Electrónica de Investigación En Educación En Ciencias*, 8(1), 77–89. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=273327598007>
- Pajares, F e Olaz F. (2008). Teoria social cognitiva e autoeficácia: uma visão geral. In: Bandura, A., Azzi R. G. e Polydoro, S. *Teoria Social Cognitiva: conceitos básicos*. Porto Alegre: Artmed.
- Parra, V., & Otero, M. R. (2009). Praxeologías Didácticas en la Universidad: Un estudio de caso relativo al Límite y Continuidad de funciones. *Zetetiké*, 17(31), 151–190. <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.1584.0801>
- Parra, V., Otero, M. R., & Fanaro, M. de los Á. (2009). Reconstrucción de una Organización Matemática de referencia para el estudio del límite y la continuidad de funciones en la

- Universidad. *Revista Electrónica de Investigación En Educación En Ciencias*, 24–38. Retrieved from http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-66662009000300003&lang=pt
- Pereira, J. C. de S., & Nunes, J. M. V. (2017). Ensino de operações polinomiais intermediado pela aritmética no sistema de numeração posicional decimal 1 Introdução. *Educação Matemática Pesquisa*, 19(1), 251–271.
- Pereira, J. C. de S., Silva, F. H. S. da, & Nunes, J. M. V. (2017). Análise de narrativas praxeológicas de conexões entre aritmética e álgebra. *Amazônia - Revista de Educação Em Ciências E Matemáticas*, 14(27), 87–106.
- Pérez, L. E. R., Andrade, G. de O., Lozano, A. R. G., Praça, A. V. da S., & Rodrigues, C. K. (2017). Construcción de praxeologias relacionadas con la función exponencial conducidas mediante la teoría antropológica de lo didáctico. *Revista de Educação, Ciência E Matemática*, 7(1), 4–15.
- Pundak, D., & Rozner, S. (2008). Empowering engineering college staff to adopt active learning methods. *Journal of Science Education and Technology*, 17(2), 152–163. <http://doi.org/10.1007/s10956-007-9057-3>
- Rasmussen, K. (2016). The direction and autonomy of interdisciplinary study and research paths in teacher education. *Journal of Research in Mathematics Education*, 5(2), 158. <http://doi.org/10.17583/redimat.2016.1753>
- Regner, M. D. B., & Rodríguez, M. (2016). El fenómeno de la desarticulación entre los enfoques sintético y analítico en elipses: Un estudio de caso. *Revista Electrónica de Investigación En Educación En Ciencias*, 11(2), 16–27.
- Rodrigues, R. F., Menezes, M. B. de, & Santos, M. C. dos. (2017). Licenciatura em matemática e o percurso de estudo e pesquisa: uma proposta do modelo epistemológico de referência para o ensino e aprendizagem do conceito de função. *Amazônia - Revista de Educação Em Ciências E Matemáticas*, 14(27), 36–50.
- Rodríguez, E., Bosch, M., & Gascón, J. (2008). A networking method to compare theories: Metacognition in problem solving reformulated within the Anthropological Theory of the Didactic. *ZDM - Mathematics Education*, 40(2), 287–301. <http://doi.org/10.1007/s11858-008-0094-z>
- Rodríguez, M. A., & Parraguez, M. (2014). Interpretando estrategias en Resolución de Problemas desde dos constructos teóricos: Un estudio de caso. *Revista Electrónica de Investigación En Educación En Ciencias*, 9(2), 1–12.
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of Innovations* (5. ed.). New York: Free Press of Glencoe.
- Rogers, M., Keller, L. D., Crouse, A., & Price, M. F. (2015). Implementing Comprehensive Reform of Introductory Physics at a Primarily Undergraduate Institution: A Longitudinal Case Study. *Journal of College Science Teaching*, 44(3), 82–90. Retrieved from <http://jproxy.lib.ecu.edu/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=ejh&AN=100108806&site=ehost-live>
- Rossini, R. (2007). Evolução das organizações matemáticas e didáticas construídas em torno do conceito de função em uma formação de professores. *Educação Matemática Pesquisa*, 9(2), 205–247.
- Rudolph, A. L., Lamine, B., Joyce, M., Vignolles, H., & Consiglio, D. (2014). Introduction of interactive learning into French university physics classrooms. *Physical Review Special*

- Topics - Physics Education Research*, 10(1), 1–18.
<http://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.10.010103>
- Ruiz Olarría, A., Sierra Delgado, T., Bosch, M., & Gascón, J. (2014). Las Matemáticas para la Enseñanza en una Formación del Profesorado Basada en el Estudio de Cuestiones. *Bolema*, 28(48), 319–340. <http://doi.org/10.1590/1980-4415v28n48a16>
- Ruiz-Higueras, L., & García, F. J. G. (2011). Análisis de praxeologías didácticas en la gestión de procesos de modelización matemática en la escuela infantil. *RELIME - Revista Latinoamericana de Investigación En Matemática Educativa*, 14(1), 41–70.
- Saglam-Arslan, A. (2010). Cross-Grade comparison of students' Understanding of energy concepts. *Journal of Science Education and Technology*, 19(3), 303–313.
<http://doi.org/10.1007/s10956-009-9201-3>
- Sales, A., & Felice, J. (2014). A Racionalização de Frações Irracionais: ideias implícitas e adjacentes. *Perspectivas Da Educação Matemática*, 7.
- Santos, A. B. C. dos, Pereira, J. C. de S., & Nunes, J. M. V. (2017). Concepções de professores de matemática do ensino básico sobre a álgebra escolar. *Educação Matemática Pesquisa*, 19(1), 81–103. <http://doi.org/10.23925/1983-3156.2017v19i1p81-103>
- Santos, M. C., & Menezes, M. B. (2015). A Teoria Antropológica do Didático: uma Releitura Sobre a Teoria. *Perspectivas Da Educação Matemática*, 8(Número Temático), 648–670.
- Santos, C. M. dos, & Freitas, J. L. M. de. (2015). Análise das práticas pedagógicas de uma professora indígena voltadas à geometria no ensino médio. *Revista Paranaense de Educação Matemática*, 4(6), 25–47.
- Santos, C. M. dos, & Freitas, J. L. M. de. (2017). Contribuições da teoria antropológica do didático na formação de professores de matemática. *Amazônia - Revista de Educação Em Ciências E Matemáticas*, 13(27), 51–66.
- Santos, M. B. S. dos, & Almouloud, S. A. (2014). O Conceito de Limite: estudo das organizações matemáticas e didáticas em livros didáticos. *Perspectivas Da Educação Matemática*, 7(Número temático).
- Santos, M. R., & Santos, M. C. dos. (2015). O Conceito de Área de Figuras Geométricas Planas no Livro Didático de Matemática Do 6º Ano do Ensino Fundamental: um olhar sob a ótica da Teoria Antropológica do Didático. *Em Teia - Revista de Educação Matemática E Tecnológica Iberoamericana*, 6(2).
- Sawtelle, V., Brewe, E. e Kramer, L. H. (2012). Exploring the relationship between self-efficacy and retention in introductory physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(9), 1096-1121.
- Selau, F. F., Espinosa, T., Araujo, I. S., & Veit, E. A. (2019). Fontes de autoeficácia e atividades experimentais: um estudo exploratório. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 41(2), e20180188.
- Schivani, M., Brockington, G., & Pietrocola, M. (2013). Aplicações da Robótica no Ensino de Física: Análise de Atividades numa Perspectiva Praxeológica. *Revista de Educación En Ciencias, Journal of Science Education*, 14, 32–36.
- Silva, H. L., Henriques, A., & Serôdio, R. P. F. (2017). Análise Praxeológica de Funções Trigonométricas em um Livro Didático do Ensino Médio. *Perspectivas Da Educação Matemática*, 10(22), 409–432.

- Silva, R. da, Nunes, J. M. V., & Guerra, R. B. (2016). Relação entre tempo didático e currículo em um ambiente multisseriado. *Perspectivas Da Educação Matemática*, 9(20), 516–543.
- Smith, K. (2012). Lessons learnt from literature on the diffusion of innovative learning and teaching practices in higher education. *Innovations in Education and Teaching International*, 49(2), 173–182. <http://doi.org/10.1080/14703297.2012.677599>
- Solares, A., & Kieran, C. (2013). Articulating syntactic and numeric perspectives on equivalence: The case of rational expressions. *Educational Studies in Mathematics*, 84(1), 115–148. <http://doi.org/10.1007/s10649-013-9473-7>
- Souza, H. de J., & Henriques, A. (2014). Modelagem Matemática de Situações Reais utilizando Funções Quadráticas. *Perspectivas Da Educação Matemática*, 7(Número temático).
- Tibaud, X. V. (2017). El conocimiento sobre la epistemología de la ciencia como eje para mejorar la relación investigación-práctica en la formación inicial docente en ciencias: el caso de Chile. *Enseñanza de Las Ciencias*, extra, 89–96.
- Trigueros, M., & Martínez-Planell, R. (2015). Las funciones de dos variables: análisis mediante los resultados del diálogo entre la teoría APOS y la TAD. *Enseñanza de Las Ciencias*, 33(2), 157–171. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1520>
- Turpen, C., Dancy, M., & 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>
- Vargas-Alejo, V., & Guzmán-Hernández, J. (2012). Valor pragmático y epistémico de técnicas en la resolución de problemas verbales algebraicos en ambiente de hoja electrónica de cálculo. *Enseñanza de Las Ciencias*, 30(3), 89–107.
- Verónica, P., & Maria Rita, O. (2007). Organizaciones Matemáticas en la Universidad en torno a las nociones de límite y continuidad de funciones: un estudio de caso. *Revista Electrónica de Investigación En Educación En Ciencias*, 2(2), 20–28. Retrieved from http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-66662007000200003&lang=pt
- Veronica, P., Otero, M. R., & Elichiribehety, I. (2006). Organizaciones Matemáticas que se estudian en la Universidad en torno a la noción de función: un estudio de caso. *Revista Electrónica de Investigación En Educación En Ciencias*, 1(2), 65–83.
- Watson, W. E., Michaelsen, L. K., & Sharp, W. (1991). Member competence, group interaction, and group decision making: A longitudinal study. *Journal of Applied Psychology*, 76(6), 803–809. <http://dx.doi.org/10.1037/0021-9010.76.6.803>
- Wieman, C., Deslauriers, L., & 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>
- Winsløw, C. (2011). Anthropological theory of didactic phenomena: some examples and principles of its use in the study of mathematics education. *Un Panorama de TAD, CRM Docume* (January 2011), 117–138.

- Winslów, C., Matheron, Y., & Mercier, A. (2013). Study and research courses as an epistemological model for didactics. *Educational Studies in Mathematics*, 83(2), 267–284. <http://doi.org/10.1007/s10649-012-9453-3>
- Yamazaki, S. C., Angotti, J. A. P., & Delizoicov, D. (2017). Aprender como ensinar física através do livro texto de ciclo básico universitário: um fenômeno didático em questão. *Amazônia - Revista de Educação Em Ciências E Matemáticas*, 13(28), 5–22.
- 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.
- Zanardi, D. C., Kneubil, F. B., & Pereira, V. S. (2013). Organização Praxeológica De Saberes Escolares: Uma Comparação Da Equação De Clapeyron Em Livros De Física E Química. *Investigações Em Ensino de Ciências*, 18(3), 601–620.

APÊNDICE 1 – PHYSICS SELF-EFFICACY SURVEY

Physics Self-efficacy Survey (PSES)

For each statement, rate your belief in your ability to do the following tasks by recording a number from 0 to 10. 0 = Highly certain cannot do; 5 = Moderately certain can do; 10 Highly certain can do

[Dimension of physics self-efficacy that the question pertains to]

1. Understand physical concepts [Conceptual Physics Understanding]
2. Relate different physics concepts with each other [Conceptual Physics Understanding]
3. Design physics experiments using materials in hands-on activities (*i.e.*, in class or in lab)
[Lab/Hands-on Activities]
4. Communicate physics in a way that my classmates understand [Collaborative Work]
5. Answer conceptual physics questions (*e.g.*, Learning Catalytics) in class by myself [Problem Solving]
6. Work together with my classmates to complete a complex task (*e.g.*, a physics project)
[Collaborative Work]
7. Solve qualitative physics problems [Problem Solving]
8. Collect data while conducting physics experiments [Lab/Hands-on Activities]
9. Write reports summarizing physics experiments [Lab/Hands-on Activities]
10. Relate physics concepts with daily life applications [Conceptual Physics Understanding]
11. Interpret the physical meaning of an equation [Conceptual Physics Understanding]
12. Interpret graphs explaining physical phenomenon [Conceptual Physics Understanding]
13. Handle mathematical calculations while solving physics problems [Problem Solving]
14. Use the equipment during hands-on activities (*e.g.*, in class or in lab) [Lab/Hands-on Activities]
15. Be flexible in the face of conflicts and disagreements in group activities [Collaborative Work]

16. Evaluate the plausibility of results of physics problems [Problem Solving]
17. In group activities, encourage my classmates to participate in discussions [Collaborative Work]
18. In a discussion, listen the opinion of my classmates, even when I think I am right [Collaborative Work]
19. Apply physical equations in order to solve physics problems [Problem Solving]
20. Interpret data while conducting physics experiments [Lab/Hands-on Activities]

APÊNDICE 2 – SOURCES OF PHYSICS SELF-EFFICACY SURVEY

Sources of Physics Self-efficacy Survey (SPSES)

Please indicate how strongly you agree with each of the following statements.

1 = Strongly Disagree; 2 = Disagree; 3 = Neutral; 4 = Agree; 5 = Strongly Agree

[Source of self-efficacy that the question pertains to]

1. Answering conceptual physics questions in class by myself made me believe that I am more capable in understanding conceptual physics [Mastery Experience / Conceptual Physics Understanding]
2. Observing my peers answering conceptual physics questions made me more confident that I could do the same and understand conceptual physics [Vicarious Learning Experience / Conceptual Physics Understanding]
3. My peers (and/or the instructors) encouraged me to believe that I have the capabilities to understand conceptual physics [Social Persuasion / Conceptual Physics Understanding]
4. The grading system in this course made me feel less stressed, and it made me more confident in my abilities to understand conceptual physics [Individual's Physiological and Affective State / Conceptual Physics Understanding]
5. Solving physics problems by myself made me more confident in my ability to solve new and different physics problems [Mastery Experience / Problem Solving]
6. Observing my peers explaining the problems solutions made me more confident that I could do the same and solve physics problems [Vicarious Learning Experience / Problem Solving]
7. My peers (and/or the instructors) encouraged me to believe that I have the capabilities to solve physics problems [Social Persuasion / Problem Solving]

8. The course activities helped me to relax and enjoy my experience in this class and it made me more confident about my abilities to solve physics problems [Individual's Physiological and Affective State / Problem Solving]
9. Contributing actively and productively to the group work and group discussions made me believe that I am more capable in working collaboratively [Mastery Experience / Collaborative Work]
10. Observing my peers helping each other made me believe that I am capable to do the same and work collaboratively [Vicarious Learning Experience / Collaborative Work]
11. My peers (and/or the instructors) encouraged me to believe that I have the capabilities to work collaboratively [Social Persuasion / Collaborative Work]
12. The period working in groups made me feel less anxious and, consequently, more confident about my abilities to work collaboratively [Individual's Physiological and Affective State / Collaborative Work]
13. Using the equipment and collecting data by myself while doing activities in this course made me believe that I am more capable in performing labs/hands-on activities [Mastery Experience / Lab/Hands-on Activities]
14. Observing my peers performing the labs/hands-on activities made me more confident that I could do the same [Vicarious Learning Experience / Lab/Hands-on Activities]
15. The hands-on environment in this course encouraged me to believe that I have the capabilities to perform lab/hands-on activities [Social Persuasion / Lab/Hands-on Activities]
16. The course activities helped me to relax and enjoy my experience in this class and it made me more confident about my abilities to perform lab/hands-on activities [Individual's Physiological and Affective State / Lab/Hands-on Activities]

**APÊNDICE 3 – TERMO DE CONSENTIMENTO ASSINADO PELOS
PARTICIPANTES DA PESQUISA**

Consent Form for Interview

Confidentiality: Your responses to interview questions will be kept confidential. At no time will your actual identity be revealed. You will be assigned a random numerical code. Anyone who helps me transcribe responses will only know you by this code. The recording will be erased when my dissertation has been accepted. The transcript, without your name, will be kept until the research is complete.

The data you give me will be used for my dissertation and may be used as the basis for articles or presentations in the future. I won't use your name or information that would identify you in any publications or presentations.

Participation and withdrawal: Your participation in this study is completely voluntary, and you may refuse to participate or withdraw from the study. You may withdraw by informing the experimenter that you no longer wish to participate (no questions will be asked). You may skip any question during the interview, but continue to participate in the rest of the study.

To Contact the Researcher: If you have questions or concerns about this research, please contact: Tobias Espinosa, McKay 319, tobiasesp@gmail.com. You may also contact the supervisors of this work: Ives Solano Araujo, ives@if.ufrgs.br, and Eric Mazur, mazur@seas.harvard.edu

Agreement:

The nature and purpose of this research have been sufficiently explained and I agree to participate in this study. I understand that I am free to withdraw at any time.

Signature: _____

Date: _____

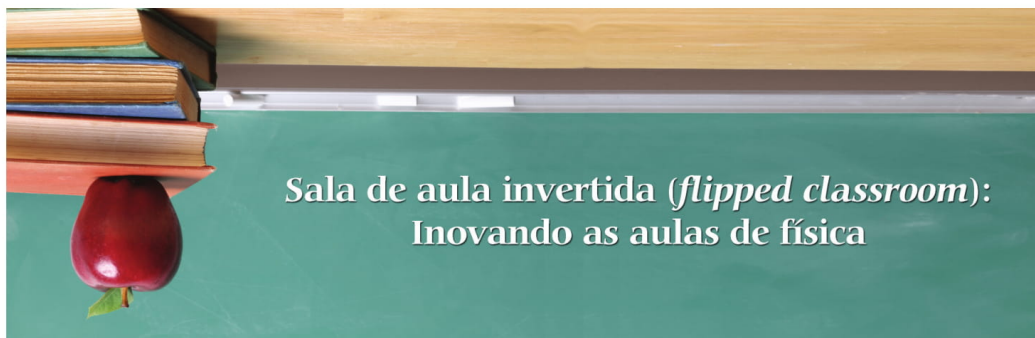
Name (print): _____

Ives Solano Araujo

Tobias Espinosa

ANEXO 1 – SALA DE AULA INVERTIDA (*FLIPPED CLASSROOM*): INOVANDO AS AULAS DE FÍSICA

Neste anexo, apresentamos um artigo sobre a metodologia de ensino Sala de Aula Invertida voltado para professores de Física da educação básica, publicado na revista Física na Escola. No artigo são apresentados discursos que podem embasar as técnicas de diferentes inovações didáticas, bem como as principais dificuldades que o professor pode encontrar ao tentar modificar as aulas de Física.



Sala de aula invertida (*flipped classroom*): Inovando as aulas de física

.....
Tobias Espinosa de Oliveira
 Instituto de Física, Universidade
 Federal do Rio Grande do Sul, Porto
 Alegre, RS, Brasil.
 E-mail: tobias.espinosa@ufrgs.br

Ives Solano Araujo
 Instituto de Física, Universidade
 Federal do Rio Grande do Sul, Porto
 Alegre, RS, Brasil.
 Bolsista do CNPq – Brasil.
 E-mail: ives@if.ufrgs.br

Eliane Angela Veit
 Instituto de Física, Universidade
 Federal do Rio Grande do Sul, Porto
 Alegre, RS, Brasil.
 E-mail: eav@if.ufrgs.br

Aulas puramente expositivas, com alunos passivos e comumente inibidos a qualquer ação interativa. Esse retrato do ensino tradicional diverge do perfil dos alunos atuais, os quais, em sua maioria, estão constantemente conectados à internet, com acesso fácil à informação e habituados a ambientes interativos, sejam eles virtuais ou presenciais. Uma possível correção a essa dissonância se encontra na inversão da sala de aula, o que significa que os alunos tomam contato com o conteúdo em casa e o tempo disponível em aula que, tradicionalmente, é ocupado por longas exposições orais do professor, é utilizado para que os alunos estudem, interagindo ativamente com seus colegas e professor. O presente artigo apresenta a metodologia de ensino conhecida como Sala de Aula Invertida e diferentes métodos que permitem essa inversão no ensino de física. Discutimos os motivos que podem incentivar o professor de física a modificar a sua prática, bem como as principais dificuldades que ele pode encontrar nesse percurso.

Introdução

Comumente ouvimos os professores dizendo: “nossos alunos não são mais como os de antigamente”. E, de fato, não são. Sobretudo, os alunos de hoje não são os mesmos para os quais o nosso sistema educacional foi criado [1]. Em seu dia a dia, muitos estão constantemente conectados a redes sociais e acostumados ao acesso direto a informações em seus *smartphones*, *tablets* ou computadores, tão logo tenham algum interesse em buscá-las. Para eles, longas aulas expositivas centradas no professor, com poucas possibilidades de interação e elevado grau de passividade, são altamente desmotivadoras e carentes de significado. Dentre os inúmeros desafios enfrentados pelos professores para promover uma aprendizagem significativa dos conteúdos, a divergência entre o perfil dos alunos atuais e o modelo de ensino ocupa posição importante. A questão que se apresenta é: *como fazer diferente?*

Certamente não há uma única resposta para esta questão. Pesquisadores e professores de diversas áreas, em particular do ensino de física, vêm envidando esforços para mudar a sala de aula por meio de uma aprendizagem mais ativa (*active learning*). Aprendizagem ativa, neste contexto, envolve a realização de atividades de ensino que permitam aos alunos se engajarem cognitivamente e refletirem ao longo do processo sobre aquilo que estão fazendo [2]. Dentre diversas possíveis formas de se implementar tais atividades, uma metodologia de ensino em particular tem ganho destaque nos últimos anos: a Sala de Aula Invertida (*Flipped Classroom*)

[3]. Nela, os alunos entram em contato com os tópicos a serem discutidos em sala através de atividades prévias às aulas. Isso pode ser feito em casa, por exemplo, por meio de leituras e/ou visualização de vídeos indicados pelo professor e algumas questões sobre o conteúdo tratado nesses recursos. Em sala de aula, os alunos, usualmente de forma colaborativa, realizam atividades experimentais, de simulação computacional e/ou resolução de problemas, por exemplo. Ao “inverter” a aula, ou seja, centrar o ensino nos alunos e ressignificar o papel do professor para além da transmissão de informações, ganha-se tempo em sala para que atividades mais nobres aconteçam, tais como discussões pormenorizadas sobre conceitos físicos e atenção a dificuldades específicas apresentadas pelos alunos.

Por isso, é importante que mais professores conheçam maneiras para diversificar as suas práticas e se sintam motivados a fazê-lo. Não existe apenas uma forma de inverter a sala de aula. O docente precisa ter liberdade para escolher entre diferentes métodos de ensino e, de forma crítica, modificá-los quando necessário

para que possam ser aplicados em seu contexto educacional.

Apesar da ampla divulgação alcançada pela “sala de aula invertida”, muitas vezes são difundidas concepções equivocadas ou incompletas que dificultam sua adoção por parte de

professores interessados em modificar suas aulas. Além disso, mesmo que a inversão da sala de aula possa ser feita em praticamente qualquer disciplina [4], existem desafios particulares a cada uma delas.

O presente artigo tem como propósito

Os alunos de hoje não são os mesmos para os quais o nosso sistema educacional foi criado. E muitos deles estão constantemente conectados a redes sociais e acostumados ao acesso direto a informações em seus smartphones, tablets ou computadores, tão logo tenham algum interesse em buscá-las

apresentar a “sala de aula invertida” e discutir alguns desafios e possibilidades de sua implementação em aulas de física.

Sala de Aula Invertida (Flipped Classroom)

O termo *Flipped Classroom*, ou, em uma tradução livre, “Sala de Aula Invertida”, é comumente associado aos trabalhos dos professores norte-americanos Bergmann e Sams, que publicaram um livro [3] onde divulgam uma maneira de inverter a sala de aula, na qual as tradicionais exposições orais do professor são substituídas por vídeos a serem assistidos pelos alunos fora da sala de aula. No livro, os professores Bergmann e Sams, através da experiência acumulada em anos ensinando química em escolas de Ensino Médio, buscam incentivar e auxiliar a mudança na prática docente. Apesar de serem uma referência no que diz respeito à Sala de Aula Invertida, os próprios autores destacam que o termo não pertence a nenhum professor ou pesquisador específico, e que diversos métodos já existentes poderiam ser caracterizados como formas de inversão da sala de aula [3]. Mas, afinal, o que é a Sala de Aula Invertida?

A Sala de Aula Invertida é uma metodologia de ensino que inverte a lógica tradicional de ensino. O aluno tem o primeiro contato com o conteúdo que irá aprender através de atividades extraclasses, prévias à aula. Em sala, os alunos são incentivados a trabalhar colaborativamente entre si e contam com a ajuda do professor para realizar tarefas associadas à resolução de problemas, entre outras [3].

O contato inicial com a informação pode ser feito por meio de vídeos, textos ou qualquer outro material de apoio, os quais o professor pode disponibilizar *online*. Em aulas tradicionais, um breve momento de distração do estudante durante a exposição do professor, pode ser suficiente para dificultar uma compreensão adequada de alguma explicação. Em contrapartida, na Sala de Aula Invertida, o aluno, em casa, estuda em seu próprio ritmo, tendo a opção de pausar o vídeo e reproduzi-lo quantas vezes achar necessário ou, em caso de textos, reler diversas vezes o que não compreendeu. Em caso de dúvida, o aluno tem a possibilidade de recorrer a outras fontes de informações (e.g. páginas da internet, vídeos, livros, etc.). Além disso, recomenda-se que o professor peça aos alunos que escrevam e enviem suas dúvidas para que ele possa abordá-las na aula.

Em sala de aula, o foco é voltado à aplicação dos conceitos estudados em casa pelos alunos. Como já mencionado, isso

pode ser feito através de resolução de problemas, atividades experimentais e/ou de simulações computacionais, etc. Nessas tarefas, estimula-se a interação aluno-aluno e aluno-professor, havendo uma alteração tanto no papel do professor quanto do aluno. Como bem reiteram Bergmann e Sams [3], “o papel do professor em sala é auxiliar os estudantes, e não transmitir a informação”. Por sua vez, o aluno assume uma postura ativa e, muitas vezes, contribui para a aprendizagem de seus colegas por meio de suas explicações.

A crescente popularização da Sala de Aula Invertida faz com que cada vez mais professores a adotem; em contrapartida, comumente são disseminadas ideias equivocadas a seu respeito. Comentamos algumas delas [5] na sequência.

A Sala de Aula Invertida não é algo inédito e não existe uma única maneira de inverter a sala de aula

Inovações na sala de aula não são tão recentes quanto parecem. No final do Século XX, por meio do método de estudos de caso, começaram a aparecer as primeiras iniciativas de cobrir a informação fora da sala de aula e de práticas orientadas em sala. Um dos métodos de inversão de sala de aula mais difundidos no ensino de física, o Instrução pelos Colegas (*Peer Instruction*) [6], teve origem na década de 1990. Outros métodos, como o Ensino sob Medida (*Just-in-Time Teaching*) [7], Aprendizagem Baseada em Equipes (*Team-Based Learning*) [8], Aprendizagem Baseada em Projeto (*Project-Based Learning*) [9] e Aprendizagem Baseada em Problemas (*Problem-Based Learning*) [10] têm origem entre as décadas de 70 e 90. Alguns desses métodos serão apresentados brevemente mais adiante. Podemos retroceder ainda mais no tempo com Sócrates (469 a.C.-399 a.C.), que propunha o diálogo ativo através de discursos maiêuticos (método socrático), os quais induzem o interlocutor a pensar, agir e refletir por si mesmo. Se pensarmos bem, talvez o estranho seja a insistente preeminência de aulas centradas no professor e com alunos passivos.

Inverter a sala de aula não implica necessariamente no uso de videoaulas

Utilizar vídeos no estudo de casa dos alunos é apenas uma possibilidade. Como já comentado, em vez de assistir um vídeo, o professor pode pedir para o aluno ler um texto, por exemplo. E não se trata apenas de disponibilizar vídeos ou textos aos estudantes, inverter a sala de aula também

diz respeito ao que se faz com o estudo prévio. Para isso, o docente pode orientar alguma atividade, como pedir para que os alunos façam anotações sobre o que estão estudando, elaborem perguntas, ou que respondam algumas questões. O docente, de posse das informações provenientes do estudo dos alunos, consegue mapear as dificuldades apontadas e, assim, preparar explicações pontuais a serem proferidas em sala de aula. É imprescindível salientarmos que a Sala de Aula Invertida não se restringe ao uso de vídeos, e tão pouco elimina o papel do professor no processo de ensino e aprendizagem.

São diversas as potencialidades relacionadas à inversão das aulas de física. Na próxima seção discorreremos sobre alguns motivos pelos quais o professor pode ser incentivado a modificar a sua prática.

Por que inverter as aulas de física?

A mudança nas aulas de física pode advir da percepção docente dos benefícios atrelados a ela. Nesse sentido, expomos alguns motivos para se inverter a sala de aula.

A Sala de Aula Invertida ressignifica o papel do professor

Em aulas tradicionais, normalmente o professor assume o papel de transmissor de informação, dispendendo boa parte do tempo em sala de aula comunicando verbalmente conceitos físicos e escrevendo a solução de exercícios resolvidos no quadro. Em meio a alunos nascidos na era da internet e com acesso a ferramentas de tecnologia da informação, a disseminação de informações pode ser feita de forma mais eficiente em contextos educacionais que saiam da zona de carência absoluta de condições materiais. O próprio estudante, além de ter acesso aos livros textos distribuídos no PNL, pode acessar a informação com poucos toques em seu *smartphone* se tiver interesse. Na Sala de Aula Invertida, o docente torna-se responsável por criar, selecionar e organizar o estudo, bem como auxiliar os estudantes, sanando as dúvidas deles e concentrando mais atenção às especificidades de cada um nos encontros presenciais. O professor de física, dispondo do tempo ganho em sala de aula ao diminuir consideravelmente o tempo destinado às exposições orais, pode concentrar-se em orientar atividades em sala de aula focadas no engajamento cognitivo dos estudantes e no estímulo da autonomia discente, enriquecendo assim sua prática.

Inverter as aulas coloca o aluno no centro do processo educativo

Em aulas convencionais, o professor é o centro do processo educativo; a atenção está voltada para ele na maior parte do tempo. Na Sala de Aula Invertida os alunos ocupam posição central. O professor passa a se importar menos sobre como vai expor determinado conteúdo, e mais a respeito das atividades que serão desenvolvidas pelos estudantes para construir seus conhecimentos. Os alunos se tornam corresponsáveis tanto pela própria aprendizagem quanto pela dos colegas. Quando estão em casa, são encarregados de se prepararem para as atividades que serão desenvolvidas em sala de aula [11]. Em classe, são responsáveis por ajudar os colegas nas atividades e contribuir para as discussões orientadas pelo professor, o que, por sua vez oportuniza a consolidação do que está sendo por eles aprendido.

Na sala de aula invertida são levados em consideração os conhecimentos prévios dos alunos

Conforme apontado por Ausubel [12], o fator isolado mais importante para a aprendizagem é aquilo que o estudante já sabe. Em aulas tradicionais, as possíveis tentativas do professor de acessar os conhecimentos prévios dos estudantes podem ser bastante restritas devido ao tempo limitado que ele dispõe em classe. Na Sala de Aula Invertida, as dificuldades e dúvidas enfrentadas pelos alunos em seus estudos em casa são levadas ao conhecimento do professor, que as usa para planejar as atividades a serem realizadas nos encontros presenciais. As dúvidas e erros percebidos na fase de preparação são ponto de partida e combustível para as discussões em classe.

A Sala de Aula Invertida lida com a heterogenia na sala de aula

Muitas vezes, as aulas preparadas com métodos de ensino tradicionais têm por alvo um “aluno médio” hipotético, situado em posição intermediária entre os alunos que apresentam mais facilidade de compreensão e os que apresentam menos. Ao não levar em consideração as especificidades dos alunos reais, não raro as atividades de ensino terminam por não atingir ninguém. Na sala de aula invertida, a heterogenia, usualmente presente na maior parte das turmas, além de ser levada em consideração, através do acesso aos conhecimentos prévios dos alunos, é bem-vinda por instigar as discussões entre os colegas. Hipoteticamente, se todos

os alunos fossem iguais e soubessem tudo, nada haveria para ser debatido; de maneira análoga, se todos os alunos tivessem dificuldades muito grandes na compreensão dos conceitos, a discussão também poderia ser prejudicada. A diversidade beneficia os alunos que naquela ocasião compreenderam mais rapidamente o conteúdo e têm a chance de consolidar sua própria aprendizagem ensinando, e também auxilia aqueles que apresentaram dificuldades, que aprendem com seus colegas e, por meio de suas dúvidas, estimulam as discussões. É importante frisar que tais papéis assumidos pelos estudantes não são necessariamente fixos, podendo se alternar ao longo da realização das atividades.

Métodos ativos de ensino baseados no modelo de sala de aula invertida podem auxiliar no desenvolvimento de hábitos de estudos nos estudantes

Em diversos contextos educacionais, os estudantes não estão acostumados a estudar em casa, a não ser na véspera da prova, quando muito. Na sala de aula invertida, todo o conteúdo que os alunos estudariam na véspera de alguma tarefa de avaliação classificatória é dividido em pequenas partes que não o sobrecarregam. Eles podem ler algumas páginas do livro-texto (duas ou três seções) ou assistir um vídeo curto (menos de 20 minutos de duração), por exemplo. Através das tarefas de preparação prévia, os alunos tendem a adquirir o hábito de estudar, não tendo que dedicar esforços, altamente desgastantes e pouco eficazes horas antes de algum exame [13].

Salas de aula invertidas auxiliam os alunos no desenvolvimento da capacidade de reflexão e da habilidade de elaborar boas perguntas

Saber elaborar boas perguntas é tão importante quanto saber respondê-las [11]. Para desenvolver tal habilidade é essencial que o aluno consiga refletir sobre aquilo que está estudando. Em aulas tradicionais, o professor dita o ritmo, e os alunos interessados tentam acompanhar as explicações. Esse tipo de abordagem, muitas vezes, causa no discente um sentimento equivocado de que entendeu o conteúdo e, não raramente, quando tenta aplicar esse conhecimento, percebe que não o entendeu. Na Sala de Aula Invertida o ritmo é dado, em parte, pelo estudante. A partir do contato prévio com o conteúdo, ele tem tempo para pensar sobre o que está estudando. Além disso, ao pedir para que os alunos elaborem perguntas sobre

o conteúdo do material de estudo, o professor está estimulando o desenvolvimento tanto da capacidade de reflexão quanto da habilidade de elaboração de perguntas. Essa prática, em contrapartida com o método tradicional, pode causar no aluno uma sensação de desconforto, ou seja, ele se sente confuso ao perceber que aquilo que achava que tinha compreendido corretamente, na verdade não estava claro. No entanto, como bem destacam Dowd e cols. [14], tal sentimento pode ser uma indicação de engajamento metacognitivo, o que pode contribuir na aprendizagem.

A inversão na sala de aula pode estimular o desenvolvimento de habilidades relacionadas ao trabalho colaborativo

Não basta que os alunos aprendam os conteúdos e a resolver problemas de física, é essencial na sociedade contemporânea que as pessoas adquiram habilidades relacionadas ao trabalho colaborativo, como por exemplo: saber ouvir e comunicar ideias, contribuir em discussões, respeitar e ser flexível diante de conflitos. Adicionalmente, segundo Vygotsky [15], o processo de ensino e aprendizagem se constrói por meio de interações sociais, as quais podem acontecer entre o professor e os alunos, mas, também por interações entre os próprios alunos. Na Sala de Aula Invertida, o tempo em classe pode ser destinado à resolução de problemas de física, em pequenos grupos, mediadas pelo professor. Com isso, os alunos podem resolver tarefas colaborativamente que talvez não fossem capazes sozinhos. Além disso, ajuda a aprenderem a explicar de maneira que outras pessoas possam entender [11].

Os aspectos mencionados anteriormente não esgotam potencialidades advindas da inversão das aulas de física. Pesquisas em ensino de física mostram que os métodos ativos de ensino podem melhorar a compreensão de conceitos físicos [e.g. 16-19], diminuir as taxas de reprovação e evasão [e.g. 20-21], bem como desenvolver atitudes positivas em relação às aulas de física, se comparadas com aulas tradicionais [e.g. 18, 19]. Na próxima seção, descrevemos alguns dos métodos ativos de ensino que estão gerando os resultados para o ensino de física aqui apontados.

Diferentes métodos ativos para inverter as aulas de física

Não há maneira infalível de ensinar física (ou qualquer conteúdo que seja), tampouco um único método de inverter

a sala de aula. O professor, conhecendo diferentes abordagens, tem a possibilidade de decidir qual delas se ajusta melhor ao seu contexto de ensino. Nesta seção, apresentamos alguns métodos ativos de ensino que vêm mostrando resultados na inversão das aulas de física, salientando informações que podem ser úteis às suas respectivas implementações.

Invertendo a sala de aula com o uso de vídeos

O método de inversão da sala de aula desenvolvido pelos professores Bergmann e Sams [3], cuja principal estratégia é o uso de vídeos, é, possivelmente, um dos mais conhecidos e difundidos pela mídia. Um dos motivos que o tornou popular é a sua simplicidade.

Neste método, os alunos, em casa, assistem a um vídeo de 10 a 15 minutos com o conteúdo a ser estudado. Enquanto olham o vídeo, fazem anotações e formulam perguntas para levarem à sala de aula. Em classe, nos primeiros 10 minutos, o professor esclarece as dúvidas dos estudantes e, em seguida, os envolve em atividades de resolução de problemas, experimentais e/ou de simulações computacionais, as quais são realizadas em pequenos grupos. Nesse processo, o professor circula pela sala de aula orientando os alunos e ajudando-os a sanar suas dúvidas.

O professor que decidir implementar esse método em suas aulas de física pode produzir seus próprios vídeos e disponibilizá-los aos alunos ou usar vídeos prontos disponíveis na internet. Para criá-los, duas opções básicas se destacam: filmagem das exposições orais feitas pelo professor para uma turma real ou apenas para câmera; e também a captura de som e imagem do computador por meio de softwares específicos, como o Jing¹, Camtasia Studio², CamStudio³ ou RecordMyDesktop⁴. Ao optar pela captura de tela, pode criar apresentações de slides ou escrever na tela do computador, utilizando uma mesa digitalizadora e um software adequado, como o Smooth Draw⁵. A escrita (ou desenho) na tela, uma das técnicas mais utilizadas em videoaulas atualmente, torna a explicação dinâmica, possibilitando que o estudante acompanhe as construções do professor, como se estivesse frente a um quadro negro. Tanto a filmagem do próprio professor, quanto a captura de imagem e som no computador, podem ser combinadas para a produção dos vídeos que também podem contar com a adição de materiais preexistentes.

A construção de vídeos pode ser uma tarefa desafiadora para os professores, tanto devido à falta de tempo, quanto pela

falta de domínio das ferramentas necessárias. Nesse caso, o docente pode se valer de vídeos disponíveis gratuitamente no YouTube. Dentre os vários canais de física de qualidade, estão: O Kuadro (Fig. 1 (a)), FabrisFísica (Fig. 1 (b)), Me Salva! (Fig. 1 (c)) e, no âmbito da divulgação científica, Veritasium (Fig. 1 (d)), que apesar de ser em inglês possibilita a inserção de legenda em português. Esses canais não esgotam a quantidade de bons vídeos disponíveis na internet, que cresce a cada dia.

A Sala de Aula Invertida de Bergmann e Sams é apenas uma das muitas alternativas de se inverter as aulas de física. A seguir, apresentamos o *Just-in-Time Teaching* (Ensino sob Medida).

Ensino sob Medida (Just-in-Time Teaching)

O *Just-in-Time Teaching*, ou em uma tradução livre Ensino sob Medida (EsM), foi desenvolvido pelo professor de física Gregor M. Novak e seus colaboradores na IUPUI (Indiana University-Purdue University Indianapolis) e na Academia da Força Aérea, ambas nos EUA [7]. O método propõe, com o auxílio da tecnologia, conectar tarefas preparatórias realizadas fora da sala de aula com a dinâmica estabelecida dentro dela. Os alunos, em casa, se preparam para as aulas; o professor, por sua vez, prepara suas aulas "sob medida" por meio do *feedback* que recebe dos alunos.

Nas palavras de Novak e cols. [7, p. 33, tradução nossa], o "Ensino sob Medida consiste em uma mistura cuidadosamente orquestrada de atividades de aprendizagem". Os estudantes realizam algumas dessas atividades fora da sala de

aula, em um ritmo próprio. Eles estudam um material indicado (e.g. seções do livro-texto, vídeo) e respondem a algumas questões. As respostas são enviadas eletronicamente ao professor, que as utiliza para organizar as atividades de sala de aula. A dinâmica da sala de aula varia, podendo contar com pequenas exposições orais do professor, demonstrações experimentais, simulações computacionais e resolução de problemas em pequenos grupos. O EsM não é rígido e pode ser acoplado a outros métodos ativos de ensino, ou seja, não existe uma única maneira de usá-lo. No entanto, seja qual for a dinâmica estabelecida em sala de aula, ela deve levar em conta as posturas dos alunos às tarefas de preparação. O aspecto essencial do EsM é a conexão entre o que feito fora e dentro da sala de aula [7].

A seguir, descrevemos detalhadamente as tarefas extraclasses e em classe que compõem o método, tanto do ponto de vista do estudante, quanto do professor.

Atividades extraclasses

As atividades extraclasses são fundamentais na aplicação do método. Por meio das respostas advindas das tarefas de preparação, o professor determina a maneira pela qual a física é apresentada e discutida em sala de aula.

Inicialmente, o professor envia alguma tarefa aos alunos, com pelo menos dois dias de antecedência, geralmente a indicação de algum texto e em torno de três questões conceituais a serem respondidas e enviadas pelos alunos, por um meio eletrônico. O docente pode solicitar a leitura de algumas seções do livro ou indicar algum texto ou vídeo *online*. Seja

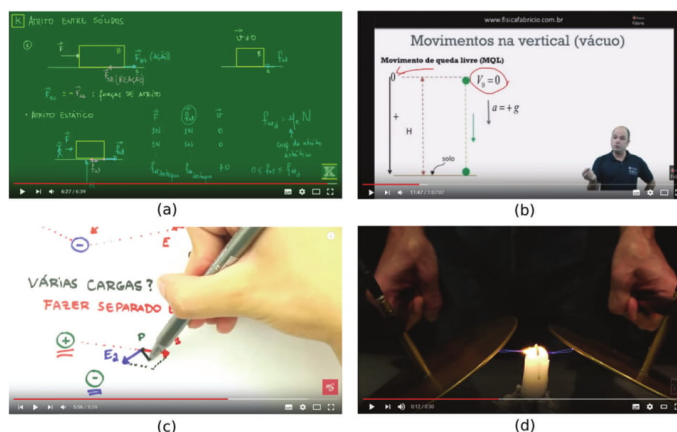


Figura 1: Alguns canais do YouTube com vídeos que podem ser usados nas disciplinas de física. (a) O Kuadro. (b) FabrisFísica. (c) Me Salva!. (d) Veritasium.

qual for a ferramenta, o conteúdo não pode ser demasiadamente extenso (em média cinco páginas, no caso de um texto) e deve ter uma linguagem clara. Entre as questões, é imprescindível que uma delas seja uma pergunta de *feedback* sobre o entendimento do material indicado [22]. A questão de *feedback* pode ter a redação exposta na Fig. 2.

Sobre as questões referentes ao conteúdo estudado, elas podem ser de dois tipos: *WarmUps* e *Puzzles* [7].

As questões do tipo *WarmUp* (ou em uma tradução livre questões preparatórias) são o coração do método EsM, pois oferecem ao aluno uma visão reflexiva do novo conteúdo de física que está sendo estudado e impulsionam as atividades de sala de aula. São questões que abordam aspectos conceituais centrais sobre o conteúdo e podem, em alguns casos, apresentar uma situação ligada ao cotidiano, sem utilizar muitos termos físicos. Ao responderem às questões *WarmUp*, deseja-se que os estudantes sejam capazes de saber sobre quais assuntos será a aula, de entender e descrever as situações representadas na questão e de refletir sobre as respostas, podendo não ter certeza sobre elas, nem saber todos os detalhes.

As *WarmUps* podem ser de três tipos: dissertativa (Fig. 3), estimativa (Fig. 4) e múltipla escolha (Fig. 5). Cada uma delas atende a objetivos diferentes. As questões dissertativas incentivam os estudantes a entenderem conceitos físicos e aplicá-los a problemas ligados ao mundo real. Os alunos são encorajados a expressar, através da escrita, relações entre diferentes grandezas, e a não usarem equações, auxiliando no desenvolvimento de habilidades de comunicação. As questões de estimativa servem para os estudantes aprenderem a resolver problemas não estruturados, desenvolverem pensamento crítico e adquirirem certa intuição sobre os fenômenos físicos. Por sua vez, as questões de múltipla escolha, ao contrário das dissertativas, levam o estudante considerar várias possibilidades, explorando possíveis concepções alternativas sobre o conceito que está em estudo. Inclusive, questões de múltipla escolha são boas para iniciar discussões em sala de aula considerando o que está errado em cada uma das alternativas incorretas.

As questões do tipo *Puzzle* normalmente necessitam a articulação de diferentes conceitos para serem solucionadas. A principal diferença entre questões do tipo *Puzzle* e *WarmUp* é a complexidade da questão e a precisão esperada nas respostas [7]. O *WarmUp* serve para introduzir e fazer o estudante refletir sobre um novo

conteúdo que ainda não foi discutido em sala de aula, enquanto o *Puzzle* encerra ou revisa um tópico e articula diferentes conceitos estudados. O *WarmUp* está diretamente conectado ao material de estudo; o *Puzzle* pode requerer informações adicionais e leva em consideração as discussões já estabelecidas em aulas anteriores. Esse tipo de questão pode ser usado também em classe para fomentar

discussões em pequenos grupos.

Os *Puzzles* podem ser adaptados de vestibulares, ENEM e livros-textos. As questões conceituais propostas por Mazur [6] e os testes sobre concepções relativas à força e movimento [26] e corrente elétrica em circuito simples [27], por exemplo, também são boas fontes para questões. Adicionalmente, uma breve pesquisa no Google pode ajudar o professor a en-

Em sua leitura do material indicado, você achou alguma coisa confusa? Em caso afirmativo, explicita, entrando em detalhes, aquilo que você achou mais confuso. Caso você não tenha achado nada confuso em relação ao conteúdo estudado, diga o que mais lhe despertou interesse na leitura. Nesse espaço, você também pode fazer perguntas.

Figura 2: Exemplo de questão de *feedback* do entendimento do material da tarefa de preparação.

Uma pessoa localizada no norte do Canadá, mais precisamente sobre uns dos polos magnéticos da Terra, faz experimentos para verificar a orientação das linhas de indução magnética que representam o campo magnético terrestre na superfície da Terra. A pessoa constatará que as linhas de indução são paralelas, perpendiculares ou inclinadas em relação à superfície? Serão linhas entrando ou saindo da superfície da Terra? Explique o porquê de suas respostas.

Figura 3: Exemplo de questão *WarmUp* dissertativa [23].

Um carro derrapa até parar com os freios bloqueados e deixa marcas de derrapagem de 30 m de comprimento. Que informações sobre o carro a polícia precisa para ser capaz de estimar o quão rápido o carro estava viajando quando o motorista pisou no freio? Explique o porquê de sua resposta.

Figura 4: Exemplo de questão *WarmUp* de estimativa [24, tradução nossa].

A velocidade de uma onda em uma corda depende

- da amplitude da onda
- das propriedades materiais da corda
- de ambas acima
- de nenhuma acima

Figura 5: Exemplo de questão *WarmUp* de múltipla escolha [6].

contrar questões pertinentes. O fator mais importante é que exista relação entre as questões e as atividades que serão propostas para a sala de aula. A Fig. 6 apresenta um exemplo de *Puzzle*.

Outras atividades podem ser acopladas para enriquecer as atividades de casa, como: simulações interativas (e.g. PhET⁹), textos e discussões *online* que motivem os estudantes (e.g. pergunte ao CREF⁷), notícias sobre acontecimentos da física, *podcasts* (e.g. Nerdcast, Dragões de Garagem, Scicast), *blogs* (ScienceBlogs Brasil) e canais do YouTube (Nerdologia, MinutoDaFísica, Manual do Mundo, Ciência Todo Dia) voltados à divulgação científica. Além disso, podem ser usadas listas de problemas. A escolha das atividades e a forma de apresentá-las variam de acordo com os objetivos do professor e da instituição.

O professor precisa enviar as atividades prévias aos alunos, que, por sua vez, precisam enviar as respostas ao professor. Uma forma eficiente e prática de fazê-lo é utilizar o Google Forms⁸, que consiste em uma ferramenta gratuita que permite criar formulários e disponibilizá-los *online* (enviando um *link* para os estudantes) para que possam ser respondidos. As respostas são organizadas em tabelas, às quais o autor do formulário tem acesso [28].

As respostas dos alunos precisam ser avaliadas pelo professor, mas não em termos de certo e errado, e sim em termos de raciocínio demonstrado e de engajamento com a atividade. O interessante é que os estudantes reflitam ativamente sobre o material estudado e enviem ao professor um *feedback* capaz de enriquecer as atividades de sala de aula.

De posse das respostas dos estudantes às tarefas de preparação, o professor pode adequar suas exposições orais. Algumas horas antes da aula, ele precisa analisar e selecionar as respostas que possibilitem uma melhor apresentação do conteúdo, o que não representa, necessariamente, as respostas corretas. Descrições que apontem concepções alternativas são boas fon-

tes de discussões em sala de aula. O professor pode ter uma aula preparada previamente, com vídeos, simulações, exemplos do cotidiano, demonstrações experimentais e ajustá-la, usando os recursos mais pertinentes aos apontamentos e dúvidas advindas da tarefa de preparação.

Atividades em classe

O aspecto mais importante é que a discussão dos *WarmUps* e *Puzzles* são a própria aula. O desenvolvimento das explicações das teorias e conceitos físicos está interligado com as questões propostas pelo professor e as respectivas respostas dos alunos [7]. Os estudantes precisam perceber que seus esforços para realizar a tarefa de preparação são a essência das aulas, assim, engajar-se-ão cada vez mais nas atividades. Com isso, as atividades em classe previstas pelo EsM se dividem em dois tipos complementares: aulas expositivas interativas e prática colaborativa.

As aulas expositivas interativas são exposições orais (normalmente divididas em pequenas etapas de aproximadamente 15 minutos) que o professor organiza utilizando as perguntas e respostas dos alunos à tarefa de preparação. A partir da análise feita, algumas horas antes da aula, a maneira como os conceitos físicos são apresentados é construída. Recomenda-se que sejam mostradas as respostas dos alunos (de forma anônima) e, a cada aula, respostas de alunos diferentes sejam utilizadas para que todos tenham suas colocações postas nas discussões. O professor, se possível, deve tentar não deixar perguntas sem respostas.

A prática colaborativa consiste em organizar os alunos em pequenos grupos para resolverem problemas. A preparação para essas aulas pode ser feita por meio

da resolução de problemas de livro-texto, por exemplo. No início da aula, em aproximadamente 20 minutos, o professor revisa os problemas de casa. Em seguida, os alunos são organizados em grupos e recebem novos e mais complexos problemas para resolverem. Recomenda-se que todos os grupos trabalhem no mesmo problema, facilitando assim a troca de informações entre os grupos.

Como mencionado anteriormente, o

EsM é um método flexível, o que implica que a prática colaborativa pode ser aplicada de diversas maneiras diferentes, inclusive com a junção de outros métodos ativos de ensino. A seguir, apresentamos dois métodos que, além de poderem ser utilizados individual-

mente, podem ser acoplados ao EsM: o Instrução pelos Colegas e a Aprendizagem Baseada em Equipes.

Instrução pelos Colegas (Peer Instruction)

O Ensino Sob Medida (EsM) e o Instrução pelos Colegas (IpC) são dois métodos que vêm sendo utilizados em conjunto como uma forma de inverter as aulas de física [6]. O EsM orienta o professor em como realizar e tirar o melhor proveito do estudo prévio. O IpC, desenvolvido pelo professor de física de Harvard Eric Mazur [6], oferece subsídios para orientar as discussões de forma ativa em sala de aula, sendo uma opção para a prática colaborativa indicada pelo EsM.

No IpC, o professor apresenta um teste conceitual (*Puzzle*) aos alunos, os quais o respondem individualmente, utilizando algum sistema de votação. Em seguida, dependendo da quantidade de acertos, o professor instrui os alunos a tentarem convencer uns aos outros de suas respostas. Afinal, o sujeito que acabou de compreender determinado conceito pode ter uma forma diferente e, muitas vezes, mais eficiente que a do professor, de explicar àquele que ainda está com dificuldades de entendimento. O ensino (ou instrução) pelos colegas é o aspecto central do método. Por fim, o método prevê uma segunda votação, após a discussão entre os colegas.

Na Fig. 7, mostramos uma linha do tempo com a combinação do EsM e do IpC para uma determinada aula, extraída da Ref. [22]. Inicialmente o professor elabora a tarefa de preparação, denominada

As respostas dos alunos precisam ser avaliadas não em termos de certo e errado, mas em termos de raciocínio demonstrado e de engajamento com a atividade. Os estudantes devem refletir sobre o material estudado e enviar ao professor um feedback capaz de enriquecer as atividades de sala de aula

A respeito da magnetização da matéria, marque a alternativa correta:

- A temperatura do material favorece sua magnetização, uma vez que a agitação térmica tende a alinhar os ímãs elementares do material com o campo magnético externo.
- Nos materiais paramagnéticos os ímãs elementares, localizados dentro de regiões chamadas de domínios magnéticos, se alinham fracamente com um campo magnético externo.
- Os materiais ferromagnéticos podem permanecer magnetizados após ação de um campo magnético externo, fenômeno chamado de histerese magnética.
- Os materiais diamagnéticos possuem ímãs elementares permanentes, devido ao movimento orbital do elétron e de seu spin. Esses ímãs elementares se encontram aleatoriamente orientados, o que provoca intensa força atrativa entre o material e um campo magnético externo

Figura 6: Exemplo de *Puzzle* [25].

por Araujo e Mazur [22] de Tarefa de Leitura (TL), e a envia para os estudantes. Os alunos, fora da sala de aula, leem o material, respondem às questões propostas pelo professor e as enviam. Esse processo inicial acontece de 2 a 7 dias antes da aula. Com aproximadamente 12 horas de antecedência à aula, o professor revisa as respostas dos alunos, planeja suas breves exposições orais e define os testes conceituais que irá usar durante a aula. Em classe, o professor inicia com uma exposição oral, enfatizando as dúvidas dos alunos referentes a um dos tópicos tratados na TL. Em seguida, apresenta uma questão conceitual, na qual os estudantes pensam individualmente em uma resposta e votam. O professor avalia a distribuição de respostas e, caso esta fique em torno de 30 a 70% de acertos, solicita que os alunos discutam a questão em pequenos grupos e convençam seus colegas sobre suas respostas. Feito isso, os estudantes votam novamente. Caso a distribuição seja menor que 30%, o professor pode discutir a resposta e apresentar uma nova questão conceitual sobre o mesmo tema. Se for maior que 70%, ele pode discutir a resposta com os alunos e passar para um novo tópico. Maiores informações sobre o IpC podem ser encontradas em Araujo e Mazur [22].

Sobre os sistemas de votação, mencionamos três: os cartões de respostas (*flash-cards*), os *Clickers* e os *Plickers*. O primeiro é o mais simples, o próprio professor pode confeccionar seus próprios cartões com as alternativas (A, B, C, D e E), podendo ter uma cor associada a cada letra para faci-

litar a identificação. A única desvantagem do uso dos cartões é que a contagem de acertos (a distribuição de respostas) tem que ser feita “no olho”. Os *Clickers* são dispositivos eletrônicos individuais (controles remotos) que se comunicam com o computador do professor. Com eles, o professor pode ter acesso facilitado à distribuição de respostas, pois a mesma aparece na tela de seu computador. O único problema é que esses dispositivos são caros e grande parte das escolas de Ensino Médio brasileiras não têm condições de comprá-los. Uma alternativa tecnológica e barata, que une as vantagens dos cartões de respostas e as dos *Clickers*, é o uso de *Plickers*. Nesse caso, o professor baixa um aplicativo em seu *smartphone* (cujo nome é *Plickers*), disponível gratuitamente para Android e iOS, e os alunos votam com cartelas de respostas que contêm um código similar ao *QR code* que o aplicativo é capaz de ler através da câmera do aparelho, correspondente a cada alternativa⁵ (Fig. 8 (a)). Na Fig. 8 (b) apresentamos a tela do aplicativo *Plickers* no momento da leitura do código impresso em uma folha. Cada cartela é numerada e são diferentes entre si. Deste modo, é possível designar uma cartela para cada aluno e registrar a

evolução de suas respostas ao longo do tempo.

Os métodos EsM e IpC focam principalmente na compreensão conceitual; já outras formas de se inverter a sala de aula

abrem espaços para o desenvolvimento de outras habilidades essenciais ao ensino, em específico de física, como resolver problemas e trabalhar colaborativamente. Esse é o caso do método que apresentamos na subseção seguinte, o *Team-Based Learning*, ou, em uma tradução livre, Aprendizagem Baseada em Equipes, método desenvolvido pelo professor de gestão e negócios, Larry Michaelson [8], cuja divulgação no ensino de física ainda é recente [29].

Aprendizagem Baseada em Equipes (Team-Based Learning)

A Aprendizagem Baseada em Equipes (ABE) é um método ativo que tem como foco melhorar a aprendizagem e desenvolver habilidades de trabalho colaborativo, através de uma estrutura que envolve: o gerenciamento de equipes de aprendizagem, tarefas de preparação e aplicação de conceitos, *feedback* constante e avaliação entre os colegas. A ideia central é que os alunos sejam ativos e se sintam responsáveis pela própria aprendizagem e pela dos colegas. A ABE busca desenvolver verdadeiras equipes de aprendizagem, as quais diferem de grupos por duas características: um alto nível de comprometimento individual para o bem do grupo e confiança entre os membros [8]. Para desenvolver tais habilidades as equipes (normalmente de cinco a sete integrantes) são fixas durante toda a aplicação do método e são organizadas pelo professor de maneira que sejam as mais heterogêneas possíveis no que diz respeito ao conhecimento, experiências pessoais, interesses,

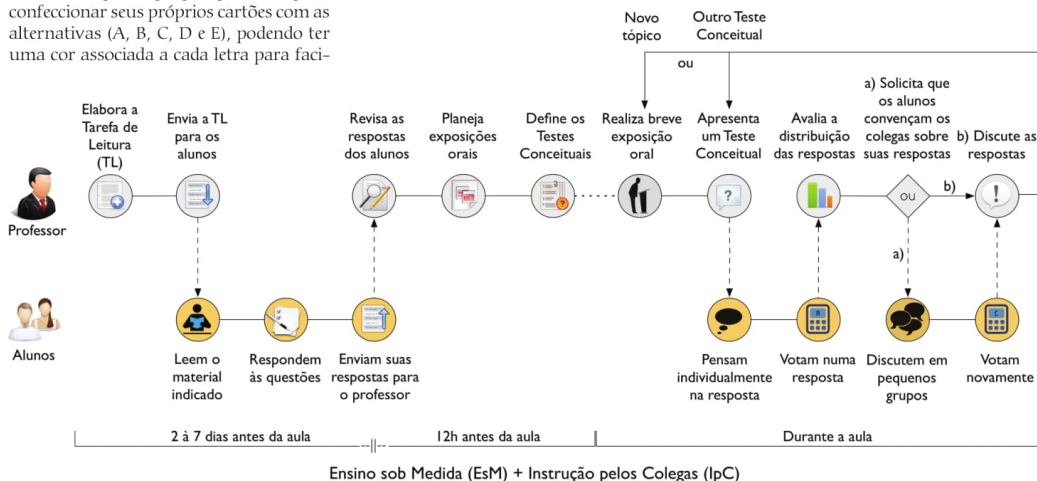


Figura 7: Linha do tempo do Ensino sob Medida e do Instrução pelos colegas para uma determinada aula [22].

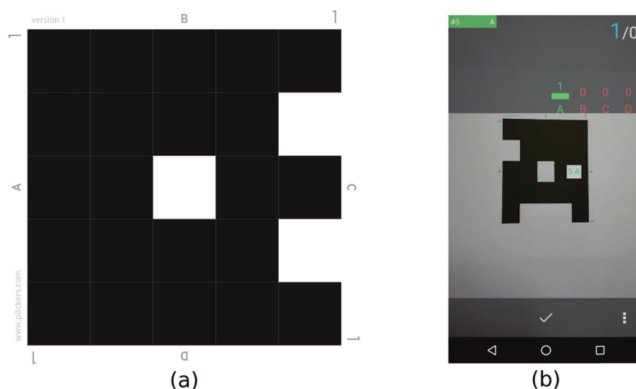


Figura 8: (a) Cartela de respostas para leitura via *software* Plickers. Cada lado corresponde a uma alternativa (A, B, C ou D)⁹. (b) Tela do aplicativo Plickers no momento da leitura do código impresso em uma folha.

entre outros fatores, favorecendo o surgimento de equipes com níveis semelhantes de interatividade.

Na implementação do TBL, uma disciplina é organizada em módulos, com duas fases principais, apresentadas na Fig. 9. Cada uma das fases, Preparação e Aplicação, envolvem tanto atividades extraclasses quanto atividades em classe, cuja lógica é a da sala de aula invertida, ou seja, os estudantes tomam contato com o conteúdo em casa e resolvem atividades ativamente em sala de aula.

Na fase de preparação (quadro 1 da Fig. 9), antes da aula, os estudantes realizam um estudo prévio, por meio de textos, vídeos e simulações, dentre outros. Esses materiais são usualmente entregues a eles com antecedência mínima de dois dias. Em sala de aula (quadro 2 da Fig. 9), continuando a fase de preparação, os estudantes respondem a um Teste de Preparação individual (TPI), cujas questões, preferen-

cialmente conceituais (*WarmUps* e *Puzzles*), estão relacionadas com a tarefa realizada em casa. Em seguida, o mesmo teste é realizado em equipe (Teste de Preparação em equipe - TPe). Nessa etapa, cada equipe recebe uma cartela (similar a bilhetes de premiação instantânea) contendo uma grade para marcar as respostas, definidas consensualmente através do diálogo entre os colegas. A resposta selecionada pela equipe é marcada na grade raspando-a. Caso a resposta escolhida esteja correta, aparecerá um símbolo indicando. Se estiver errada, os estudantes voltam a discutir para tentar encontrar a resposta certa. Em caso de objeção à formulação da questão, a equipe pode interpor um recurso (ou apelação), que é encaminhado ao professor para avaliação. Finalizando a fase de preparação, o professor faz uma breve exposição oral, enfatizando os pontos de maior dificuldade dos alunos durante a realização dos testes.

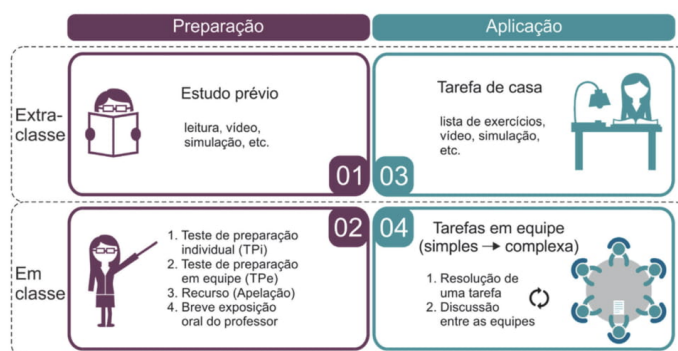


Figura 9: Principais fases de um módulo do TBL [19].

Na fase de aplicação, os alunos se envolvem em atividades, usualmente de resolução de problemas, individuais, em casa (quadro 3 da Fig. 9), e em equipe na sala de aula (quadro 4 da Fig. 9). Em sala, todas as equipes resolvem o mesmo problema, um por vez e, ao final de cada solução, expõem suas respostas para todos os estudantes (em pequenos quadros brancos ou cartolinas, por exemplo), discutindo entre eles e com o professor. Ao término da discussão, o professor entrega um novo problema e o processo recomeça. Assim, todos os alunos pensam juntos no mesmo problema, evitando o particionamento de tarefa que poderia acontecer caso fosse entregue uma lista de problemas por equipe.

Maiores informações sobre o método podem ser encontradas nas Refs. [19, 29].

Principais desafios para inverter as aulas de física

Dentre os principais desafios que o docente pode enfrentar ao almejar inverter suas aulas podemos citar: uma grande extensão de conteúdos curriculares a serem trabalhados; o número de aulas semanais disponíveis para a disciplina; ausência do hábito de estudo prévio às aulas por parte dos alunos; uma estrutura burocrática rígida na instituição de ensino que se opõe a inovações; a heterogenia da turma, principalmente em termos de conhecimento; e também o número elevado de alunos nas turmas.

A seguir comentamos tais desafios e apontamos possíveis formas de enfrentá-los. Obviamente, não se trata da apresentação de soluções universais e muito menos definitivas, mas sim pontos de partida para auxiliar o professor em sua reflexão sobre a implementação dos métodos de ensino discutidos ao longo deste artigo.

O conteúdo programático de física é extenso e o tempo é limitado para inverter a sala de aula

O conteúdo programático da disciplina de física é, de fato, bastante extenso, e o tempo disponível em sala de aula, seja ela invertida ou não, é exíguo. A tendência é que o professor pense que não terá tempo disponível para ensinar tudo que está programado e ainda fazer com que os estudantes sejam ativos em sala de aula. O aspecto essencial a ser considerado aqui é uma reflexão sobre o que é ensinar. Muitas vezes, o pensamento subjacente a esse respeito está alinhado com um ponto de vista transmissionista do conhecimento no qual apenas os conteúdos copiados no quadro-negro, ou exibidos em *slides* em

sala de aula, podem ser considerados como ministrados pelo professor. Ao pedir que os alunos tomem o primeiro contato com o conteúdo fora da sala de aula, através de alguma leitura ou assistindo a um vídeo, o conteúdo já começa a ser abordado. O tempo que o professor gastaria em sala de aula apresentando informações que poderiam ser lidas ou assistidas pelos alunos fora da sala de aula, passa a ser investido na oferta de atividades de ensino focadas na aprendizagem ativa por parte dos alunos. Na medida em que os estudantes vão adquirindo hábitos de estudo, conseguem aprimorar a capacidade de compreensão dos conteúdos e, consequentemente, mais tempo o professor terá em sala.

Os alunos não estudam fora da sala de aula

Muitos educadores argumentam, quando se deparam com a sala de aula invertida, que seus alunos não leriam o material indicado e nem mesmo assistiriam a vídeos em casa. Realmente, em diversos contextos de ensino, incentivá-los a estudar em casa não é uma tarefa fácil. Contudo, diversos trabalhos demonstram experiências bem-sucedidas neste sentido [e.g. 6, 7, 19, 22–24]. Uma alternativa usada pelos autores para amenizar essa dificuldade é fazer com que a preparação prévia para as aulas tenha papel importante na atribuição dos conceitos avaliativos na disciplina. A ideia é usar o nível de esforço explicitado pelos alunos ao tentar responder às questões associadas às tarefas de preparação prévia através do raciocínio demonstrado, e não pela correção das respostas. Assim, os estudantes não ficam inibidos em errar e se sentem incentivados a tentar responder [22] a partir do que realmente estão compreendendo. Além da apresentação de um par de questões sobre o conteúdo abordado, o professor pode também apresentar uma pergunta sobre as dificuldades que tiveram ao ler o material ou ao assistir ao vídeo e, caso não tenham tido nenhuma dificuldade, que digam o que mais lhes despertou interesse. As tarefas de preparação prévia devem ser sucintas. Recomendamos que o tempo total de preparação envolvendo o contato inicial com o conteúdo (através da leitura, por exemplo) e a resposta às questões sobre o material disponibilizado não ultrapasse 45 min. É fundamental para o estabelecimento do hábito

de estudo por parte dos discentes que as tarefas sejam bem definidas, e não tomem muito tempo para serem realizadas.

A estrutura da escola é rígida e limita qualquer tentativa de inovação

Algumas escolas são resistentes à mudança, sendo contrárias a qualquer iniciativa educacional menos conservadora. Em certos casos, inclusive, as escolas adotam materiais que parecem manifestar a intenção de ser “a prova de professor”, ou seja, que o nível de qualidade de ensino seria garantido pela adoção de livros e apostilas, reduzindo o papel do professor à execução de atividades já planejadas. Nesses casos, o professor pode tentar inverter a sala de aula aos poucos. Não é necessário que haja uma mudança brusca, pode começar apenas com um tópico a partir dos materiais já adotados pela instituição. Por exemplo, as tarefas de preparação prévia podem ser feitas a partir da leitura de seções do livro/apostila usados pelos alunos, assim como problemas e testes conceituais podem também vir desses materiais. Na medida em que resultados positivos vão aparecendo, é razoável esperar que os próprios alunos e seus pais passem a apoiar as ações tomadas pelo professor, o que pode facilitar a aceitação das mudanças inovadoras por parte da instituição de ensino.

As turmas são heterogêneas e o número de alunos por turma é elevado

Ao inverter a sala de aula é necessário que se dê mais atenção aos alunos. Isso faz alguns professores pensarem que qualquer método ativo se tornaria inviável em turmas numerosas e heterogêneas. No entanto, a inversão da sala de aula promove a interação entre os alunos e apresenta melhores resultados justamente quando há uma diferença inicial em termos da compreensão por parte dos alunos. Alunos que apresentam certa dificuldade de entendimento frente a algum conteúdo passam a contar não só com o professor, mas também com os colegas para auxiliar sua compreensão. Por outro lado, os alunos que compreenderam mais rapidamente e passaram a auxiliar seus colegas, têm a oportunidade de consolidar aquilo que aprenderam, assim como expandir sua compreensão na medida em que precisam

externalizar argumentos e convencer seus colegas sobre suas respostas. Cabe salientar que os alunos, ao longo do trabalho, costumam alternar de papéis. Desse modo, permitimos que o aluno seja corresponsável pela sua própria aprendizagem e também pela de seus colegas. Com isso, o professor não se sobrecarrega, sendo a única “fonte de explicações” em sala de aula. Obviamente, é de responsabilidade do docente incentivar e organizar a colaboração entre os alunos. No sentido de buscar o trabalho colaborativo, podemos ainda argumentar que turmas numerosas tornam as aulas mais interessantes, pois diversificam e enriquecem as discussões.

Comentários finais

Neste artigo, apresentamos a metodologia de ensino conhecida como Sala de Aula Invertida e alguns métodos que podem ser associados a ela. Nosso objetivo foi apontar caminhos para os professores interessados em melhorar suas práticas para que conheçam algumas possibilidades e se motivem a inverter suas aulas.

É de nossa opinião que o educador que deseje modificar a sua prática não deva se fixar a um único método de ensino, seja ele qual for. Defendemos a diversidade metodológica e a autonomia do professor como ingredientes essenciais no planejamento e implementação de qualquer atividade de ensino. Mesmo aulas essencialmente expositivas podem se mostrar relevantes dentro da organização de uma unidade de ensino e seria um equívoco pensar que deveriam ser abolidas apenas por serem “tradicionalistas”.

Por meio de reflexões sobre o processo de ensino-aprendizado e novas formas de concretizá-lo em seu contexto educacional único, incentivamos que o professor assumira uma postura crítica. Os métodos ativos de ensino não podem ser vistos como receitas a serem seguidas ou meras técnicas que o professor dispõe. Se forem encarados de maneira rígida, o docente pode ter dificuldades para lidar com as dificuldades de natureza social, cultural e econômica, que certamente aparecerão em sua trajetória didática. Conforme já salientamos, a autonomia e o discernimento do professor são imprescindíveis.

Mesmo que o foco pelo qual tratamos a Sala de Aula Invertida esteja principalmente na melhoria da compreensão conceitual e na habilidade de resolução de problemas, evidentemente isso não diminui a importância de discussões sobre aspectos epistemológicos, históricos e sociais. Por exemplo, a discussão sobre a natureza do conhecimento científico e a relação entre

Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) podem efetivamente chegar à sala de aula por meio dos métodos de ensino aqui apresentados ou de suas adaptações, mantendo os pontos centrais motivadores da

inversão da sala de aula.

Esperamos que as discussões aqui levantadas possibilitem o enriquecimento da prática do professor de física. No entanto, como bem destacamos no decorrer do

texto, para usufruir das vantagens da Sala de Aula Invertida existem desafios a serem superados, e cabe ao professor ser o agente de mudança.

Notas

- ¹Ferramenta gratuita para captura de imagem da tela do computador e som. Disponível em <http://www.jingproject.com>.
- ²Um dos programas (pagos) mais populares para captura de tela e som e edição de vídeos. Disponível em <https://www.techsmith.com/camtasia.html>.
- ³Software gratuito e *open source* para capturar a tela do computador. O CamStudio está disponível para *download* apenas no Windows. Disponível em <http://camstudio.org/>.
- ⁴Programa gratuito e *open source* destinado a usuários GNU/Linux que desejam capturar a tela do computador. Disponível em <http://recordmydesktop.sourceforge.net/about.php> ou na central de programas do Ubuntu.
- ⁵Software gratuito para escrever (ou desenhar) na tela do computador. Disponível em <http://www.smoothdraw.com/sd>.
- ⁶O PhET simulações interativas é um projeto da Universidade do Colorado (EUA), fundado em 2002 pelo Prêmio Nobel de Física Carl Wieman, que conta com um grande acervo de simulações de diversos conteúdos de física, química, biologia, ciências da terra e matemática. Também apresenta uma série de propostas de atividades a serem usadas com as simulações. Disponível em https://phet.colorado.edu/pt_BR/.
- ⁷O CREF, Centro de Referência para o Ensino de Física do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), possui uma seção que se destina a resolver dúvidas conceituais sobre física, na maioria das vezes ligadas ao cotidiano. As respostas são dadas normalmente por especialistas da área do próprio Instituto de Física da UFRGS. Disponível em <https://www.if.ufrgs.br/cref/>.
- ⁸Ferramenta eletrônica gratuita utilizada para criar questionários, disponibilizar aos alunos e receber as respostas organizadas em tabelas. Disponível em <http://docs.google.com>.
- ⁹Os desenhos correspondentes as letras do alfabeto (A, B, C e D), cujo aplicativo do celular conseguirá ler, pode ser adquirido gratuitamente pelo site do próprio aplicativo. Disponível em https://plickers.com/PlickersCards_2up.pdf.

Referências

- [1] M. Prensky, *On the Horizon* **9**, 5, (2001).
- [2] C.C. Bonwell and J.A. Eison, *Active Learning: Creating Excitement in the Classroom* (School of Education and Human Development, Washington, 1991).
- [3] J. Bergmann and A. Sams, *Flip your Classroom: Reach Every Student in Every Class Every Day* (International Society for Technology in Education, Washington, 2012).
- [4] A. Roehl, S.L. Reddy and G.J. Shannon, *Journal of Family and Consumer Sciences* **105**, 2 (2013).
- [5] J. Schell, *7 Mitos sobre a Sala de Aula Invertida, Desmitificados*, traduzido por Maykon Müller, disponível em <https://blog.peerinstruction.net/7-mitos-sobre-a-sala-de-aula-invertida-desmitificados/>, acesso em 23/7/2016.
- [6] E. Mazur, *Peer Instruction: A Revolução da Aprendizagem Ativa* (Penso Editora LTDA, Porto Alegre, 2015).
- [7] G.M. Novak, E.T. Patterson, A.D. Gavrin and W. Christian, *Just-in-Time Teaching: Blending Active Learning with Web Technology* (Prentice Hall, Upper Saddle River, 1999).
- [8] L.K. Michaelsen, A.B. Knight and L.D. Fink, *Team-Based Learning: A Transformative Use of Small Groups in College Teaching* (Stylus Publishing, Sterling, 2004).
- [9] F. Hernández, *Transgressão e Mudança na Educação: Os Projetos de Trabalho* (Artmed, Porto Alegre, 1998).
- [10] H.S. Barrows e M.R. Tamblyn, *Problem-Based Learning: An Approach to Medical Education* (Springer, New York, 1980).
- [11] B. Urban, *10 Reasons Why You Should Get Into a Flipped Class*, disponível em <https://blog.peerinstruction.net/2016/03/28/10-reasons-why-you-should-get-into-a-flipped-class/>, acesso em 23/7/2016.
- [12] D.P. Ausubel, J.D. Novak e H. Hennesian, *Psicologia Educacional* (Interamericana, Rio de Janeiro, 1980).
- [13] K.A. Marrs and G. Novak, *Cell Biology Education* **3**, 49 (2004).
- [14] J.E. Dowd, I.S. Araujo and E. Mazur, *Physical Review Special Topics - Physics Education Research* **11**, 1 (2015).
- [15] L.S. Vygotsky, *A Formação Social da Mente* (Martins Fontes, São Paulo, 1988).
- [16] R. Hake, *American Journal of Physics* **66**, 1 (1998).
- [17] C.H. Crouch and E. Mazur, *American Journal of Physics* **69**, 9 (2001).
- [18] V. Oliveira, E.A. Veit e I.S. Araujo, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **32**, 1 (2015).
- [19] T.E. de Oliveira, *Aprendizagem de Física, Trabalho Colaborativo e Crenças de Autoeficácia: Um Estudo de Caso com o Método Team-Based Learning em uma Disciplina Introdutória de Eletromagnetismo*. Dissertação de Mestrado em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- [20] N. Lasry, E. Mazur and J. Watkins, *American Journal of Physics* **76**, 11, (2008).
- [21] J. Watkins and E. Mazur, *Journal of College Science Teaching* **24**, 5 (2013).
- [22] I.S. Araujo e E. Mazur, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **30**, 2 (2013).
- [23] V. Oliveira, E.A. Veit e I.S. Araujo, *Uma Proposta de Ensino de Tópicos de Eletromagnetismo via Instrução pelos Colegas e Ensino sob Medida para o Ensino Médio: Tarefas de Leitura*, disponível em http://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n27_Oliveira/tarefas_de_leitura.pdf.
- [24] B.P. Self, E. Patterson, G. Novak and E. Hamilton, in: *Proceedings of the 2005 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition*, p. 10.851.1-10.851.12 (2005).
- [25] V. Oliveira, E.A. Veit e I.S. Araujo, *Uma proposta de ensino de tópicos de eletromagnetismo via Instrução pelos Colegas e Ensino sob Medida para o Ensino Médio: Testes Conceituais*, disponível em http://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n27_Oliveira/testes_conceituais.pdf.
- [26] E.L. Silveira, M.A. Moreira e R. Axt, *Enseñanza de las Ciencias* **10**, 2 (1992).
- [27] E.L. Silveira, M.A. Moreira e R. Axt, *Ciência e Cultura* **41**, 11 (1989).
- [28] L.A. Heidemann, A.M.M. de Oliveira e E.A. Veit, *Física na Escola* **11**, 2 (2010).
- [29] T.E. de Oliveira, I.S. Araujo e E.A. Veit, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **33**, 3 (2016).

ANEXO 2 – APRENDIZAGEM BASEADA EM EQUIPES (TEAM-BASED LEARNING): UM MÉTODO ATIVO PARA O ENSINO DE FÍSICA

Neste anexo, expomos um artigo publicado no Caderno Brasileiro de Ensino de Física, o qual apresenta, em detalhes, o método ativo de ensino *Team-Based Learning* para o contexto do Ensino de Física.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n3p962>

Aprendizagem Baseada em Equipes (*Team-Based Learning*): um método ativo para o Ensino de Física⁺

*Tobias Espinosa de Oliveira*¹

Doutorando em Ensino de Física

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

*Ives Solano Araujo*²

*Eliane Angela Veit*³

Instituto de Física – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Porto Alegre – RS

Resumo

*O método tradicional de ensino, caracterizado basicamente por aulas expositivas centradas no professor e pela resolução de longas listas de exercícios como atividade de fixação dos conteúdos, é ainda presente em grande parte das aulas de Física em nível médio e superior, apesar de sua baixa eficiência. O uso de tal método é um dos fatores que pode contribuir para agravar os altos índices de reprovação, abandono e desmotivação do aluno, o que denota a importância de repensarmos sua prática. Diversos métodos ativos de ensino têm mostrado resultados positivos, principalmente, no que diz respeito à aprendizagem de conteúdos e a construção de habilidades, contudo ainda mostram-se pouco conhecidos pelos professores de Física brasileiros. O propósito deste artigo é apresentar um destes métodos, o *Team-Based Learning* (TBL), ou *Aprendizagem Baseada em Equipes*, que vem sendo empregado com sucesso em cursos da área de Ciências da Saúde e Administração em universidades norte americanas, mas ainda pouco difundido no ensino de Ciências Naturais. O TBL busca melhorar os resultados de aprendizagem e desenvolver habili-*

⁺ Team-Based Learning: an active teaching method for Physics Education

^{*} Recebido: setembro de 2015.

Aceito: agosto de 2016.

¹ E-mail: tobias.espinosa@ufrgs.br

² E-mail: ives@if.ufrgs.br

³ E-mail: eav@if.ufrgs.br

dades de trabalho colaborativo através de atividades de preparação prévia, resolução de problemas (individualmente e em pequenos grupos), entre outras estratégias. No presente artigo, descrevemos em detalhe o método e apresentamos os principais resultados da escassa literatura de seu emprego no ensino de Física.

Palavras-chave: *Aprendizagem Baseada em Equipes; Team-Based Learning; Ensino de Física; TBL.*

Abstract

Traditional teacher-centered methods, characterized by lecturing and resolution of a huge number of exercises as content fixation activities, are still omnipresent in physics classes from high school to college level, even though the efficiency of this method is low. Such methods contribute, among many others factors, such as social, economic and cultural, to high rates of failure, dropout and demotivation of the students, which denotes the importance to rethink about this practice. Several active teaching methods have shown positive results regarding the learning of contents and skills building by the students. However, these methodologies are mostly unknown by Physics teachers in Brazil. The purpose of this paper is to present one of these methods, the Team-Based Learning (TBL), which is highly widespread in health and business courses in North American Universities. It aims to improve learning and develop collaborative skills through preparatory activities, problem solving (individually and in small groups), among other strategies. In this paper, we describe in detail the method and present the main results of the scarce literature in Physics Education.

Keywords: *Team-Based Learning; Physics Education; TBL.*

I. Introdução

Comumente encontramos, em todos os níveis de ensino, salas de aula com estudantes que adotam uma postura passiva, com pouca participação em discussões sobre o conteúdo. A esse cenário estão associados os métodos de ensino tradicionais, caracterizado por aulas expositivas, centradas no professor, e alunos que seguem estratégias como: estudo por memorização centralizado nas notas; compartimentação do conhecimento; trabalho individual; e busca pelo entendimento (ou adivinhação) da visão de mundo do professor, em vez de refletirem sobre o

seu próprio (BARROS *et al.*, 2004). As atividades discentes muitas vezes se resumem à resolução de longas listas de exercícios, normalmente extraídas do livro-texto adotado. Ainda que não tenham alcançado uma compreensão conceitual adequada sobre o conteúdo em estudo, os estudantes podem lograr bons resultados em provas e exames, que costumam ser a única forma de avaliação (somativa) utilizada nas disciplinas e se limitam, em boa parte, à resolução de exercícios similares aos das listas.

Ainda assim, altos índices de reprovação e abandono são observados (e.g. BARROSO *et al.*, 2003; PASSOS *et al.*, 2007; LIMA JUNIOR, 2013). Evidentemente, o problema da evasão e reprovação não é causado unicamente pela dinâmica adotada em sala de aula. Vários outros fatores, sociais, culturais e econômicos, são relevantes. Contudo, a modificação do método de ensino por parte do professor pode estar ao alcance de docentes que se veem, de outra forma, impotentes diante da falta de perspectiva de mudança do cenário educacional brasileiro no curto prazo.

Como exemplo da influência de fatores culturais e socioeconômicos sobre o fenômeno da evasão, Lima Junior, Ostermann e Rezende (2012) mostram, por meio de uma análise interpretativa à luz da sociologia da educação de Bourdieu, que estudantes de diferentes origens sociais, ou seja, com capitais econômicos e culturais distintos, ao ingressarem no curso de Física, possuem aproximadamente as mesmas chances de concluírem a graduação. Em contrapartida, verificaram também que dentre os alunos que se formam no curso de Física, aqueles com origem social mais humilde demoram mais tempo para concluir o curso. Os resultados encontrados por tais autores demonstram que o problema da evasão em cursos de Física ultrapassa os limites da sala de aula.

Por outro lado, no entanto, tem sido mostrado que métodos ativos de ensino têm contribuído para diminuir a reprovação e evasão (e.g. LASRY; MAZUR; WATKINS, 2008; WATKINS; MAZUR, 2013) e com o favorecimento de minorias (e.g. LORENZO; CROUCH; MAZUR, 2006; BREWE *et al.*, 2010).

Uma alternativa nesse sentido, que tem despertado atenção de professores e pesquisadores, é a “inversão” das aulas em relação às tradicionais no que diz respeito: (i) ao foco do processo de ensino, que passa a ser centrado no aluno ao invés do professor e (ii) ao primeiro contato do discente com o conteúdo a ser estudado. Este contato ocorre previamente em casa, priorizando o tempo em sala de aula para dirimir dúvidas e resolver problemas com os colegas, em contraposição ao tradicional, em que é em sala de aula que o aluno se depara com o conhecimento a ser estudado e depois, sozinho em casa, se dedica à solução de exercícios e problemas (BERGMANN; SAMS, 2012).

No contexto do ensino de Física, existem vários trabalhos que corroboram a ideia de que o ensino ativo promove, entre outros benefícios, uma melhor aprendizagem conceitual (e.g. BEICHNER *et al.*, 2007; HAKE, 1998; CROUCH; MAZUR, 2001; BARROS *et al.*, 2004; RUDOLPH *et al.*, 2014).

Como exemplos de métodos que podem ser utilizados em metodologias ativas de ensino, pode-se citar: *One-Minute Paper* (STEAD, 2005); *Think-Pair-Share* (LYMAN, 1981, 1987); *Problem-Based Learning* (BARROWS; TAMBLYN, 1980; DUCH, 1996); Ensino por Investigação (CARVALHO, 2013); *Team-Based Learning* (MICHAELSEN; KNIGHT; FINK, 2004); entre outros.

Dentre os diferentes métodos, o *Peer Instruction* (MAZUR, 1997) e o *Just-in-Time Teaching*⁴ (NOVAK, 1999) têm sido abordados em trabalhos nacionais recentemente (ARAUJO; MAZUR, 2013; MÜLLER *et al.*, 2012; OLIVEIRA; VEIT; ARAUJO, 2015).

Os métodos *Peer Instruction* e *Just-in-Time Teaching*, em uma tradução livre Instrução pelos Colegas e Ensino sob Medida (ARAUJO; MAZUR, 2013), visam, especialmente, a aprendizagem conceitual. No entanto, no ensino de Física, espera-se que os alunos também resolvam problemas e o domínio conceitual é uma condição necessária, mas não suficiente, para a resolução deles (SILVEIRA; MOREIRA; AXT, 1992).

O trabalho em pequenos grupos em sala de aula, ao propiciar um processo de argumentação e de contato com diferentes percepções, pode conduzir a um melhor entendimento dos conteúdos abordados. Heller (1992; 1999) destaca que, em atividades em grupo, os alunos são capazes de resolver problemas mais complexos e que, além disso, as soluções encontradas são significativamente melhores do que aquelas produzidas individualmente pelo melhor membro do grupo, principalmente no que diz respeito à análise qualitativa. Adicionalmente, o trabalho em grupo favorece o ensino do conteúdo, a comunicação entre os estudantes e entre professor e alunos, bem como alguns aspectos subjetivos necessários para o convívio em sociedade. Nessa perspectiva, um método que favoreça a resolução de problemas por meio de trabalho em grupo é bem-vindo.

O objetivo central do presente artigo é apresentar o método *Team-Based Learning* (TBL), ou Aprendizagem Baseada em Equipes, em uma tradução livre, a fim de familiarizar os professores brasileiros com uma proposta metodológica que favorece a interação social dos alunos em sala de aula. O TBL (MICHAELSEN, 2004) tem como foco melhorar a aprendizagem de conteúdos e desenvolver habilidades de trabalho colaborativo através de uma estrutura que envolve, entre outras atividades, resolução de problemas. Os alunos se envolvem em atividades de preparação individual e em equipe, que consistem em estudo prévio extraclasse; resolução de questões conceituais em sala de aula; e realização de tarefas de aplicação dos conceitos (resolução de problemas em equipe), também em classe. Para auxiliar no desenvolvimento das equipes, elas são estrategicamente montadas pelo professor e fixas, ou seja, é mantida a mesma formação das equipes durante a aplicação do método. Os alunos têm a possibilidade de avaliar

⁴ O método *Just-in-Time Teaching*, ou Ensino sob Medida, consiste em: (i) estudo prévio (leitura de algum capítulo de livro, por exemplo), (ii) questões conceituais pós-leitura, respondidas ainda antes de ir para a aula, para verificar o entendimento do assunto lido e uma pergunta onde indaga-se o aluno sobre o entendimento daquilo que foi lido, seguido de (iii) uma aula onde o professor foca nas principais dúvidas que os estudantes tiveram durante a leitura do texto, ou seja, um ensino sob medida para os estudantes (ARAUJO; MAZUR, 2013; OLIVEIRA; VEIT; ARAUJO, 2015).

seus colegas de equipe em determinados momentos ao longo do trabalho. O TBL foi utilizado pelos autores do presente artigo em uma disciplina de Física Geral em uma universidade brasileira (OLIVEIRA, 2016). Não temos como objetivo aqui discutir tais resultados, mas divulgar para a comunidade um método que tem potencial para mudar a dinâmica da sala de aula de Física, como dão indícios os (ainda poucos) trabalhos na área (ibid.; DEANTONIO *et al.*, 2007; METOYER *et al.*, 2009; PARDAMEAN *et al.*, 2014; PARAPPILLY; SCHMIDT; RITTER, 2015).

Apesar de pouco explorado no ensino de Física, o TBL se mostra eficaz em outras áreas, especialmente nas Ciências da Saúde, como apresentaremos na Seção 3. Na Seção 2, apresentamos detalhadamente o TBL, especificando, nas subseções 2.1 a 2.4, os quatro fundamentos do método, a saber: a formação das equipes; as atividades de ensino (preparação e a aplicação); e as avaliações. Em seguida, na Seção 3, expomos uma breve revisão da literatura sobre o TBL no ensino de Física. Na Seção 4, propomos algumas considerações gerais sobre o TBL e apontamos possíveis perspectivas para pesquisas e ensino envolvendo tal método.

II. *Team-Based Learning* (TBL)

O TBL foi criado pelo professor de gestão e negócios Larry Michaelsen, no final dos anos 70, na Universidade de Oklahoma (EUA). O método tem como foco melhorar a aprendizagem e desenvolver habilidades de trabalho colaborativo, através de uma estrutura que envolve: o gerenciamento de equipes de aprendizagem, tarefas de preparação e aplicação de conceitos, *feedback* constante e avaliação entre os colegas. A ideia central é que os alunos se sintam responsáveis pela própria aprendizagem e pela dos colegas (MICHAELSEN, KNIGHT; FINK, 2004).

Na implementação do TBL, uma disciplina é estruturada em módulos, cujas principais fases são apresentadas na Fig. 1, que passamos a expor. Cada módulo é dividido em duas partes principais, envolvendo atividades de preparação e aplicação, tanto extraclasse quanto em sala de aula (MICHAELSEN, 2004).

Iniciando a fase de preparação (quadro 1 da Fig. 1), os estudantes realizam um estudo prévio extraclasse, de caráter preparatório ao que será abordado em aula. Os materiais para estudo podem ser constituídos por textos, vídeos, simulações computacionais etc. e são usualmente entregues aos alunos com antecedência mínima de dois dias.

Em sala de aula (quadro 2 da Fig. 1), dando sequência à preparação, os alunos respondem um teste conceitual individual (Teste de Preparação individual – TPI) relacionado com o estudo realizado na fase de preparação extraclasse. Suas respostas são recolhidas pelo docente. Logo após, o mesmo teste é realizado em equipe (Teste de Preparação em equipe – TPE). Nessa fase, os alunos dialogam com os colegas de equipe e recebem uma cartela contendo uma grade para marcar as respostas da equipe, definidas consensualmente. O processo de marcação de

respostas é similar ao usado em bilhetes de premiação instantânea, conhecidos como “raspadinhas”. A resposta considerada certa pela equipe é marcada na grade raspando o material que cobre a alternativa escolhida. Se a resposta estiver correta, aparecerá o símbolo de uma estrela.

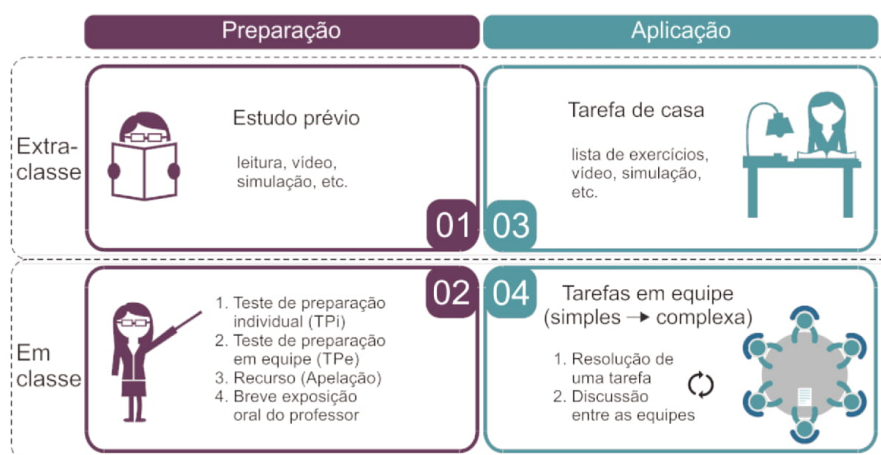


Fig. 1 – Principais fases de cada módulo do TBL (OLIVEIRA, 2016).

Em caso de erro, os alunos voltam a discutir para tentar encontrar a resposta correta, escolhendo, então, outra alternativa para raspar. Em seguida, caso tenham alguma objeção à questão ou à sua correção, podem apresentar um recurso (ou apelação), que o professor pode julgar imediatamente após sua formulação ou em um momento posterior. A fase de preparação termina com o professor fazendo uma exposição oral sobre pontos referentes às dificuldades mais frequentes apresentadas pelos alunos.

Depois que os principais conceitos do módulo são discutidos, as equipes se envolvem em tarefas de aplicação (não necessariamente na mesma aula) que vão gradualmente se tornando mais complexas, e são intercaladas com tarefas individuais (quadro 3 da Figura 1) a serem feitas fora da sala de aula (fase de aplicação). As tarefas realizadas em sala de aula (quadro 4 da Figura 1) geralmente são do tipo “resolução de problemas”. Todas as equipes resolvem o mesmo problema, um por vez e, ao final de cada solução, expõem suas respostas (em pequenos quadros brancos, por exemplo), discutindo entre elas e com o professor. Ao final de cada discussão, o professor entrega um novo problema. As duas fases (preparação e aplicação) serão explicadas detalhadamente em subseções posteriores.

Alguns trabalhos na literatura (e.g. MICHAELSEN; SWEET, 2011; FINK, 2004) sugerem repetições cíclicas de cinco a sete módulos. Porém, o número de repetições varia dependendo da quantidade de horas e de encontros semanais oferecidos pela disciplina, além de certa diferenciação de conteúdo e complexidade.

Além da dinâmica descrita anteriormente, para que o processo dê resultados positivos, em termos de aprendizagem e trabalho colaborativo, é importante que o professor gerencie a formação das equipes e conduza avaliações individuais, em equipe e entre os membros da equipe. São quatro os elementos essenciais para a utilização do TBL (MICHAELSEN; SWEET, 2011) que serão discutidos nas seções seguintes: (i) formação das equipes; (ii) atividades da fase de preparação; (iii) atividades da fase de aplicação; e (iv) avaliações.

II.1 Formação das equipes

Grupos e equipes são conceitos distintos no contexto do TBL. Toda equipe pode ser chamada de grupo, mas nem todo grupo é uma equipe. Segundo Fink (2004) equipes se diferenciam de grupos, principalmente, por duas características: (i) alto nível de comprometimento individual para o bom rendimento do grupo e (ii) confiança entre os membros. O aparecimento dessas características demanda tempo de interação; uma tarefa desafiadora que se torna um objetivo comum; e *feedback*⁵ tanto do trabalho individual quanto de equipe (FINK, 2004). Oakley, Felder e Brent (2004) também argumentam a favor das equipes de aprendizagem, dizendo que se diferenciam dos grupos porque os membros sempre trabalham juntos, assumem diferentes papéis e responsabilidades, ajudam uns aos outros sempre que possível e resolvem conflitos amigavelmente, entre outros fatores. O **desenvolvimento das equipes** ocorre pela ascensão (ou pelo surgimento) dessas características. Segundo Watson, Michaelson e Sharp (1991) em 98% dos casos, o desempenho da equipe, em um teste padronizado aplicado pelos autores, supera o desempenho individual do melhor membro da equipe.

As equipes são compostas por cinco a sete alunos e são organizadas pelo professor, que procura montar equipes heterogêneas em relação ao conhecimento, experiências pessoais e/ou profissionais, interesses, entre outros fatores, favorecendo o surgimento de equipes com níveis semelhantes de interatividade. Por exemplo, se alguma equipe é formada apenas com alunos tímidos ou o contrário, apenas com alunos extrovertidos, a tendência é que, no primeiro caso, o diálogo entre os membros seja prejudicado e, no segundo, a conversa pode ser tanta que acabe se tornando dispersiva. Oakley, Felder e Brent (2004) destacam que equipes formadas apenas por alunos com mais facilidade de aprendizagem, ou compostas tão somente por aqueles que têm mais dificuldade, não funcionam. No caso de equipes com maior facilidade, os estudantes simplesmente resolvem as atividades quase que individualmente e não as discutem. As equipes formadas apenas com estudantes com dificuldades acabam por reforçar o uso de con-

⁵ Hattie e Timperley (2007) conceitualizam *feedback* como sendo uma informação dada por um agente (professor ou colega, por exemplo) em relação à sua compreensão. Os autores fazem questão de destacar que o foco dado à *feedback* não está baseado em um modelo behaviorista de *input-output*. Pelo contrário, o *feedback* está centrado nas informações sobre o conteúdo e nas construções que os alunos fazem durante o processo de aprendizagem. O *feedback* não é necessariamente um reforço, pois não precisa ser aceito, e não é responsável, por si só, pelo início de uma nova ação, podendo ser alterado ou negado. Eles afirmam que o *feedback* está entre as influências mais importantes sobre a aprendizagem dos estudantes.

ceitos aprendidos erroneamente. Ou seja, a diversidade beneficia os alunos avançados que podem potencializar a sua aprendizagem ensinando, e também auxilia àqueles com dificuldade, que aprendem com seus colegas e agregam à discussão entre os membros da equipe.

Oakley, Felder e Brent (ibid.) também argumentam que grupos definidos pelos próprios estudantes são mais propensos a não seguir (ou mesmo sabotar) a proposta de trabalho. Esses autores também chamam atenção para problemas que o professor pode enfrentar por não deixar que os alunos formem suas próprias equipes de trabalho. Alguns estudantes podem ficar insatisfeitos com isto e, por consequência, gerar uma barreira entre os estudantes e o professor antes mesmo do início da disciplina. Para diminuir esse problema, o professor tenta conquistar os alunos, explicando-lhes os benefícios de tal escolha, mostrando os aspectos positivos que a constituição heterogênea das equipes trará para a aprendizagem; também pode argumentar sobre a futura (ou atual) vida profissional dos estudantes, na qual independentemente da profissão e local de trabalho (pesquisa, escola, empresa), eles não terão a opção de escolher seus colegas e, mesmo assim, terão que aprender a trabalhar de forma colaborativa. Nanes (2013) afirma que a ideia inicial de muitos estudantes, de que trabalham melhor individualmente, diminui significativamente após algumas semanas de uso do TBL.

As equipes devem ser permanentes. Diferentemente de outros métodos que utilizam pequenos grupos apenas esporadicamente, no TBL as equipes são pensadas para trabalharem em longo prazo, com isso, os estudantes tornam-se capazes de ampliar suas capacidades sociais e intelectuais (MICHAELSEN; SWEET; PARMELEE, 2008).

Para separar as equipes, é recomendado que o professor aplique, no primeiro dia de aula, um questionário com perguntas pessoais e sobre a sua formação para poder torná-las as mais heterogêneas possíveis. Por exemplo: “*por que você está fazendo este curso?*”; “*quais suas impressões sobre o trabalho em grupo?*”; “*tem algo sobre você que é, provavelmente, um diferencial perante os demais colegas? (pode ser algo como um hobby, alguma habilidade ou interesse)*”. Dependendo do contexto, diferentes perguntas podem ser feitas. Outro ponto interessante é que alguns alunos se sentem valorizados, pois notam que o professor está interessado na individualidade de cada um (OAKLEY; FELDER; BRENT, 2004).

No caso de uma disciplina de Física, são adequadas algumas questões que investiguem as crenças, atitudes e dificuldades na área, como por exemplo: “*você possui alguma dificuldade para aprender Física?*”; “*você tem mais afinidade em que área da Física? (Física teórica, Física experimental, ensino de Física, etc.)*”. O questionário pode ser feito *online* (usando o *Google Forms*⁷, por exemplo) para que os alunos possam responder fora da sala de aula. Um exemplo de questionário é apresentado no Apêndice A.

⁶ No questionário, usa-se o termo “trabalho em grupo” devido à familiaridade dos alunos com o conceito de grupo, em comparação com o de equipe.

⁷ O *Google Forms* é uma ferramenta gratuita que permite criar formulários e disponibilizá-los *online* para que possam ser respondidos. As respostas são organizadas em tabelas, as quais o autor do formulário tem acesso. Disponível em: <<http://docs.google.com>>.

II.2 Fase de Preparação

Na fase de preparação⁸, os alunos realizam inicialmente um **Estudo Prévio**, extraclasse, de algum material recomendado pelo professor. Essa atividade preparatória pode ser a leitura de um texto, capítulo de livro, artigo científico, página da internet, além de recomendações para assistir vídeos ou explorar simulações interativas. Essa tarefa envolve os principais conceitos do conteúdo. Ao estudá-los os alunos estarão, em parte, preparados para auxiliar sua equipe na fase de aplicação.

Após a realização dessa atividade, eles passam por um **Teste de Preparação individual**⁹ (TPi) em sala de aula. O teste é composto por algumas questões de múltipla escolha sobre conceitos fundamentais do módulo de estudo (um exemplo de questão conceitual é mostrado na Fig. 2). Recomenda-se solicitar que os alunos escrevam uma breve justificativa para cada questão do teste, a qual pode ser avaliada em termos do raciocínio demonstrado pelo aluno para realizá-la. O fundamental não é que o aluno dê a resposta cientificamente correta, mas que ele demonstre ter se engajado para resolver a questão.

Duas partículas 1 e 2, eletrizadas com cargas de mesmo módulo, penetram com velocidade \vec{v}_1 e \vec{v}_2 , também de mesmo módulo, numa região de campo magnético uniforme, de acordo com a ilustração abaixo.

Para descreverem as trajetórias mostradas acima, podemos considerar corretamente que:

- a) a partícula 1 está carregada negativamente e a partícula 2 está carregada positivamente.
- b) as partículas podem estar eletrizadas com carga de mesmo sinal.
- c) as trajetórias mostradas na figura independem das massas das partículas.
- d) a massa de 1 é menor que a massa de 2.

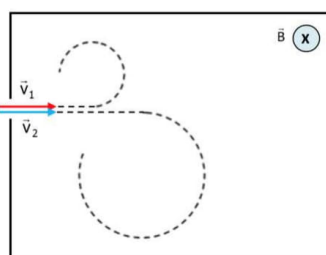


Fig. 2 – Ilustração de uma questão conceitual (OLIVEIRA; VEIT; ARAUJO, 2015)¹⁰.

Em seguida, é aplicado o **Teste de Preparação em equipe**¹¹ (TPe), que é idêntico ao teste individual, porém a ser respondido pela equipe. Os estudantes recebem um *feedback* imediato da resposta de cada uma das questões, só passando para a questão seguinte depois de terem entrado em consenso com a equipe sobre a questão em pauta. A ideia é que como os estudantes

⁸ Originalmente, a fase de preparação é conhecida pela sigla RAP (*Readiness Assurance Process* – processo de garantia de preparação). Optamos, para simplificar, por utilizar apenas a nomenclatura preparação.

⁹ O termo é conhecido como iRAT (*individual Readiness Assurance Test* – teste individual de garantia de preparação).

¹⁰ Outras questões conceituais de Oliveira, Veit e Araujo (2015) estão disponíveis em: <http://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n27_Oliveira/testes_conceituais.pdf>

¹¹ Comumente chamado de tRAT (*team Readiness Assurance Test* – teste em equipe de garantia de preparação).

já pensaram sobre as questões no TPi, as discussões são mais produtivas no TPe e, assim, os próprios colegas colaboram entre si para sanar as dúvidas remanescentes do TPi.

O processo de *feedback* é feito por meio de Cartões de Correção Instantânea (CCI), comumente chamados de “raspadinhas¹²” (Fig. 3). Nos cartões, a alternativa correta é indicada pelo símbolo “estrela”. Se os alunos rasparem e não encontrarem a estrela, voltam a discutir a questão. A avaliação pode ser feita pelo acerto das respostas. No caso de cinco alternativas, por exemplo, se os alunos acertarem na primeira tentativa, a equipe recebe quatro pontos na questão (pontuação correspondente ao número de retângulos não raspados), se acertarem na segunda tentativa, recebem três pontos e assim sucessivamente. Se todas as alternativas de resposta para uma determinada questão forem raspadas, a equipe não pontua.

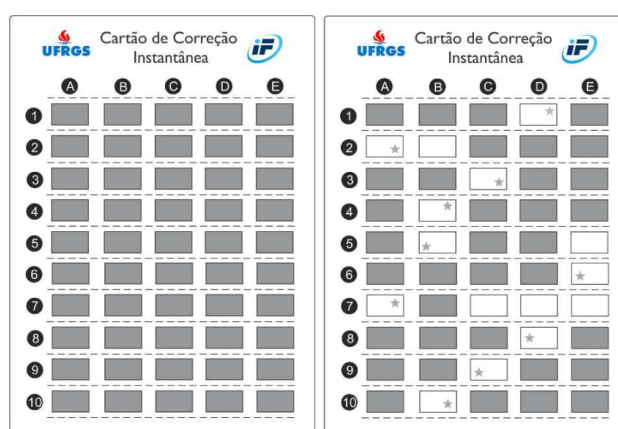


Fig. 3 – Cartão de Correção Instantânea. A resposta correta é sinalizada por uma estrela.

Cotner, Baepler e Kellerman (2008) fizeram um estudo sobre o uso do CCI com atividades em grupo e avaliaram as atitudes dos alunos perante sua utilização. Constataram que essa técnica encoraja a participação, dinamiza as discussões e ajuda os alunos a identificarem as suas dificuldades, entre outros fatores positivos. Em sua maioria, os alunos estudados aprovaram as atividades em grupo com a utilização do CCI e afirmaram que a técnica os auxiliou a revelar aspectos não compreendidos e a alcançar melhores desempenhos em testes. Em uma aplicação realizada em uma disciplina introdutória de eletromagnetismo na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), os estudantes mostraram-se favoráveis à técnica por estimular a discussão entre os colegas (OLIVEIRA, 2016).

¹² A versão original é chamada de IF-AT (*Immediate Feedback Assessment Technique* – Técnica de Avaliação com *Feedback* Imediato – <http://www.epsteineducation.com>). Esses cartões podem ser confeccionados de modo caseiro. Uma rápida busca em um motor de busca como o *Google*, o leitor pode encontrar diferentes maneiras de confeccioná-los.

Após as atividades com os cartões, os alunos têm a oportunidade de interpor um **Recurso** verbal ou escrito justificando porque acreditam que a correção ou formulação da questão está incorreta. O professor pode julgá-lo no instante em que o recurso é apresentado, ou em momento posterior. Por fim, o professor faz uma **Breve Exposição Oral** com as principais ideias trabalhadas, esclarecendo aspectos relacionados às maiores dificuldades dos alunos identificadas durante as tarefas de preparação.

Resumidamente, a fase de preparação envolve as seguintes atividades por parte dos alunos: (i) estudar previamente o conteúdo de forma individual (fora da sala de aula); (ii) responder, em sala de aula, a um teste individual; (iii) responder o mesmo teste, agora em equipe, obtendo *feedback* imediato sobre a correção de suas escolhas; (iv) apresentar recursos ao professor, em caso de discordância sobre a correção das respostas; (v) assistir uma breve exposição do professor, no qual são realçados os pontos essenciais para resolução das questões conceituais apresentadas e o esclarecimento de dúvidas sobre o conteúdo que tenham surgido ao longo do processo.

II.3 Fase de aplicação

A segunda fase, **Aplicação**, apresenta uma sequência de **Tarefas em Equipe** que vão gradualmente se tornando mais complexas. Fora da sala de aula, os alunos trabalham individualmente em atividades de aplicação mais simples que as tarefas que farão em equipe em sala de aula. As tarefas realizadas em sala buscam promover interações entre os alunos e espírito de equipe. Para isso, as tarefas não podem ser muito simples, pois assim não promoveriam a troca de opiniões entre os membros da equipe, nem complexas demais, de maneira que os estudantes não consigam se envolver na atividade. A critério do professor, podem envolver, além de resolução de problemas convencionais, desenvolvimento de projetos, atividades computacionais (de simulação ou modelagem) e experimentais, bem como problemas de tomada de decisão. Nesse tipo de problema, os alunos são solicitados a usarem o conhecimento adquirido para se posicionarem a respeito de uma questão. Um exemplo desse tipo de atividade é o júri simulado, que vem sendo utilizado no ensino de Física (e.g. SILVA; MARTINS, 2009; VIEIRA; MELO; BERNARDO, 2014).

Para guiar as atividades da fase de aplicação, recomenda-se seguir quatro princípios¹³ (MICHAELSEN, 2004):

(i) *problema significativo*: a tarefa proposta precisa ser significativa, no sentido de instigar o engajamento cognitivo dos estudantes. Para isso, é importante que a solução exija a aplicação de conceitos anteriormente aprendidos. Problemas contextualizados também podem contribuir para o engajamento dos alunos.

(ii) *mesmo problema*: todas as equipes trabalham no mesmo problema, um por vez, possibilitando, ao final de cada problema, a discussão e a análise de diferentes soluções.

¹³ Em inglês, os quatro princípios são conhecidos como “4S’s: *Significant Problems, Same Problem, Specific Choice e Simultaneous Report*”. Infelizmente, em português não contamos com tal harmonia.

(iii) *escolha específica*: as tarefas precisam conter uma escolha (ou resposta) específica. É extremamente importante, na aplicação do TBL, a discussão entre as equipes e para isso os problemas devem levar a uma escolha específica. Isso não significa dizer que as tarefas precisam ser de múltipla escolha.

(iv) *relato simultâneo*: o relato das respostas entre as equipes acontece de forma simultânea. A solução dos problemas deve ser acompanhada de discussão entre as equipes, proporcionando um *feedback* por parte do professor e dos colegas ao término de cada tarefa.

Sweet, Michaelsen e Wright (2008) sugerem que os alunos, antes de reportarem suas respostas, escrevam uma justificativa. Isso facilita a argumentação no momento do debate. Os autores destacam algumas maneiras para a declaração simultânea de respostas: as mais comuns são a utilização de *flashcards* (cartões de respostas) ou *clickers* (dispositivos eletrônicos que computam as respostas para o professor). No caso de respostas mais complexas pode-se utilizar um sistema de Exposição de Respostas (*The Galery Walk*). Nesse caso, as equipes podem expor seus resultados e soluções em pequenos quadros brancos (JACKSON; DUKERICH; HESTENES, 2008), papéis ou apresentações de *slides* feitas no computador, e, com o uso dessas ferramentas, fazer pequenas explicações, ou simplesmente expor os trabalhos, enquanto os colegas e o professor fazem sugestões e críticas. Esse método é útil, no caso do uso de mapas conceituais, deduções de equações e resolução de problemas, demonstrações experimentais e simulações computacionais.

A seguir mostramos um exemplo de problema contextualizado utilizado na fase de aplicação em uma disciplina introdutória de eletromagnetismo.

Você foi convidado para trabalhar, durante um intercâmbio de férias, em uma companhia telefônica, na Califórnia. Durante um recente terremoto, uma longa linha telefônica subterrânea de 1,0 km foi esmagada em algum ponto. Essa linha é constituída por dois fios de cobre paralelos de mesmo diâmetro e comprimento, que normalmente não estão conectados. No local onde a linha foi esmagada, os dois fios fazem contato. Seu chefe quer que você encontre esse lugar, assim o fio pode ser desenterrado e consertado. Então, você desliga a linha telefônica desconectando ambos os fios nas duas extremidades. Em seguida, você vai até uma das extremidades e conecta um terminal da bateria a um fio e o outro terminal a um amperímetro (que podemos considerar com resistência nula). Quando o outro terminal do amperímetro é ligado ao outro fio, o amperímetro mostra uma corrente de 1 A. Você então desliga tudo e viaja para a outra extremidade, repetindo o processo a corrente encontrada é de $1/3$ A¹⁴.

II.4 As avaliações

Em uma aula tradicional, os estudantes possuem, quase exclusivamente, responsabilidades com o professor, ou seja, os alunos estudam para atender as expectativas do professor e,

¹⁴ Problema traduzido e adaptado do arquivo *online* de problemas contextualmente ricos da Universidade do Minnesota <<http://groups.physics.umn.edu/physed/>>.

assim são avaliados especialmente por provas. O TBL instiga que eles sejam responsáveis por se prepararem individualmente para a aula e em contribuir com seus colegas de equipe.

Se os alunos não se preparam, deixando de realizar as atividades propostas pelo professor na fase de preparação, prejudicam tanto sua própria aprendizagem, quanto o da sua equipe. Por isso, é preciso que parte da avaliação seja destinada aos testes individual e em equipe (TPi e TPe), bem como aos problemas da fase de aplicação. Essas avaliações não precisam, necessariamente, ter o grau de correção como critério avaliativo. Assim como em alguns trabalhos que utilizam os métodos *Peer Instruction* e *Just-in-Time Teaching* (e.g. ARAUJO; MAZUR, 2013), recomendamos que seja levado em conta o raciocínio demonstrado pelos alunos em suas respostas.

Na avaliação entre os colegas, indispensável para o bom andamento do método, o professor pode pedir que os estudantes, através de um questionário, atribuam pontuações aos colegas justificando-as com argumentos que demonstrem as contribuições deles à equipe. Outra alternativa é utilizar um questionário com afirmativas e opções que podem variar desde “discordo fortemente” a “concordo fortemente” (escala Likert). Michaelsen e Fink (2004) sugerem que os alunos, em suas avaliações, levem em consideração: a preparação do colega para a aula; a contribuição dele para as discussões e tarefas; o respeito por ele demonstrado frente às ideias dos outros membros da equipe; e também a flexibilidade de seu colega para lidar com discordâncias e conflitos. Além disso, os alunos podem destacar pontos positivos dos membros de sua equipe e aquilo que gostariam que eles melhorassem. Um exemplo de questionário para avaliação entre os colegas pode ser visto no Apêndice B.

III. Estudos anteriores

O TBL vem sendo aplicado em pelo menos 24 países e em todos os continentes, sendo que, desde a década de 80 do século XX, muitos trabalhos apontam diversos benefícios do seu uso em várias áreas do conhecimento (MICHAELSEN; SWEET; PARMELEE, 2008). Dentre elas, destacamos o ensino de Medicina, sobre o qual, desde 2001, há um número crescente de publicações (e.g. BURGESS; MCGREGOR; MELLIS, 2014; KOLES *et al.*, 2010; THOMAS; BOWEN, 2011). O TBL também é tema de investigação em áreas como ensino de Enfermagem (e.g. CHENG *et al.*, 2014), Fisiologia (e.g. SIMONSON, 2014), Direito (e.g. DANA, 2007), História da moda (e.g. BANNING; GAM, 2013) e Matemática (e.g. PATERSON; SNEDDON, 2011; NANES, 2014).

No ensino de Física, localizamos quatro artigos em uma busca pelas palavras-chave “*Team-Based Learning*” *Physics*, *TBL Physics* e “Aprendizagem Baseada em Equipes”, nos seguintes mecanismos de busca: ERIC, *Google Scholar*, Portal de Periódicos da Capes e *Web of Science*. A procura foi feita a partir da data mais antiga disponível pelas plataformas até setembro de 2015¹⁵. Tais artigos são sintetizados no Quadro 1.

¹⁵ A pesquisa foi realizada no dia 21 de setembro de 2015.

Em busca sistemática, revisando os títulos, palavras-chave e resumos, artigo a artigo, não localizamos a ocorrência de trabalhos sobre o TBL nos seguintes conceituados periódicos na área de Ensino de Física: *Investigações em Ensino de Ciências* (1996-2015), *Experiências em Ensino de Ciências* (2006-2015), *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* (1984-2015), *Ensaio* (1999-2015), *Revista Brasileira de Ensino de Física* (1979-2015), *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* (2001-2015), *Revista de Ensino de Ciências e Engenharia* (2010-2015), *Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Tecnologia* (2008-2015), *American Journal of Physics* (1970-2015), *Physical Review Special Topics – Physics Education Research* (2005-2015), *International Journal of Science Education* (1979-2015), *Journal of Research in Science Teaching* (1970-2015), *Research in Science Education* (1971-2015), *Science Education* (1970-2015), *Science & Education* (1992-2015), *Enseñanza de las Ciencias* (2010-2015), *Latin American Journal of physics Education* (2007-2015), *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* (2004-2015), *Revista Electrónica de Investigación em Educación em Ciencias* (2006-2015) e *Revista de Enseñanza de la Física* (1985-2015).

Quadro 1 – Síntese dos artigos que usam TBL no ensino de Física.

Referência e periódico/evento	Disciplina / Conteúdo	Nível de ensino	Foco do artigo
DEANTONIO <i>et al.</i> (2007) 37th ASEE/IEEE	Laboratório de Física	Graduação	Descrição de uma aplicação do TBL em uma disciplina de laboratório de Física e comparação com o método baseado em investigação.
METOYER <i>et al.</i> (2009) Journal of College Science Teaching	Física e Biologia	Graduação	Descrição da estrutura de implementação do TBL mostrando exemplos de suas diversas fases. Avaliação do desempenho dos alunos e suas impressões quanto ao uso do método em um curso de Física conceitual.
PARDAMEAN <i>et al.</i> (2014) IFIP 2014	Indução Magnética	Ensino Médio	Descrição de uma implementação de vídeos e do TBL no conteúdo de Indução Magnética.
PARAPPILLY; SCHMIDT; RITTER (2015) European Journal of Physics	Física para o mundo moderno	Graduação	Descrição da aplicação de uma versão modificada do TBL (utilizando o JiTT). Avaliação do desempenho dos alunos em testes conceituais, das suas atitudes frente ao método e da capacidade do TBL de estabelecer interações.

Os três primeiros artigos no Quadro 1 podem ser caracterizados como relatos de aplicação de uma proposta com avaliação empírica, enquanto o último é um artigo de pesquisa, apesar de não explicitar referenciais teórico e metodológico.

DeAntonio *et al.* (2007) descrevem a aplicação do TBL em disciplinas de Física experimental da Universidade do Novo México (EUA) e comparam-na com aplicações do método de aprendizagem por investigação, anteriormente utilizado nas aulas de laboratório da universidade. Não são especificados detalhes sobre as turmas e conteúdos abordados. Os resultados são provenientes de observações e discussões com o professor assistente e tutores da disciplina. A partir da implementação do TBL, destacam-se três resultados: (i) os alunos se mostraram mais propensos a implementar e criar seus próprios experimentos; (ii) os estudantes de cursos de engenharia pareceram menos engajados com as atividades experimentais do que os alunos de Física, Biologia, Química, entre outros (os motivos não foram investigados no referido estudo); (iii) e um aumento na compreensão do processo experimental por parte dos alunos. As notas nos exames não tiveram variações com a mudança de método, porém os estudantes que tiveram aulas com o TBL recorreram muito menos à monitoria e tiveram maior frequência às aulas.

Pardamean *et al.* (2014) narram a implementação de vídeos e do TBL para o ensino de indução magnética em uma escola pública de Ensino Médio em Jacarta, Indonésia. Não são especificadas informações detalhadas sobre as turmas em que o método foi aplicado e nem sobre a metodologia de pesquisa. Os autores afirmam que o TBL ajuda os estudantes a desenvolverem habilidades para aprender de forma independente e para expressar suas ideias de forma coerente. No entanto, não é informado como os autores chegaram a tal inferência.

Um relato mais detalhado do uso do TBL no ensino de Física é feito por Metoyer *et al.* (2009), que apresentam a estrutura de implementação do TBL e mostram exemplos em contextos de cursos de Física, Química e Biologia em nível universitário em turmas que variam entre 30 a 100 alunos. Também mostram avaliações de desempenho e impressões de alunos de um curso de Física conceitual. Não são apresentados detalhes sobre os locais de aplicação. Segundo os autores, o emprego do TBL levou a uma série de mudanças positivas: aumento no sucesso acadêmico, melhor compreensão dos conceitos, aumento na participação em aula, maior nível de reflexão, maior interesse na disciplina e acréscimo da frequência dos estudantes. Em uma turma de Física conceitual, a pontuação em cada exame foi maior em média comparada aos exames aplicados em uma turma com aulas tradicionais. Também a taxa de evasão foi mais favorável à turma do TBL, pois houve cerca de 5% (5 de 95 estudantes) de evasão no curso com TBL em comparação com 15% (13 de 87 estudantes) em um curso com a abordagem tradicional.

Um estudo de Parappilly, Schmidt e Ritter (2015) descreve a aplicação do TBL, em conjunto com alguns elementos do método *Just-in-Time Teaching*, em uma turma de Física conceitual introdutória (Física para o mundo moderno) na Universidade de Flinders, Austrália. Os autores buscaram responder às seguintes questões: Quais são as atitudes dos estudantes em relação ao TBL? As interações entre os colegas realmente ocorrem no TBL? O TBL promove o aprendizado de conceitos de Física? Concluíram, através de dados coletados com um questi-

onário, que os estudantes tiveram uma atitude positiva em relação ao TBL; análises das gravações das aulas em vídeo levaram os autores a verificar que os alunos realmente se engajaram nas interações; e, por meio de pré e pós testes, constataram ganhos de aprendizagem estatisticamente significativos.

Em síntese, existem poucos artigos sobre o uso do TBL no ensino de Física, que se constituem, essencialmente, em relatos de aplicações do método em determinados contextos, com resultados de aprendizagem e/ou atitudes dos alunos considerados positivos pelos autores. Tais estudos carecem de fundamentação teórica e metodológica.

Com o objetivo de avaliar a possibilidade de uso desse método em uma disciplina de Física Geral no contexto de uma universidade pública brasileira, foi feito um estudo exploratório em uma turma regular de eletromagnetismo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (OLIVEIRA, 2016). Resultados preliminares apontam que o TBL tem potencial para auxiliar na aprendizagem conceitual de Física e para desenvolver crenças de autoeficácia em aprender física e em trabalhar colaborativamente. Os estudantes responderam testes padronizados sobre conceitos básicos de eletromagnetismo, cujos ganhos médios normalizados da turma foram comparáveis aos derivados de aplicações com outros métodos ativos, inclusive na mesma disciplina e instituição, e superiores a resultados obtidos com métodos tradicionais de ensino. Através de questionários foram identificados os níveis de autoeficácia dos alunos, após constatada uma variação, foram realizadas entrevistas semiestruturadas, as quais indicaram que fatores relacionados ao método de ensino, como a resolução de questões conceituais e problemas em sala de aula e a interação prolongada com os membros da equipe, atuaram como potenciais fontes geradoras de autoeficácia em aprender física e em trabalhar colaborativamente, respectivamente.

IV. Considerações finais

Entre os diversos desafios que se apresentam ao professor de Física em sua prática a falta de motivação e atitudes negativas em relação à Física, parecem onipresentes entre os alunos, o que termina influenciando diretamente nos resultados de aprendizagem alcançados. Mudar a sala de aula, tornando o aluno mais ativo, é uma das maneiras de alterar esse quadro.

Em específico, o uso do TBL, ao promover o desenvolvimento das equipes de aprendizagem, possibilita que os alunos alcancem melhores patamares no que tange a interação em grupo e a motivação para aprender. As estratégias do método, que vão desde a organização planejada das equipes até a avaliação entre os colegas, estimulam a interação e, consequentemente, a evolução das equipes. Essa característica especial do TBL possibilita o desenvolvimento de habilidades ligadas ao trabalho colaborativo, essenciais na sociedade contemporânea.

Em conjunto com suas potencialidades, a implementação de métodos ativos de ensino também traz desafios, comuns a inovações didáticas que tentem quebrar o paradigma de ensino tradicional. Além daqueles intrínsecos à preparação de materiais, possíveis obstáculos à implementação incluem a resistência do setor administrativo da instituição de ensino, dos colegas

docentes e dos próprios alunos. Tais problemas são encontrados principalmente nas primeiras aplicações do método, mas, na medida em que se desejam resultados diferentes, é preciso superá-los. Para isso, o professor pode modificar sua prática gradativamente, não alterando todas as aulas de uma só vez.

Um dos maiores desafios que o professor que deseja utilizar o TBL pode encontrar é a falta de informações sobre como e o que fazer para aplicar o método, afinal, é escassa a quantidade de trabalhos e experiências na área da Física. O presente artigo pretende ser um primeiro passo para modificar este quadro em nível nacional.

Em termos de pesquisa em ensino de Física, faz-se necessário, ainda, entender as potencialidades e limitações do uso do método nesse contexto; investigar crenças e atitudes dos alunos frente ao método de ensino, analisar os impactos no ensino decorrentes da sua aplicação, compará-lo com outros métodos ativos e com o ensino tradicional e verificar a necessidade de possíveis adaptações do TBL ao contexto de ensino de Física brasileiro, tanto em nível universitário, quanto em nível médio.

Apesar das diversas vantagens que podem ser alcançadas com o TBL, obviamente não se trata de uma panaceia. Nossa intenção ao divulgá-lo é trazer uma alternativa que vem mostrando resultados positivos em outros contextos e que pode ser útil a professores de Física no Brasil. Frente aos desafios e necessidades de inovações na sala de aula de Física, a adoção de um método único de ensino, seja ele qual for, jamais conseguirá dar conta de todas as demandas que se apresentam no contexto escolar. A título de conclusão, ressaltamos a importância da pluralidade metodológica e da autonomia docente e esperamos, com esse trabalho, ter contribuído para divulgar um método de ensino que pode expandir o leque de possibilidades disponíveis para os professores que desejem transformar a sala de aula.

Agradecimentos

Agradecemos aos avaliadores pelas críticas e sugestões que contribuiram para o enriquecimento do presente trabalho.

Referências

ARAUJO, I. S.; MAZUR, E. Instrução pelos colegas e ensino sob medida: uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino-aprendizagem de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 30, n. 2, p. 362-384, 2013.

BANNING, J.; GAM, H. J. Redesigning a fashion history course through Team-Based Learning. **Clothing and Textiles Research Journal**, v. 31, n. 3, p. 182-194, 2013.

BARROS, J. A. *et al.* Engajamento interativo no curso de Física I da UFJF. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 1, p. 63-69, 2004.

BARROSO, M. F. *et al.* A Evasão Universitária em Cursos de Física: desempenho dos estudantes e redução da evasão. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 15. 2003, Curitiba. **Atas...** Curitiba: CEFET-PR, 2003. p. 507-517.

BARROWS, H. S.; TAMBLYN R. M. **Problem-based learning**: an approach to medical education. New York: Springer, 1980.

BEICHNER, R. J. *et al.* The Student-Centered Activities for Large Enrollment Undergraduate Programs (SCALE-UP) Project. In: REDISH E. F.; COONEY, P. J. (Org.) Research-based reform of introductory physics. American Association of Physics Teacher, College Park, MD, 2007.

BERGMANN, J.; SAMS, A. **Flip your Classroom**: Reach Every Student in Every Class Every Day. Washington, DC: International Society for Technology in Education, 2012.

BIRMINGHAM, C.; MCCORD M. Group Process Research: Implications for Using Learning Groups. In: MICHAELSEN, L. K.; KNIGHT, A. B.; FINK, L. D. (Org.). **Team-Based Learning**: A Transformative Use of Small Groups in College Teaching. Sterling, VA: Stylus Publishing, LLC, 2004. p. 73-93.

BREWE *et al.* Toward equity through participation in Modeling Instruction in introductory university physics. **Physics Review Special Topics – Physics Education Research**, v. 6, n. 1, p. 010106-1-010106-2, 2010.

BURGESS, A. W.; MCGREGOR, D. M.; MELLIS, C. M. Applying established guidelines to team-based learning programs in medical schools: a systematic review. **Academic Medicine: Journal of the Association of American Medical Colleges**, v. 89, n. 4, p. 678-88, 2014.

CARVALHO, A. M. P. O ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.) **Ensino de Ciências por investigação**: Condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, 2013. cap. 1. p. 1-20.

CHENG, C.-Y. *et al.* The effects of Team-Based Learning on learning behaviors in the maternal-child nursing course. **Nurse education today**, v. 34, n. 1, p. 25–30, 2014.

COTNER, S.; BAEPLER, P.; KELLERMAN, A. Scratch This! The IF-AT as a Technique for Stimulating Group Discussion and Exposing Misconceptions. **Journal of College Science Teaching**, March/April, p. 48-53, 2008.

CROUCH, C. H.; MAZUR, E. Peer Instruction: Ten years of experience and results. **American Journal of Physics**, v. 69, n. 9, p. 970, 2001.

DANA, S. W. Implementing Team-Based Learning in an Introduction to Law Course. **Journal of Legal Studies Education**, v. 24, n. 1, p. 59-108, 2007.

DEANTONIO, M. *et al.* Work in progress-The use of team-based learning in an experimental physics lab. 37 th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference. **Anais...** p.13-14, 2007.

DUCH, B. Problem-Based Learning in Physics: the power of students teaching students. **Journal of College Science Teaching**, v. 25, n. 5, p. 326-239, 1996.

FINK, L. D. Beyond Small Groups: Harnessing the Extraordinary Power of Learning Teams. In: MICHAELSEN, L. K.; KNIGHT, A. B.; FINK, L. D. (Org.). **Team-Based Learning: A Transformative Use of Small Groups in College Teaching**. Sterling, VA: Stylus Publishing, LLC, 2004. p. 3-26.

FOUREZ, G. Crise no ensino de ciências? **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 8, n. 2, p. 109-123, 2003.

HAKE, R. Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. **American Journal of Physics**, v. 66, n. 1, p. 64-74, 1998.

HATTIE, J.; TIMPERLEY, H. The Power of Feedback. **Review of Educational Research**, v. 77, n. 1, p. 81-112, 2007.

HELLER, P. *et al.* Teaching problem solving through cooperative grouping. **American Journal of Physics**, v. 60, n. 7, p 627-644, 1992.

HELLER, P. *et al.* Cooperative Group Problem Solving in Physics. **University of Minnesota**, 1999. Disponível em: <<http://www.ph12sics.umn.edu/groups/ph12sed>>.

KOLES, P. G. *et al.* The impact of team-based learning on medical students' academic performance. **Academic medicine : journal of the Association of American Medical Colleges**, v. 85, n. 11, p. 1739-45, 2010.

LASRY, N.; MAZUR, E.; WATKINS, J. Peer instruction: From Harvard to the two-year college. **American Journal of Physics**, v. 76, n. 11, p. 1066, 2008.

LIMA JUNIOR, P. R. M. **Evasão do ensino superior de Física segundo a tradição disposicionalista em sociologia da educação**. 2013. 258 f. Tese (Doutorado Acadêmico em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre.

LIMA JUNIOR, P. R. M.; OSTERMANN, F.; REZENDE, F. Análise dos condicionantes sociais da evasão e retenção em cursos de graduação em Física à luz da sociologia de Bourdieu. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 12, n. 1, p. 37-60, 2012.

LORENZO, M; CROUCH, C.; MAZUR, E. Reducing the gender gap in the physics classroom. **American Journal of Physics**, v. 74, n. 2, p. 118-122, 2006.

LYMAN, F. The responsive classroom discussion. In: ANDERSON, A. S. (Org.). **Mainstreaming digest**. College Park, MD: University of Maryland College of Education, 1981.

LYMAN, F. Think-Pair Share: An expanding teaching technique: MMA-CIE. **Cooperative News**, v.1, p. 1-2, 1987.

MAZUR, E. **Peer Instruction: a user's manual**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1997.

METOYER, B. S. K. et al. Examples from the trenches: improving student learning in the sciences using Team-Based Learning. **Journal of College Science Teaching**, v. 43, n. 5, p. 40-47, 2009.

MICHAELSEN, L. K. Getting Started with Team-Based Learning. In: MICHAELSEN, L. K.; KNIGHT, A. B.; FINK, L. D. (Org.). **Team-Based Learning: a transformative use of small groups in college teaching**. Sterling, VA: Stylus Publishing, LLC, 2004. p. 27-50.

MICHAELSEN, L. K.; FINK, L. D. Calculating Peer Evaluation Scores. In: MICHAELSEN, L. K.; KNIGHT, A. B.; FINK, L. D. (Org.). **Team-Based Learning: A transformative use of small groups in college teaching**. Sterling, VA: Stylus Publishing, LLC, 2004. p. 229-239.

MICHAELSEN, L. K.; KNIGHT, A. B.; FINK, L. D. **Team-Based Learning: A transformative use of small groups in college teaching**. Sterling, VA: Stylus Publishing, LLC, 2004.

MICHAELSEN, L. K.; SWEET, M.; PARMELEE D. X. (Org.). **Team-Based Learning: Small-group learning's next big step**. New Directions in Teaching and Learning. San Francisco, CA: Jossey-Bass, 2008.

MICHAELSEN, L.; SWEET, M. Team-based learning. **New Directions for Teaching and Learning**, n. 128, p. 41-51, 2011

MÜLLER, M. G. *et al.* Implementação do método de ensino *Peer Instruction* com o auxílio dos computadores do projeto "UCA" em aulas de Física do Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. Especial 1, p. 491-524, 2012.

NANES, K. M. A modified approach to team-based learning in linear algebra courses. **International Journal of Mathematical Education in Science and Technology**, n. September, p. 1-12, 2014.

NOVAK, G. M.; PATTERSON, E. T.; GAVRIN, A. D.; CHRISTIAN, W. **Just-in-time teaching: blending active learning with web technology**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999.

OAKLEY, B.; FELDER, R. M.; BRENT, R. Turning Student Groups into Effective Teams. **Journal of student centered learning**, v. 2, n. 1, p. 9-34, 2004.

OLIVEIRA, T. E. de. **Aprendizagem de física, trabalho colaborativo e crenças de autoeficácia: um estudo de caso com o método *Team-Based Learning* em uma disciplina introdutória**

de eletromagnetismo. 2016. 209 f. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre.

OLIVEIRA, V.; VEIT, E. A.; ARAUJO, I. S. 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**, v. 32, n. 1, p. 180-206, 2015.

PARAPPILLY M.; SCHMIDT, S.; RITTER, S. Ready to learn physics: a team-based learning model for first year university. **European Journal of Physics**, v. 36, n. 5, p. 1-13, 2015.

PARDAMEAN, B. *et al.* Enhancing the use of digital model with Team-Based Learning approach in science teaching. In: International Federation for Information Processing, 2014. **Anais...** p.267-276, 2014.

PASSOS, F. G. dos *et al.* Diagnóstico sobre a reprovação nas disciplinas básicas dos cursos de engenharia da UNIVASF. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, XXXV, 2007, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2007.

PATERSON, J.; SNEDDON, J. Conversations about curriculum change: mathematical thinking and team-based learning in a discrete mathematics course. **International Journal of Mathematical Education in Science and Technology**, v. 42, n. 7, p. 879-889, 2011.

RUDOLPH, A. L. *et al.* Introduction of interactive learning into French university physics classrooms. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, v. 10, n. 1, p. 1-18, 2014.

SILVA, B. V. C.; MARTINS, A. F. P. Júri simulado: um uso da história e filosofia da ciência no ensino de óptica. **Física na Escola**, v. 10, n. 1, p. 17-20, 2009.

SILVEIRA, F. L.; MOREIRA, M. A.; AXT, R. Habilidad en preguntas conceptuales y en resolución de problemas de Física. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 10, n. 1, p. 58-62, 1992.

SIMONSON, S. R. Making students do the thinking: team-based learning in a laboratory course. **AJP: Advances in Physiology Education**, v. 38, n. 1, p. 49-55, 2014.

STEAD, D. R. A review of the one-minute paper. **Active Learning in Higher Education**, v. 6, n. 2, p. 118-131, 2005.

SWEET, M. S.; MICHAELSEN, L. K.; WRIGHT, C. M. Simultaneous report: A reliable method to stimulate class discussion. **Decision Sciences Journal of Innovative Education**, v. 6, n. 2, p. 483-487, 2008.

THOMAS, P. A; BOWEN, C. W. A controlled trial of team-based learning in an ambulatory medicine clerkship for medical students. **Teaching and learning in medicine**, v. 23, n. 1, p. 31-6, 2011.

VIEIRA, R.; MELO, V.; BERNARDO, J. O Júri Simulado como recurso didático para promover argumentações na formação de professores de Física: o problema do “gato”. **Revista Ensaio**, v. 16, n. 3, p. 203-225, 2014.

WATKINS, B. J.; MAZUR, E. Retaining Students in Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Majors. **Journal of College Science Teaching**, v. 24, n. 5, p. 36-41, 2013.

WATSON, W. E.; MICHAELSEN, L. K.; SHARP, W. Member competence, group interaction, and group decision making: A longitudinal study. **Journal of Applied Psychology**, v. 76, n. 6, p. 803-809, 1991.

Apêndice A

Neste apêndice, apresentamos um exemplo de questionário para definição das equipes.

Conhecendo você!¹⁶

Nome completo:

Idade:

Sexo: () masculino () feminino

Você concluiu algum curso técnico ou outra graduação? Se sim, qual(is)?

Você possui experiência profissional no mercado de trabalho? Especifique.

Você exerce, ou já exerceu, alguma atividade de monitoria e/ou iniciação científica na universidade? Qual?

Você possui experiência de uso de grupos em sala de aula?

() sim, muita.

() sim, pouca.

() não.

Quais os aspectos que você julga fundamentais para que o trabalho em grupo se desenvolva bem?

Você participa de grupos de estudos? Se sim, com que frequência? Descrever brevemente alguma experiência que tenha tido.

Você é parente, amigo(a) de longa data, namorado(a) ou similar de alguém nesta turma?

¹⁶ Adaptado de OAKLEY, FELDER e BRENT (2004)

Com que frequência você costuma estudar na semana?

- 1 dia por semana.
- 2 dias por semana.
- 3 dias por semana.
- 4 dias por semana.
- 5 dias por semana.
- todos os dias da semana.
- apenas antes das provas.

Você já cursou mais de uma vez alguma disciplina do seu atual curso? Se sim, qual(is)?

Tem algo sobre você que é, provavelmente, um diferencial perante os demais colegas? (por exemplo, uma experiência diferente, um hobby, alguma habilidade ou interesse)

Por que você decidiu fazer o curso de Física?

Você julga que possui alguma(s) dificuldade(s) para aprender Física? Se sim, qual(is)?

Você tem mais afinidade em que área da Física? (Física teórica, Física experimental, ensino de Física, etc.)

O que você pretende fazer depois que se formar?

Este espaço está livre para que escreva qualquer coisa que ache necessário sobre você (opcional).

Apêndice B

Neste apêndice, apresentamos um exemplo de questionário para a avaliação entre os colegas.

Avaliação dos colegas de equipe

Nome:

Para avaliar os trabalhos realizados em equipe nesta disciplina, contamos com sua avaliação sobre o seu próprio trabalho e o de seus colegas de equipe. Suas respostas servirão para auxiliar o professor no processo avaliativo, mas não definirão, necessariamente, as notas recebidas pelos alunos, incluindo a sua própria. Procure responder da forma mais sincera que puder.

Suas respostas serão mantidas anônimas.

Marque a alternativa que melhor expressa seu nível de concordância.

CF: Concordo Fortemente

C: Concordo

I: Indeciso (tente ao máximo evitar essa alternativa)

D: Discordo

DF: Discordo Fortemente

Nome do colega 1:	CF	C	I	D	DF
1) Eu percebo que o colega está vindo preparado para a aula, ou seja, está realizando as Tarefas de Leitura requeridas pelo professor.					
2) O colega contribuiu de forma positiva para as discussões em grupo.					
3) O colega respeitou as ideias e opiniões dos outros membros da equipe.					
4) O colega não encorajou a contribuição de outros membros da equipe.					
5) O colega foi flexível quando aconteceu alguma discordância ou conflito de opiniões na equipe.					
6) Penso que meu colega não aprendeu a maior parte dos conceitos de Física estudados.					
7) O colega aparentou estar pouco confiante e desmotivado para realizar as atividades requeridas pela disciplina.					
8) Acredito que meu colega não é capaz de resolver sozinho a maior parte dos problemas referentes aos tópicos estudados.					
9) Acredito que meu colega não é capaz de resolver em equipe a maior parte dos problemas referentes aos tópicos estudados.					
10) Julgo que o colega, em diversos momentos, contribuiu com suas explicações para o aprendizado dos colegas de grupo.					
11) Acredito que, em diversos momentos, o colega foi capaz de convencer os outros membros da equipe de sua resposta, independente se ela estivesse correta ou não.					
Se você julgar necessário, deixe um comentário dizendo aquilo que você destacaria como pontos positivos do seu colega durante esta área e/ou o que você gostaria que seu colega melhorasse para as próximas aulas.					

Com base em suas respostas aos itens deste questionário, atribua uma nota de 0 a 10 para você e para cada um de seus colegas de equipe:

	Pontuação
Seu Nome:	
Nome do colega 1:	
Nome do colega 2:	
Nome do colega 3:	
Nome do colega 4:	

Use este espaço para fazer qualquer comentário que julgar pertinente.