

LEANDRO CARVALHO NASCIMENTO

**A METODOLOGIA PEER INSTRUCTION: EFICÁCIA E O PAPEL DO ESTUDO PRÉ-
AULA NO ENSINO DE FÍSICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Ensino de Física, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Álvaro José Magalhães Neves

VIÇOSA - MINAS GERAIS

2020

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

Nascimento, Leandro Carvalho, 1985-

N244m A metodologia peer instruction : eficácia e o papel do
2020 estudo pré-aula no ensino de Física / Leandro Carvalho

Nascimento. – Viçosa, MG, 2020.

102 f. : il. ; 29 cm.

Inclui anexo.

Orientador: Álvaro José Magalhães Neves.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.77-79.

1. Física - Estudo e ensino (Superior). 2. Aprendizagem
ativa. 3. Ensino entre pares. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Física. Programa de Pós-Graduação em Física.
II. Título.

CDD 22. ed. 530.07

LEANDRO CARVALHO NASCIMENTO

**A METODOLOGIA PEER INSTRUCTION: EFICÁCIA E O PAPEL DO ESTUDO PRÉ-
AULA NO ENSINO DE FÍSICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Ensino de Física, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 28 de fevereiro de 2020.

Assentimento:

Leandro Carvalho Nascimento
Autor

Álvaro José Magalhães Neves
Orientador

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Agradeço ao meu Deus, e meu Senhor. A Ele seja a glória e honra e minha gratidão por mais esta vitória.

Agradeço aos meus queridos pais pelas constantes orações ao longo de todo esse período. Elas foram fundamentais para que hoje eu estivesse escrevendo estas páginas.

À minha amada esposa, pelo apoio dado em todo esse período de muita dificuldade, estando sempre ao meu lado.

Ao meu querido irmão, por ter sido em quem me espelhei para estudar até aqui.

Ao meu amado filho Benjamin, que no dia da defesa já estava entre nós.

Ao professor Álvaro José Magalhães Neves, pela orientação, apoio e confiança.

Aos amigos Diego e Fred, agradeço o companheirismo, disponibilidade e amizade.

Ao primo Camilo e família, agradeço a recepção tão amigável e familiar em sua casa.

EPÍGRAFE

“O Senhor é o meu Pastor, nada me faltará”.

Salmo 23:1

RESUMO

NASCIMENTO, Leandro Carvalho, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2020. **A Metodologia Peer Instruction: Eficácia e o Papel do Estudo Pré-Aula no Ensino de Física.** Orientador: Álvaro José Magalhães Neves.

Há na literatura um extenso corpo de evidências empíricas que apontam a superioridade dos métodos ativos de ensino sobre o método tradicional sob diferentes métricas, inclusive no que concerne o desempenho dos estudantes em testes, padronizados ou não. O “Peer Instruction” (PI) é provavelmente a metodologia ativa mais conhecida e utilizada no ensino de Física. Ao longo dos trinta anos que sucederam a sua criação, reuniu-se um conjunto de dados que indicam diversas vantagens sobre o método tradicional. Contudo, esses estudos estão altamente concentrados na América do Norte e no ensino superior. Este trabalho compara a efetividade do método tradicional e do PI sob a perspectiva do desempenho dos alunos em provas. Em particular, investiga-se o impacto de estímulos para que aos alunos estudem antecipadamente para as aulas. Os dados foram obtidos ao longo de oito semestres e envolvem cerca de 2.600 alunos. A pesquisa foi realizada em uma disciplina introdutória de Física para alunos de engenharia e ciências exatas. Dentre os aspectos metodológicos principais, destaca-se o modo de fazer as comparações de desempenho entre alunos que utilizaram práticas pedagógicas diferentes (PI e tradicional). Elas foram realizadas entre grupos que chegam à disciplina estudada com igual proficiência em Física. Esse nível de preparo acadêmico na área foi determinado a partir do desempenho do aluno, tanto em uma disciplina anterior de Física, como também no teste padronizado “Force Concept Inventory” (FCI). Ademais, os métodos didáticos investigados foram utilizados simultaneamente nos períodos acadêmicos da pesquisa, em turmas distintas. Por fim, todos os alunos de cada período passaram pelas mesmas provas, que foram corrigidas de forma padronizada e uniforme. Primeiramente, os resultados deste trabalho reforçam com mais dados uma importante descoberta anterior - qualquer que seja o preparo acadêmico inicial, associando ao PI um forte incentivo ao estudo antes da aula, na forma de questionários desafiadores, os estudantes PI obtêm em média notas significativamente maiores que os seus colegas do método tradicional, com o mesmo preparo acadêmico. Observamos que o ganho do aluno PI cresce com o nível de preparo acadêmico. Os dados permitiram quantificar essa relação. Esses fatos destacam a importância do estudo pré-aula para a obtenção de resultados superiores

com o PI, sobretudo quando há uma proporção significativa de estudantes com preparo acadêmico modesto. Como não havia no método tradicional um incentivo especial ao estudo pré-aula, não se sabia se o desempenho superior dos alunos PI era proporcionado pelo método ativo em si, ou se seria exclusivamente um efeito do estudo prévio realizado. Essa foi a principal questão investigada. Para respondê-la, introduziu-se no método tradicional os questionários para estimular o estudo pré-aula. Em três semestres, três professores se alternaram no uso de três sistemas – o PI com questionários pré-aula, o método tradicional e ainda o método tradicional, combinado com os questionários pré-aula. Sem surpresa, a introdução do incentivo ao estudo pré-aula elevou o desempenho dos estudantes tradicionais nas avaliações. Entretanto, para alunos com FCI maior que 55%, o PI levou a um desempenho ainda maior, demonstrando a importância das suas atividades em classe. Essa diferença aumenta com o preparo acadêmico dos estudantes e pôde ser quantificada. Por outro lado, para alunos com FCI menor que 55%, os desempenhos dos métodos conjugados aos questionários são muito próximos, aparentemente com uma vantagem a favor da metodologia tradicional. O experimento com três métodos didáticos, provavelmente por envolver amostras menores, foi estatisticamente menos conclusivo que o anterior. Em suma, os nossos resultados contribuem para estabelecer e quantificar o efeito do estudo pré-aula (promovido por diferentes estímulos) e das metodologias PI e tradicional no desempenho em provas de alunos com variados níveis de preparo acadêmico. Os resultados obtidos sugerem que as atividades características da aula Peer Instruction, não apenas o estudo pré-aula, favorecem o desempenho dos estudantes com alguma proficiência em Física (nota FCI > 55%). Para os demais alunos, o método tradicional acompanhado de um forte incentivo ao estudo pré-aula parece proporcionar resultados ligeiramente melhores. Além de avançar o conhecimento sobre metodologias didáticas, acreditamos que esse trabalho possa subsidiar instrutores na seleção das práticas pedagógicas que maximizem os ganhos para o seu grupo específico de alunos. Não obstante este estudo ter sido realizado no contexto do ensino de Física em nível universitário, parece razoável supor que as suas conclusões se apliquem no Ensino Médio e em campos correlatos à Física.

Palavras-chave: Métodos ativos. Peer Instruction. Ensino de Física. Estudo pré-aula.

ABSTRACT

NASCIMENTO, Leandro Carvalho, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February 2020. **The Peer Instruction Methodology: Effectiveness and the Role of Pre-Class Study in Physics Teaching.** Advisor: Álvaro José Magalhães Neves.

Active learning methodologies emerged in the last decades as a superior alternative to the prevalent expository method, hereon referred to as "traditional method". In the scientific literature, there is an extensive body of empirical evidence that points out to this superiority under different metrics, including student's performance in standardized and non-standardized tests. Peer Instruction (PI) is probably the best-known and most pervasively used active methodology in Physics teaching. A set of data amassed along the three decades that followed its creation indicates several advantages of PI over the traditional method. However, these studies are highly concentrated in North America and in Higher Education. This work compares the effectiveness of the traditional and PI methods, from the perspective of students' performance on course exams. In particular, it investigates how this performance is impacted by incentives for students to study in advance for classes. The data were obtained over eight semesters and involve about 2,600 students. The research was conducted in an introductory physics course for students majoring engineering and exact sciences. Among the methodological aspects, we highlight the precautions used to compare the performance of students who used different pedagogical practices (PI and traditional). The comparisons are carried out among groups of students which started the course with about the same proficiency in Physics. This level of academic preparation in the area was established from the student's grades, both in a previous physics course, as well as in the standardized "Force Concept Inventory" (FCI) test. Furthermore, the different teaching methods investigated were employed simultaneously in the academic semesters covered by this research, in different groups. Finally, all students in each semester took the same exams, which were graded in a standardized and uniform manner. First, the results obtained in this study reinforce with more data an important finding – regardless of their initial level of academic preparation, with a strong incentive for pre class study, in the form of challenging questionnaires (JiTT), PI students on average significantly outperform their colleagues with the same academic preparation, but taking the traditional method. We observed that the PI gain is larger for students with higher levels of academic preparation. The data allowed us to quantify this relationship. These facts emphasize

the importance of the pre-class study for the superior outcome associated with PI, especially when a significant proportion of students has but a modest level of academic preparation. As there was no special incentive for pre class reading in the traditional method, it was unclear whether the higher grades obtained with PI were promoted by the active method *per se*, or was solely an effect of the pre class study. This is the main question studied here. It was addressed by introducing the questionnaires to stimulate pre-class reading in the traditional method. For three semesters, three instructors took turns using three different systems – PI with questionnaires, the traditional method and also the traditional methodology, combined with the pre class questionnaires. No wonder, the incentive for pre class reading raised the performance of the traditional student in the exams. Nonetheless, for students with a FCI score above 55%, the performance of PI students was even higher, demonstrating the importance of the in-class activities characteristic of this method. This difference increases with the level of academic preparation and was properly quantified. On the other hand, for students with FCI score below 55%, the combination of pre-class questionnaires with PI and with the traditional method lead to very close performances in exams, apparently with a small advantage in favor of the traditional methodology. The experiment with three systems was statistically less conclusive than the previous one, probably because it involved smaller samples. In summary, our results contribute to shed light and quantify the effect of pre-class reading (fostered by different incentives) and the adoption of PI on the performance of students with different backgrounds in Physics. The data suggest that the activities characteristic of the Peer Instruction class, not only the pre-class study, favor the performance of students with some proficiency in the area (FCI score > 55%). Below this threshold, the traditional method combined with strong incentives for pre-class study seems to lead to slightly better results. We believe these contributions not only advance the knowledge about current pedagogies, but can also assist instructors in selecting practices that maximize the benefit for their specific group of students. Although this study was conducted against the backdrop of physics teaching at college level, it is reasonable to assume that its conclusions apply at the high school level and in fields akin to Physics.

Keywords: Active methods. Peer Instruction. Physics teaching. Pre-class study.

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Definição dos grupos de preparo acadêmico bem como o número total de alunos em cada grupo. A última linha informa para cada grupo a nota média no FCI, o desvio-padrão e número de alunos que fizeram esse teste.	26
Tabela 2.2: Resumo das condições do experimento em cada período. Número de turmas submetidas ao método de ensino tradicional (Trad) e ao método de ensino Peer Instruction (PI), número de professores envolvidos, número de alunos envolvidos e a utilização, ou não, do questionário pré-aula (JiTT).	27
Tabela 3.1 - Sumário das principais atividades que ocorriam antes, no início e no decorrer das aulas nos três métodos estudados nesta pesquisa.	38
Tabela 3.2 - Sumário da distribuição dos pontos na disciplina FIS202 nos três métodos de ensino.	47
Tabela 3.3 - A 2ª linha mostra a definição dos grupos de preparo acadêmico e traz entre parênteses o número total de alunos em cada grupo.	48
Tabela 4.1 - Sumário das condições experimentais de cada período. Número de turmas, de professores, bem como, de alunos, por tipo de tratamento.	53
Tabela 4.2 - Para cada intervalo de notas em FIS201 na 1ª coluna, têm-se o número e o percentual de alunos naquela região, assim como a nota média em FIS201 (<N201>) e a nota percentual média nas provas de FIS202 (<N202*>) de cada grupo. A tabela apresenta tais dados separadamente para as duas metodologias.	60

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 - Resultados obtidos nos semestres em que as turmas PI não utilizaram JiTT (2011/2 e 2013/2). Os alunos das turmas PI e tradicional são representados por caracteres diferentes. N201 e N202* são, respectivamente, a nota total do aluno em FIS201 e o percentual dos pontos de prova obtido por ele em FIS202. As retas ajustadas aos dados dos dois grupos e as suas equações são mostradas em cores distintas.....28

Gráfico 2.2 - Resultados dos semestres sem JiTT (2011/2 e 2013/2). Os números acima das colunas representam a nota percentual média <N202*> obtida nas provas de FIS202 para cada grupo de preparo acadêmico e os números dentro das colunas representam a quantidade de alunos em cada um desses grupos. Valor-p: grupo 1=0,4; grupo 2 = 0,4 e grupo 3 = $2,0 \times 10^{-3}$28

Gráfico 2.3 - Resultados obtidos dos semestres que utilizaram o questionário pré-aula nas turmas PI. Os alunos das turmas PI e tradicional são representados por caracteres diferentes. N201 e N202* são, respectivamente, a nota total do aluno em FIS 201 e o percentual dos pontos de prova obtido por ele em FIS202. As retas ajustadas aos dados dos dois grupos e as suas equações são mostradas em cores distintas.30

Gráfico 2.4 - Resultados obtidos nos sete períodos que utilizaram o questionário pré-aula nas turmas PI. Os números acima das colunas representam a nota percentual média <N202*> obtida nas provas de FIS202 para cada grupo de preparo acadêmico e os números dentro das colunas representam a quantidade de alunos em cada um desses grupos. Valor-p: grupo 1 = 2×10^{-3} ; grupo 2 = $1,32 \times 10^{-4}$ e grupo 3 = 3×10^{-2} . 31

Gráfico 3.1 - Histograma de uma distribuição hipotética das notas de prova de um conjunto de alunos.....51

Gráfico 3.2 - Histograma de uma distribuição hipotética das notas de prova de todos os alunos (curva contínua) das amostras PI e tradicional e de grupos tomados aleatoriamente da população de estudantes (curvas tracejadas). N1 e N2 são as notas média dessas distribuições e ΔN é diferença entre elas.52

Gráfico 4.1 - Distribuição das notas percentuais no FCI, separadamente nos semestres letivos 2014/2 e 2015/1. A ordenada representa a frequência relativa dos alunos que obtiveram nota dentro dos intervalos delimitado pelas linhas tracejada. O número acima de cada barra representa a frequência relativa dos alunos com nota no intervalo onde está a barra.....55

Gráfico 4.2 - Distribuição conjunta das notas do FCI nos períodos 2014/2 e 2015/1. A ordenada indica o percentual de estudantes que obtiveram nota no FCI (em porcentagem) dentro dos intervalos demarcados pelas linhas tracejadas. A amostra contém 501 alunos.....56

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Fluxograma da aula com a metodologia Peer Instruction.20

Figura 3.1 - Diagrama de uma fenda simples com largura “a”, iluminada por luz de comprimento de onda λ . O ponto destacado no anteparo de observação tem posição angular θ	41
Figura 3.2 - Diagrama de uma fenda simples com largura “a”, dividida em duas partes, com comprimento $a/2$. O ponto destacado no anteparo de observação tem posição angular θ	42
Figura 3.3 - Diagrama de uma fenda simples com largura “a”, dividida em quatro partes iguais, com comprimento $a/4$. O ponto destacado no anteparo observação tem posição angular θ	43
Figura 6.1 - Diagrama de uma fenda simples com largura “a”, iluminada por luz de comprimento de onda λ . O ponto destacado no anteparo de observação tem posição angular θ	94
Figura 6.2 - Diagrama de uma fenda simples com largura “a”, dividida em duas partes, com comprimento $a/2$. O ponto destacado no anteparo de observação tem posição angular θ	95
Figura 6.3 - Diagrama de uma fenda simples com largura “a”, dividida em quatro partes iguais, com comprimento $a/4$. O ponto destacado no anteparo observação tem posição angular θ	97

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Alguns critérios básicos para escrever bons testes conceituais.	21
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
---	------------------	----

1.1	Definição do Problema	15
1.2	Objetivo e Justificativa do Trabalho	16
2	REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1	A Metodologia Peer Instruction.....	18
2.1.1	A dinâmica da aula Peer Instruction.....	19
2.1.2	Engajando os alunos para o estudo pré-aula	21
2.2	Resultados do PI no Brasil e no mundo.....	22
2.3	Os Resultados do PI na Universidade Federal de Viçosa.....	23
2.3.1	Resultados	27
2.4	Estudo Pré-Aula	32
2.4.1	A importância do estudo prévio	32
2.4.2	Uma investigação acerca do estudo pré-aula	33
2.5	O Force Concept Inventory.....	34
3	METODOLOGIA.....	36
3.1	Aspectos gerais, a instituição e a disciplina	36
3.2	Os métodos de ensino.....	36
3.3	Os questionários pré-aula (JiTT) e quizzes	38
3.3.1	Os quizzes	38
3.3.2	Os questionários pré-aula	40
3.4	O sistema de avaliação da disciplina	47
3.5	Classificação do preparo acadêmico	48
3.6	Métodos estatísticos.....	49
4	Resultados E discussões.....	53
4.1	Concepção e condições experimentais	53
4.2	Classificação do preparo acadêmico com o FCI.....	54
4.3	Comparação da efetividade dos métodos PI e tradicional	58
4.4	Avaliação dos Resultados e a Questão Fundamental	64

4.5 O papel do estudo pré-aula	66
CONCLUSÕES	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
ANEXO A	79

1 INTRODUÇÃO

1.1 Definição do Problema

Os problemas com o ensino são notórios e recorrentes no ensino de Ciências, sobretudo no campo da Física (HAKE, 1998; HALLOUN, HESTENES, 1985a, 1985b; HESTENES, 1987; MAZUR, 1997). Os elevados índices de reprovação e evasão, frequentes nas disciplinas da área, além da frustração dos estudantes, são os aspectos mais críticos e visíveis da ineficácia do processo de ensino-aprendizagem. De fato, usualmente as disciplinas de Física representam um grande desafio na vida acadêmica dos estudantes (MAZUR, 1997).

Na verdade, os métodos de ensino mudaram pouco desde que começou o ensino sistematizado com as primeiras universidades, há mais de 900 anos. Ainda hoje, os métodos instrucionais são notadamente baseados na exposição do professor, dirigida para uma audiência passiva dos estudantes. Essa prática fundamentada em aulas expositivas será, neste trabalho, denominada genericamente de *método tradicional*. As pesquisas de Halloun e Hestenes (1985a, 1985b) e Hestenes (1987) indicaram que os métodos convencionais de instrução expositiva, utilizados no ensino de Física, são pouco eficientes para modificarem concepções alternativas errôneas sobre fenômenos físicos, que os alunos concebem através do *senso comum*.

Em claro contraste com essa metodologia, os *métodos ativos de ensino* têm como cerne o envolvimento e a coparticipação dos alunos em todo o processo de aprendizagem. Através de atividades reflexivas, os discentes são estimulados a formular, aplicar, descrever, sintetizar, responder, discutir ideias, dentre outras atividades (PRINCE, 2004). Nas últimas três décadas, diversos estudos realizados na área de ensino apontaram claras evidências de que os métodos ativos conduzem a melhores resultados de aprendizagem, conforme indica o desempenho dos alunos em avaliações padrão (FRASER, 2014; HAKE, 1998; HANDELSMAN *et al.*, 2004). Ademais, pesquisas revelam que os métodos ativos usualmente motivam os estudantes e proporcionam ganhos significativos na compreensão conceitual e na habilidade de resolver problemas (MAZUR, 1997; NEVES *et al.*, 2018), além de contribuir para minimizar os níveis de evasão e desvantagem educacional de minorias (FRASER, 2014).

Mesmo sendo a superioridade dos métodos ativos chancelada por uma sólida base de dados, o método tradicional ainda é o mais utilizado no mundo. O estudo de Henderson e Dancy (2009), com mais de setecentos instrutores, mostrou que menos da metade dos professores de Física utilizava em sala de aula alguma técnica ou metodologia baseada em pesquisa científica e que raramente elas eram aplicadas como recomendado pelo seu desenvolvedor.

A partir da conscientização das limitações do método expositivo tradicional, muitas metodologias ativas têm sido desenvolvidas, como, por exemplo, *One-Minute Paper*, *Think-Pair-Share*, *Problem-Based Learning*, *Team-Based Learning*, *Just-in-time Teaching* e *SCALE-UP* (McKEACHIE, 1994; IVES *et al*, 2017). A pesquisa relatada neste trabalho trata da metodologia ativa *Peer Instruction* (PI), criada pelo professor de Física, Eric Mazur (MAZUR, 1997). O foco é estudar a sua efetividade, comparando os seus resultados com os do método tradicional.

1.2 Objetivo e Justificativa do Trabalho

O Peer Instruction é provavelmente a metodologia ativa mais conhecida e utilizada no ensino de Física (HENDERSON, DANCY, 2009; DANCY, HENDERSON, 2010). Nela, o estudante é estimulado a estudar antecipadamente (*estudo pré-aula*) o conteúdo de cada aula. Na sala de aula, o professor intercala explicações curtas sobre o material com perguntas conceituais sobre cada conteúdo. A discussão dessas questões entre os alunos constitui a coluna dorsal da metodologia.

Há na literatura científica um extenso corpo de evidências empíricas de que o PI usualmente fornece resultados significativamente superiores aos do método tradicional expositivo, tanto no que se refere à satisfação dos estudantes, como também no que tange o seu desempenho em testes quantitativos e aprendizado conceitual (MAZUR, 1997; NEVES *et al.*, 2018). Contudo, grande parte desses resultados advém de estudos realizados na América do Norte, como apontam as revisões de Müller *et al.* (2017) e Vickrey *et al.* (2015). A base de dados sobre a efetividade da metodologia Peer no Brasil é escassa e contraditória (NEVES *et al.*, 2018). Além disso, na maioria dos trabalhos o Peer Instruction é avaliado de uma forma global, apesar do método envolver várias práticas – o estudo pré-aula, as explicações do instrutor, as respostas individuais e discussões entre os alunos acerca das questões colocadas pelo professor. Contudo, não existe na literatura estudos

detalhados sobre a importância relativa de cada um desses componentes. Naturalmente seria de grande importância conhecer quais deles são relevantes, ou mais importantes, para a obtenção dos resultados associados à metodologia.

Este trabalho endereça as lacunas supracitadas. Ele é uma investigação sistemática e de grande escala sobre a efetividade da metodologia PI numa disciplina de Física básica, numa universidade brasileira, sob a métrica do desempenho dos estudantes em avaliações. Em primeiro lugar, ele amplia a base de dados do estudo de Lopes (2016) e aprimora a sua metodologia de análise. Além disso, os resultados são analisados controlando-se o preparo acadêmico do aluno no início da disciplina. Em especial, investiga-se a importância do estudo realizado pelos estudantes antes da aula, o *estudo pré-aula*, tanto na instrução tradicional, quanto no Peer Instruction.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Não se pretende aqui apresentar uma revisão completa da literatura científica sobre os métodos ativos e o Peer Instruction. Neste capítulo, tratamos somente de aspectos relevantes que permitam situar o nosso trabalho no contexto da pesquisa atual, além de comparar e avaliar os seus resultados e métodos.

2.1 A Metodologia Peer Instruction

As aulas do método tradicional na Física costumam ser pouco atrativas para a maioria dos estudantes, além de não fornecerem oportunidades para que eles pensem criticamente sobre o conteúdo delas (MAZUR, 1997). Como relatado no capítulo 1, estudos recentes na área do Ensino de Física documentaram que os estudantes aprendem muito pouco com o método tradicional expositivo (HALLOUN, HESTENES, 1985a, 1985b; HESTENES, 1987; MAZUR, 1997; HAKE, 1998). Simultaneamente, pesquisadores descobriram que quando os alunos estão engajados ativamente com o material de estudo, eles são capazes de desenvolver raciocínios mais elevados sobre o que estão estudando e que atividades de cooperação são uma maneira eficiente de envolvê-los (JOHNSON, JOHNSON, SMITH, 1991; JOHNSON; JOHNSON; 1987, apud CROUCH, MAZZUR, 2001, p. 970). Essa é, em geral, a abordagem dos métodos ativos de ensino.

O Peer Instruction, é um método ativo baseado no engajamento cooperativo entre os estudantes. Em linhas gerais, no PI, o professor conduz a instrução fazendo perguntas conceituais aos alunos, intercaladas entre breves exposições do conteúdo sobre determinado tema que eles tenham estudado previamente (o estudo pré-aula). A coluna dorsal da metodologia, fundamenta-se na construção coletiva da resposta entre os estudantes, a fim de que eles passem mais tempo da aula pensando e discutindo ideias sobre o conteúdo do que assistindo passivamente a uma aula, como no ensino tradicional (MAZUR, 1997; ARAÚJO, MAZUR, 2013).

Desde a sua criação, o PI tem sido amplamente aplicado e pesquisado, não só na Física, mas também em outras áreas (BORREGO *et al.*, 2011). Em uma pesquisa realizada com 722 professores de Física nos Estados Unidos, 63,5% dos professores disseram conhecer em algum nível o Peer Instruction, enquanto 29,2% responderam que usavam a metodologia (HENDERSON, DANCY, 2009).

Um grande atrativo do método é que ele não requer a produção de um material didático inteiramente novo; tipicamente o professor usará o mesmo livro, mas conduzindo a instrução de uma forma diferente. Além disso, a sua implementação não exige uma ampla mudança na estrutura funcional da instituição de ensino.

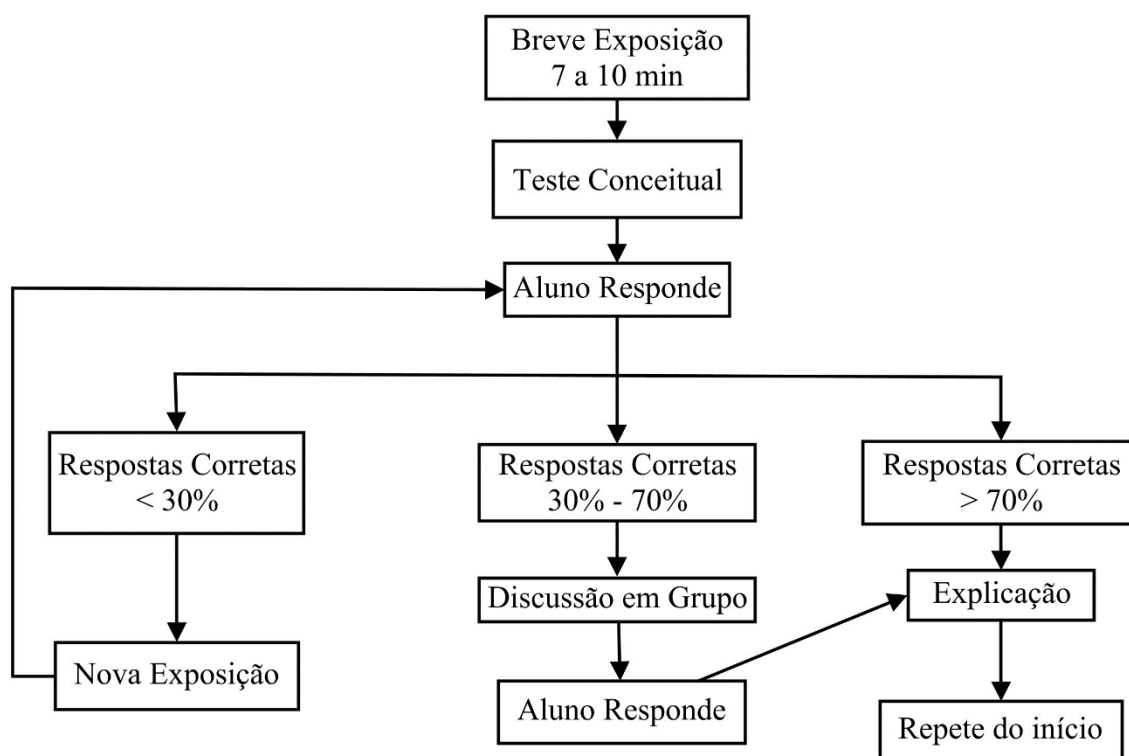
O principal estudo já realizado sobre esse método foi feito na universidade de Harvard, criado pelo professor de Física Eric Mazur e seus colaboradores, em 1991 (MAZUR, 1997). Os pesquisadores descobriram, ao longo de dez anos de pesquisa, que os ganhos de aprendizagem com o PI são sensivelmente superiores aos do método tradicional, além de melhorar o desempenho dos estudantes na solução de problemas quantitativos e promover melhor entendimento conceitual (CROUCH e MAZUR, 2001).

2.1.1 A dinâmica da aula Peer Instruction

A síntese que se segue sobre a dinâmica do método Peer Instruction está principalmente baseada em Mazur (1997), Crouch e Mazur (2001), Crouch *et al.* (2007) e Lopes (2016). O fluxograma da figura 1 (MAZUR, 1997, 2015; LASRY, MAZUR, WATKINS, 2008) é apenas um auxílio para o resumo subsequente acerca da dinâmica de uma aula ministrada com o PI. Em síntese, o professor faz uma breve exposição (7 a 10 min) sobre o assunto que os alunos foram orientados a estudar. Em seguida, ele aplica um teste de múltipla escolha, que investiga o entendimento conceitual dos alunos sobre o conteúdo que acabara de expor. No próximo passo, os alunos são orientados a submeter individualmente sua resposta ao professor, sem quaisquer discussões entre eles; é dado um tempo de aproximadamente dois minutos para que eles respondam. Três procedimentos possíveis são adotados pelo professor, dependendo do percentual de acerto. Se esse percentual exceder 70%, o professor faz um breve comentário sobre a resposta correta juntamente com os estudantes e passa para um novo assunto. Caso o número de acertos fique abaixo dos 30%, o professor faz uma nova exposição, com mais detalhes daquele conteúdo e o teste é reaplicado. Entretanto, se o percentual de acertos estiver entre 30% e 70%, o professor solicita aos estudantes que discutam o assunto em pequenos grupos e um novo teste é aplicado (MAZUR, 1997). Esse último procedimento constitui o ponto central da metodologia. Mazur (1997, p.12) relata que em todos os casos em que o teste foi reaplicado, após a discussão entre os alunos, o número de respostas corretas

aumentou sistematicamente. Além disso, esse autor afirma que as discussões que se estabelecem na sala de aula, possibilita muitas oportunidades de feedback imediato ao professor sobre a compreensão dos estudantes (MAZUR, 1997, p. 16). De fato, através da participação nas discussões dos alunos e das respostas deles aos testes conceituais, o instrutor é informado sobre o progresso e as dificuldades dos estudantes no assunto, bem como sobre a efetividade das suas próprias exposições e da eficácia da leitura pré-aula dos alunos. Por outro lado, os alunos também se beneficiam do momento da discussão conjunta sobre a resposta, pois essa ocasião propicia a eles avaliarem seu próprio conhecimento sobre o conteúdo e confrontá-lo com o de seus colegas (MAZUR, 1997).

Figura 2.1 - Fluxograma da aula com a metodologia Peer Instruction.



Fonte: Adaptado de Lasry (2008).

Para que o momento da discussão entre os alunos seja mais rico, são necessários bons testes conceituais. Segundo Crouch *et al.* (2007), as discussões entre os alunos sobre os testes conceituais são a pedra angular da metodologia Peer Instruction. Para Crouch e Mazur (2001), a escolha adequada dos testes conceituais é vital para o sucesso da metodologia PI. Eles “devem ser projetados para dar aos alunos a chance de explorar conceitos importantes, em vez de testar a inteligência ou a memória, e expor dificuldades comuns com o material” (CROUCH, MAZZUR, 2001,

P. 974). Crouch *et al.* (2007, p. 9) sugere alguns critérios básicos para escrever bons testes conceituais.

Quadro 2.1 - Alguns critérios básicos para escrever bons testes conceituais.

Concentre-se em um único conceito importante, idealmente correspondente para uma dificuldade comum dos estudantes.
Exija pensamento, não apenas substituir números em equações.
Forneça respostas incorretas plausíveis.
Seja redigido de maneira inequívoca.
Não seja nem muito fácil nem muito difícil.

Fonte: Crouch *et al.* (2007, p. 9)

Em suma, o Peer Instruction traz importantes alterações na estrutura tradicional do ensino expositivo. Segundo Mazur (1997, p. 10, tradução nossa), os benefícios alcançados com a metodologia PI:

[...] exigem que o livro e as aulas desempenhem papéis diferentes daqueles que desempenham em um curso convencional. As tarefas de leitura pré-aula do livro introduzem primeiro o material. A seguir, as aulas são elaboradas sobre a leitura, abordam possíveis dificuldades, aprofundam o entendimento, constroem confiança e acrescentam exemplos adicionais. Finalmente, o livro serve como referência e guia de estudo.

2.1.2 Engajando os alunos para o estudo pré-aula

O estudo pré-aula é uma parte integrante do PI. O estudo antecipado dos conteúdos que serão discutidos em sala economiza tempo de aula nas exposições do professor. De fato, tal prática por parte dos alunos traz diversas vantagens. Ele permite ao professor uma melhor gestão do tempo de aula, a aplicação de testes conceituais e favorece discussões mais ricas entre os alunos. Crouch *et al.* (2007) relatam dados de mais de dez anos de ensino com o Peer Instruction em Harvard, onde o método foi desenvolvido. Os pesquisadores ofereciam aos alunos um conjunto de incentivos e orientações a fim de promover a leitura pré-aula. Crouch e Mazur (2001, p. 973, tradução nossa) salientam que, “para se prepararem efetivamente para uma aula PI, os alunos precisam de um incentivo para concluir a leitura e de diretrizes para pensar

sobre o conteúdo”. Na implantação original do PI, em 1991 (MAZUR, 1997), eram utilizados apenas testes de leitura (quizzes) como incentivo ao estudo pré-aula. Eles descobriram que os quizzes ajudavam a concluir a leitura do livro-texto, mas não auxiliavam os alunos a pensar mais profundamente sobre o tema de estudo. Em 1996 e 1997, os autores relatam que os testes de leitura foram substituídos por pequenos resumos sobre o que os alunos haviam estudado em casa. Descobriram, no entanto, que os alunos não sabiam escrever resumos eficazes. Mais recentemente tem sido utilizado o Just-in-Time Teaching (JiTT), na forma de um questionário sucinto, respondido antes da aula (NOVAK *et al.*, 1999). Mazur (1997) afirma que esta é uma técnica muito eficaz para garantir que os alunos realizem suas tarefas pré-aula. Segundo Mazur e Watkins (2010), o questionário JiTT com questões desafiadoras estimula o aluno a estudar antecipadamente. Crouch *et al.* (2007) apontam que os questionários JiTT são a melhor ferramenta de estímulo ao estudo pré-aula. Sobre o JiTT, Crouch e Mazur (2001, p. 973, tradução nossa) afirmam que:

O acesso às respostas dos alunos a essas perguntas permite que o professor se prepare para a aula com mais eficiência; ler e pensar nas respostas fornece ao instrutor informações sobre o que os alunos acham difícil, complementando as ideias do professor sobre qual parte do material precisa de mais ênfase na aula.

Na seção 2.3, apresentaremos resultados de um estudo recente que demonstrou a importância do estudo pré-aula para a eficácia da metodologia PI.

2.2 Resultados do PI no Brasil e no mundo

Como já relatado, existem sólidas evidências empíricas que revelam o Peer Instruction como melhor alternativa ao método tradicional de ensino, ao comparar o desempenho dos estudantes entre um método e outro. Dois artigos de revisão recentes (VICKREY *et al.*, 2017; MÜLLER *et al.*, 2017) sintetizam o conhecimento acumulado sobre o PI nas últimas décadas. Entre outros temas, ambos discutem uma série de estudos que apontam o desempenho superior dos estudantes PI em testes que visam sondar a sua compreensão conceitual e a habilidade de resolver problemas quantitativos. Os resultados mais completos sobre a temática vêm de estudos realizados na Universidade de Harvard, pelo criador da metodologia e colaboradores. Uma síntese de dez anos dessa pesquisa em duas disciplinas introdutórias de Física

é discutida por Crouch e Mazur (2001). Esses resultados são corroborados por um conjunto significativo de dados obtidos de outras fontes. Com efeito, além dos artigos publicados por outros pesquisadores (VICKEY *et al.*, 2015; MÜLLER *et al.*, 2017), há uma extensa compilação de resultados de outras instituições reunidas pelo grupo de Harvard (FAGEN, CROUCH, MAZUR, 2002).

A literatura científica revela uma grande concentração do trabalho de pesquisa sobre o Peer Instruction em dois focos – a América do Norte e o Ensino Superior. De fato, Müller *et al.* (2017) observam que mais de 58% dos setenta e dois artigos publicados entre 1991 e 2015 referem-se a estudos realizados na América do Norte. Apenas 8% (seis artigos) têm origem na América do Sul, sendo que apenas quatro tratam do ensino no Brasil (ARAUJO, MAZUR, 2013; BARROS *et al.*, 2004; MÜLLER *et al.*, 2013; OLIVEIRA, VEIT, ARAUJO, 2015). Na mesma direção, 90% das publicações endereçam o Ensino Superior, enquanto apenas seis trabalhos (8% do total) tratam do Ensino Médio. Dos quatro artigos brasileiros identificados por Müller, apenas dois (BARROS *et al.*, 2004; OLIVEIRA, VEIT, ARAUJO, 2015), além de Lopes (2016) e Neves *et al.* (2018) comparam o desempenho dos estudantes PI em avaliações com aquele obtido em condições similares por alunos que utilizaram o método tradicional. Há ainda alguns trabalhos não publicados, em teses e dissertações. O conjunto dos resultados brasileiros diverge amplamente quanto à efetividade do PI. Com essa base de dados esparsa e contraditória sobre o PI no Brasil e no Ensino Médio, pairam dúvidas razoáveis sobre a eficácia dessa metodologia no país, notadamente em escolas de nível médio. Considerando as particularidades culturais do país e da organização do seu sistema educacional, o leitor provavelmente concordará que o sucesso da metodologia em outros países e níveis de ensino não constitui evidência da sua aplicabilidade na escola brasileira.

2.3 Os Resultados do PI na Universidade Federal de Viçosa

Este trabalho é em grande medida uma continuação da pesquisa realizada por Antônio Martins Lopes (LOPES, 2016) na Universidade Federal de Viçosa. O prosseguimento se justifica pelo fato dele, em meio a descobertas relevantes, ter levantado uma questão fundamental, que não pôde ser respondida ali. Restaram dúvidas sobre qual é, separadamente, a contribuição do estudo pré-aula e das atividades em classe para o sucesso do Peer Instruction. Além de abordar esse tema,

o nosso trabalho reforça as principais conclusões desse autor, aprofundando a análise de uma base de dados mais ampla. Por essas razões, procedemos aqui uma revisão detalhada dos aspectos do trabalho desse autor que constituem o ponto de partida do nosso.

Em especial, Lopes descreveu em que condições, e em que medida, o Peer Instruction promove aprendizado superior ao do método tradicional de ensino. Para tanto, ele adotou as notas de prova, bem como os índices de aprovação na disciplina estudada, como indicadores aproximados do aprendizado do aluno. O estudo envolveu 2.371 alunos. Em cada semestre letivo, algumas turmas recebiam o ensino tradicional, enquanto outras, com professores diferentes, utilizavam a metodologia Peer Instruction. Note-se que, diferentemente do que é comum na literatura, os dois métodos didáticos – tradicional e PI – foram utilizados simultaneamente, isto é, nos mesmos semestres letivos, evitando as distorções possíveis ao se comparar o desempenho de alunos em provas, ou em épocas, diferentes. As notas e o percentual de aprovação foram analisados estatisticamente dentro de grupos de mesmo preparo acadêmico. Lopes utilizou os métodos de inferência da estatística para estabelecer quão confiantemente era possível atribuir as diferenças observadas à utilização de métodos didáticos distintos. Mais especificamente, usou-se o *teste t de Student* (LOPES, 2016) para examinar o significado estatístico da diferença observada nas médias das notas dos alunos das turmas PI e tradicional.

O experimento detalhado no trabalho de Lopes foi realizado durante sete semestres acadêmicos – de 2011/2 a 2014/2 – na disciplina Física 2 (FIS202) do Departamento de Física da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Trata-se de um curso introdutório sobre fluidos, ondas mecânicas, ondas eletromagnéticas, termodinâmica e teoria cinética (LOPES, 2016, p. 21). Esta disciplina é oferecida como obrigatória na grade curricular dos cursos de Engenharia e Ciências Exatas.

O sistema de avaliação em FIS202 era o mesmo em todas as turmas, de tal maneira que os estudantes dos métodos PI e tradicional eram submetidos às mesmas avaliações, elaboradas de maneira conjunta pelos professores da disciplina e corrigidas por eles, de maneira padronizada. Para garantir a uniformidade da correção, cada questão, de todos os alunos, era corrigida por um mesmo professor. Desse modo, todos os alunos passavam pelo mesmo sistema de avaliação e correção. As avaliações eram compostas normalmente por quatro questões –

qualitativas e principalmente de quantitativas – sobretudo abertas, e contemplavam 84% da nota total.

Nas turmas de ensino tradicional, os 16% restantes da nota eram distribuídos em três testes – cada um aplicado cerca de duas semanas antes de uma das provas. Sua finalidade era incentivar o estudo antecipado para as avaliações principais. O teste consistia em uma questão simples, sobre parte do conteúdo que seria cobrado na prova. Os testes não eram padronizados. Eles eram elaborados e corrigidos pelo professor de cada turma.

Já nas turmas PI, esses 16 pontos eram distribuídos em atividades específicas (detalhes no próximo parágrafo), cuja finalidade era preparar adequadamente os estudantes para cada aula, fomentando o estudo antecipado dos conteúdos que seriam discutidos ali. Os alunos do método tradicional não possuíam atividades que os incentivassem a estudar antes das aulas, apesar de serem alertados para a importância dessa prática. Seguem detalhes relevantes sobre a utilização dessas atividades pré-aula nas turmas PI, o contexto do estudo e a análise dos resultados.

Nas turmas PI, a metodologia Peer Instruction foi utilizada em todas as aulas. Inicialmente, ela foi implantada na forma em que foi originalmente proposta (MAZUR, 1997), como descrito na subseção 2.1.2. Em tais turmas, os alunos eram orientados a fazer o estudo antecipado do conteúdo da próxima aula. Inicialmente, o único estímulo para tal prática eram os *quizzes*, utilizados em todos os semestres da pesquisa. Os quizzes eram perguntas simples sobre o conteúdo – exigiam não mais do que empenho na leitura do livro-texto – apresentados sempre no início das aulas. Tipicamente havia dois ou três em cada aula. As notas dos alunos nos quizzes – 8% da nota na disciplina – dependiam da correção das respostas. Havia também os testes conceituais realizados durante as aulas. Nesses, a pontuação – 8% da nota na disciplina – era dada apenas pela participação do aluno.

Posteriormente, os questionários *Just-in-Time Teaching* (JiTT) (NOVAK, 1999) foram acrescentados com o intuito de potencializar o estudo pré-aula dos estudantes. O JiTT era composto de duas questões conceituais desafiadoras e discursivas sobre o material do estudo prévio e ocasionalmente de uma questão opcional perguntando sobre qual seria a parte mais complexa dele (LOPES, 2016, p. 26). O questionário cobrava um estudo mais profundo em relação aos quizzes. As respostas deviam ser construídas a partir do livro-texto, mas em geral não eram explicitamente mencionadas nele. A elaboração da resposta demandava do aluno a análise do texto,

sua síntese, ou a combinação de partes distintas dele. O prazo máximo estipulado para entrega do questionário era a noite do dia anterior a aula relacionada. Por fim, a nota dos questionários pré-aula – 6% da nota na disciplina – buscava refletir o esforço demonstrado pelo aluno no estudo do conteúdo, independentemente do acerto da sua resposta. Após a implementação do JiTT, a nota atribuída aos quizzes e aos testes conceituais passou a ser 5% da nota na disciplina. Um dos pontos centrais do trabalho de Lopes foi mostrar uma alteração significativa nos resultados obtidos – a favor do Peer Instruction – quando o JiTT foi combinado com essa metodologia ativa. Na seção 2.3.1, detalharemos esse fato.

Como mencionado, o objetivo principal do autor era comparar a efetividade da metodologia PI com o método tradicional, usando como parâmetro as notas de provas obtidas pelos estudantes na FIS202, bem como o percentual de aprovação. Entretanto, para que a comparação de eficiência entre os dois métodos didáticos suscitasse conclusões seguras, o autor classificou os estudantes em grupos de acordo com o preparo acadêmico com que chegavam à Física 2 (tabela 2.1). Segundo Lopes: “[...] só faz sentido comparar os resultados dos alunos que utilizaram metodologias diferentes, se eles têm o mesmo preparo acadêmico anterior” (LOPES, 2016, p. 38). O indicador do preparo acadêmico inicial era a nota do aluno em uma disciplina introdutória de Mecânica Newtoniana (FIS201), que é pré-requisito para a FIS202. Lopes considerou que a nota em FIS201 fosse um parâmetro confiável da proficiência em Física dos estudantes, pois, além de cobrar habilidades relevantes para a FIS202, tratava-se de um dado recente, visto que a maioria dos alunos matriculados em FIS202, normalmente cursara FIS201 no semestre anterior.

Com a finalidade de permitir a comparação dos resultados obtidos na UFV com outros alcançados em instituições onde não existe a FIS201, o autor aplicou o FCI de forma facultativa em todas as turmas de FIS202 em um período (2014/2), para 254 alunos. Isso permitiu obter a nota média no FCI em cada um dos três grupos de preparo acadêmico definidos pela nota em FIS201. A tabela 2.1 traz esses resultados.

Tabela 2.1: Definição dos grupos de preparo acadêmico bem como o número total de alunos em cada grupo. A última linha informa para cada grupo a nota média no FCI, o desvio-padrão e número de alunos que fizeram esse teste.

Indexadores	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Nota em FIS 201	60% a 65% (1.471 alunos)	66% a 75% (668 alunos)	76% a 100% (232 alunos)

FCI médio	49,7% ± 16,4 (152 alunos)	58,5% ± 17,3 (80 alunos)	78,9% ± 12,2 (22 alunos)
-----------	------------------------------	-----------------------------	-----------------------------

Fonte: LOPES (2016, p. 38)

2.3.1 Resultados

Nesta subseção relatamos e analisamos os principais resultados do trabalho de Lopes sobre o desempenho dos estudantes que utilizaram as metodologias PI e tradicional na UFV nos semestres acadêmicos de 2011/2 a 2014/2. A tabela 2.2 apresenta de maneira sucinta as condições experimentais da pesquisa (LOPES, 2016, p. 37). Durante dois semestres (2011/2 e 2013/2), como se vê, o questionário JiTT não foi utilizado, sendo o quizz o único instrumento para promover o estudo pré-aula.

Tabela 2.2: Resumo das condições do experimento em cada período. Número de turmas submetidas ao método de ensino tradicional (Trad) e ao método de ensino Peer Instruction (PI), número de professores envolvidos, número de alunos envolvidos e a utilização, ou não, do questionário pré-aula (JiTT).

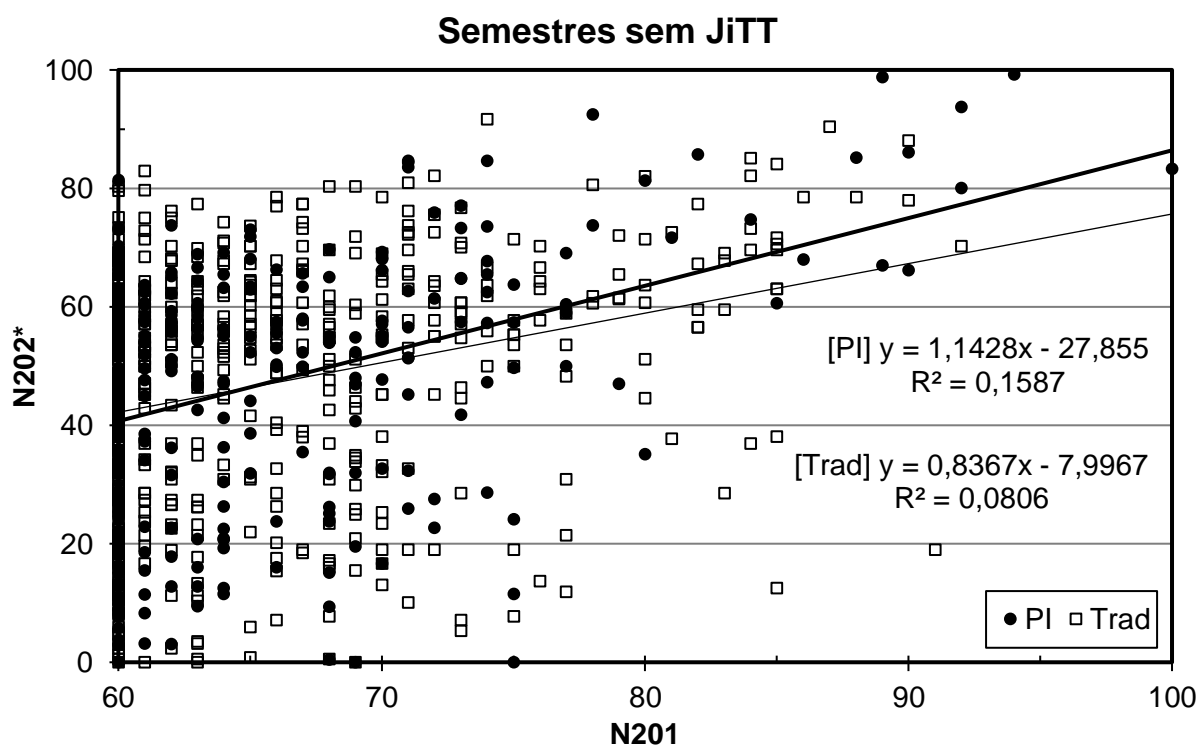
Período	Nº de turmas Trad	Nº de turmas PI	Nº de professores Trad	Nº de professores PI	Nº de alunos Trad	Nº de alunos PI	JiTT
2011/2	5	2	3	1	268	111	Não
2012/1	2	4	2	2	89	201	Sim
2012/2	3	4	2	2	121	190	Sim
2013/1	3	3	2	2	127	154	Sim
2013/2	4	3	2	2	248	178	Não
2014/1	3	4	2	2	129	228	Sim
2014/2	1	5	1	3	48	279	Sim

Fonte: LOPES (2016, p. 37)

O gráfico 2.1 resume os resultados dos dois semestres sem JiTT. Nele, cada ponto representa um aluno. A abscissa mostra a nota em FIS201 (N201), enquanto a ordenada, é o percentual dos pontos de prova obtido em FIS202 (N202). Dessa forma, os pontos mais à direita correspondem a estudantes com maior preparo acadêmico, isto é, aprovados com notas mais elevadas em FIS201. Os pontos mais acima representam alunos que obtiveram notas mais altas em FIS202. Como se poderia

esperar, as retas ajustadas para as duas metodologias têm inclinação positiva, indicando que há uma correlação positiva entre as notas na FIS201 e FIS202. As retas ajustadas são bastantes próximas, mas a diferença cresce para alunos com maior preparo acadêmico.

Gráfico 2.1 - Resultados obtidos nos semestres em que as turmas PI não utilizaram JiTT (2011/2 e 2013/2). Os alunos das turmas PI e tradicional são representados por caracteres diferentes. N201 e N202* são, respectivamente, a nota total do aluno em FIS201 e o percentual dos pontos de prova obtido por ele em FIS202. As retas ajustadas aos dados dos dois grupos e as suas equações são mostradas em cores distintas.

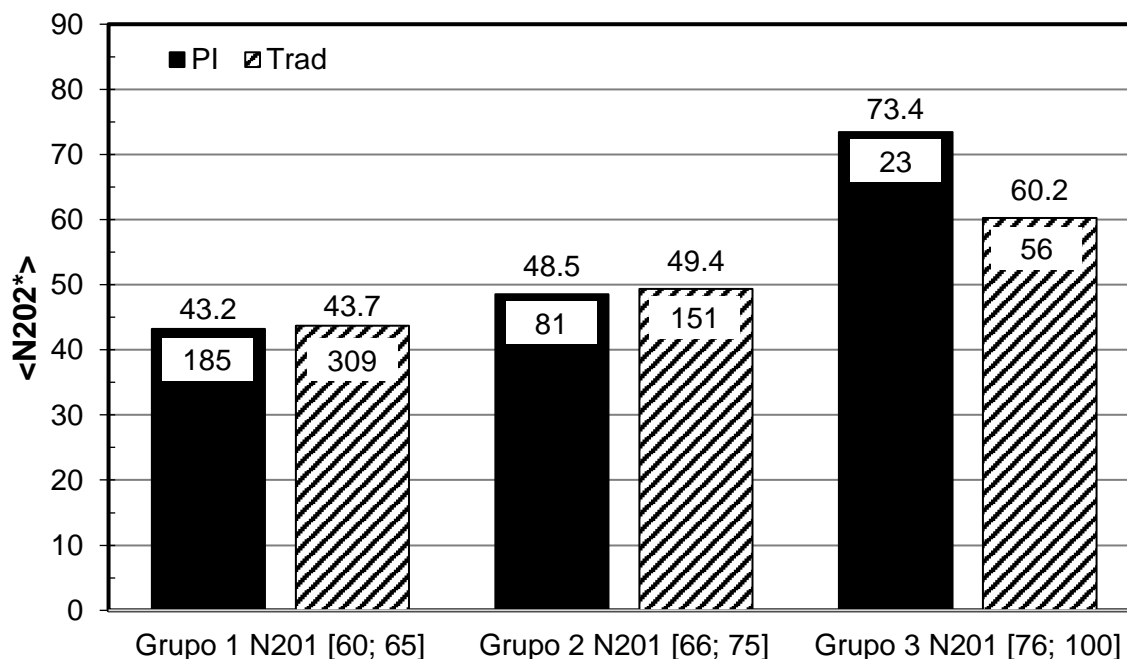


Fonte: Acervo próprio.

O gráfico seguinte resume os dados do gráfico 2.1. Nele são apresentadas as notas percentuais médias (N202) em FIS202 dos alunos Peer Instruction e tradicional para cada um dos grupos de preparo acadêmico. Dentro de cada barra encontra-se o número de alunos no grupo correspondente. É possível concluir que para os alunos do grupo 3 (grupo de melhor preparo acadêmico), houve uma diferença expressiva entre as médias – 13,2 pontos (22%) – a favor daqueles que utilizaram o método PI. “Por outro lado, nos grupos 1 e 2 as notas médias dos estudantes Peer Instruction e tradicional diferem de menos de 1 ponto” (LOPES, 2016, p. 46).

Gráfico 2.2 - Resultados dos semestres sem JiTT (2011/2 e 2013/2). Os números acima das colunas representam a nota percentual média <N202*> obtida nas provas de FIS202 para cada grupo de

preparo acadêmico e os números dentro das colunas representam a quantidade de alunos em cada um desses grupos. Valor-p: grupo 1=0,4; grupo 2 = 0,4 e grupo 3 = $2,0 \times 10^{-3}$.



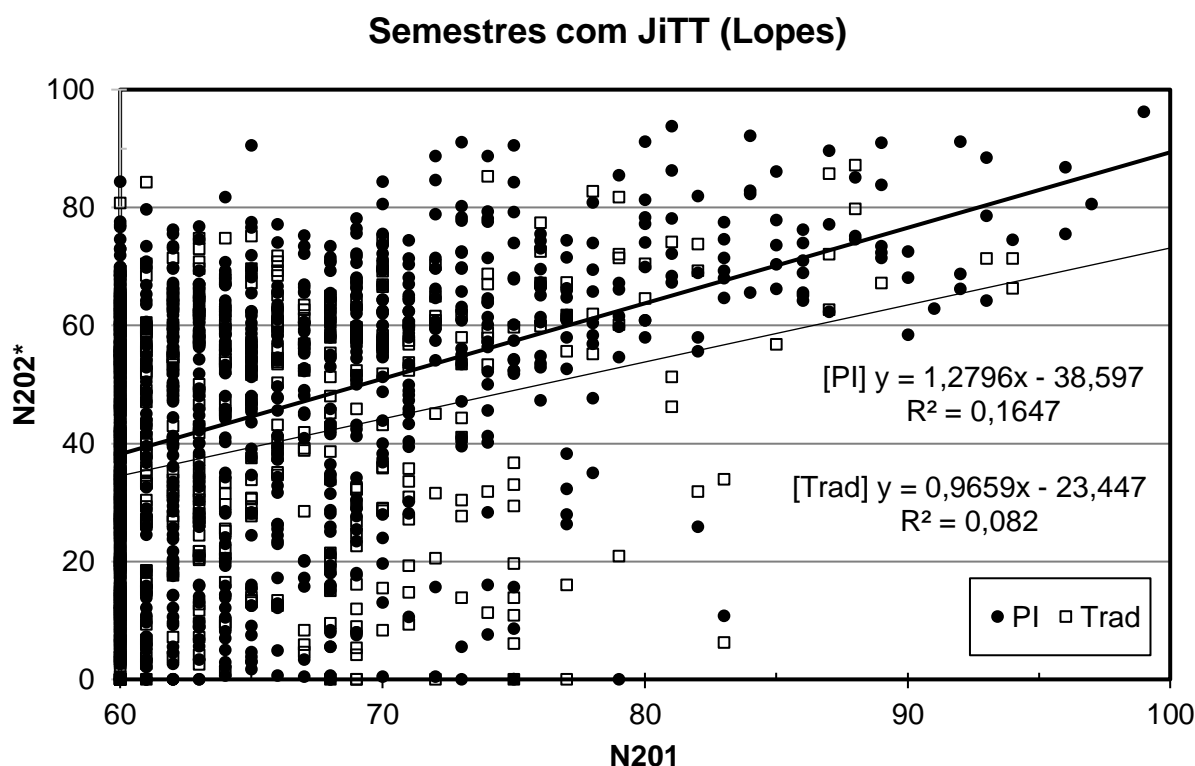
Fonte: Acervo próprio.

A fim de estabelecer objetivamente quão significativas eram as diferenças entre as médias dos alunos PI e tradicional, o autor aplicou o teste t em cada grupo de preparo acadêmico. Esse teste indica quão provável seria obter médias tão ou mais diferentes do que as observadas no experimento, por mero acaso. Para os alunos do grupo 3, o teste t apontou que a diferença de 13,2 pontos é estatisticamente significativa ($p = 2,0 \times 10^{-3} < 0,05$). Entretanto, para os alunos dos grupos 1 e 2 (89% dos estudantes daqueles períodos), o teste concluiu que não há diferença estatística significativa entre as notas médias dos alunos dos dois métodos ($p = 0,4$ nos grupos 1 e 2) (LOPES, 2016, p, 46).

A análise dos dados nos períodos sem o questionário JiTT revelou que as duas metodologias produziram resultados essencialmente equivalentes, exceto para os alunos do grupo de melhor preparo acadêmico (N201 de 76 a 100). Para tentar explicar esse resultado, o autor levantou a hipótese de que os alunos não estavam se preparando adequadamente para as aulas. O estudo pré-aula deficitário e infrequente estaria minimizando a eficácia do método Peer Instruction. Para testar essa conjectura, o autor lançou mão durante cinco períodos letivos da ferramenta mais eficiente, segundo a literatura, para maximizar o estudo pré-aula: o Just-in-Time Teaching, na forma de questionários pré-aula (NOVAK *et al.*, 1999; MAZUR e WATKINS, 2010, apud LOPES, 2016, p.15).

O gráfico seguinte apresenta os resultados dos alunos nos semestres em que o JiTT foi combinado com a metodologia PI. A amostra se refere a 1.566 alunos, dos quais 1.052 eram de turmas PI e 514 das turmas de ensino tradicional. Nota-se que a reta referente aos estudantes que utilizaram o método PI está consideravelmente acima da reta dos alunos das turmas tradicional, para toda o intervalo de preparo acadêmico. Em outras palavras, o método PI resultou, em média, em notas de provas superiores, independente do preparo acadêmico. Outrossim, o coeficiente angular da reta PI é maior que da turma tradicional, indicando que quanto maior o preparo acadêmico do estudante, mais eficaz é o método PI para o aluno.

Gráfico 2.3 - Resultados obtidos dos semestres que utilizaram o questionário pré-aula nas turmas PI. Os alunos das turmas PI e tradicional são representados por caracteres diferentes. N201 e N202* são, respectivamente, a nota total do aluno em FIS 201 e o percentual dos pontos de prova obtido por ele em FIS202. As retas ajustadas aos dados dos dois grupos e as suas equações são mostradas em cores distintas.

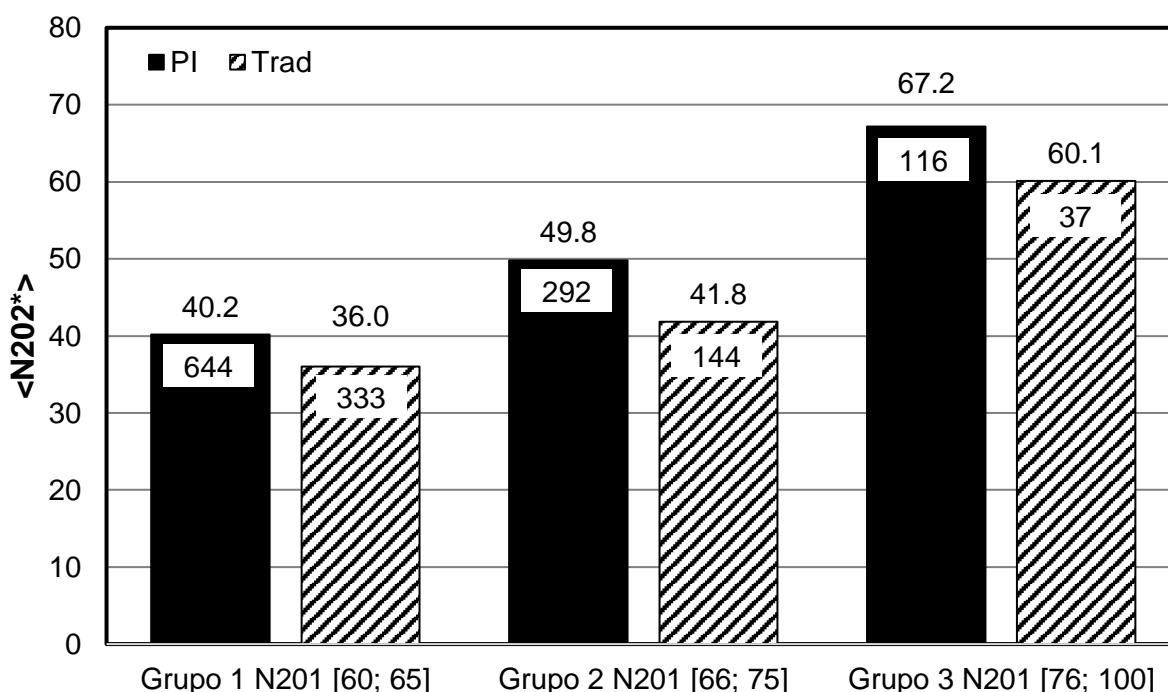


Fonte: Acervo próprio.

O gráfico 2.4 ratifica o efeito positivo do JiTT na metodologia PI. Como se pode perceber, as notas médias de provas foram maiores para os três grupos de preparo acadêmico: “No grupo 1 a diferença foi de 4,2 pontos (12%), de 8,0 pontos (19%) no grupo 2 e de 7,1 pontos no grupo 3” (12%) (LOPES, 2016, p. 48). Através do teste t, o autor pôde concluir que as diferenças observadas nas notas médias muito provavelmente não eram decorrentes de flutuações estatísticas, mas sim da utilização

de métodos didáticos diferentes. O valor-p (legenda do gráfico 2.6) corrobora a conclusão positiva a favor da metodologia PI e confirma que tais diferenças não são, provavelmente, frutos do acaso.

Gráfico 2.4 - Resultados obtidos nos sete períodos que utilizaram o questionário pré-aula nas turmas PI. Os números acima das colunas representam a nota percentual média <N202*> obtida nas provas de FIS202 para cada grupo de preparo acadêmico e os números dentro das colunas representam a quantidade de alunos em cada um desses grupos. Valor-p: grupo 1 = 2×10^{-3} ; grupo 2 = $1,32 \times 10^{-4}$ e grupo 3 = 3×10^{-2} .



Fonte: Acervo próprio.

Aprendemos com esses resultados que, sem utilizar o questionário Just-in-Time Teaching para promover adequadamente a leitura pré-aula, o Peer Instruction apenas promove resultado de prova superior à do método tradicional para aqueles alunos com melhor preparo acadêmico (N201 entre 76 e 100). Para os demais, com notas entre 60 e 75 em N201 (90% da amostra), os resultados indicaram que as duas metodologias fornecem resultados estatisticamente equivalentes. Entretanto, utilizando o JiTT como reforço para o estudo pré-aula, a metodologia PI resultou em notas expressivamente maiores (de 12 a 19 por cento) àquelas do método tradicional, em todo o intervalo de preparo acadêmico (LOPES, 2016, p. 48).

Lopes percebeu que havia uma questão em aberto aqui, pois seus resultados iam contra o que diz na literatura. Ele menciona, baseado em dados, que há indícios de que PI funciona de maneira eficaz, mesmo que os alunos não tenham um incentivo concreto ao estudo pré-aula. Em suma, seu trabalho não pôde esclarecer cabalmente

se o que ele observou – o ganho associado ao JiTT – era fruto apenas do reforço ao estudo pré-aula (efeito do JiTT), ou se também o efeito das atividades inerentes da aula PI fora aperfeiçoado por esse estudo prévio. Esse é o ponto central que será investigado neste trabalho.

2.4 Estudo Pré-Aula

Parece evidente para o professor que seus alunos se beneficiariam muito de estudar antecipadamente o conteúdo de cada aula, seja no ensino superior ou na educação básica. Com esse “estudo pré-aula”, os alunos poderiam, por exemplo, tirar as suas dúvidas na própria aula e o instrutor poderia ater-se aos pontos mais desafiadores ou importantes, abrindo espaço para discussões e prática do conteúdo. Contudo, é igualmente claro para o professor que é incomum que os estudantes sequer leiam o material do livro-texto antes da aula.

Segundo Cummings *et al.* (2002), os estudantes ainda desconhecem os benefícios da leitura pré-aula. Podolefsky e Finkelstein propõem que ainda que o estudante percebesse a importância da leitura do livro para o aprendizado, ele poderia não ver a relação entre essa prática com aquilo que é demandado nas avaliações. Assim, os alunos ocupam o seu tempo de estudo com atividades que acreditam ser mais efetivas para a obtenção de boas notas (HEINER, BANET, WIEMAN, 2014). Dessa forma, não é surpresa que entre 70% a 80% dos estudantes não leiam previamente o material das aulas (CLUMP, BAUER, BRADLEY, 2004; PODOLEFSKY, FINKELSTEIN, 2006; STELZER *et al.*, 2009). Na mesma linha, Crouch *et al.* (2007) destacam que nas disciplinas de Ciências lecionadas de forma tradicional (expositiva), os alunos usualmente só estudam o livro-texto, após o conteúdo ter sido discutido em sala de aula. Os autores acrescentam que os alunos nas disciplinas introdutórias de Ciências não sabem fazer uma leitura pré-aula eficaz do livro-texto, e que dificilmente completariam essa tarefa sem um incentivo para tal.

2.4.1 A importância do estudo prévio

Como relatado na seção anterior, acredita-se que em geral estudar o material do livro antes da aula, faz com que o aluno esteja mais bem preparado para aprender. Wieman *et al.* (2014) destacam que a partir do estudo pré-aula, os estudantes podem fazer questionamentos mais profundos durante as aulas, além de ir melhor nas

provas. Crouch *et al.* (2007) afirmam que caso a leitura pré-aula seja realizada de forma eficaz, o professor terá mais tempo de aula para se dedicar aos pontos mais importantes e difíceis do assunto, para discutir outras facetas do conteúdo, apresentar novos exemplos e ainda oferecer oportunidades de explorar conceitos importantes. Acreditamos que o estudo pré-aula é também uma prática vital para ensinar o aluno a aprender, promovendo sua autonomia. Nas palavras de Crouch *et al.*: “Aprender com a leitura é uma habilidade que vale a pena desenvolver, porque depois da faculdade, uma grande quantidade de aprendizado contínuo ocorre através da leitura” (CROUCH *et al.*, 2007, p. 14, tradução nossa).

Segundo Wieman *et al.* (2014, p. 990, tradução nossa), as tarefas de leitura pré-aula “podem ser benéficas em qualquer tipo de aula. No entanto, elas podem ser particularmente importantes nas salas de aula onde se utiliza métodos ativos de ensino”. No Peer Instruction, por exemplo, as discussões entre colegas podem se tornar mais ricas. Mazur e Watkins, (2010, p. 39) salientam que a efetividade do método PI aumenta caso os alunos tenham feito um bom estudo pré-aula (Mazur; Watkins, 2010, p. 39). Contudo, a literatura afirma que não é necessário o estudo pré-aula para que se obtenha com o método Peer Instruction resultados superiores ao do método tradicional (CROUCH *et al.* 2007, p. 15). Entretanto, um estudo mais recente do nosso grupo (LOPES, 2016) mostrou que, para muitos alunos o PI só será superior ao método tradicional se ele vier acompanhado de fortes incentivos ao estudo pré-aula. Esses assuntos serão discutidos na próxima seção.

2.4.2 Uma investigação acerca do estudo pré-aula

Uma das investigações mais recentes e completas sobre o aperfeiçoamento do estudo pré-aula foi feita por Heiner, Banet e Wieman, (2014), cujos resultados vamos rever brevemente. O estudo desses autores foi realizado em duas disciplinas de graduação – uma de Física e outra de Biologia – que utilizavam métodos ativos. Foram utilizadas duas atividades pré-aula com a finalidade de incentivar os alunos a ler o livro antes da aula e de prepará-los melhor para a aula. Essas tarefas continham orientações bem específicas: (1) a realização de leituras curtas, direcionadas claramente para aquelas seções do livro-texto que tratavam dos assuntos das aulas seguintes e (2) aplicação de um questionário on-line que deveria ser respondido antes da aula. Os questionários eram curtos, de múltipla escolha e de nível básico.

Geralmente, uma ou duas perguntas do questionário exigiam que os alunos considerassem aspectos de figuras específicas, gráficos ou equações, com as perguntas restantes sondando a compreensão da leitura (HEINER, BANET, WIEMAN, 2014, p. 990, tradução nossa). Na opinião dos autores, “esse direcionamento da tarefa e do questionário concentra a atenção do aluno em tópicos, definições e/ou exemplos específicos que serão discutidos em aula naquela semana” (HEINER, BANET, WIEMAN, 2014, p. 989, tradução nossa).

Eles investigaram, dentre outras coisas, com que frequência os alunos terminavam a leitura pré-aula. Os autores observaram que 85% dos 101 estudantes de Física e 79,3% dos 260 estudantes de Biologia, terminavam leitura das seções do livro texto de cada semana ou da maioria das semanas. Na visão desses autores, os elevados índices de conclusão da leitura pré-aula estão relacionados à natureza das atividades. Além disso, foi solicitado aos estudantes que escrevessem sobre quais eram as motivações para eles concluírem as tarefas do estudo pré-aula. Os autores consideram que o resultado mais importante da pesquisa foi descobrir que grande parte dos alunos – mais de 75% – reconheceram que a leitura pré-aula impactou positivamente no aprendizado e compreensão do conteúdo.

A pesquisa ainda aponta para uma correlação positiva, estatisticamente significativa, entre as notas nos exames finais e a frequência com que os estudantes enviaram o questionário on-line. A nota média daqueles que enviaram o questionário toda semana foi de 74 pontos na Física e 69 pontos em biologia. Já os alunos que enviaram menos da metade das atividades ou raramente enviaram, a nota média das turmas de Física e Biologia foi de 61 e 55 pontos respectivamente.

2.5 O Force Concept Inventory

Como mencionado no capítulo 1, um dos propósitos desta pesquisa é comparar a efetividade da metodologia PI com o método tradicional, usando como parâmetro as notas de provas obtidas pelos estudantes numa disciplina de Física básica. Assim como Lopes (2016), fizemos tal comparação controlando-se o preparo acadêmico com que os discentes chegavam na disciplina em estudo. Esse é um cuidado vital, pois é importante evitar a comparação das notas dos alunos com preparo acadêmico diferentes. Nós atentamos ainda para o fato de que seria útil expressar os nossos resultados numa escala “universal”, conhecida e acessível à toda a comunidade

acadêmica. O indicador utilizado para esse fim foi a nota dos alunos no teste Force Concept Inventory (FCI) (HESTENES, WELLS, SWACKHAMER, 1992).

O FCI é um teste padronizado endereçado a medir o estado de compreensão básico dos alunos em mecânica newtoniana, geralmente ministrada nos cursos introdutórios de Ciências e Física. Segundo Hestenes, Wells e Swackhamer (1992), a nota no inventário é uma ferramenta capaz de revelar problemas relacionados às concepções alternativas errôneas sobre fenômenos físicos, que os alunos concebem através do senso comum. O teste é composto de 30 perguntas de múltipla escolha que avaliam de forma qualitativa questões acerca do movimento e suas causas. Os conceitos newtonianos sondados no Inventário são: Cinemática, Primeira Lei de Newton, Segunda Lei de Newton, Terceira Lei de Newton, Princípio de superposição e Tipos de Força. Segundo os autores, todos esses conceitos são essenciais para que o aluno compreenda de forma geral o conceito newtoniano de força.

Em especial, os autores recomendam a aplicação do FCI nos seguintes contextos: (1) ser utilizado pelo professor como ferramenta capaz de diagnosticar conceitos errôneos entre os alunos; (2) como um mecanismo eficiente para avaliar a eficácia da instrução; (3) como exame de classificação para ajudar a determinar se a compreensão dos alunos da física introdutória é suficiente para um curso mais avançado (HESTENES, WELLS, SWACKHAMER, 1992, p. 13-14). Nessa linha, o FCI pode ser utilizado como indicador do preparo acadêmico dos estudantes (LOPES, 2016). Caso ele seja utilizado dessa forma, aplica-se o inventário como pré-teste no início da disciplina e como pós-teste no final.

3 METODOLOGIA

O propósito deste capítulo é apresentar os principais aspectos metodológicos adotados neste estudo. Naturalmente, a compreensão dos objetivos e resultados, envolvem procedimentos que carecem de ser explicitados. Inicialmente, apresentamos os aspectos gerais da nossa pesquisa, a instituição onde o estudo foi feito e a disciplina na qual se realizou o experimento. Em seguida, tratamos dos detalhes que envolvem a implantação das metodologias de ensino e do questionário JiTT. Discute-se ainda o sistema de avaliação da disciplina, a classificação do preparo acadêmico dos estudantes e por fim, os métodos estatísticos empregados.

Em especial, esta pesquisa, em grande parte, segue a metodologia adotada por Lopes (2016). Por essa razão, vamos apenas recapitular os procedimentos que são indispensáveis para o entendimento dos nossos resultados. Por outro lado, há procedimentos diferentes daqueles adotados por ele, que serão explicitados. Em Lopes (2016), o leitor poderá encontrar todos os detalhes que omitimos.

3.1 Aspectos gerais, a instituição e a disciplina

O estudo documentado aqui envolveu 2.603 alunos. Ele foi realizado na Universidade Federal de Viçosa (UFV), durante oito semestres acadêmicos, na disciplina Física 2 (FIS202). Trata-se de um curso introdutório sobre fluidos, ondas mecânicas, ondas eletromagnéticas, termodinâmica e teoria cinética, cujos pré-requisitos são uma disciplina de Mecânica – a Física 1 (FIS201) – e uma disciplina de Cálculo Diferencial e Integral. A ideia central do curso era priorizar a compreensão dos conceitos estudados e o seu uso na resolução de problemas concretos e novos para os alunos, não a memorização de textos ou de problemas específicos (LOPES, 2016, p.22). A maior parte dos estudantes que se matriculam na FIS202 são do ciclo básico dos cursos de Ciências Exatas e principalmente dos cursos de Engenharia (LOPES, 2016, p.23).

3.2 Os métodos de ensino

Este estudo envolveu três métodos didáticos: o Peer Instruction (PI), o método tradicional (Trad) e o método tradicional com incentivo ao estudo pré-aula (TradJiTT).

Como mencionado (seção 1.2), um dos pontos que este trabalho procura elucidar é a importância do estudo prévio nos métodos tradicional e Peer Instruction. Por essa razão, diferente de Lopes (2016), introduzimos um terceiro método didático, o método tradicional com JiTT. Além disso, excluímos de nossa base de dados os semestres em que o JiTT não foi utilizado (2011/2 e 2013/2).

Nas três metodologias, antes de cada aula, o professor orientava seus alunos a estudarem as seções do livro texto que seriam discutidas no próximo encontro. O estudo antecipado a cada aula é chamado de estudo pré-aula (LOPES, 2016, p. 25). As turmas Peer Instruction (PI) e tradicional com questionário JiTT (TradJiTT), possuíam uma ferramenta concreta para incentivá-los à prática do estudo prévio, ao passo que as turmas do método tradicional não possuíam tais incentivos, apesar de serem orientados frequentemente sobre tal importância.

O Peer Instruction foi aplicado em todas as aulas das turmas PI na sua forma original¹ (MAZUR, 1997). Como relatado acima, os estudantes das turmas PI, além de serem orientados regularmente sobre a importância do estudo prévio do assunto de cada aula, possuíam os quizzes e os questionários JiTT como ferramentas para orientá-los ao estudo pré-aula. Os quizzes e os questionários JiTT eram utilizados em todas as aulas. As respostas aos quizzes eram realizadas por meios dos clickers (LOPES, 2016, p. 35). Já as respostas dos questionários JiTT eram enviadas via internet, com prazo para submetê-las até à noite anterior de cada aula. Os detalhes e exemplos de quizzes e questionários JiTT estão na próxima seção e os critérios da sua avaliação na seção 3.3.

A dinâmica do método tradicional (Trad) era predominantemente centrada nas explicações do professor. Em geral, os alunos se portavam como expectadores. Após o contato com o conteúdo na sala de aula é que, supostamente, os estudantes iriam aprofundar e praticar seus estudos naquele conteúdo. Além disso, não havia incentivos concretos para que os estudantes fizessem o estudo pré-aula.

No método tradicional com incentivo ao estudo pré-aula (TradJiTT), não havia qualquer distinção em relação à dinâmica das aulas do método tradicional (Trad), exceto pelo fato de que os alunos dispunham dos questionários JiTT como meio de fortalecer o estudo pré-aula.

¹ Como relatado na subseção 2.1.2, na implantação original do Peer Instruction, o quizz era o único incentivo ao estudo pré-aula (MAZUR, 1997). No nosso estudo, o PI foi aplicado utilizando-se quizzes e questionários JiTT como incentivo ao estudo pré-aula. Vide tabela 3.1.

A tabela 3.1 sumariza as principais atividades referentes aos três métodos estudados em nossa pesquisa, podendo esclarecer semelhanças e diferenças entre eles.

Tabela 3.1 - Sumário das principais atividades que ocorriam antes, no início e no decorrer das aulas nos três métodos estudados nesta pesquisa.

Método	Atividades pré-aula	Atividades no início da aula	Atividades durante a aula
Peer Instruction	Questionário JiTT e quizzes	Aplicação dos quizzes	Aplicação dos testes conceituais e discussão da resposta entre os colegas
Tradicional	Não possuem	Explicação do conteúdo	Explicação do conteúdo
TradJiTT	Questionário JiTT	Explicação do conteúdo	Explicação do conteúdo

Fonte: Acervo próprio.

3.3 Os questionários pré-aula (JiTT) e quizzes

Um ponto central deste trabalho é o efeito do estudo antes da aula, promovido pelos questionários e quizzes, no desempenho dos alunos em avaliações. As próximas subseções buscam caracterizar detalhadamente essas questões, para que os resultados desta pesquisa sejam devidamente contextualizados.

3.3.1 Os quizzes

Os quizzes são exemplos de atividades pré-aula. Trata-se de questões rápidas e simples para aferir se os alunos leram o texto sugerido pelo professor. Eles são propostos na sala de aula antes da explicação do professor, por exemplo, no início da aula (MAZUR, 1997). Demandam do aluno basicamente empenho na leitura do livro-texto e não um aprendizado completo e profundo do conteúdo. Usualmente são utilizadas duas ou três questões no início de cada aula. As perguntas devem ser fáceis para quem leu o texto sugerido pelo professor, porém difíceis de responder para não o fez. Segundo Mazur (1997), é recomendável evitar problemas quantitativos.

A seguir, apresentamos alguns exemplos de quizzes que foram utilizados na nossa pesquisa.

Quiz 1:

Na experiência de difração com uma fenda de largura “a”, qual é a posição angular dos pontos com intensidade mínima?

- a) $a \sin \theta = m \left(\lambda + \frac{1}{2} \right)$, $m = 0, 1, 2, \dots$
- b) $a \sin \theta = m \left(\lambda + \frac{1}{2} \right)$, $m = 1, 2, \dots$
- c) $a \sin \theta = m \lambda$, $m = 0, 1, 2, \dots$
- d) $a \sin \theta = m \lambda$, $m = 1, 2, \dots$
- e) Nenhuma das respostas acima

Como explicado, a finalidade do quiz não é aclarar o conteúdo, mas meramente cobrar a leitura prévia indicada para uma aula. Não se trata, tampouco de incentivar a memorização de fatos aleatórios. De fato, o conhecimento abordado recebe um destaque grande na exposição do livro e é um fato significativo para a sequência do estudo. Assim, acreditamos que a questão seja trivial para o estudante que cumpriu o estudo pré-aula, porém ela não traz pista para aquele que não o fez.

Quiz 2:

Qual é a unidade de medida de entropia no Sistema Internacional de Unidades?

- a) K
- b) J
- c) J/K
- d) K/J
- e) Nenhuma dessas.

A pergunta acima foi utilizada quando o conteúdo do estudo pré-aula envolvia a definição de entropia e o cálculo da sua variação em alguns processos termodinâmicos simples. Não se espera que o aluno nesse momento tenha memorizado a resposta. Contudo, aqueles que fizeram o estudo do material indicado provavelmente poderão obtê-la tanto lembrando da definição ou de alguma das expressões para a sua variação.

3.3.2 Os questionários pré-aula

Como mencionado, até o dia anterior a cada aula, os alunos deveriam responder individualmente a um questionário sobre o conteúdo que seria abordado na aula seguinte, o questionário pré-aula (JiTT). Os questionários JiTT cobram um estudo mais profundo em relação aos quizzes. Eles são, segundo a literatura, a maneira mais eficiente de potencializar o estudo prévio dos estudantes (CROUCH *et al.* 2007). Mazur (1997) afirma que o JiTT é uma técnica muito eficaz para garantir que os alunos realizem suas tarefas pré-aula e que é complementar ao Peer Instruction. Para Mazur e Watkins (2010), o JiTT estrutura a leitura dos alunos antes da aula e fornece feedback para que o instrutor possa adaptar as perguntas da sala de aula (testes conceituais) às dificuldades dos estudantes.

Os questionários JiTT consistiam tipicamente de duas questões conceituais, abertas e desafiadoras. Usar questões desafiadoras, segundo Mazur e Watkins (2010), estimula os estudantes a estudarem antes da aula. Ocasionalmente, pode-se inserir uma questão opcional perguntando sobre qual seria a parte mais complexa da leitura do livro-texto, ou quais conceitos ainda não estão claros (MAZUR E WATKINS, 2010, p. 42). Esse último procedimento pode ser valioso para que o instrutor obtenha retorno sobre o nível de compreensão e as dificuldades dos alunos com o material e assim, preparar melhor a aula seguinte. O estudante era informado de que o material do livro-texto, cujo estudo fora indicado, era suficiente para responder ao questionário. Entretanto, as respostas não se encontravam explicitamente no texto - elas exigiam do aluno leitura, releitura e uma análise profunda do conteúdo. Frequentemente o estudante tinha que construir a sua resposta combinando partes diversas do texto.

Evidentemente não seria razoável atribuir nota a esse aprendizado profundo, antes do tema ser discutido em sala de aula. Dessa forma, era explicado aos estudantes que a atribuição de notas aos questionários se basearia no esforço do deles e não na correção criteriosa da sua resposta. Naturalmente a realização de uma tarefa individual, com nota, fora da sala de aula, também inspira cuidados. Esses pontos serão discutidos na seção 3.4 (“Sistema de avaliação”).

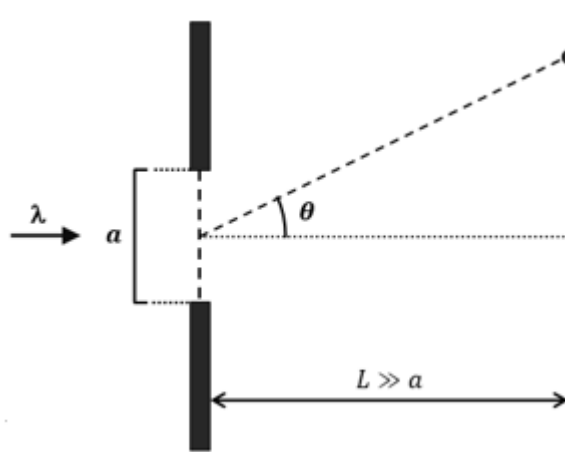
Provavelmente a discussão que se segue de alguns exemplos de questionários pré-aula dirão mais sobre a sua natureza que as descrições anteriores.

3.3.2.1 Exemplos de questionários JiTT

As duas questões que se seguem foram, de fato, utilizadas na Física 2 pelo orientador deste trabalho. No momento da sua utilização a disciplina estava na parte de óptica física. Os alunos haviam concluído o capítulo de interferência e iniciavam o de difração. O material que deveria ser estudado previamente para a primeira aula sobre difração começava da maneira padrão, mencionando observações experimentais que exemplificam o fenômeno, confrontando-as com os resultados esperados a partir da óptica geométrica. Adiantava-se, então, que seria mostrado que a difração poderia ser compreendida como a superposição (interferência) das ondas eletromagnéticas (ondas secundárias de Huygens) provenientes de muitas fontes luminosas. Em seguida, era apresentada a distribuição de luz com faixas claras e escuras, produzida em anteparo diante de uma estreita fenda simples. Por fim, apresentava-se uma dedução da posição angular do centro das faixas escuras, isso é, dos pontos onde a intensidade de luz é nula. Esse argumento é o tema das duas questões que se seguem. Ele foi escolhido para o questionário pré-aula, por não ser bem-compreendido pela maioria dos alunos, e por tratar de pontos importantes para a sequência do capítulo.

A figura abaixo traz o diagrama tradicional de uma fenda simples com largura “ a ”, iluminada coerentemente por luz com comprimento de onda λ .

Figura 3.1 - Diagrama de uma fenda simples com largura “ a ”, iluminada por luz de comprimento de onda λ . O ponto destacado no anteparo de observação tem posição angular θ .



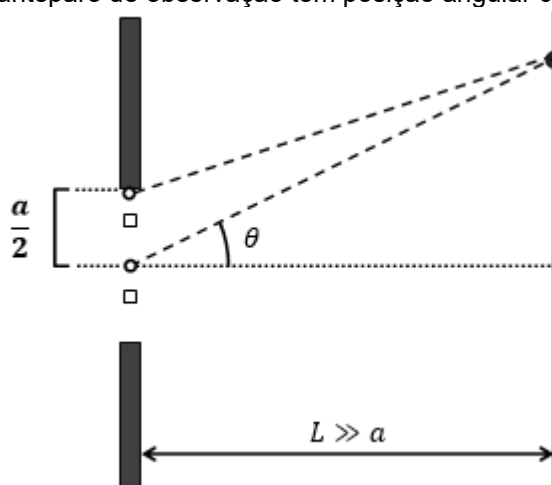
Fonte: Acervo próprio.

A dedução supracitada busca obter a posição angular (θ na figura) dos pontos com intensidade mínima, a saber: $a \sin\theta = m \lambda$, $m = 1, 2, 3, \dots$. O argumento aparece no tratamento da difração em essencialmente todos os livros introdutórios de Física de nível universitário. A ideia fundamental é determinar para que pontos do anteparo,

isso é, para que valores de θ , a luz proveniente das fontes pontuais que compõem a fenda (fontes secundárias de Huygens) se destroem mutuamente por interferência.

Seguindo a explanação típica dos livros-texto, consideremos a fenda dividida em duas partes, com comprimento $a/2$, conforme mostra a figura abaixo. Os pequenos círculos no topo e no centro da fenda representam fontes pontuais de luz. Cada uma emite luz para todos os pontos do anteparo, inclusive para o ponto destacado na figura, localizado pelo ângulo θ . As linhas tracejadas representam o caminho dos raios de luz entre as fontes e esse ponto.

Figura 3.2 - Diagrama de uma fenda simples com largura "a", dividida em duas partes, com comprimento $a/2$. O ponto destacado no anteparo de observação tem posição angular θ .



Fonte: Acervo próprio.

Tratando, por ora, apenas dessas duas fontes, estamos diante de uma situação idêntica à do experimento de Young, estudado anteriormente. Com base naquele estudo, e lembrando que a separação entre essas fontes, $a/2$, é muito maior que a distância entre a fenda e o anteparo, é fácil ver que a diferença caminho entre os raios mostrados é dada por

$$\Delta C = \frac{a}{2} \text{sen}\theta \quad (\text{Eq. 3.1})$$

Naturalmente essa diferença de caminho depende da posição do ponto no anteparo. Como na experiência de Young, nos pontos para os quais a diferença de caminho é igual a um número semi-inteiro de comprimentos de onda da luz, teremos interferência destrutiva da luz das duas fontes consideradas. Em particular, teremos a interferência destrutiva no ponto do anteparo para o qual a diferença de caminho

corresponde a meio comprimento de onda. Usando a expressão anterior para ΔC , a posição angular desse ponto pode ser obtida pela seguinte equação:

$$\frac{a}{2} \operatorname{sen}\theta = \frac{\lambda}{2} \rightarrow a \operatorname{sen}\theta = \lambda \quad (\text{Eq. 3.2})$$

É preciso considerar as outras fontes de luz na fenda. Consideremos uma na metade superior da fenda, situada a uma certa distância do topo da fenda e uma outra fonte, à mesma distância abaixo do centro da fenda. Essas duas fontes pontuais estão representadas na figura anterior por pequenos quadrados. Como a distância entre elas é também de $a/2$, a diferença de caminho percorrido pela luz que vai de uma e outra dessas fontes até o ponto destacado no anteparo é dada pela equação 6.1. Assim, naquele ponto (posição angular dada pela equação 6.1) onde a luz das fontes representadas por círculos se cancela por interferência, teremos também a destruição mútua da luz emitida pelas fontes representadas pelos quadrados. Em suma, nesse ponto do anteparo, a luz proveniente de uma fonte puntual qualquer, situada na metade superior da fenda, será destruída pela luz advinda de uma outra fonte na parte inferior da fenda. Dessa forma, toda a luz que chega ao ponto, cuja posição angular é dada pela equação 6.2, é destruída por interferência, e, assim, a intensidade luminosa ali é nula – trata-se de um mínimo de difração.

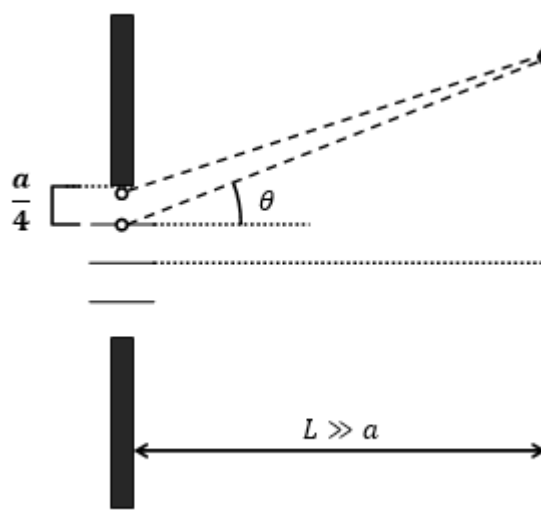
Tendo encontrado a posição angular de um dos mínimos do padrão de difração da fenda, vamos agora considerá-la dividida em quatro partes iguais, como indicado na figura 3.3. Da discussão anterior, sabe-se que a diferença de caminho percorrido pelos raios de luz vindos das duas fontes indicadas por círculo na figura é

$$\Delta C = \frac{a}{2} \operatorname{sen}\theta \quad (\text{Eq. 3.3})$$

Num ponto do anteparo onde essa diferença de caminho é de meio comprimento onda, teremos interferência destrutiva dessa luz. A posição angular do ponto em questão é dada por

$$a \operatorname{sen}\theta = 2\lambda \quad (\text{Eq. 3.4})$$

Figura 3.3 - Diagrama de uma fenda simples com largura “a”, dividida em quatro partes iguais, com comprimento $a/4$. O ponto destacado no anteparo observação tem posição angular θ .



Fonte: Acervo próprio.

Da mesma forma, cada fonte puntual no quarto superior da fenda tem uma fonte no quarto imediatamente abaixo tal que a luz dessas fontes se cancela no ponto do anteparo cuja posição é dada pela equação 6.3. Seguindo o argumento, o leitor poderá mostrar que cada fonte da fenda tem a sua luz destruída pela luz proveniente de uma outra fonte. Conseqüentemente, o ponto dado pela equação 3.3 é um mínimo de difração.

Dividindo-se a fenda sucessivamente em 6, 8, 10 ... partes, o argumento acima nos conduzirá a outros mínimos. A posição deles e dos dois mínimos apontados antes é sintetizada pela seguinte expressão.

$$a \sin \theta = m \lambda \quad , \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (\text{Eq. 3.5})$$

Esse resultado está em acordo com as conclusões experimentais.

Questão 1:

Adapte o argumento do nosso livro-texto para encontrar a posição angular dos MÁXIMOS de difração de uma fenda simples. Você chegará a uma resposta que é obviamente errada. a) Qual é essa resposta (basta mencionar)? b) Por que o argumento que funcionou tão bem para obtenção dos mínimos não se aplica para obter a posição dos máximos? Em outras palavras, o que há de errado na adaptação do argumento para obter a posição dos máximos?

O aluno que entendeu o raciocínio apresentado no texto, não terá dificuldade de adaptá-lo para encontrar a posição dos máximos de difração. Ele irá procurar os pontos do anteparo nos quais a interferência da luz provenientes das fontes destacadas é CONSTRUTIVA. Por exemplo, dividindo a fonte em duas partes, como na figura 6.2, ele poderá calcular para que valores de θ a diferença entre os caminhos tracejados é igual um comprimento de onda. Dessa forma, será obtida a posição de um ponto no qual a luz proveniente de cada fonte da fenda será reforçada por interferência construtiva. Levando a ideia até o final, conclui-se que a posição de um máximo é dada pela equação $a \sin\theta = 2\lambda$. Dividindo a fenda em 2, 4, 6, ... partes, obtém outros máximos. Em resumo, a adaptação do argumento do livro nos leva a concluir que os máximos de difração estão nos pontos dados por

$$a \sin\theta = m \lambda \quad , \quad m = 2, 4, 6, \dots \quad (\text{Eq. 3.5})$$

Obviamente tal resposta está errada! Conforme a equação 6.5, esses são pontos de mínimo!

A segunda parte da pergunta solicita que se explique o que há de errado nessa adaptação. É importante pontuar que se trata de uma questão difícil e sutil, mesmo para professores. De fato, apenas 1% dos alunos responde corretamente. Contudo, isso não tira o valor da questão pré-aula. A questão, por envolver um certo enigma, leva o aluno interessado a um reexame crítico de uma parte do texto que, como se mencionou antes, que envolve várias “ferramentas” importantes para o estudo de todo de interferência e difração. Recordemos que estimular esse “corpo-a-corpo” com o texto é o objetivo principal do questionário pré-aula, independente do aluno ter sido capaz de respondê-lo corretamente. Em seguida discutimos questões com menor dificuldade, porém elaboradas o mesmo propósito.

Afinal, por que o argumento não funciona para encontrar a posição dos máximos? Talvez o leitor queira se divertir com a questão antes de esboçarmos a resposta. Sinteticamente, a adaptação do raciocínio descrita acima, de fato, nos leva a pontos do anteparo nos quais cada fonte puntual sobre a fenda tem uma “irmã gêmea” cuja luz interfere construtivamente com a sua. Em outras palavras, as fontes podem ser divididas em pares que se reforçam nos pontos mencionados. Contudo, um par que se reforça pode interferir destrutivamente com um outro par que também

se reforça. Dito de outra forma, um par de gêmeos que se ajuda, pode ser atrapalhado por outro par que também se ajuda. O argumento funciona para mínimos, por que se a luz das fontes de cada par se destruírem num ponto, não restará luz alguma ali, independente da interferência entre pares diferentes ser construtiva ou destrutiva.

Questão 2:

No método utilizado no livro-texto para determinar a posição dos mínimos de difração de uma fenda, ela é dividida em 2, 4, 6, ... partes. Por que a fenda não é dividida em 3 partes? Em outras palavras, por que o método não funciona dividindo-se a fenda em 3 partes? Para responder, você precisará entender a lógica do método.

A questão 2 é mais simples que a anterior. Entretanto, a maioria dos alunos responde de forma incorreta, porque não compreende a essência do argumento do livro – em certos pontos do anteparo, a luz vinda de cada uma das fontes interfere destrutivamente com a de uma outra fonte.

Questão 3:

Na difração de fenda simples discutida no livro (fenda estreita, iluminada coerentemente) é possível que não exista no anteparo de observação nenhum ponto totalmente escuro, isso é, com intensidade nula. Explique em que condições isso acontece? Dica: Examine a equação para a posição dos mínimos de difração.

Nesse caso, trata-se de uma questão bem mais simples que as anteriores. Espera-se que o aluno tenha na sua leitura se atentado para os fatos experimentais discutidos no texto. Menciona-se ali que tornando a fenda mais estreita e mantendo-se o comprimento de onda da luz incidente, os mínimos de difração, se deslocam para pontos mais longe do centro do anteparo, ou seja, o θ correspondente a eles aumenta. O aluno deveria perguntar se para uma fenda suficientemente estreita o primeiro mínimo poderia chegar, ao infinito ($\theta = 90^\circ$). Examinando a equação que fornece os mínimos ($\text{sen}\theta = \lambda/a$), é fácil ver que teremos essa situação quando a largura da fenda é igual ao comprimento de onda. Conclusão: para uma fenda ainda mais estreita, não se formam mínimos no anteparo. Essa informação é mencionada no livro-texto, porém não no material a ser estudado quando essa questão foi proposta. Novamente, a resposta demanda mais do que uma leitura rápida.

3.4 O sistema de avaliação da disciplina

O sistema de avaliação adotado na FIS202 era o mesmo em todas as turmas, de tal maneira que os estudantes dos métodos Peer Instruction, tradicional e tradicional com JiTT eram submetidos às mesmas avaliações, elaboradas de maneira conjunta pelos professores da disciplina e corrigidas por eles, de maneira padronizada. Para garantir a uniformidade da correção, cada questão, de todos os alunos, era corrigida por um mesmo professor. Desse modo, todos os alunos passavam pelo mesmo sistema de avaliação e correção. As avaliações eram compostas normalmente por quatro questões – qualitativas e principalmente de quantitativas – sobretudo abertas, e contemplavam 84% da nota total.

Nas turmas de ensino tradicional, os 16% restantes da nota eram distribuídos em três testes – cada um aplicado cerca de duas semanas antes de uma das provas. Sua finalidade era incentivar o estudo antecipado para as avaliações principais. O teste consistia em uma questão simples, sobre parte do conteúdo que seria cobrado na prova. Os testes não eram padronizados e eram elaborados e corrigidos pelo professor de cada turma. Já nas turmas PI, esses 16 pontos eram distribuídos entre quizzes, testes conceituais e questionários JiTT. A nota dos estudantes nos quizzes – 5% da nota na disciplina – dependiam do número de acertos. Já a nota nos testes conceituais realizados durante as aulas – 5% da nota na disciplina – era dada apenas pela participação do aluno. Por fim, a nota dos questionários JiTT – 6% da nota na disciplina. O critério de correção dos questionários (informado aos alunos) baseava-se no esforço do estudante, não na correção da sua resposta. O aluno deveria demonstrar nas respostas que havia estudado com empenho o material do livro-texto. Se assim o fizesse, mesmo errando, ele poderia obter a nota total. Simetricamente, uma resposta correta, porém, sem justificativas que comprovassem o estudo do livro, receberia a nota zero. As “colas” eram desencorajadas por uma “política de zero retroativo” – a punição mínima para uma resposta copiada (da internet, do colega etc.) era uma nota zero naquele questionário e também nos outros que o antecederam. Esses 16 pontos nas turmas do ensino tradicional com JiTT (TradJiTT) eram divididos igualmente entre testes pré-prova e questionários JiTT, seguindo os mesmos critérios relatados acima. A tabela 3.2 resume essa distribuição de pontos entre as turmas.

Método	84 % dos pontos	16 % dos pontos
Peer Instruction	3 provas de 28 pontos	Testes conceituais (5 pontos); quizzes (5 pontos); JiTT (6 pontos)
Tradicional	3 provas de 28 pontos	Três testes pré-prova, valendo 5, 5 e 6 pontos
Tradicional com JiTT	3 provas de 28 pontos	8 pontos de teste pré-prova e 8 pontos de JiTT

Fonte: Acervo próprio.

3.5 Classificação do preparo acadêmico

Os alunos foram classificados de acordo com o preparo acadêmico com que chegavam na disciplina em estudo. Esse é um procedimento importante, pois não faz sentido comparar o rendimento de estudantes que utilizaram metodologias distintas, se eles têm inicialmente, níveis de conhecimento muito diferentes. Esse cuidado é vital, pois as turmas da FIS202 eram bastante heterogêneas. Nós utilizamos dois parâmetros para classificar o preparo acadêmico com que os estudantes chegavam na Física 2 (FIS202); a nota na Física 1 (N201) e a nota percentual no teste FCI (NFCI %).

Como relatado na seção 2.3, a nota em FIS201 é um bom parâmetro de medida do preparo acadêmico, pois além de ser pré-requisito para a FIS202, ela traduz o rendimento do aluno ao longo de um semestre por meio de um sistema uniformizado de correção das provas. Os grupos de mesmo preparo acadêmico, definidos segundo a nota na FIS201, aparecem na tabela 3.3. Os intervalos diferem daqueles usados por Lopes (2016) apenas no fechamento. Adotamos tal procedimento para que o número de alunos no grupo 3 não ficasse muito reduzido em relação aos outros dois.

Tabela 3.3 - A 2ª linha mostra a definição dos grupos de preparo acadêmico e traz entre parênteses o número total de alunos em cada grupo.

Indexador	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Nota em FIS 201	[60; 65) (1.351 alunos)	[65; 75) (672 alunos)	[75; 100] (234 alunos)

Fonte: Acervo próprio.

Entretanto, utilizar apenas a nota na disciplina FIS201 (N201) como indicador do preparo acadêmico traz uma restrição importante aos nossos resultados, pois tal disciplina existe apenas na UFV. De fato, seria importante expressar os nossos resultados em uma escala “universal”, conhecida e acessível à toda a comunidade acadêmica (seção 2.5).

Nós aplicamos o teste FCI em 2015/1, seguindo rigorosamente os mesmos procedimentos adotados por Lopes (2016, p. 32) no semestre 2014/2. Ele foi aplicado em todas as turmas da FIS202, de forma opcional, em condições controladas. Semelhante a uma prova, deveria ser realizado numa única sessão, na própria sala de aula, com supervisão do professor, sem qualquer tipo de consulta e com duração dentro do padrão (40 minutos) (HAN *et al.*, 2015). Associamos pontos extras na disciplina proporcionais à nota obtida no FCI com a intenção de motivar os alunos a realizarem o teste com seriedade.

Cabe aqui ressaltar que não tínhamos a nota no FCI de todos os alunos, mas como se verá nos resultados, há uma maneira coerente de inferir a nota no teste FCI a partir da nota dos estudantes na Física 1 (N201).

3.6 Métodos estatísticos

Este trabalho envolve estabelecer se, metodologias didáticas distintas, usadas em diferentes grupos de alunos com o mesmo perfil acadêmico, promovem na média notas diferentes. Isso requer mais do que meramente comparar as médias das notas de cada grupo. É fundamental estabelecer se a diferença observada é “estatisticamente significativa”, ou não. Em outros termos, é importante investigar se a diferença observada entre as notas médias é, provavelmente, um efeito das metodologias, ou fruto do acaso. Vários outros problemas têm essa mesma estrutura fundamental. Como exemplo, considere-se o hipotético teste clínico de um novo medicamento, que acreditasse diminuir o nível de colesterol no sangue. Nesse teste, a algumas pessoas se administraria o remédio e um grupo com perfil semelhante (nível médio de colesterol, idade, peso, etc.) receberia um placebo inócuo. Mais tarde, mede-se o nível de colesterol dos dois grupos. Dificilmente eles serão idênticos. A questão relevante é: a diferença se deve ao medicamento, ou é uma flutuação devida a outros fatores? Mais precisamente, quão confiantemente podemos afirmar que a diferença observada se deve ao remédio? Esse tipo de problema faz parte do campo

da “inferência estatística” (LARSON, FARBER, 2010) e uma ferramenta para endereçá-lo são os “testes de hipóteses”. Em linhas gerais, essa abordagem aplicada ao nosso problema é a que se segue.

Primeiramente consideramos o que se denomina a “hipótese nula”, que contraria a expectativa do pesquisador. Ela seria: para cada grupo de preparo acadêmico, a nota média nas provas de FIS202 obtida pelos alunos do PI é igual à nota média dos alunos do método tradicional. A hipótese se aplicaria à população de todos os alunos que fizeram, ou viessem futuramente a cursar a disciplina, nos moldes explicados neste trabalho. Contudo, os dados levantados nesta pesquisa referem-se a um subconjunto dessa população – a nossa “amostra”. Mesmo que a hipótese nula seja verdadeira, é possível que numa amostra as notas médias dos alunos PI e tradicionais sejam diferentes.

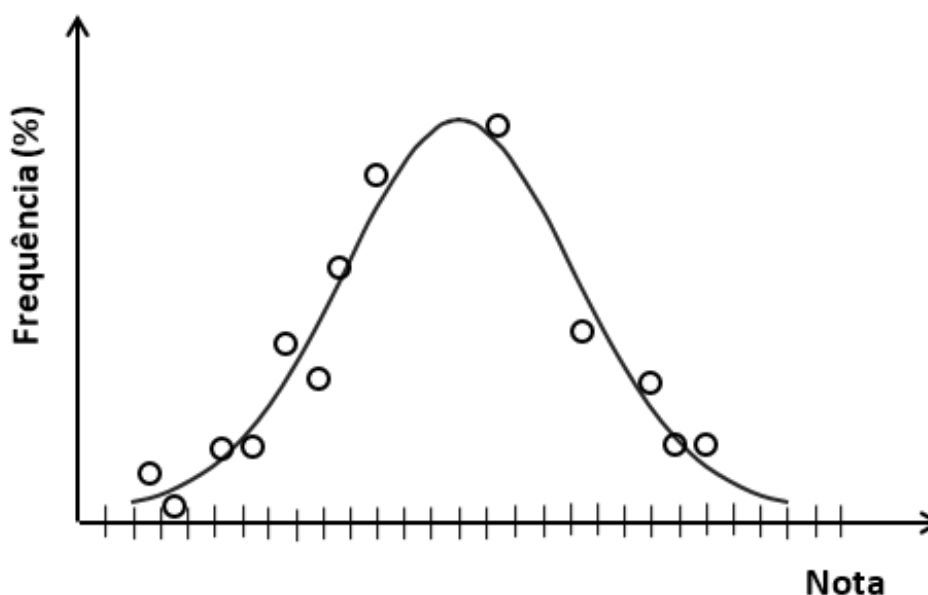
Os testes de hipóteses procuram estabelecer, com base nos dados amostrais, se a hipótese nula deve, ou não, ser rejeitada. Isso é feito calculando a probabilidade de se obter notas médias tão, ou mais diferentes, que aquelas dos grupos tradicional e PI, com grupos selecionados aleatoriamente da população, assumindo que a hipótese nula é verdadeira. Essa probabilidade é denominada “valor-p”. De forma mais compacta e geral, o valor-p é a probabilidade, assumindo que a hipótese nula seja correta, de se obter numa amostra da população, um resultado tão, ou mais extremo, que aquele obtido experimentalmente. Se o resultado experimental é altamente improvável com a hipótese, é provável que ela seja errada e assim deva ser rejeitada. Nesse caso, adotamos a chamada “hipótese alternativa”, no caso em questão – a nota média dos alunos que utilizam a metodologia X é maior que a dos que usam o método Y.

Em termos práticos (TRIOLA, 2013, p. 325, 329 e MONTGOMERY e RUNGER, 2009, p.182), a hipótese nula é rejeitada, se o valor-p for menor que um valor crítico estabelecido pelo pesquisador, conhecido como “nível de significância”, ou simplesmente “significância”, designado pelo símbolo α . Tradicionalmente, a grande maioria dos estudos adota $\alpha = 0,05$. Isso significa que a hipótese nula será rejeitada, se, sendo ela correta, a chance de se obter uma diferença entre as notas médias igual ou maior que aquela observada no experimento seria menor ou igual a 5%.

Foge do escopo desta dissertação explicar os detalhes técnicos relacionados com o cálculo do valor-p. Contudo, convém mencionar as principais ideias envolvidas. Elas permitem compreender as diferenças e os domínios de aplicação dos diferentes

testes de hipóteses existentes. Tratemos desse tópico considerando o histograma que se segue.

Gráfico 3.1 - Histograma de uma distribuição hipotética das notas de prova de um conjunto de alunos.



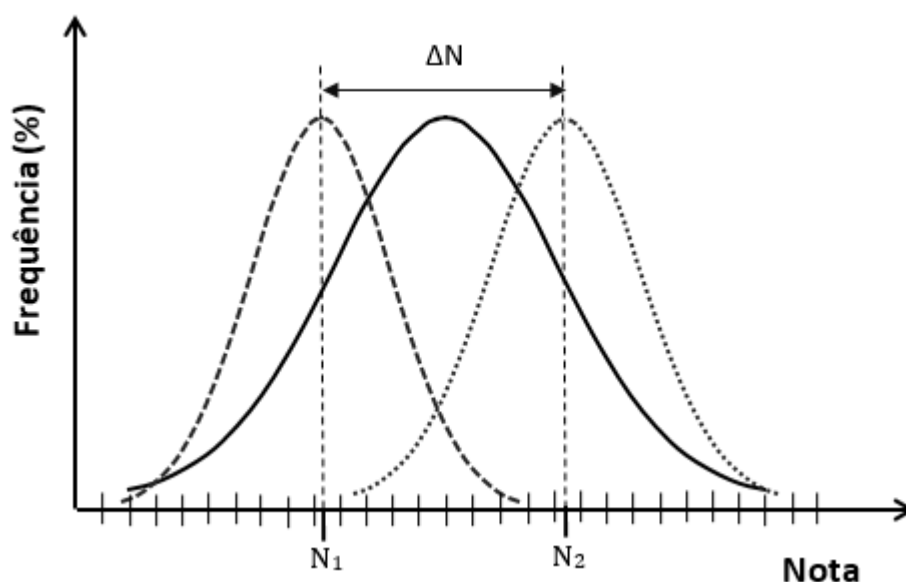
Fonte: Acervo próprio.

Ele mostra a distribuição (fictícia) das notas de prova de um conjunto de alunos. A ordenada de cada ponto (frequência) representa o percentual do número total de estudantes cujas notas encontram-se no pequeno intervalo indicado no eixo horizontal, abaixo do ponto. A curva ajustada é uma distribuição sugerida pelos dados – ela poderia ser, por exemplo, uma distribuição normal (gaussiana). Suporemos que alguns alunos utilizaram uma metodologia didática, digamos o PI, enquanto outros usaram o método tradicional. No entanto, o histograma trata do conjunto completo dos alunos, sem distinguir esses dois grupos.

Suponhamos que os dois métodos didáticos tenham, na média, o mesmo efeito sobre as notas dos estudantes. Nesse caso, é razoável assumir que a distribuição acima informa a probabilidade da nota de alunos tomados aleatoriamente do universo (população) de todos os alunos com perfil semelhante terem notas em cada um dos intervalos considerados. Se sortearmos dois grupos de estudantes dessa população é possível obtermos distribuições diferentes, como se mostra no gráfico abaixo. As notas médias desses grupos podem ser diferentes. A probabilidade de obtermos no sorteio uma diferença grande é pequena. Realizando muitos sorteios (ou por meio de cálculo) podemos determinar a probabilidade de que a diferença das notas média dos grupos em um desses sorteios seja maior ou igual à diferença observada no

experimento com os grupos PI e tradicional. Esse é o valor-p – a probabilidade de, sendo a hipótese nula verdadeira, obter uma diferença nas notas médias tão grande, ou maior, que a obtida no experimento. Vale enfatizar que esse parâmetro não é a probabilidade de a hipótese nula ser verdadeira.

Gráfico 3.2 - Histograma de uma distribuição hipotética das notas de prova de todos os alunos (curva contínua) das amostras PI e tradicional e de grupos tomados aleatoriamente da população de estudantes (curvas tracejadas). N_1 e N_2 são as notas média dessas distribuições e ΔN é diferença entre elas.



Fonte: Acervo próprio.

A diferença essencial entre alguns dos testes de hipótese é a distribuição utilizada. O teste F e o teste t empregados neste trabalho usam as distribuições com esses nomes: distribuição F e t (de “student”), respectivamente. Cabe dizer que a sua utilização está bem sedimentada no meio técnico e científico. Esses e outros testes são disponibilizados em diferentes pacotes estatísticos. Neste trabalho utilizamos o programa “Action” (Equipe Estatcamp, 2014) para realizar as análises estatísticas de forma simples e integrada ao Excel.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Concepção e condições experimentais

Como foi explicado no capítulo 1, os propósitos maiores deste trabalho são comparar a efetividade do Peer Instruction com a do método expositivo tradicional de ensino e estudar a importância do estudo pré-aula (por parte dos alunos) nas duas metodologias. A figura de mérito escolhida para isso são as notas de prova obtidas pelos estudantes. Não obstante as sutilezas e a subjetividade envolvidas, acreditamos que esse parâmetro seja um bom indicador, ainda que incompleto e imperfeito, do aprendizado do aluno. O ponto central da nossa análise dos resultados é fazer a comparação das notas entre alunos que iniciaram a disciplina com preparo acadêmico similar (seção 3.5).

O “laboratório” deste estudo foi a disciplina “Física 2” (FIS202) da Universidade Federal de Viçosa (seção 3.1), durante oito semestres acadêmicos. Foram utilizados três métodos didáticos – Peer Instruction (PI), tradicional (Trad) e tradicional com JiTT (TradJiTT), como sintetizado na tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Sumário das condições experimentais de cada período. Número de turmas, de professores, bem como, de alunos, por tipo de tratamento.

Período	2012/1	2012/2	2013/1	2014/1	2014/2	2015/1	2015/2	2016/1
nº de turmas PI	4	4	3	4	5	2	2	2
nº de turmas Trad	2	3	3	3	1	2	2	2
nº de turmas TradJiTT	0	0	0	0	0	2	2	2
nº de alunos PI	201	190	154	228	279	114	111	120
nº de alunos Trad	89	121	127	129	48	116	113	117
nº de alunos TradJiTT	0	0	0	0	0	112	114	120
nº de professores PI	2	2	2	2	3	2	2	1

nº de professores Trad	2	2	2	2	1	2	2	2
nº de professores TradJiTT	0	0	0	0	0	2	2	1

Fonte: Acervo próprio.

O capítulo 3 (seções 3.2 a 3.4) informa detalhadamente as particularidades da implantação de cada metodologia. Convém aqui enfatizar alguns pontos. As turmas Peer Instruction usaram a variante mais efetiva, estabelecida por Lopes (2016) – aquela que emprega os questionários pré-aula JiTT e os quizzes (seção 3.3), como estímulo ao estudo pré-aula por parte dos estudantes. As turmas tradicionais (Trad) não tinham incentivo ao estudo pré-aula, além da recomendação dada pelo professor. Nos três últimos semestres do estudo, testou-se o terceiro método (TradJiTT). Trata-se do método tradicional, conjugado aos questionários pré-aula JiTT. A seção 4.3 compara os resultados das duas primeiras metodologias, enquanto a 4.4 analisa as três.

4.2 Classificação do preparo acadêmico com o FCI

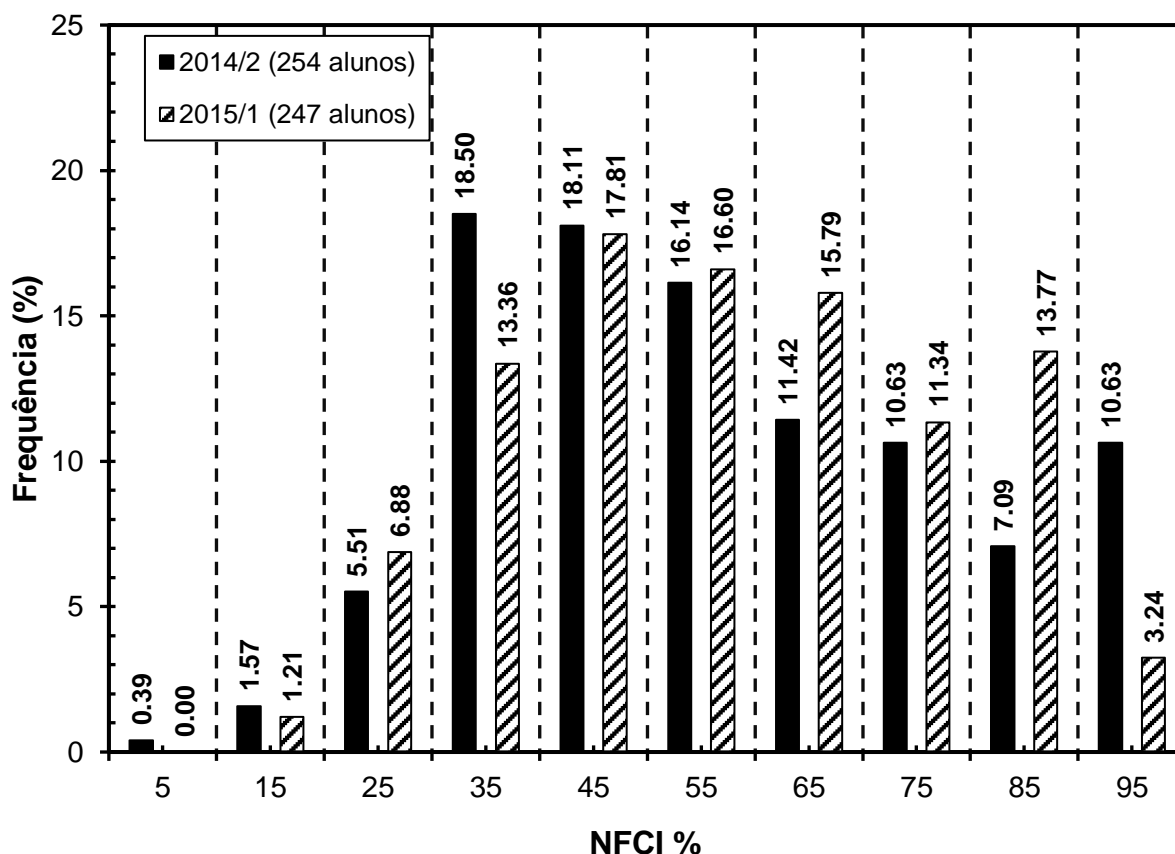
Evidentemente, uma análise sobre o desempenho de alunos que foram instruídos por metodologias diferentes só faz sentido se eles possuíam inicialmente, isso é, no início da disciplina, o mesmo nível de conhecimento de Física. Como detalhado no capítulo 3 (seção 3.5), a nota do FCI é uma das alternativas para classificar o preparo acadêmico dos estudantes. Além dela, utilizamos também a nota na Física 1 (FIS201), disciplina que é um pré-requisito da Física 2 (FIS202).

Lopes (2016) obteve a nota no FCI de uma amostra com 254 alunos da FIS202, no semestre acadêmico 2014/2. Seguindo o mesmo procedimento do autor (seção 3.5), em 2015/1 aplicamos novamente esse teste como uma atividade extraclasse, opcional, valendo alguns pontos extras. Tal amostra continha 247 alunos. Além de aumentar (dobrar) o tamanho da amostra, a inclusão de alunos de um semestre acadêmico ímpar é um cuidado importante, como se explica na sequência. Alguns cursos da UFV têm a FIS202 no primeiro semestre e outros no segundo. Assim, os semestres pares e ímpares têm proporções diferentes de alunos de cada curso. No nosso estudo, os cursos de Engenharia Mecânica, Engenharia Elétrica, Engenharia Civil e Engenharia Química eram aqueles que possuíam os alunos com maior

proficiência em Física. Em 2014/2, tínhamos 74 estudantes desses cursos, enquanto em 2015/1, esse número era de 107 estudantes. Assim, o semestre 2015/1 possuía, em maior proporção, alunos oriundos dos cursos mais concorridos, dentre aqueles que possuem FIS202 como disciplina obrigatória. Em resumo, o uso de uma amostra equilibrada de alunos de semestres pares e ímpares é um cuidado metodológico importante para prevenir a introdução de um viés no levantamento do FCI.

O histograma (gráfico 4.1) que se segue traz separadamente as distribuições das notas do teste FCI nos semestres 2014/2 e 2015/1. A ordenada traz o valor percentual de estudantes que obtiveram nota no FCI (NFCI %) dentro dos intervalos demarcados pelas linhas tracejadas verticais.

Gráfico 4.1 - Distribuição das notas percentuais no FCI, separadamente nos semestres letivos 2014/2 e 2015/1. A ordenada representa a frequência relativa dos alunos que obtiveram nota dentro dos intervalos delimitado pelas linhas tracejada. O número acima de cada barra representa a frequência relativa dos alunos com nota no intervalo onde está a barra.



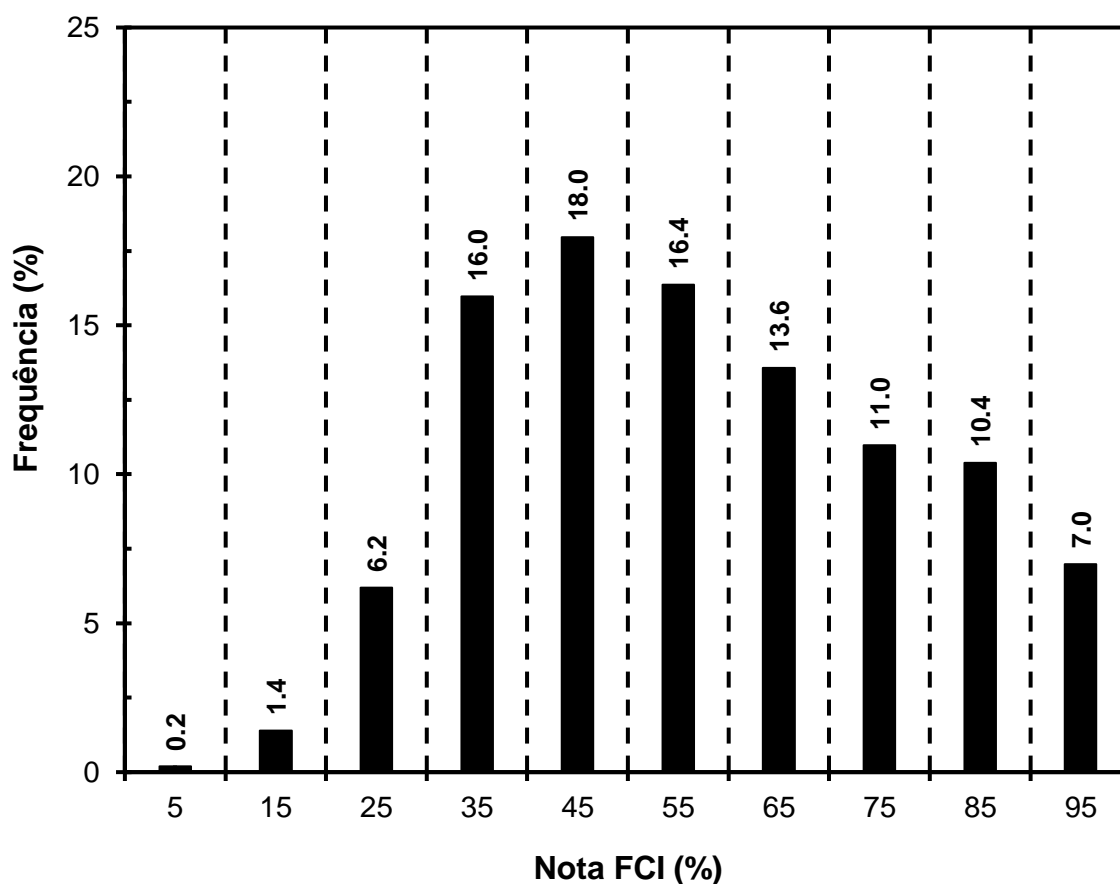
Fonte: Acervo próprio.

Coerentemente com os fatos apresentados acima, percebe-se que a distribuição referente a 2014/2 está ligeiramente deslocada para a esquerda, em comparação com a distribuição de 2015/1. A nota média no semestre par é 54,97%,

enquanto no ímpar é 55,48%. Como explicado, essa diferença deve ser um reflexo da assimetria do perfil dos alunos da FIS202 nos dois semestres. De fato, em 2014/2, 29% dos estudantes eram oriundos dos cursos de melhor nota no FCI, enquanto em 2015/1 esse percentual se eleva para 43%.

O gráfico 4.2 apresenta a distribuição conjunta dos semestres 2014/2 e 2015/1. Como se discutiu, ela é a que melhor caracteriza o desempenho dos alunos da Universidade Federal de Viçosa no teste FCI.

Gráfico 4.2 - Distribuição conjunta das notas do FCI nos períodos 2014/2 e 2015/1. A ordenada indica o percentual de estudantes que obtiveram nota no FCI (em porcentagem) dentro dos intervalos demarcados pelas linhas tracejadas. A amostra contém 501 alunos.



Fonte: Acervo próprio.

A hipótese de que as notas do aluno no FCI e na Física 1 reflitam a proficiência em Física com que ele chega à Física 2 implica que exista uma correlação positiva entre esses parâmetros. O tema é tratado no restante desta seção.

A tabela 4.2 descreve sinteticamente o desempenho na Física 1 (FIS201) dos 501 estudantes que fizeram o FCI. Os resultados dos grupos G1, G2 e G3 (seção 3.5) são apresentados em linhas diferentes. Vemos em cada uma o número de estudantes

em um grupo, em cada semestre e conjuntamente, e as notas médias dele no FCI. Lembremos que o grupo G1 é constituído pelos alunos que obtiveram em FIS201 notas no intervalo [60,65), enquanto G2 e G3 correspondem, respectivamente, aos intervalos [65,75) e [75,100]. Esses intervalos diferem daqueles adotados por Lopes² (2016) apenas no fechamento. Como se esperaria, a nota média no FCI é mais elevada nos grupos com maior nota em FIS201.

Tabela 4.2 - Números de alunos e notas médias no FCI nos grupos G1, G2 e G3, nos períodos 2014/2 e 2015/1 e conjuntamente. A coluna da esquerda mostra o intervalo de notas em FIS 201 que define cada grupo. Os dados referem-se aos 501 estudantes que fizeram o FCI.

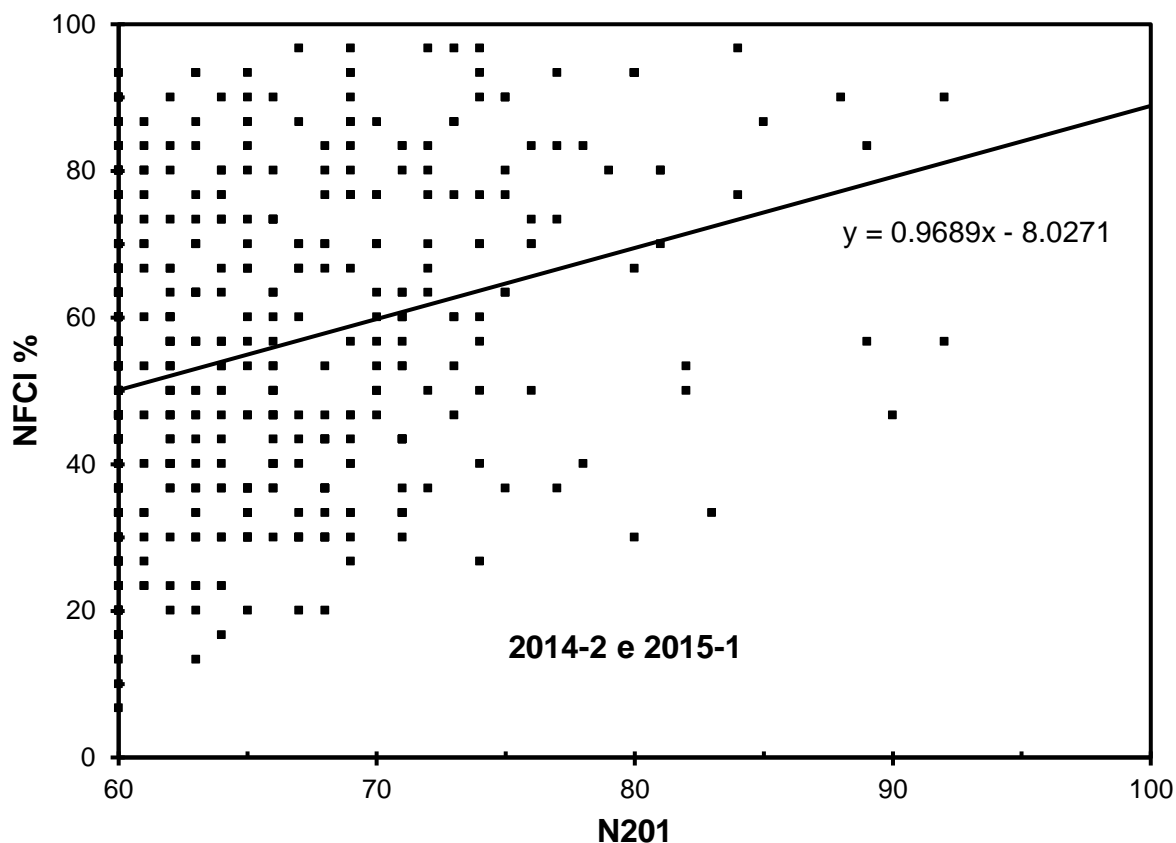
Grupos por preparo acadêmico	Número de alunos			Nota média FCI (%)		
	2014/2	2015/1	Dois semestres	2014/2	2015/1	Dois semestres
G1 [60,65)	138	146	284	49,7	53,6	51,7
G2 [65,75)	87	89	176	56,0	58,1	57,1
G3 [75,100]	29	12	41	77,1	59,0	72,0

Fonte: Acervo próprio.

Como foi discutido (seção 3.5), dada a ubiquidade do FCI, vemos na sua nota uma “linguagem universal” para expressar o preparo acadêmico do estudante. Contudo, apenas 20% dos alunos envolvidos nesta pesquisa fizeram o teste. Essa dificuldade pode ser suplantada com os dados apresentados no gráfico que se segue. Eles sugerem que existe uma relação linear entre as notas obtidas no FCI (NFCI %) e na Física 1 (N201). O coeficiente angular da reta ajustada revela que a correlação entre essas variáveis seria positiva. A relação permitiria estimar a nota que um aluno obteria no FCI, a partir da sua nota em FIS201. Contudo, a grande dispersão dos pontos no gráfico 4.3 inspira uma análise mais detida. Para examinar a correlação entre os parâmetros, calculamos o coeficiente de correlação de Pearson dos dados conjuntos dos semestres 2014/2 e 2015/1. O valor obtido foi de 0,29. Cohen (1998) considera que valores do coeficiente entre 0,10 e 0,29 indicam uma correlação

pequena entre as variáveis; valores entre 0,30 e 0,49 indicam uma relação moderada e valores mais elevados, entre 0,50 e 1, correspondem a uma forte correlação. Como o resultado é estatisticamente significativo, é difícil refutar a existência de uma correlação positiva entre as variáveis (N201 e NFCI %).

Gráfico 4.3 - Gráfico referente aos semestres 2014/2 e 2015/1, conjuntamente. Os pontos do gráfico representam 501 estudantes, com as notas no FCI na ordenada e as notas em FIS201 (N201) na abcissa.



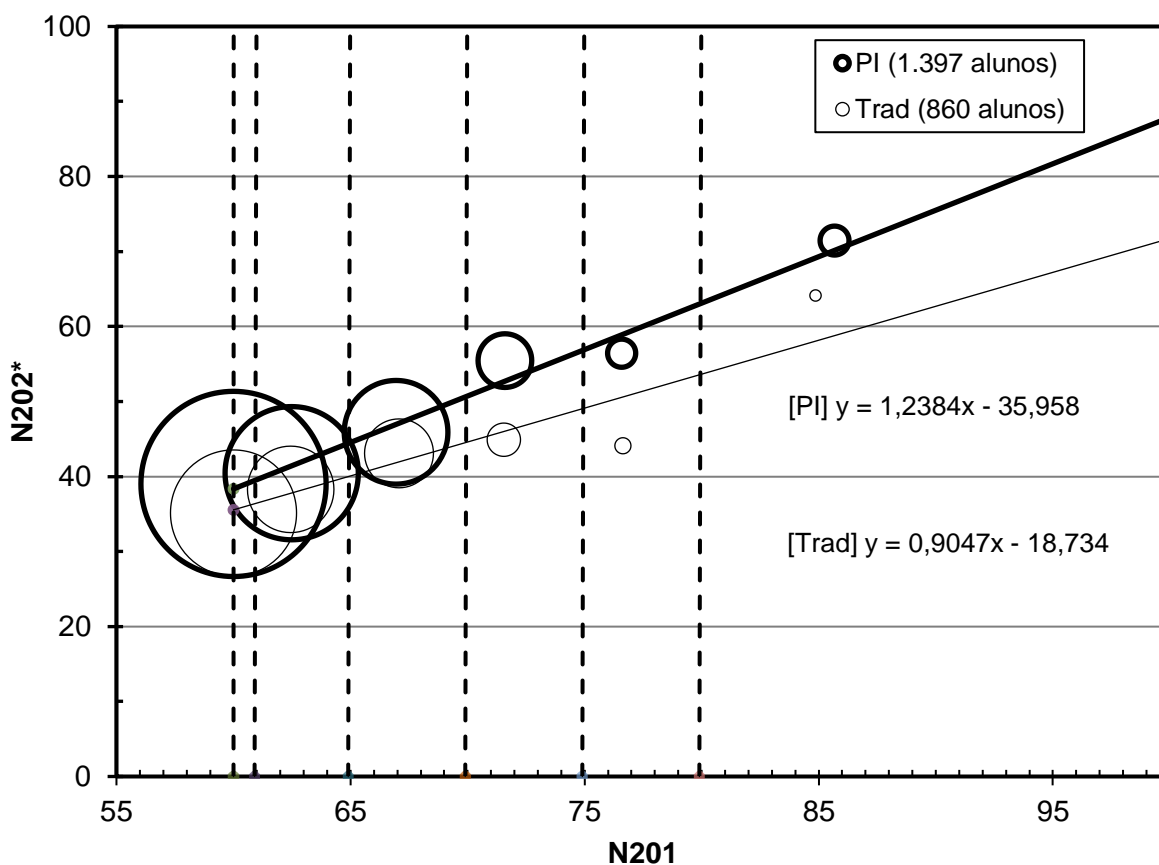
Fonte: Acervo próprio.

4.3 Comparação da efetividade dos métodos PI e tradicional

O gráfico 4.4 permite comparar o desempenho dos alunos Peer Instruction e tradicional. A abcissa corresponde a nota em FIS201 (N201) e a ordenada é o percentual da nota de provas obtido na FIS202 (N202*). Os alunos foram agrupados nos seis intervalos de nota na FIS201 demarcados pelas retas tracejadas verticais. Cada grupo é representado por uma bolha, cuja abcissa do centro é a nota média do grupo em FIS201 e a ordenada é a média das notas na FIS202 desses alunos. O diâmetro da bolha é proporcional ao número de estudantes no intervalo de notas que ela representa. As bolhas de traço grosso e fino representam os alunos do método PI e tradicional, respectivamente. As retas mostradas foram ajustadas por regressão

linear, tendo cada bolha um peso proporcional ao número de alunos no grupo que ela representa. Na prática, isso foi feito ajustando-se as retas a partir dos dados individuais dos alunos, sem peso diferenciado. Nota-se que a reta Peer Instruction (PI) está acima da reta tradicional (Trad), em todo o espectro de preparo acadêmico. Isso quer dizer que, para alunos com preparo acadêmico similar, a nota média daqueles que utilizaram a metodologia ativa é superior à dos seus colegas do ensino tradicional expositivo. Além disso, é possível concluir que o benefício obtido com o Peer Instruction cresce com o preparo acadêmico dos estudantes. De fato, a diferença entre as notas dos alunos PI e tradicional aumenta de forma contínua com o preparo acadêmico, sendo de 2,8 pontos para alunos com $N201 = 60$, e de 16,2 pontos para $N201 = 100$.

Gráfico 4.4 - Resultados obtidos em oito semestres utilizando o JiTT nas turmas PI. Os alunos das turmas PI e tradicional, nos intervalos demarcados por linhas tracejadas, são representados por bolhas centradas em pontos com coordenadas iguais às médias das notas em $N201$ (abscissa) e $N202^*$ (ordenada) de cada grupo. O diâmetro de cada bolha é proporcional ao número de alunos no intervalo que ela representa. As retas foram obtidas por regressão linear com peso proporcional ao número de alunos em cada intervalo.



Fonte: Acervo próprio.

A tabela 4.3 resume os dados do gráfico 4.4. Aa primeira e a quinta colunas mostram o intervalo de notas em FIS201 utilizadas na definição dos seis grupos de alunos representados no gráfico anterior. Na segunda e sexta colunas estão o número de estudantes dos métodos PI e tradicional em cada intervalo e logo ao lado, o percentual que eles representam do total de estudantes daquela metodologia. As outras colunas trazem as notas percentuais médias em FIS201 e nas provas de FIS202.

Tabela 4.2 - Para cada intervalo de notas em FIS201 na 1ª coluna, têm-se o número e o percentual de alunos naquela região, assim como a nota média em FIS201 (<N201>) e a nota percentual média nas provas de FIS202 (<N202*>) de cada grupo. A tabela apresenta tais dados separadamente para as duas metodologias.

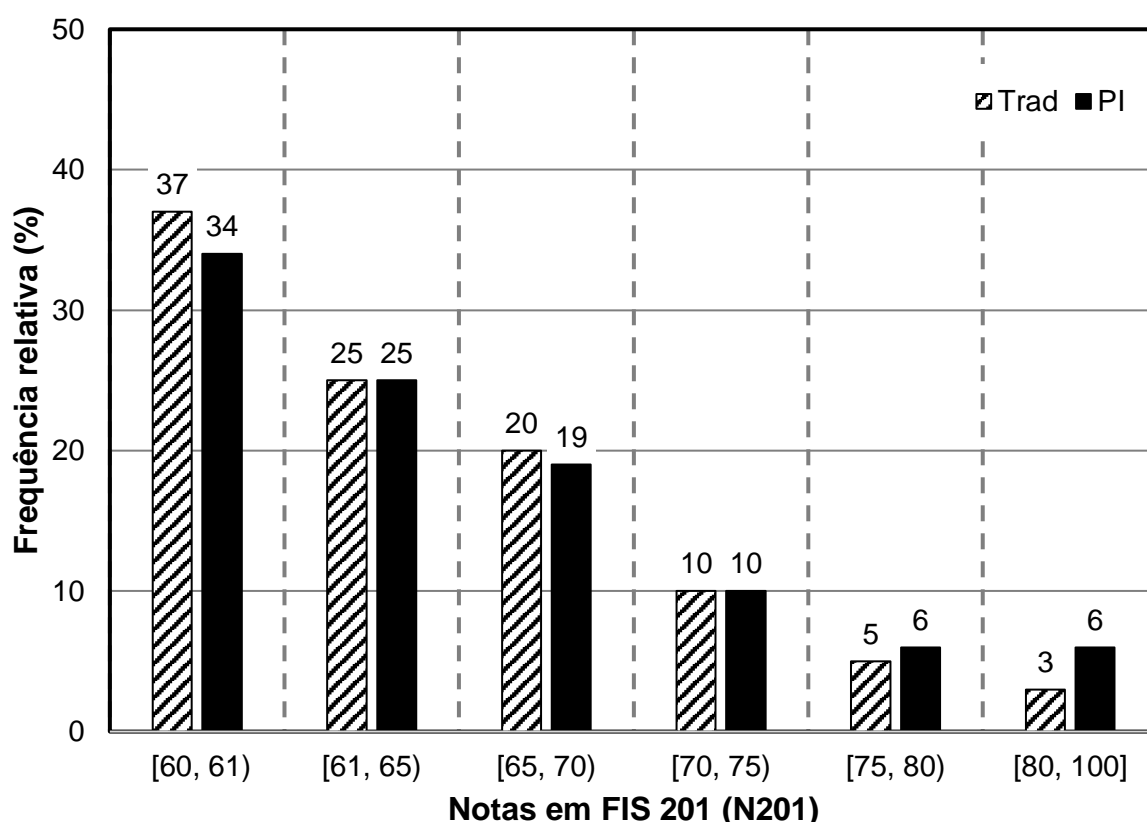
Método Peer Instruction				Método Tradicional			
Intervalo	Nº alunos (% do total)	<N201>	<N202*>	Intervalo	Nº alunos (% do total)	<N201>	<N202*>
[60, 61)	474 (34%)	60	39,0	[60, 61)	316 (37%)	60	35,1
[61, 65)	344 (25%)	62	40,4	[61, 65)	217 (25%)	62	38,3
[65, 70)	270 (19%)	67	45,9	[65, 70)	173 (20%)	67	43,1
[70, 75)	145 (10%)	72	55,5	[70, 75)	84 (10%)	72	44,9
[75, 80)	81 (6%)	77	56,4	[75, 80)	41 (5%)	77	44,1
[80, 100]	83 (6%)	86	71,5	[80, 100]	29 (3%)	85	64,1

Fonte: Acervo próprio.

O gráfico 4.5 mostra separadamente a distribuição das notas em FIS201 dos alunos das metodologias PI e tradicional, informadas na tabela anterior. Notemos que as duas distribuições não são homogêneas - nas regiões de notas maiores, temos menos alunos. Entretanto, as distribuições dos alunos PI e tradicional são praticamente idênticas. Isso é coerente com o fato de termos distribuído as turmas

aleatoriamente entre as metodologias. Essa constatação é importante, pois fica claro que não houve, por exemplo, a seleção dos alunos com maior preparo acadêmico para “turbinar” os resultados de um dos métodos didáticos. Como no trabalho de Lopes (2016), a comparação é feita entre estudantes de grupos com preparo acadêmico similar, ou seja, com notas em FIS201 semelhantes. Contudo, os intervalos de notas dos grupos precisam ser suficientemente amplos para que haja um número significativo de alunos em cada um. Poderia, em princípio, ocorrer que os alunos de um método estivessem concentrados nas notas mais elevadas de um desses intervalos, enquanto os da outra metodologia poderiam ter as notas mais baixas. O gráfico 4.5 revela, como se esperava, que isso não aconteceu.

Gráfico 4.5 - Distribuições das notas em FIS 201 dos alunos PI e tradicional. As linhas tracejadas demarcam os intervalos de notas consideradas e as barras (e os números acima delas) representam o percentual de alunos da metodologia que obtiveram nota em FIS 201 em cada intervalo.

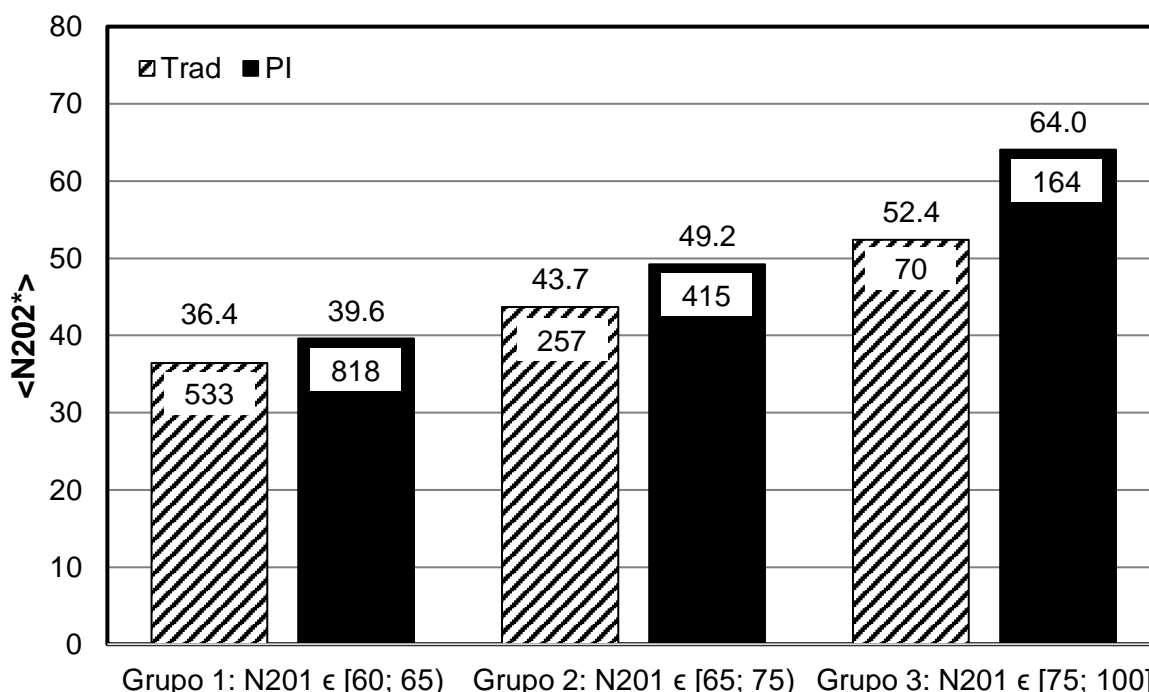


Fonte: Acervo próprio.

O gráfico 4.6 sintetiza as informações do gráfico 4.4. A exemplo do tratamento de Lopes (2016), os estudantes estão ali divididos em três grupos, de acordo com seu preparo acadêmico (nota em FIS201). A nota média obtida em FIS202 (percentual dos pontos de provas) é mostrada acima de cada barra. Os dados reforçam a hipótese de

que a metodologia Peer Instruction resulta em notas mais elevadas em relação ao método tradicional, quando os questionários JiTT são utilizados como estímulo ao estudo pré-aula. De fato, no grupo 1 a diferença entre as médias em FIS202 é de 3,2 pontos (8,8%). Essa diferença aumenta no grupo 2 para 5,5 pontos (12,6%) e se torna ainda maior no grupo 3, onde a diferença foi de 11,6 pontos (22,1%).

Gráfico 4.6: Resultados obtidos nos oito semestres com JiTT pelos alunos de três grupos de preparo acadêmico. Os números acima das colunas são as notas percentuais médias nas provas de FIS202. Dentro das colunas são mostrados os números de alunos nos grupos.



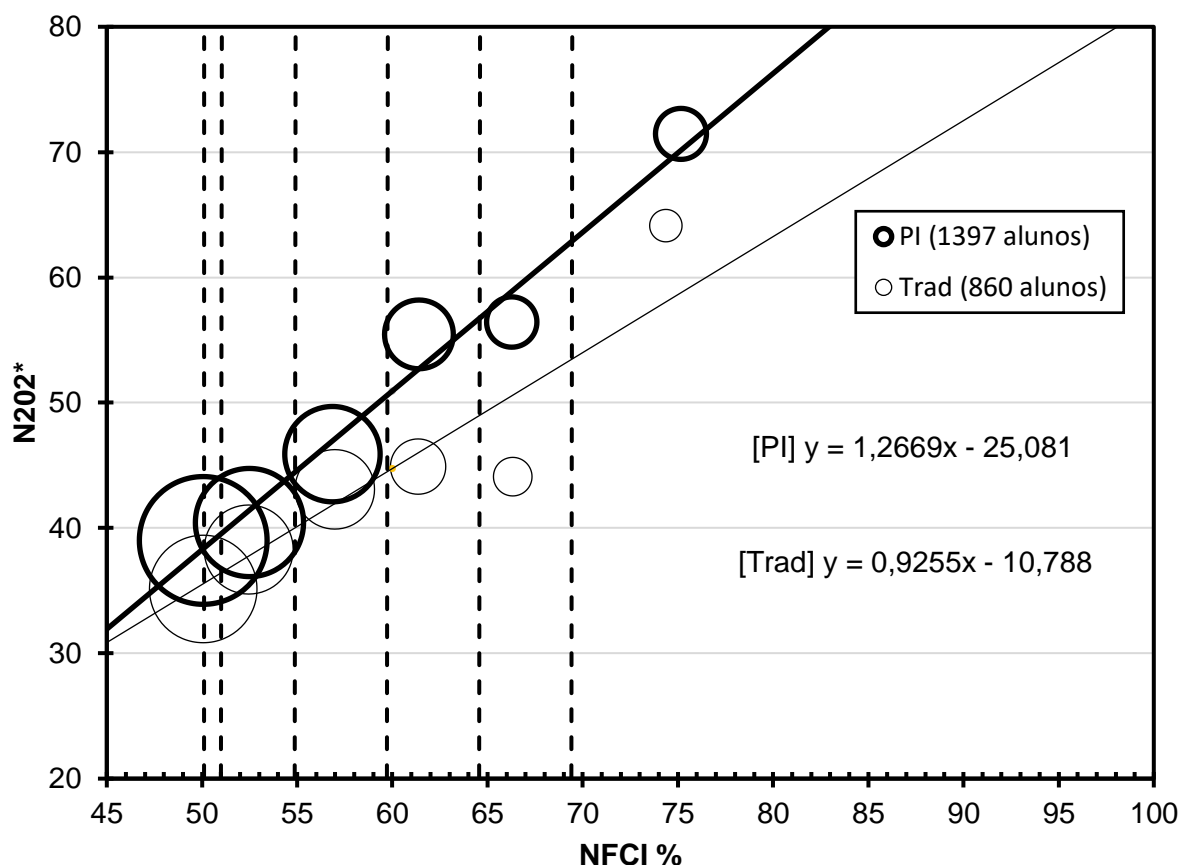
Fonte: Acervo próprio.

Aplicamos o teste t para verificar se havia significado estatístico nas diferenças observadas entre as médias de cada um dos grupos. Obtivemos os seguintes valores-p: $3,8 \times 10^{-3}$ para o grupo 1, $3,60 \times 10^{-4}$ para o grupo 2 e $1,66 \times 10^{-4}$ para o grupo 3. Tais valores, abaixo da significância usual ($\alpha = 0,05$), nos permitem concluir que muito provavelmente, as diferenças observadas entre as médias não são flutuações estatísticas – a utilização do método PI provavelmente leva a notas mais elevadas.

Até o momento, utilizamos a nota na disciplina FIS201 (N201) para classificar o preparo acadêmico dos alunos. Conforme discutiu-se na seção 3.5, é importante expressar os resultados anteriores em uma escala “universal”, conhecida e acessível a toda a comunidade acadêmica. Isso foi realizado utilizando a expressão dentro do gráfico 4.3 (seção anterior) para calcular a nota provável que cada aluno teria no FCI, com base na sua nota em FIS201. Dessa forma, construímos o gráfico 4.7, a partir dos dados do gráfico 4.4. Os intervalos de notas naquele gráfico foram expressos em

termos de nota no FCI e são demarcadas no gráfico abaixo pelas linhas tracejadas. O grupo de alunos de uma metodologia, com notas em uma dessas regiões, é representado por uma bolha centrada no ponto cuja abcissa é a nota média provável do grupo no FCI (NFCI %) e a ordenada é o percentual médio dos pontos de prova obtidos na FIS202 (N202*). O diâmetro é proporcional ao número de alunos da metodologia, no intervalo associado à bolha. Como se pode observar, a diferença entre as notas de prova na FIS202 dos grupos PI e tradicional é favorável ao primeiro e cresce linearmente com a nota no FCI. O segundo fato não é destacado na literatura da área – os artigos usualmente comparam apenas o desempenho global de turmas PI e tradicional.

Gráfico 4.7 - Resultados obtidos nos oito semestres com JiTT. Os alunos das turmas PI e tradicional são representados pelas bolhas de traço grosso e fino, respectivamente. Os intervalos demarcados pelas linhas tracejadas representam os intervalos em que os alunos foram agrupados segundo a sua nota provável no FCI. As bolhas estão centradas em pontos de coordenadas iguais à média da nota de cada grupo no FCI (abcissa) e no percentual da nota de prova obtido na FIS202 (ordenada). O diâmetro delas é proporcional ao número de alunos no intervalo que representam. As retas foram obtidas por regressão linear com peso proporcional ao número de alunos em cada intervalo

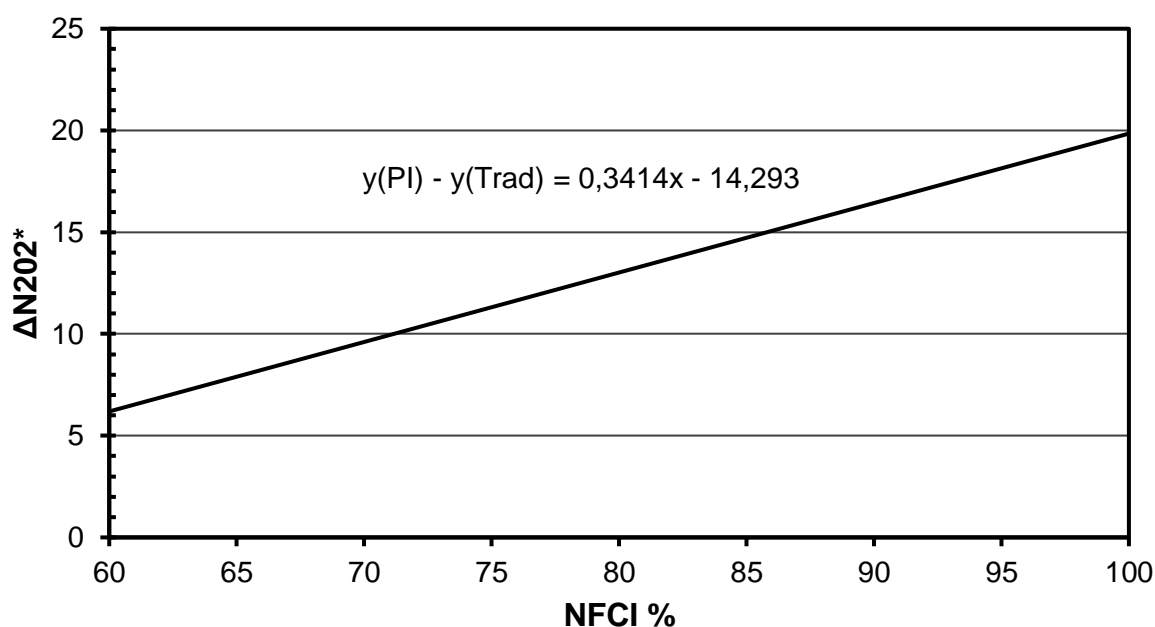


Fonte: Acervo próprio.

Acreditamos que o gráfico 4.7 seja de grande utilidade, pois ele permite que um instrutor avalie, conhecendo apenas as notas dos seus alunos no FCI, qual será o

ganho com a adoção do PI, no lugar do método tradicional. Naturalmente, trata-se de uma estimativa. Essa previsão pode ser feita mais prontamente do gráfico 4.8, obtido das retas ajustadas no gráfico 4.7. Ele mostra a diferença entre as notas de prova dos alunos dos dois métodos (ΔN_{202}^*), como função das notas no FCI. Como se vê, o benefício da opção pela metodologia ativa cresce para turmas com uma proporção mais alta de alunos com elevado preparo acadêmico.

Gráfico 4.8 - Diferença entre as notas de prova (ΔN_{202}^*) dos alunos dos métodos PI e tradicional, como função das notas no FCI.



Fonte: Acervo próprio.

4.4 Avaliação dos Resultados e a Questão Fundamental

Neste ponto, cabe recapitular em uma escala panorâmica a sequência de descobertas do nosso grupo de pesquisa acerca da efetividade da metodologia Peer Instruction. Como foi descrito antes (seção 2.3), Lopes (2016) observou que sem um forte incentivo ao estudo pré-aula (questionário JiTT), o método Peer Instruction só promoveu um desempenho em provas superior ao do método tradicional para 10% dos alunos - aqueles com maior preparo acadêmico (N201 de 76 a 100 pontos). Para os outros 90% (N201 de 60 a 75 pontos), as metodologias PI e tradicional levaram a notas médias estatisticamente idênticas. Entretanto, o cenário mudou dramaticamente quando se introduziu os questionários JiTT nas turmas PI. Os nossos resultados (seção anterior) reforçam a descoberta de Lopes de que, com esse incentivo ao

estudo pré-aula, qualquer que seja o seu preparo acadêmico, os alunos PI obtêm notas médias superiores aos dos alunos do método tradicional com o mesmo preparo.

Esses resultados levantam questões extremamente importantes. Em primeiro lugar, eles parecem estar em desacordo com outros resultados da área. De fato, estabeleceu-se na literatura que o Peer Instruction conduz os alunos a um desempenho em avaliações superior ao do método tradicional, mesmo que não se estimule o estudo pré-aula. Como vimos na subseção 2.4.1, Crouch et al. (2007, p. 15) explicitam esse ponto, baseando-se nos resultados de Fagen (2002, 2003). Lopes apontou que a chave para elucidar essa contradição parece estar na origem dos dados na literatura. A maior parte deles vem de estudos realizados em instituições altamente seletivas, como a Universidade de Harvard, com um corpo estudantil de preparo acadêmico elevado. Ao sondar o preparo dos alunos da FIS202 por meio do FCI, Lopes descobriu que o pequeno grupo de estudantes (10% do total) que se beneficiava do PI, sem questionários JiTT, tinha um desempenho no FCI semelhante ao dos alunos de Harvard. Com efeito, a tabela 4.2, mostra que a nota média desse grupo no FCI é de 72,0%, enquanto em Harvard ela é 77,5% (LASRY, MAZUR, WATKINS, 2008, p.1067). Os resultados de Lopes não estão em conflito com os da literatura. Eles são, na verdade, mais amplos. As duas fontes estão em sintonia quando indicam que o PI leva os alunos com alto preparo acadêmico ($FCI \geq 70\%$) a um desempenho superior ao que obteriam com o método tradicional, mesmo sem estímulo ao estudo pré-aula. Contudo, os resultados mencionados por Crouch *et al.* (2007, p. 15) envolvem apenas alunos desse tipo, enquanto os de Lopes tratam de uma população com uma diversidade muito maior de preparo acadêmico. Assim, Lopes (2016) conclui que os estudantes com preparo acadêmico mais baixo precisam do estímulo ao estudo pré-aula, proporcionado pelos questionários JiTT, para que obtenham com o PI desempenho superior ao relacionado com o método tradicional. Esses fatos são coerentes com a conclusão da seção anterior de que o ganho proporcionado pelo PI (com JiTT) é maior para alunos com preparo acadêmico mais elevado. O resultado sobre a importância do estímulo ao estudo pré-aula para os estudantes com menor preparo ($FCI \lesssim 70\%$) é muito relevante, pois eles representam uma fração expressiva do corpo discente da maior parte das instituições de ensino.

Há outro ponto vital a ser examinado. Como vimos, Lopes (2016) descobriu que sem um forte incentivo ao estudo antes da aula, o desempenho em prova dos alunos do método PI e tradicional eram iguais, exceto para os poucos alunos com elevado

preparo acadêmico. No entanto, ao introduzir os questionários JiTT, os alunos PI passaram a ter em média um desempenho superior, qualquer que fosse o seu preparo acadêmico. Esses fatos conduzem a uma pergunta central: “Quem traz o benefício para os alunos PI? O método didático em si, ou simplesmente o estudo prévio fomentado pelo questionário pré-aula?”. Em resumo, as atividades características da aula PI contribuem para o desempenho do aluno, ou isso é exclusividade do estudo pré-aula? A compreensão da importância relativa desses elementos para a promoção do ganho observado com o PI em comparação ao método tradicional é a questão mais importante investigada neste trabalho. Com efeito, caso o ganho observado se deva exclusivamente ao estudo prévio induzido pelo questionário JiTT, seria, sem dúvida, o caso de se manter a simplicidade da aula tradicional expositiva. Não haveria a necessidade de preparar testes conceituais e de investir tempo de aula com as discussões entre os alunos. A próxima seção trata deste tema.

4.5 O papel do estudo pré-aula

A investigação do papel do estudo pré-aula foi realizada ao longo de três semestres acadêmicos (2015-1, 2015-2 e 2016-1). Como foi detalhado no capítulo 3 e resumido na tabela 4.1, tínhamos três métodos didáticos: o Peer Instruction com questionários JiTT (PI), o tradicional (Trad) e um novo: a metodologia tradicional conjugada com o JiTT (TradJiTT). Eles foram utilizados alternadamente por três professores diferentes, em semestres distintos.

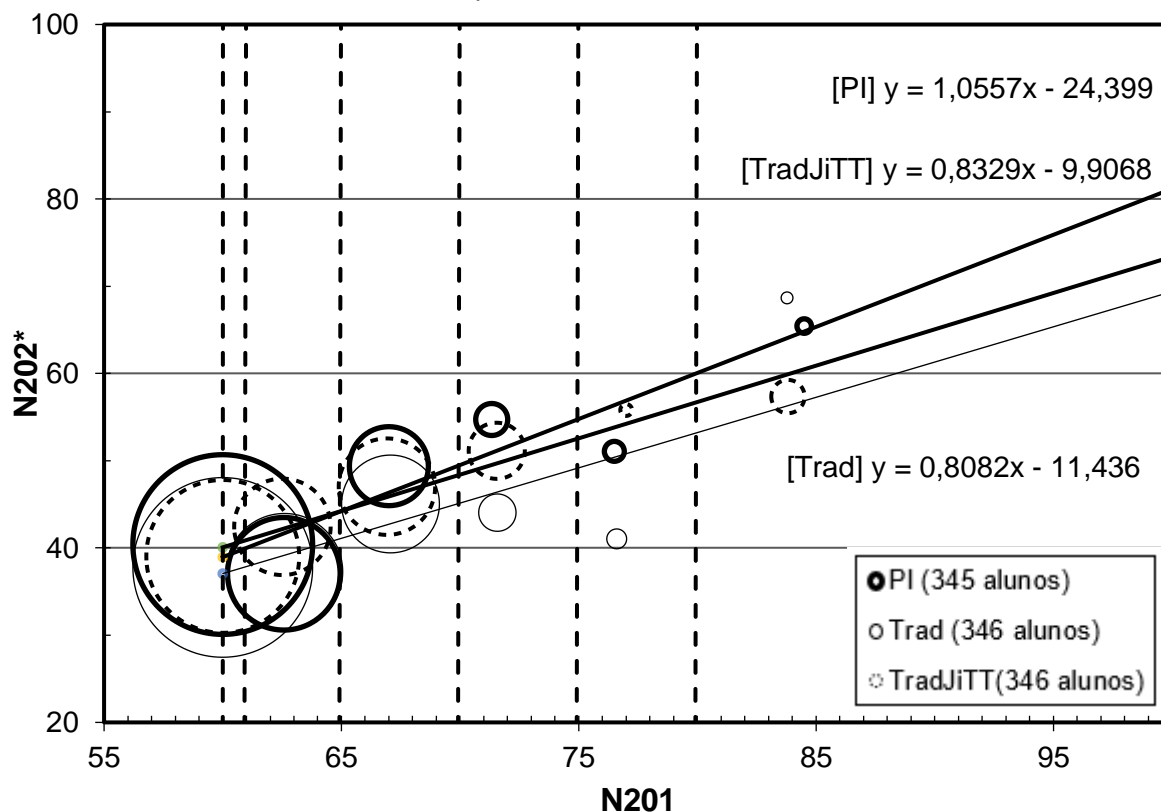
O gráfico 4.9, apresenta os resultados com as três metodologias. Como antes, os alunos foram separados em seis grupos com base na nota obtida na FIS201. Tais conjuntos são representados pelas bolhas centradas em um ponto cuja abscissa é a nota média do grupo em FIS201 (N_{201}) e a ordenada é média das notas de prova em FIS202 (N_{202}^*). O diâmetro das bolhas é proporcional ao número de alunos no intervalo associado a ela

Percebe-se que as retas correspondentes aos métodos PI e tradicional com JiTT (TradJiTT) estão acima daquela do método tradicional, em todo o espectro de notas em FIS201. Naturalmente, o estímulo forte ao estudo pré-aula traz benefícios também para o aluno da metodologia tradicional (o benefício no PI foi demonstrado antes). Além disso, a reta correspondente ao método Peer Instruction fica acima daquela do método tradicional com JiTT (TradJiTT) para $N_{201} > 65$. Isso indica que

nesse intervalo de preparo acadêmico (correspondente a uma nota no FCI superior a 55%), o ganho proporcionado pelo PI se deve também às atividades características da metodologia realizadas em sala de aula, não só ao estudo prévio. No entanto, para $N201 < 65$ (nota FCI $< 55\%$), a reta TradJiTT encontra-se acima da PI. Isso sugere que é necessário um preparo acadêmico mínimo para que os alunos obtenham notas melhores com o PI do que com o TradJiTT. Aparentemente para alunos com preparo acadêmico menor, é mais efetivo que o professor utilize o tempo de aula com a exposição do conteúdo do que promovendo discussões entre os estudantes.

A possível superioridade do método tradicional com JiTT (TradJiTT) ocorre em um intervalo estreito de preparo acadêmico. Contudo, o fato é importante, pois nesse intervalo está a maior parte dos nossos alunos (66%). Provavelmente esse é o quadro da maioria das instituições de ensino no Brasil e no mundo. Assim, caso a nossa observação seja confirmada, seria relevante investigar por qual motivo as atividades das aulas PI seriam menos efetivas para aqueles com menor preparo acadêmico.

Gráfico 4.9: Resultados obtidos nos semestres 2015-1, 2015-2 e 2016-1. As bolhas seis representam os grupos de alunos com notas em FIS201 ($N201$) nos intervalos delimitados pelas retas tracejadas. O centro de cada uma tem como coordenadas as médias no grupo das notas em FIS201 (abscissa) e das notas percentuais nas provas de FIS202 ($N202^*$, ordenada). O diâmetro é proporcional ao número de estudantes representados pela bolha. O seu traço, grosso, tracejado ou fino, indica o método didático relacionado – PI, TradJiTT, ou Trad, respectivamente.

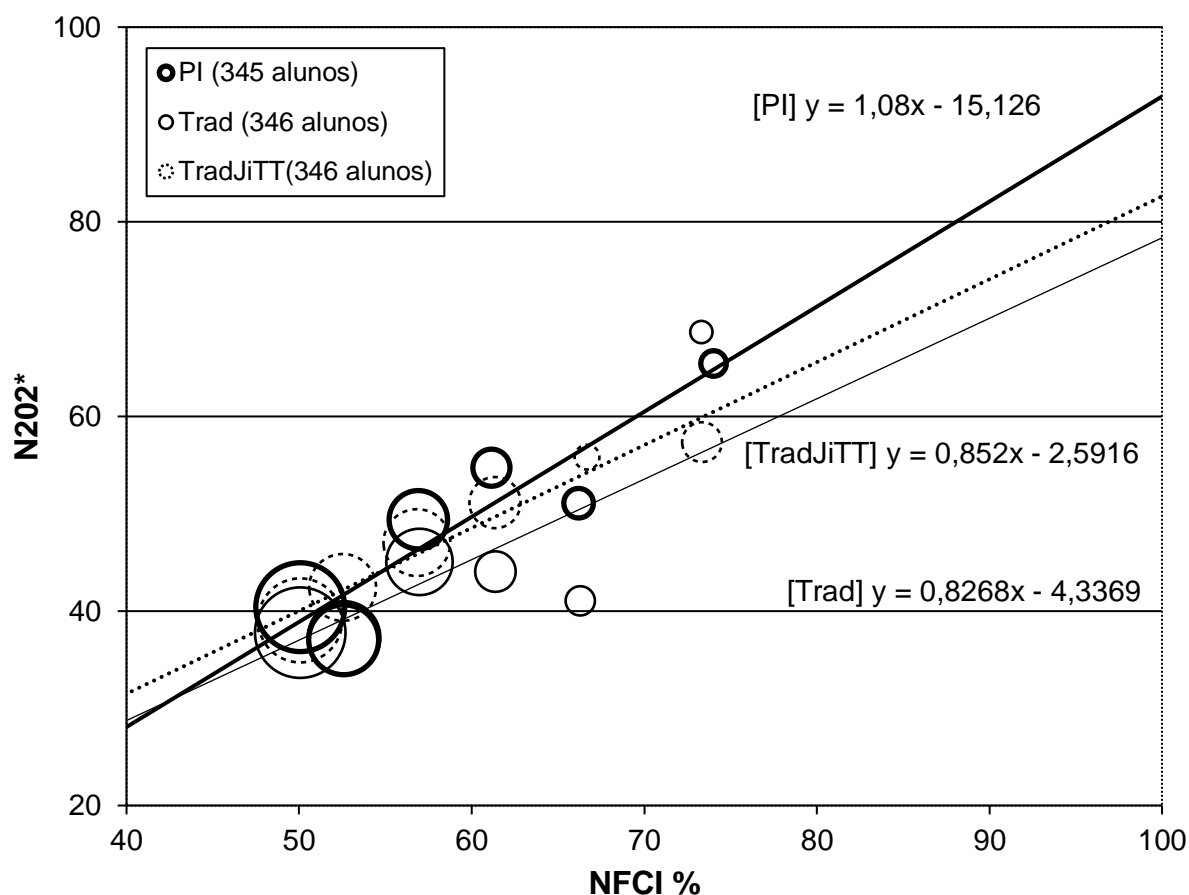


Fonte: Acervo próprio.

Percebe-se ainda pelo gráfico 4.9 que as retas associadas aos métodos didáticos tradicional (Trad) e tradicional com JiTT (TradJiTT) são praticamente paralelas. Em outras palavras, o aumento na nota percentual obtida em prova (N202*) associado ao uso do questionário pré-aula (JiTT), ao menos nas turmas do ensino tradicional, é uniforme, isso é, aproximadamente independente do preparo acadêmico dos estudantes.

Conforme feito na seção 4.3, nós expressamos os resultados discutidos no gráfico 4.9 segundo a nota dos alunos no teste FCI. Para tanto, inferimos a nota que cada estudante obteria no FCI (NFCI %) com base na sua nota na FIS201 (seção 3.5). Dessa forma, construímos o gráfico 4.10 a partir dos dados do gráfico 4.9.

Gráfico 4.10: Resultados obtidos nos semestres 2015/1, 2015/2 e 2016/1. Os alunos das turmas PI e tradicional e tradicional com JiTT são representados por bolhas centradas no ponto com coordenadas iguais às médias das suas notas no FCI (abscissa) e N202* (ordenada). O diâmetro de cada bolha é proporcional ao número de alunos no intervalo que ela representa (vide tabela 4.3). As retas foram obtidas por regressão linear com peso igual ao número de alunos em cada intervalo.



Fonte: Acervo próprio.

As linhas verticais tracejadas representam os intervalos em que os alunos foram agrupados segundo a nota no teste FCI. Esses intervalos foram obtidos a partir

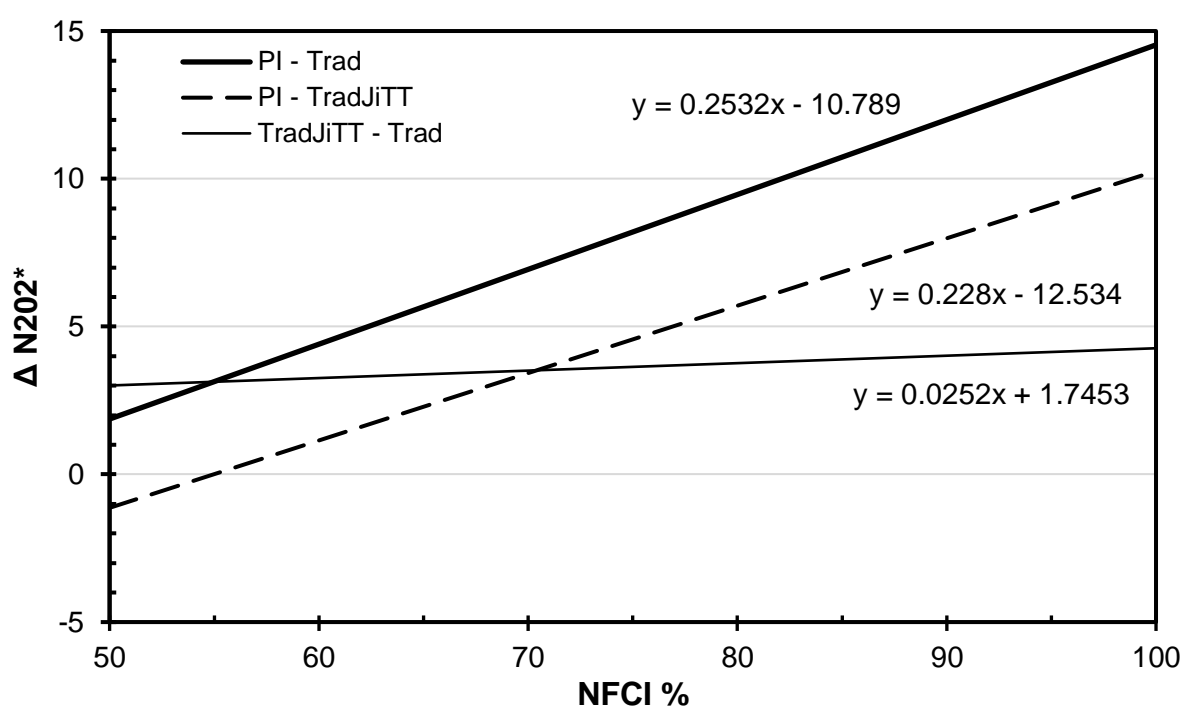
daqueles do gráfico 4.9 por meio da relação entre N201 e NFCI % mostrada no gráfico 4.3, na seção 4.2. O diâmetro de cada bolha é proporcional ao número de estudantes em um dado intervalo de notas no FCI e estão centralizadas em um ponto cuja abcissa é a média daquele grupo de estudantes no teste FCI (NFCI %) e a ordenada igual à média das suas notas na FIS202 (N202*). Como se pode notar, o benefício do método PI sobre o tradicional sem JiTT existe em todo intervalo de preparo acadêmico. Já a comparação entre os métodos PI e tradicional com JiTT (TradJiTT) demonstra que existe uma nota mínima no FCI para que o PI produza impactos positivos. Esse resultado não é destacado na literatura da área.

Como já se argumentou, é importante expressar os nossos resultados usando a nota no FCI como indicador do preparo acadêmico dos estudantes. Isso permite que pesquisadores de outras instituições e partes do mundo possam comparar diretamente os seus resultados com os nossos, já que o FCI é mundialmente conhecido e utilizado no ensino de Física. Além disso, professores poderiam estimar, conhecendo apenas as notas dos seus alunos no FCI, qual seria o ganho de substituir o método tradicional pelo Peer Instruction.

Isso pode ser feito prontamente usando o gráfico 4.11. Ele foi construído a partir das retas ajustadas no gráfico anterior. A ordenada corresponde à diferença entre as notas de prova dos alunos ($\Delta N202^*$) de dois dos métodos e a abcissa é a nota percentual deles no FCI (NFCI %). Compara-se ali o ganho ($\Delta N202^*$) do PI sobre as metodologias Trad e TradJiTT, bem como o ganho da metodologia TradJiTT sobre o método tradicional. A reta mais fina (TradJiTT - Trad) revela o aumento de nota relacionado com a introdução do JiTT no método tradicional. Como apontado antes, esse ganho é praticamente uniforme em todo intervalo de preparo acadêmico – varia no gráfico de 3 a 4,3 pontos. A reta tracejada (PI - TradJiTT) reflete a diferença entre dois métodos com igual estímulo ao estudo pré-aula. Como se vê, as atividades em sala do PI e do método tradicional impactam diferentemente o desempenho dos alunos. Nota-se que a diferença depende do preparo acadêmico. A diferença, o ganho do PI, é positivo para NFCI > 55%, sugerindo assim, que alunos nesse intervalo de preparo acadêmico, as atividades em sala do PI são mais eficazes que as da aula tradicional. A situação parece se inverter para aluno com menor preparo. Por fim, a reta mais grossa (PI - Trad) mostra a diferença de notas relacionada com as metodologias PI e tradicional sem JiTT. Como apontado por Lopes, nesse caso o benefício obtido com o Peer Instruction existe para todo intervalo de preparo

acadêmico e aumenta com ele – $\Delta N202^*$ é positivo e crescente. Em síntese, o gráfico 4.11 pode ser utilizado por professores e pesquisadores para estimar, a partir das notas dos seus alunos no FCI, o ganho que seria obtido com a adoção do Peer Instruction e/ou dos questionários pré-aula. O PI é o método mais vantajoso para turmas onde a maioria dos alunos possui proficiência em Física compatível com uma nota no FCI superior a 55%.

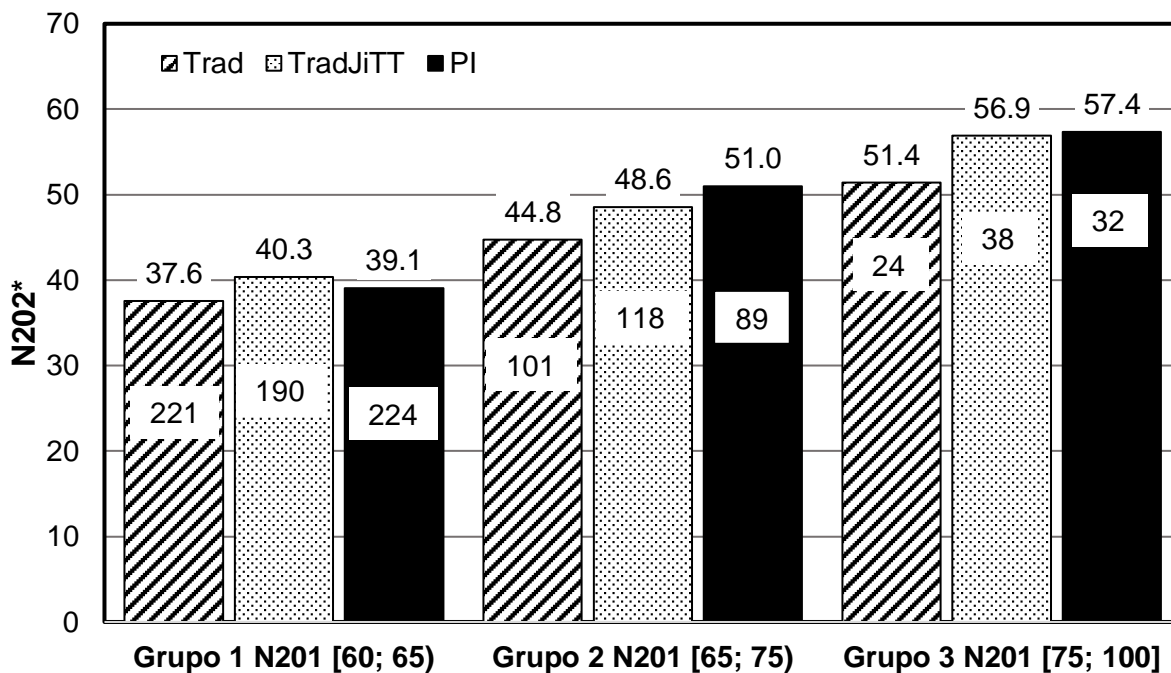
Gráfico 4.11: Diferença entre as notas percentuais nas provas ($\Delta N202^*$) obtidas pelos alunos de dois métodos, como função da sua nota percentual no FCI (NFCI %). As retas fina, tracejada e a grossa mostram, respectivamente, essa diferença de desempenho entre os alunos das metodologias TradJiTT e Trad; PI e TradJiTT e, por fim, PI e Trad.



Fonte: Acervo próprio.

O gráfico 4.12 sintetiza os resultados do gráfico 4.9. Ele apresenta as notas médias em $N202^*$ das três metodologias (PI, Trad e TradJiTT), em cada um dos grupos de preparo acadêmico, segundo a nota $N201$ (vide tabela 4.2). Como se pode notar, no grupo 1, a nota média dos alunos do método tradicional com JiTT (TradJiTT), de fato, foi a mais elevada, seguida da nota média dos alunos Peer Instruction. Já no grupo 2, a nota média mais alta foi a dos alunos PI, com uma diferença de 2,4 pontos para os alunos TradJiTT. Essa diferença cai para 0,5 pontos no último grupo de preparo acadêmico. Vale ressaltar que no grupo 3 tínhamos apenas 9% da nossa população de alunos, o que corresponde a 94 estudantes nas três metodologias.

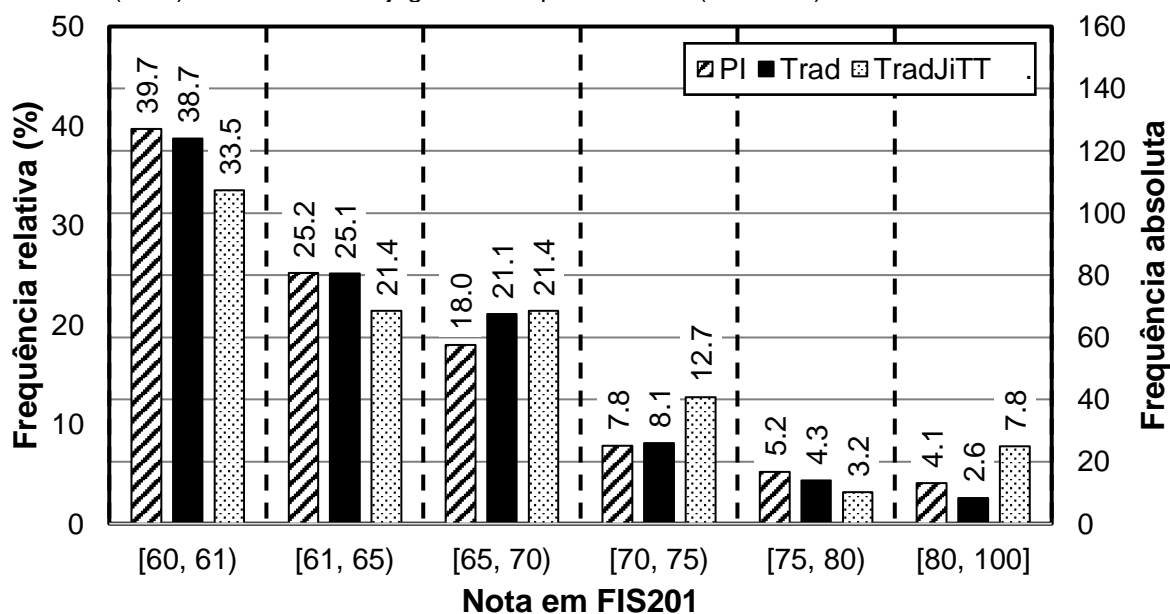
Gráfico 4.12: Percentual médio da nota de prova (N202*) obtido com os três tratamentos, em três grupos de preparo acadêmico. Os números acima das barras representam os valores N202*. Acima das barras temos os números de alunos em cada grupo.



Fonte: Acervo próprio.

A exemplo do que se fez na seção anterior, o histograma abaixo mostra a distribuição das notas em Física 1 dos alunos nas três metodologias. Como se poderia esperar, com menos alunos e turmas, as três distribuições não são tão próximas quanto aquelas do gráfico 4.5.

Gráfico 4.13: Distribuição das notas de FIS201 dos alunos da metodologia Peer Instruction (PI), tradicional (Trad) e tradicional conjugada com questionários (TradJiTT).



Fonte: Acervo próprio.

Como antes, é importante examinar se essas diferenças nas notas médias são estatisticamente significativas. A tabela que se segue traz os valores-p obtidos com o teste t. Em contraste com os resultados da seção 4.3, em apenas um caso (comparação PI x Trad no grupo 2) o valor-p é inferior à significância convencional de 0,05. Isso indicaria que nas outras oito comparações na tabela, seria prudente aceitar a hipótese de que provavelmente as diferenças de notas se devem ao acaso, não aos métodos didáticos utilizados.

Contudo, há elementos que sugerem que essa conclusão possa ser precipitada. Em primeiro lugar, os resultados da seção 4.3, com amostras significativamente maiores, levaram-nos a concluir que o Peer Instruction muito provavelmente leva, em média, a notas superiores às do método tradicional, qualquer que seja o preparo acadêmico inicial dos estudantes. Entretanto, de acordo com a tabela 4.4, isso só ocorreu no grupo 2. O fato é que com amostras menores é mais difícil observar-se o efeito de tratamentos diferentes. No entanto, é peculiar a consistência dos resultados no gráfico 4.9 – cinco das seis bolhas do método PI, justamente as que representam números maiores de alunos, estão acima daquelas correspondentes ao método tradicional. Se os métodos didáticos são equivalentes, seria mais provável obter uma alternância em qual tem a bolha mais alta ao longo do gráfico. Observa-se nesse mesmo gráfico uma regularidade semelhante e improvável na comparação entre as bolhas dos métodos tradicional com e sem questionários pré-aula.

Tabela 4.4: A tabela traz os resultados obtidos com o teste t uni-caudal na comparação das três metodologias de ensino.

Grupos	Teste t uni-caudal: valor-p		
	PI x Trad	PI x TradJiTT	Trad x TradJiTT
G1 [60, 65)	0,230	0,274	0,096
G2 [65, 75)	0,012	0,191	0,096
G3 [75, 100]	0,124	0,459	0,140

Fonte: Acervo próprio.

Acreditamos que o método de inferência que temos utilizado, o teste t, aplicado separadamente a cada grupo, seja excessivamente rigoroso. Consideremos uma situação hipotética na qual temos 50 grupos de preparo acadêmico, cada um contendo

muitos estudantes. Se 49 das bolhas de uma metodologia estivessem acima daquelas associadas ao outro método, seríamos compelidos a rejeitar a hipótese de que os dois métodos são equivalentes, mesmo que o teste t indicasse isso, nas várias comparações individuais entre uma bolha de um método e a correspondente do outro. Ao realizar o teste t separadamente em cada grupo, nós desconsideramos os dados de todos os outros. Em outras palavras, apesar da totalidade dos dados sugerir uma tendência (as retas no gráfico 4.9), o nosso teste ignora isso, e tenta estabelecer o significado estatístico comparando apenas os dados em certas regiões, ignorando todas as outras.

Em suma, o procedimento para exame do significado estatístico utilizado até aqui é tecnicamente correto, porém, talvez, excessivamente rigoroso. O fato é que presentemente desconhecemos uma alternativa rigorosamente defensável. No campo da intuição, parece razoável utilizar os valores-p da tabela 4.4 para calcular a probabilidade de o acaso levar ao resultado observado no grupo 1 e ao observado em grupo 2 e ainda ao observado em 3. A “probabilidade simultânea” desses eventos seria dada pelo produto das probabilidades em cada grupo. Dessa forma, a probabilidade de observar médias PI e tradicional, tão ou mais diferentes que as da tabela 4.4, seria de $0,230 \times 0,012 \times 0,124 = 0,0003$, ou seja, 0,03% - indicando que provavelmente o método PI promoveria notas médias mais altas.

Até que amostras maiores possam ser reunidas, ou uma análise mais apropriada seja elaborada, parece sensato aceitar com a devida cautela que o comportamento estampado no gráfico 4.9 seja uma indicação da efetividade dos métodos didáticos estudados.

CONCLUSÕES

Nas últimas três décadas, diversos estudos têm apontado as metodologias ativas como uma alternativa superior ao predominante método explosivo tradicional. Entretanto, essa pesquisa encontra-se fortemente concentrada no ensino superior e na América do Norte. Este trabalho contribui para suprir esta lacuna. Ele compara a eficácia do método tradicional e da metodologia ativa Peer Instruction sob a métrica do desempenho dos alunos em provas.

Em especial, investigamos o efeito do estudo antecipado para as aulas (“estudo pré-aula”) no Peer Instruction e no método tradicional, em uma disciplina universitária de Física básica. O estudo trata de um experimento metodologicamente rigoroso, com turmas controle e experimental acontecendo em paralelo, e milhares de estudantes, cujo preparo acadêmico inicial foi devidamente controlado e acompanhado, dentre outros aspectos. Isso permitiu que se comparasse o desempenho de estudantes com a mesma proficiência inicial em diferentes metodologias e condições. Ressalte-se que todos os estudantes foram avaliados pelas mesmas provas e critérios avaliativos.

Primeiramente, nossos resultados reforçam a descoberta de Lopes (2016) de que com um forte incentivo ao estudo antes da aula, na forma de questionários JiTT, os alunos Peer Instruction logram um ganho significativo em relação aos colegas do método tradicional, qualquer que fosse o seu preparo acadêmico inicial. Observamos que esse ganho médio do aluno PI cresce com o seu preparo acadêmico, e, num passo além do trabalho de Lopes, pudemos quantificar essa relação.

Como Lopes (2016) já havia descoberto, os resultados supracitados destacam a importância do estudo pré-aula para o resultado superior dos alunos PI em avaliações, sobretudo quando há uma proporção grande de estudantes com preparo acadêmico modesto. Neste trabalho investigamos se esse ganho do método ativo não seria um efeito exclusivo do estudo prévio. Em outros termos, examinamos se seria possível obter esse resultado superior, sem as atividades da aula PI, ou seja, introduzindo os questionários JiTT no método tradicional. O experimento, provavelmente por envolver amostras menores, foi estatisticamente menos conclusivo que o anterior. Os resultados sugerem, como se esperaria, que o incentivo ao estudo pré-aula conjugado ao método tradicional eleva o desempenho dos estudantes nas avaliações. Entretanto, para alunos com FCI estimado maior que 55%, o PI com JiTT parece levar os alunos a um desempenho maior que os dos estudantes que utilizam

o método tradicional com JiTT. Como antes, a diferença aumenta com o preparo acadêmico. Em suma, as atividades características da aula Peer Instruction, não apenas o estudo pré-aula, favorecem o desempenho do aluno. Por outro lado, para alunos com FCI estimado menor que 55%, o desempenho desses métodos conjugados com os questionários é muito próximo, aparentemente com uma vantagem a favor da metodologia tradicional. Seria de grande importância esclarecer essa questão, pois na maioria das instituições de ensino uma fração ponderável dos alunos se encontra nesse intervalo de preparo acadêmico.

Acreditamos que este trabalho, ao contribuir para estabelecer e quantificar o efeito das atividades Peer Instruction em sala de aula e do estudo prévio no desempenho de alunos com diferentes preparos acadêmicos, permitirá que instrutores selecionem factualmente as práticas mais apropriadas para o seu universo de alunos. Apesar deste estudo ter sido realizados no contexto do ensino superior, parece sensato supor que as suas conclusões sejam válidas em outros campos do conhecimento e no ambiente da Escola Básica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, I. S.; MAZUR, E. Instrução pelos colegas e ensino sob medida: uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino aprendizagem em física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 30, n. 2, p. 362-384, ago. 2013.

BAUER, H.; BRADLEY, C. “The extent to which psychology students read textbooks: A multiple class analysis of reading across the psychology curriculum.” **Journal of Instructional Psychology**, v. 31, n. 3, p. 227–232, 2004.

COHEN, Jacob. (1988), *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, NJ, Erlbaum.

CROUCH, C. H. *et al.* Peer Instruction: Engaging Students One-on-One, All At Once. **Research-Based Reform of University Physics**, v. 1, n. 1, p. 40-95, 2007. Disponível em: <mazur.harvard.edu/sentFiles/Mazurpubs_537.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2019.

CROUCH, C. H.; MAZUR, E., Peer Instruction: Ten years of experience and results. **Am. J. Phys.** v. 69, n. 9, September, 2001.

FAGEN, A. P. “**Assessing and enhancing the introductory science course in physics and biology: Peer instruction, classroom demonstrations, and genetics vocabulary**,” Ph.D. thesis, Harvard University (2003), and references therein. Harvard U. P., Cambridge, MA, p.186, 2003.

FAGEN, A. P.; CROUCH, C. H.; MAZUR, E. Peer Instruction: Results from a range of Classrooms. **Phys. Teach.**, v. 40, n. 4, p. 206-209, 2002. Disponível em: <<http://mazur.harvard.edu/publications.php?function=searchbyid&author=21>>. Acesso em: 11 nov. 2019.

FAGEN, A. P. *et al.* Factors That Make Peer Instruction Work: A 700-User Survey. In: **AAPT Winter Meeting**, 2000, Kissimmee, FL. The “Peer Instruction Implementation Survey”. Disponível em: <<http://galileo.harvard.edu/PIsurvey.html>>. Acesso em: 05 out. 2019.

HAKE, R. R., Interactive-engagement vs. traditional methods: A six-thousandstudent survey of mechanics test data for introductory physics courses. **Am. J. Phys**, v. 66 n. 1, p. 64-74, 1998.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. Tradução de José Paulo de Azevedo. 4. ed. V.2. Rio de Janeiro: LTC, 1996. 292 p.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. 9. ed. V.2. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 312 p.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. 9. ed. V.4. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 420 p.

HALLOUN, I.; HESTENES, D.: „The initial knowledge state of college physics students”, **American Journal of Physics**, v. 53, n. 11, p. 1043-1055, 1985a.

HALLOUN, I.; HESTENES, D. Common sense concepts about motion, **American Journal of Physics** , v. 53 n. 11, p. 1056-1065, 1985b.

HAN, J. *et al.* Dividing the Force Concept Inventory into two equivalent half-length tests. **Phys. Rev. Sp. Top. - Phys. Ed. Res.**, v. 11, p. 010112-1 – 010112-9, 2015. Disponível em: <<http://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevSTPER.11.010112>>. Acesso em: 14 dez. 2019

HEINER, C.; BANET, A.; WIEMAN, C. **Preparing students for class: How to get 80% of students reading the textbook before class.** **American J. Physics**, v. 82, n. 10, p. 989-996, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1119/1.4895008>>. Acesso em: 5 Oct. 2019.

HENDERSON, C.; DANCY, M., The impact of physics education research on the teaching of introductory quantitative physics in the United States. **Physical Review Special Topics: Physics Education Research**, v. 5, n. 2, 020107, 2009.

HESTENES, D. Toward a modeling theory of physics instruction. **American Journal of Physics**, v. 55, n. 5, p. 440-454, 1987.

HESTENES, D.; WELLS, M.; SWACKHAMER, G. Force Concept Inventory. **Physics Teaching**. v. 30, p. 141–158, 1992.

LARSON, R.; FARBER, B. **Estatística aplicada**. 4. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. 637 p.

LASRY, N., **Clickers or Flashcards: Is There Really a Difference?**, *Phys. Teach* v. 46, p. 242-244, 2008.

LASRY, N.; MAZUR, E.; WATKINS, J., Peer instruction: From Harvard to the two-year college, **American Journal of Physics**. v. 76, n. 11, p. 1066-1069, 2008.

LOPES, A. M. **Combinando Metodologia de Ensino Peer Instruction com JUST-IN-TIME TEACHING para o Ensino de Física**. Viçosa. 2016. 165 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2016.

MAZUR, E. **Peer Instruction: A User’s Manual**. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 1997. 253 p.

MAZUR, E. *et al.* Conceptual question response times in Peer Instruction classrooms. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, v. 10, p. 020113-1–020113-6, 2014.

MAZUR, E.; WATKINS, J. **Just-in-Time Teaching and Peer Instruction**. In: **SIMKINS, S.; MAIER, M. (Eds.). Just-In-Time Teaching: Across the Disciplines**,

Across the Academy Just-In-Time Teaching. 1. ed. Sterling: Stylus Publishing, p. 39-62, 2010.

MCKEACHIE, W.J. 1994. Teaching tips: Strategies, research and theory for college and university teachers, 9th ed, Lexington, MA: DC Heath

M.G. Müller, I.S. Araujo, E.A. Veit e J. Schell, **Revista Brasileira de Ensino de Física** 39, e3403 (2017).

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros.** 4. ed. Rio de Janeiro: (Gen) LCT, 2009. 490 p.

NEVES, A. J. M., de Sá M. B.; Oliveira A.S.; Neves J. V. O.; de Carvalho1 A. T. G, Resultados de Aprendizagem Associados ao Uso do Peer Instruction Numa Escola Média Brasileira. In: **XVII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, 2018, Campos do Jordão, SP.

NOVAK, G. N.; PATTERSON, E.T.; GAVRIN, A.; Christian, W. **Just-in-Time Teaching: Blending active Learning and Web Technology.** Addison-Wesley, NY, 1999. 188 p.

PODOLEFSKY, N.; FINKELSTEIN, N. "The perceived value of college physics textbooks: Students and instructors may not see eye to eye," **Phys. Teach.** v. 44, n. 6, p. 338–342, 2006.

PRINCE, M. Does active learning work? A review of the research. **Journal of engineering education**, v. 93, n.3, p. 223-231, 2004.

STELZER, T *et al.* Comparing the efficacy of multimedia modules with traditional textbooks for learning introductory physics content. **Am. J. Phys**, v. 77, n. 2, p. 184–190, 2009.

TRIOLA, M. F. **Introdução à estatística: Atualização da tecnologia.** 11. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. 707 p.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física II: termodinâmica e ondas.** 12. ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2008. 325 p.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física IV: óptica e Física Moderna.** 12. ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2009. 411p.

ANEXO A

PRODUTO EDUCACIONAL: O ESTUDO ANTECIPADO COMO POTENCIALIZADOR DAS AULAS DE FÍSICA

O propósito deste produto didático é apresentar uma maneira eficaz de orientar e estruturar o estudo dos conteúdos antes da aula por parte dos alunos, chamado aqui de estudo pré-aula. Em especial, destacamos a importância dessa prática e os ganhos de aprendizagem provenientes dela. Além disso, apresentamos um conjunto de diretrizes que, do ponto de vista prático, poderá subsidiar professores que ainda não tenham conhecimento suficiente sobre como estabelecer com eficácia o estudo pré-aula em sua prática pedagógica. Tais orientações estão fundamentadas em pesquisas realizadas no contexto do ensino superior, mas é razoável supor que seus resultados se aplicam integralmente no ensino básico.

1 INTRODUÇÃO

Parece evidente para os professores que os seus alunos se beneficiariam muito de estudar antecipadamente o conteúdo de cada aula, seja no ensino superior ou na educação básica. Contudo, é igualmente claro para o professor que é incomum que os estudantes sequer leiam o material do livro-texto antes de cada aula. Segundo Cummings *et al.* (2002), os estudantes ainda desconhecem os benefícios da leitura pré-aula. Podolefsky e Finkelstein propõem que ainda que o estudante perceba a importância da leitura do livro para o aprendizado, ele poderia não ver a relação dessa atividade com aquilo que é demandado nas avaliações. Assim, os alunos procuram ocupar o seu tempo de estudo com atividades que acreditam serem mais efetivas para a obtenção de boas notas (HEINER, BANET, WIEMAN, 2014). Dessa forma, não é surpresa que entre 70% a 80% dos estudantes não leiam previamente o material das aulas (CLUMP, BAUER, BRADLEY, 2004; PODOLEFSKY, FINKELSTEIN, 2006; STELZER *et al.*, 2009). Na mesma linha, Crouch *et al.* (2007) destacam que nas disciplinas de Ciências lecionadas de forma tradicional (expositiva), os alunos usualmente só estudam o livro-texto, após o conteúdo ter sido discutido em sala de aula. Os autores acrescentam que os estudantes das disciplinas introdutórias de Ciências não sabem fazer uma leitura pré-aula eficaz do livro-texto, e que dificilmente completariam essa tarefa, sem um incentivo para tal.

Adiante, discutiremos os benefícios que o estudo pré-aula enseja, algumas formas de promovê-lo, os seus efeitos no desempenho dos alunos e o tempo que ele requer.

2 A IMPORTÂNCIA DO ESTUDO PRÉVIO

Acredita-se que em geral estudar o material do livro-texto antes da aula, faz com que o estudante esteja melhor preparado para aprender. Wieman *et al.* (2014) destacam que a partir da pré-leitura, os alunos podem fazer questionamentos mais profundos durante as aulas, além de ir melhor nos exames de avaliação. Crouch *et al.* (2007) afirmam que caso a leitura pré-aula seja realizada de forma efetiva, o professor terá mais tempo de aula para se dedicar aos pontos mais importantes e difíceis do assunto, para discutir outras facetas do conteúdo, apresentar novos exemplos e ainda oferecer aos alunos oportunidades de explorar conceitos importantes. Em suma, nesse cenário ideal, os alunos poderiam tirar as suas dúvidas na própria aula e o instrutor focar apenas os pontos mais desafiadores ou importantes, criando espaço para discussões e prática do conteúdo. Acreditamos que o estudo pré-aula é também uma prática vital para ensinar o aluno a aprender, promovendo sua autonomia. Nas palavras de Crouch *et al.*: “Aprender com a leitura é uma habilidade que vale a pena desenvolver, porque depois da faculdade, uma grande quantidade de aprendizado contínuo ocorre através da leitura” (CROUCH *et al.*, 2007, p. 14, tradução nossa). ”.

Segundo Wieman *et al.* (2014, p. 990, tradução nossa), as tarefas de leitura pré-aula “podem ser benéficas em qualquer tipo de aula. No entanto, elas podem ser particularmente importantes nas salas de aula onde se utiliza métodos ativos de ensino”. No Peer Instruction, por exemplo, as discussões entre colegas podem se tornar mais ricas. No entanto, para que esse método seja mais efetivo, é necessário que os alunos tenham feito um bom estudo pré-aula (Mazur; Watkins, 2010, p. 39). Na verdade, estudos recentes mostram que, para muitos grupos de alunos, o PI só será superior ao método tradicional se ele vier acompanhado de fortes incentivos ao estudo pré-aula (LOPES, 2016; NASCIMENTO, 2020). Esses assuntos serão discutidos na próxima seção.

2.1 O impacto do estudo antecipado sobre o desempenho em avaliações

O estudo documentado aqui envolveu 2.603 alunos. Ele foi realizado na Universidade Federal de Viçosa (UFV), durante oito semestres acadêmicos, na disciplina Física 2 (FIS202). Trata-se de um curso introdutório sobre fluidos, ondas

mecânicas, ondas eletromagnéticas, termodinâmica e teoria cinética, cujos pré-requisitos são uma disciplina de Mecânica – a Física1 (FIS201) – e uma disciplina de Cálculo Diferencial e Integral. A ideia central do curso era priorizar a compreensão dos conceitos estudados e o seu uso na resolução de problemas concretos e novos para os alunos, não a memorização de textos ou de problemas específicos (LOPES, 2016, p.22). A maior parte dos estudantes que se matriculam na FIS202 são do ciclo básico dos cursos de Ciências Exatas e principalmente dos cursos de Engenharia (LOPES, 2016, p.23).

Um importante resultado sobre a eficácia do estudo pré-aula, pode ser encontrado em Lopes (2016). Em especial, ele determinou em que condições, e o quanto, a metodologia Peer Instruction é mais efetiva que o método tradicional sob a métrica das notas nas avaliações dos alunos. Seus resultados demonstraram que, sem utilizar o questionário Just-in-Time Teaching (JiTT) para reforçar adequadamente a leitura pré-aula, o método Peer Instruction só promoveu um desempenho em provas superior ao do método tradicional para aqueles alunos de melhor desempenho acadêmico. Para os demais alunos da pesquisa (90% da amostra), os resultados indicaram que as duas metodologias fornecem resultados estatisticamente equivalentes. Entretanto, utilizando o JiTT para reforçar o estudo pré-aula, a metodologia PI resultou em notas expressivamente superiores (de 12 a 19 por cento) àquelas obtidas com método tradicional, para toda o intervalo de preparo acadêmico dos alunos.

As diretrizes utilizadas por Lopes (2016) para implementar o JiTT em seu estudo foram, questionários curtos (cerca de duas perguntas), com questões desafiadoras. Em especial, o questionário pré-aula (JiTT) implementado por ele era composto de questões conceituais discursivas sobre o material do estudo prévio e ocasionalmente uma questão opcional perguntando sobre qual seria a parte mais complexa dele (LOPES, 2016, p. 26). As respostas deveriam ser construídas a partir do livro-texto, mas em geral não estavam explicitamente mencionadas nele. Além disso, demandava do aluno uma análise mais profunda do texto, sua síntese, ou mesmo a combinação de partes distintas dele. Segundo Lopes (2016, p. 15-16), “essas questões fazem com que o aluno vá além da memorização, ou seja, ele pensa mais profundamente sobre os conceitos estudados na leitura prévia”. Por fim, era atribuída uma nota aos questionários pré-aula, que buscava refletir o esforço

demonstrado pelo estudante no estudo do conteúdo, independentemente do acerto da sua resposta.

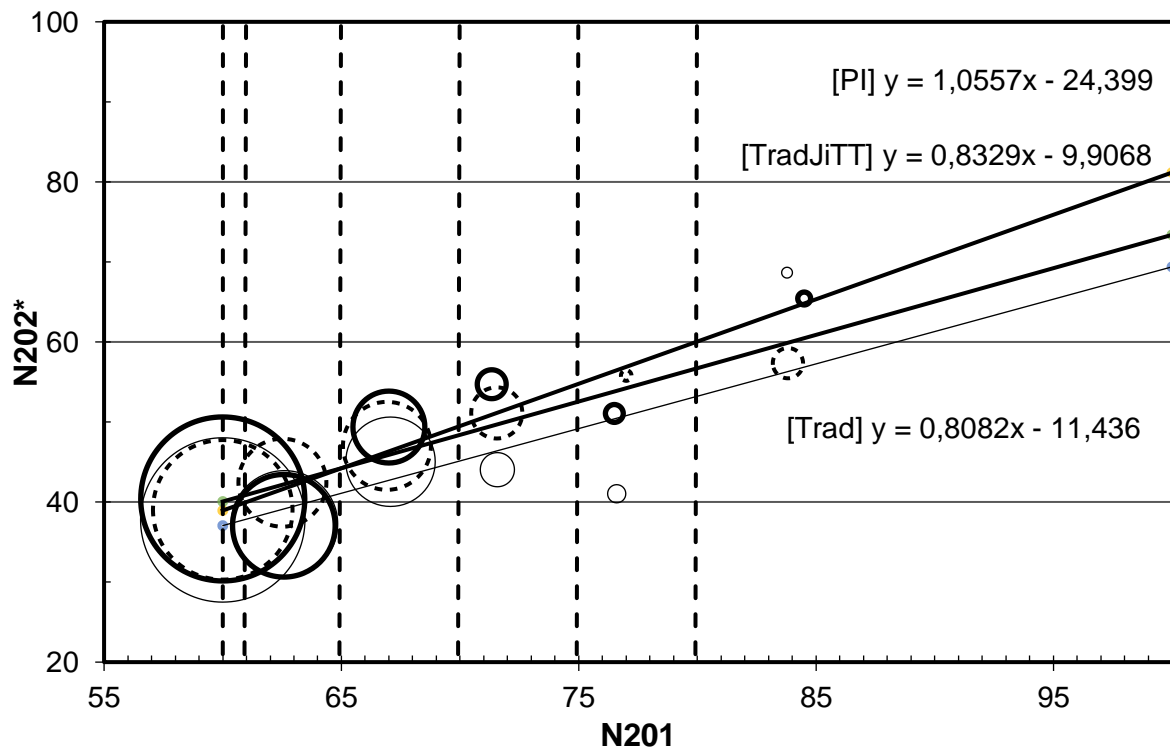
Entretanto, o trabalho de Lopes (2016) deixou um ponto vital a ser examinado. Vimos ali que sem um forte incentivo ao estudo antes da aula, o desempenho em prova dos alunos do método PI e tradicional eram iguais, exceto para os poucos alunos com elevado preparo acadêmico. Ao introduzir o JiTT, os alunos PI passaram a ter em média um desempenho superior, qualquer que fosse o seu preparo acadêmico. Esses fatos conduzem a uma pergunta importante: as atividades características da aula PI contribuem para o desempenho do aluno, ou isso é exclusividade do estudo pré-aula? A determinação da importância relativa desses elementos para a promoção do ganho observado com o PI em comparação ao método tradicional é uma questão muito importante de ser respondida. Do ponto de vista prático, tais respostas poderiam subsidiar professores na decisão de utilizar a metodologia Peer Instruction na sua prática pedagógica. Com efeito, caso o ganho observado se deva exclusivamente ao estudo prévio promovido pelo questionário JiTT, seria sem dúvida o caso de se manter a simplicidade da aula tradicional expositiva.

As respostas aos questionamentos acima foram obtidas através de um novo experimento (NASCIMENTO, 2020). Durante três semestres letivos, investigamos o papel do estudo pré-aula, tanto na instrução tradicional, quanto no Peer Instruction. Tínhamos três métodos didáticos: o Peer Instruction com questionários JiTT (PI), o tradicional (Trad) e o tradicional conjugado com o JiTT (TradJiTT). O gráfico seguinte apresenta as informações que permitem a comparação de desempenho dos alunos em nota de prova nas três metodologias.

A abscissa representa a nota em FIS201 (N_{201}) e a ordenada é o percentual de nota de prova em FIS202 (N_{202}^*). Os alunos estão separados em conjuntos por intervalo de nota em N_{201} . Tais grupos são representados pelas bolhas, centradas em um ponto cuja abscissa é a nota média deles em N_{201} e a ordenada é média das notas em N_{202}^* . O diâmetro das bolhas é proporcional ao número de alunos no intervalo que ela representa, e cada método didático é representado de forma diferente. Como se pode notar, as retas correspondentes aos métodos PI e TradJiTT estão acima daquela do método tradicional, para todo o espectro de notas N_{201} . Como se poderia esperar, o estímulo forte ao estudo pré-aula trouxe benefícios em nota de prova para o aluno, tanto na metodologia Peer Instruction, quanto na

tradicional. Além disso, a reta correspondente ao método PI fica acima da do método TradJiTT apenas a partir de $N201 > 65$. Isso indica que é necessário um preparo acadêmico mínimo para que se obtenha melhores resultados de desempenho em prova com o PI em comparação com o TradJiTT. Para notas mais baixas ($60 \leq N201 < 65$), a reta TradJiTT está acima da reta PI. Isso sugere que para alunos com preparo acadêmico pequeno, é mais benéfico para o aluno que o professor utilize mais do tempo de aula com a exposição do conteúdo do que promovendo discussão entre os colegas. Esse resultado é razoável, pois um dos pontos centrais do Peer Instruction reside no fato do aluno aprender o conteúdo com o seu colega por meio das discussões de questões levantadas pelo professor em sala. Se os alunos têm baixa proficiência, há de se esperar que esse método ativo não seja eficaz. Apesar desse resultado ocorrer em um intervalo estreito de preparo acadêmico, ele é relevante, pois nesse intervalo tínhamos a maior parte dos nossos alunos (66%). Acreditamos que esse é o cenário na maioria das instituições de ensino no Brasil e no mundo.

Gráfico 2.1: Resultados obtidos nos semestres 2015-1, 2015-2 e 2016-1. São 345 alunos PI, 346 alunos TRAD e 346 alunos TradJiTT. As bolhas seis representam os grupos de alunos com notas em FIS201 ($N201$) nos intervalos delimitados pelas retas tracejadas. O centro de cada uma tem como coordenadas as médias no grupo das notas em FIS201 (abscissa) e das notas percentuais nas provas de FIS202 ($N202^*$, ordenada). O diâmetro é proporcional ao número de estudantes representados pela bolha. O seu traço, grosso, tracejado ou fino, indica o método didático relacionado – PI, TradJiTT, ou Trad, respectivamente.



Fonte: Acervo próprio.

O gráfico 2.1 ainda traz um resultado relevante que nos permite responder à questão mais importante da nossa pesquisa: o ganho observado quando se introduz o JiTT, é fruto apenas do reforço ao estudo pré-aula ou esse estudo prévio contribui para aperfeiçoar as atividades inerentes ao PI? Vejamos: para alunos que possuem preparo acadêmico acima de 65, mesmo usando o JiTT na turma tradicional (TradJiTT), obtivemos resultados inferiores àqueles obtidos com o método PI. Fica assim sugerido que as atividades intrínsecas do método PI, desenvolvidas durante a aula, ajudaram os alunos a obter melhor desempenho em prova. Com efeito, mesmo as duas metodologias usando o estudo pré-aula, os resultados do PI são melhores. A aula PI tem um efeito positivo caso o aluno possua um preparo acadêmico mínimo. Outrossim, percebe-se que as retas referentes aos métodos Trad e TradJiTT são praticamente paralelas. Esse fato sugere que o benefício proporcionado pelo questionário pré-aula nas turmas do ensino tradicional tem efeito uniforme qualquer que seja o preparo acadêmico dos estudantes.

3 PRÁTICAS PARA PROMOÇÃO DO ESTUDO PRÉ-AULA

Existem várias maneiras de promover o estudo prévio, algumas com bons resultados, outras menos efetivas. Um exemplo desse tipo de atividade, é solicitar aos alunos que façam pequenos resumos sobre o conteúdo que estudaram. Contudo, Crouch *et al.* (2007) apontam que grande parte dos estudantes não sabem escrever resumos eficazes. Wieman *et al.* (2014) afirmam que as tarefas do estudo pré-aula poderiam ser aplicadas por meio de respostas a questionários on-line, sob a justificativa de que assim o professor economizará tempo de aula, além desse procedimento tornar mais fácil a classificação das respostas, principalmente em salas com muitos alunos. Na visão de Crouch *et al.* (2007), sem que haja um conjunto de incentivos e orientações, é improvável que os alunos façam a leitura pré-aula de maneira produtiva. A seguir apresentamos duas tarefas que podem ser utilizadas para promover o estudo prévio dos conteúdos por parte dos alunos de maneira eficaz.

3.1 Quizzes

Os chamados “quizzes” são exemplos de atividades pré-aula. Eles são questões rápidas para aferir se os alunos leram o texto sugerido pelo professor. Eles são propostos na sala de aula antes da explanação do professor, por exemplo, no início da aula. Trata-se de perguntas simples acerca do conteúdo que foi sugerido para estudo prévio (MAZUR, 1997). Demandam do aluno basicamente empenho na leitura do livro-texto e não um aprendizado completo e profundo. Usualmente são usadas duas ou três questões no início de cada aula. As perguntas devem ser fáceis para quem leu o texto sugerido pelo professor, porém difíceis de responder para não o fez. Ainda segundo o autor, é ainda recomendável evitar problemas quantitativos.

Crouch *et al.* (2007) relatam dados de mais de dez anos de ensino com o Peer Instruction em Harvard, onde o método foi desenvolvido. Os pesquisadores ofereciam aos alunos um conjunto de incentivos e orientações a fim de promover a leitura pré-aula. Na implantação original, em 1991 (MAZUR, 1997), eram utilizados apenas quizzes como incentivo ao estudo pré-aula. Eles descobriram que essas tarefas ajudavam os alunos a concluir a leitura pré-aula, mas não os auxiliavam a pensar mais profundamente sobre o texto.

3.2 Os questionários Just-in-Time Teaching (JiTT)

Outra maneira de promover o estudo prévio é através de questões abertas, propostas e respondidas on-line, antes da aula. Segundo Wieman *et al.* (2014), essa abordagem pode fornecer dados úteis sobre as dificuldades dos estudantes em determinadas partes do conteúdo, e o professor poderia usá-los para preparar a instrução de forma mais objetiva. O exemplo mais conhecido desse tipo de teste é o chamado método Just-in-Time teaching (JiTT). Os questionários JiTT cobram um estudo mais profundo em relação aos quizzes, além de serem mais eficazes para promover o estudo pré-aula. Eles são, segundo a literatura, a maneira mais eficiente de potencializar o estudo pré-aula (CROUCH *et al.* 2007). Mazur (1997) afirma que o JiTT é uma técnica muito eficaz para garantir que os alunos realizem suas tarefas pré-aula e que é complementar ao Peer Instruction. Ele estrutura a leitura dos alunos antes da aula e fornece feedback para que o instrutor possa adaptar as perguntas da sala de aula (testes conceituais) às dificuldades dos alunos (MAZUR E WATKINS, 2010). Como relatado anteriormente, ele é composto de poucas questões que devem ser respondidas antes da aula. As questões devem ter um cunho mais conceitual e discursivas, além de desafiadoras sobre o material do estudo prévio. Usar questões desafiadoras, segundo Mazur e Watkins (2010), estimula os estudantes a estudarem antes da aula. Ocasionalmente, pode-se inserir uma questão opcional perguntando sobre qual seria a parte mais complexa da leitura do livro-texto, ou quais conceitos ainda não estão claros (MAZUR E WATKINS, 2010, p. 42). Esse último procedimento pode ser valioso para que o instrutor obtenha retorno sobre o nível de compreensão e as dificuldades dos alunos com o material e assim, preparar melhor a aula seguinte. É fundamental que o professor estipule um prazo máximo para a entrega do questionário JiTT antes da aula. A aplicação on-line facilitará esse último procedimento.

4 UMA INVESTIGAÇÃO SOBRE DO ESTUDO PRÉ-AULA

Uma das investigações mais recentes e completas sobre o aperfeiçoamento do estudo pré-aula é feita por Wieman *et al* (2014), cujos resultados vamos rever brevemente nesta seção. O estudo desses autores foi realizado em duas disciplinas de graduação – uma de Física e outra de Biologia – que utilizavam métodos ativos. Eles utilizaram duas atividades pré-aula com a finalidade de incentivar os alunos a ler o livro antes da aula e de prepará-los melhor para a aula. Essas tarefas continham orientações bem específicas: (1) a realização de leituras curtas, direcionadas claramente para aquelas seções do livro-texto que tratavam dos assuntos das aulas seguintes e (2) aplicação de um questionário on-line que deveria ser respondido antes da aula. Os questionários eram curtos, de múltipla escolha e de nível básico. Geralmente, uma ou duas perguntas do questionário exigiam que os alunos considerassem aspectos de figuras específicas, gráficos ou equações, com as perguntas restantes sondando a compreensão da leitura (HEINER, BANET, WIEMAN, 2014, p. 990, tradução nossa). Na opinião dos autores, “esse direcionamento da tarefa e do questionário concentra a atenção do aluno em tópicos, definições ou exemplos específicos que serão discutidos em aula naquela semana” (HEINER, BANET, WIEMAN, 2014, p. 989, tradução nossa).

Nesse estudo, eles investigaram, dentre outras coisas, com que frequência os alunos terminavam a leitura pré-aula. Os autores observaram que 85% dos 101 estudantes de Física e 79,3% dos 260 estudantes de Biologia, terminavam a pré-leitura das seções do livro texto de cada semana ou da maioria das semanas. Na visão desses autores, os elevados índices de conclusão da leitura pré-aula estão relacionados com a natureza das atividades.

Um resumo do que esses autores acreditam ser as “melhores práticas” para implementar o estudo pré-aula e o que eles adotaram na pesquisa, está listado no quadro 1 (HEINER, BANET, WIEMAN, 2014, p. 991, tradução nossa).

Quadro 1: Sugestões de melhores práticas para implementar tarefas de pré-aula. (continua)

- | |
|--|
| 1. Concentre-se no que você planeja discutir em sala de aula, isso cria uma conexão clara entre a leitura e as expectativas dos alunos para a aula. |
| 2. Explique explicitamente o objetivo das tarefas pré-aula e suas expectativas, e como as tarefas são benéficas para o aluno. Repita esse procedimento algumas vezes durante o período letivo. |

Quadro 1: Sugestões de melhores práticas para implementar tarefas de pré-aula. (conclusão)

3. Solicite leitura orientada com instruções explícitas, por exemplo, números de figuras ou perguntas a serem consideradas durante a leitura.
4. Retire da leitura pré-aula aquelas partes do texto que não serão discutidas na aula daquela semana.
5. Aplique testes que consigam averiguar (quizzes) se os alunos fizeram a leitura. Caso seja possível, opte por fazer on-line e não durante a aula.
6. Quizzes: as perguntas devem ser fáceis para quem leu e difícil para quem não leu e evitar problemas que exijam cálculos numéricos.
7. Faça menção das coisas que devem ser estudadas previamente - mas não as ensine novamente. (Se você reexplicar tudo, os alunos pararão rapidamente de ler.)

Fonte: (HEINER, BANET, WIEMAN, 2014).

Outro ponto importante da investigação de Wieman *et al.* (2014) foi solicitar aos estudantes que escrevessem sobre quais eram as motivações para eles concluírem as tarefas do estudo pré-aula. Os autores consideram que o resultado mais importante da pesquisa foi descobrir que grande parte dos alunos – mais de 75% – reconheceram que a leitura pré-aula impactou positivamente no aprendizado e compreensão do conteúdo. Os alunos ainda relataram vários efeitos positivos das pré-leituras. Segue abaixo alguns relatos dos alunos (HEINER, BANET, WIEMAN, 2014, p. 993-995).

Quadro 2: Relatos dos alunos sobre a motivação e efeito de concluir uma tarefa pré-aula

Aluno A	“Eles me ajudaram a entender as aulas e me mantiveram atualizado com o conteúdo.”
Aluno B	“Estudei principalmente pelas notas, mas isso me ensinou que fazer o estudo pré-aula é realmente útil para acompanhar as aulas.”
Aluno C	“Estudei para conseguir notas e ... isso me ajudou a distinguir o que sei e o que tenho problemas, de modo que podia tirar as minhas dúvidas na sala de aula.”
Aluno D	“Estudei pelo desejo de aprender o conteúdo e pelas as notas envolvidas nisso.”

Fonte: (HEINER, BANET, WIEMAN, 2014, p. 993-995).

Sobre os relatos dos alunos acerca do os motivou a finalizar as tarefas pré-aula, os autores chamam a atenção para um ponto importante.

Embora os alunos tenham citado a nota na maioria das vezes como motivação, 64,7% dos estudantes de física e 83,9% dos alunos de biologia escreveram explicitamente sobre maneiras pelas quais as pré-leituras tiveram um efeito positivo em termos de preparação das aulas, aprendizado geral, mantendo-se atualizado com o material ou outras observações positivas.[...] Isso mostra que, embora a maioria dos alunos reconheça algum benefício para a aprendizagem antes da aula, sem o incentivo das notas, isso pode não produzir o mesmo efeito (ou seja, a conclusão da tarefa) entre os alunos. Assim, sugerimos, quando possível, atribuir uma pequena porcentagem da nota final para a conclusão dos questionários on-line (HEINER, BANET, WIEMAN, 2014, p. 994, tradução nossa).

Os resultados desses autores ainda sugerem que existe uma correlação positiva, estatisticamente significativa, entre as notas nos exames finais e a frequência com que os estudantes enviaram o questionário on-line. A nota média dos alunos que enviaram o questionário toda semana foi de 74 pontos na Física e 69 pontos nas turmas de biologia. Já para aqueles alunos que enviaram menos da metade das atividades ou raramente enviaram, a nota média das turmas de Física foi de 61 pontos e em Biologia de 55 pontos.

Salientamos que, apesar desse estudo ter sido realizado em uma universidade, é razoável presumir que suas conclusões sejam aplicáveis ao ensino básico.

5 A DEMANDA DE TEMPO DO ALUNO COM O ESTUDO PRÉ-AULA

Advogamos até aqui sobre as vantagens que o estudo pré-aula pode trazer, tanto para a metodologia Peer Instruction, como para o método tradicional. Mas qual seria a demanda de tempo por parte do aluno, para se preparar adequadamente para as aulas, usando o questionário JiTT? Lopes (2016) investigou esse fato através de um questionário de múltipla escolha acerca do tempo necessário para executar as atividades relacionadas ao estudo pré-aula na metodologia Peer Instruction. Apesar desse foco, os resultados apresentados nesta seção poderão orientar a implantação do estudo pré-aula em outros contextos. Segue abaixo duas das perguntas que foram respondidas pelos alunos na pesquisa de Lopes (2016, p. 54-55).

“Em média, de quanto tempo você precisa para responder ao questionário, sem contar o tempo de estudo?”.

“Em média, de quanto tempo você precisa para estudar adequadamente para uma aula (sem contar responder ao questionário)?”.

Ele descobriu que em média, os alunos necessitam de 45 minutos para responderem ao questionário JiTT e de 1,8 horas para se prepararem adequadamente para a aula. Dessa forma, os estudantes necessitam de aproximadamente 2,3 horas para se prepararem adequadamente para uma aula PI com questionário JiTT. Segundo as pesquisas de Young e Freedman (apud LOPES, 2016, p.59), “para cada hora que o aluno passa em sala de aula, ele deve passar 2,5 horas estudando fora da sala de aula”. Nota-se assim, que as atividades do estudo pré-aula, como sugestão de leitura orientada e questionário JiTT, requerem do discente um tempo dentro daquele recomendado na literatura.

6 EXEMPLOS DE QUIZZ E QUESTIONÁRIOS JITT

Esta seção tem um caráter mais objetivo. Indo além dos esclarecimentos anteriores, pretendemos aqui apresentar alguns exemplos de quizzes e questionários JiTT. Eles foram formulados como resultado da orientação com o professor Álvaro Neves, orientador deste trabalho, ou coletados da literatura.

6.1 Quizz

Seguem exemplos de alguns quizzes. Cada um deles demanda que o leitor tenha meramente se atentado para determinadas informações do texto. Fazendo uma leitura atenta, mesmo que superficial, o aluno deve ser capaz de respondê-los. Essa é a ideia central do quizz.

A seguir, apresentamos alguns exemplos que quizzes que foram utilizados na nossa pesquisa.

Quizz 1:

Na experiência de difração com uma fenda de largura “a”, qual é a posição angular dos pontos com intensidade mínima?

- a) $a \sin \theta = m \left(\lambda + \frac{1}{2} \right)$, $m = 0, 1, 2, \dots$
- b) $a \sin \theta = m \left(\lambda + \frac{1}{2} \right)$, $m = 1, 2, \dots$
- c) $a \sin \theta = m \lambda$, $m = 0, 1, 2, \dots$
- d) $a \sin \theta = m \lambda$, $m = 1, 2, \dots$
- e) Nenhuma das respostas acima

Como explicado, a finalidade do quizz não é iluminar o conteúdo, mas meramente cobrar a leitura prévia do conteúdo indicado para uma aula. Não se trata, tampouco de incentivar a memorização de fatos aleatórios. De fato, o conhecimento abordado recebe um destaque grande na exposição do livro e é um fato significativo para a sequência do estudo. Assim, acreditamos que a questão seja trivial para o estudante que cumpriu o estudo pré-aula, porém ela não traz pista para aquele que não o fez.

Quizz 2:

Qual é a unidade de medida de entropia no Sistema Internacional de Unidades?

- a) K
- b) J
- c) J/K
- d) K/J
- e) Nenhuma dessas.

A pergunta acima foi utilizada quando o conteúdo do estudo pré-aula envolvia a definição de entropia e o cálculo da sua variação em alguns processos termodinâmicos simples. Não se espera que o aluno nesse momento tenha memorizado a resposta. Contudo, aqueles que fizeram o estudo do material indicado provavelmente poderão obtê-la tanto lembrando da definição, como da menção do texto à unidade de medida da grandeza.

6.2 Exemplos de questionários JiTT

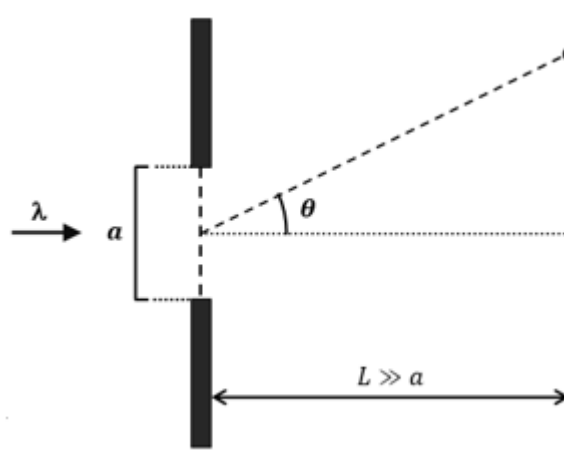
Como já relatado na subseção 3.2, o questionário JiTT deve conter uma pergunta mais difícil e desafiadora para a maioria dos alunos, de forma a permitir um entendimento mais profundo e conceitual dos conteúdos; esse é o cerne do JiTT. Assim, para respondê-los, o aluno precisará de um estudo mais cuidadoso do livro-texto, buscando compreender o significado dos conceitos. Em geral, a resposta será elaborada a partir de uma síntese da seção ou do capítulo ou mesmo combinando partes do texto. Na aula posterior à entrega do questionário, é fundamental que o professor separe um tempo da aula para discutir com seus alunos a resposta correta do questionário. O professor deve neste momento, tornar claro quais eram os principais conceitos utilizados para a construção da resposta correta. Esse momento de feedback será muito importante para os estudantes, pois ele poderá comparar seus argumentos com os argumentos do professor. Após esse momento, eventualmente o professor poderá aplicar um teste conceitual a fim de concretizar algum conhecimento relevante que não tenha ainda sido solidificado pela maioria. A seguir, apresentamos, alguns exemplos de questionários JiTT.

6.2.1 Escolhendo o tema das questões do questionário JiTT

As duas questões que se seguem foram, de fato, utilizadas na Física 2 pelo orientador deste trabalho. No momento da sua utilização a disciplina estava na parte de óptica física. Os alunos haviam concluído o capítulo de interferência e iniciavam o de difração. O material que deveria ser estudado previamente para a primeira aula sobre difração começava da maneira padrão, mencionando observações experimentais que exemplificam o fenômeno, confrontando-as com os resultados esperados a partir da óptica geométrica. Adiantava-se, então, que seria mostrado que a difração poderia ser compreendida como a superposição (interferência) das ondas eletromagnéticas (ondas secundárias de Huygens) provenientes de muitas fontes luminosas. Em seguida, era apresentada a distribuição de luz com faixas claras e escuras, produzida em anteparo diante de uma estreita fenda simples. Por fim, apresentava-se uma dedução da posição angular do centro das faixas escuras, isso é, dos pontos onde a intensidade de luz é nula. Esse argumento é o tema das duas questões que se seguem. Ele foi escolhido para o questionário pré-aula, por não ser bem-compreendido pela maioria dos alunos, e por tratar de pontos importantes para a sequência do capítulo.

A figura abaixo traz o diagrama tradicional de uma fenda simples com largura “ a ”, iluminada coerentemente por luz com comprimento de onda λ .

Figura 6.1 - Diagrama de uma fenda simples com largura “ a ”, iluminada por luz de comprimento de onda λ . O ponto destacado no anteparo de observação tem posição angular θ .



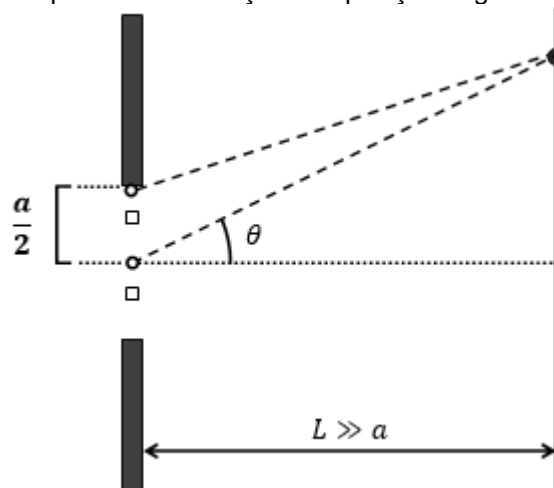
Fonte: Acervo próprio.

A dedução supracitada busca obter a posição angular (θ na figura) dos pontos com intensidade mínima, a saber: $a \sin\theta = m \lambda$, $m = 1, 2, 3, \dots$. O argumento aparece

no tratamento da difração em essencialmente todos os livros introdutórios de Física de nível universitário. A ideia fundamental é determinar para que pontos do anteparo, isso é, para que valores de θ , a luz proveniente das fontes puntuais que compõem a fenda (fontes secundárias de Huygens) se destroem mutuamente por interferência.

Seguindo a explanação típica dos livros-texto, consideremos a fenda dividida em duas partes, com comprimento $a/2$, conforme mostra a figura abaixo. Os pequenos círculos no topo e no centro da fenda representam fontes puntuais de luz. Cada uma emite luz para todos os pontos do anteparo, inclusive para o ponto destacado na figura, localizado pelo ângulo θ . As linhas tracejadas representam o caminho dos raios de luz entre as fontes e esse ponto.

Figura 6.2 - Diagrama de uma fenda simples com largura "a", dividida em duas partes, com comprimento $a/2$. O ponto destacado no anteparo de observação tem posição angular θ .



Fonte: Acervo próprio.

Tratando, por ora, apenas dessas duas fontes, estamos diante de uma situação idêntica à do experimento de Young, estudado anteriormente. Com base naquele estudo, e lembrando que a separação entre essas fontes, $a/2$, é muito maior que a distância entre a fenda e o anteparo, é fácil ver que a diferença caminho entre os raios mostrados é dada por

$$\Delta C = \frac{a}{2} \operatorname{sen}\theta \quad (\text{Eq. 6.1})$$

Naturalmente essa diferença de caminho depende da posição do ponto no anteparo. Como na experiência de Young, nos pontos para os quais a diferença de caminho é igual a um número semi-inteiro de comprimentos de onda da luz, teremos

interferência destrutiva da luz das duas fontes consideradas. Em particular, teremos a interferência destrutiva no ponto do anteparo para o qual a diferença de caminho corresponde a meio comprimento de onda. Usando a expressão anterior para ΔC , a posição angular desse ponto pode ser obtida pela seguinte equação:

$$\frac{a}{2} \operatorname{sen}\theta = \frac{\lambda}{2} \rightarrow a \operatorname{sen}\theta = \lambda \quad (\text{Eq. 6.2})$$

É preciso considerar as outras fontes de luz na fenda. Consideremos uma na metade superior da fenda, situada a uma certa distância do topo da fenda e uma outra fonte, à mesma distância abaixo do centro da fenda. Essas duas fontes pontuais estão representadas na figura anterior por pequenos quadrados. Como a distância entre elas é também de $a/2$, a diferença de caminho percorrido pela luz que vai de uma e outra dessas fontes até o ponto destacado no anteparo é dada pela equação 6.1. Assim, naquele ponto (posição angular dada pela equação 6.1) onde a luz das fontes representadas por círculos se cancela por interferência, teremos também a destruição mútua da luz emitida pelas fontes representadas pelos quadrados. Em suma, nesse ponto do anteparo, a luz proveniente de uma fonte pontual qualquer, situada na metade superior da fenda, será destruída pela luz advinda de uma outra fonte na parte inferior da fenda. Dessa forma, toda a luz que chega ao ponto, cuja posição angular é dada pela equação 6.2, é destruída por interferência, e, assim, a intensidade luminosa ali é nula – trata-se de um mínimo de difração.

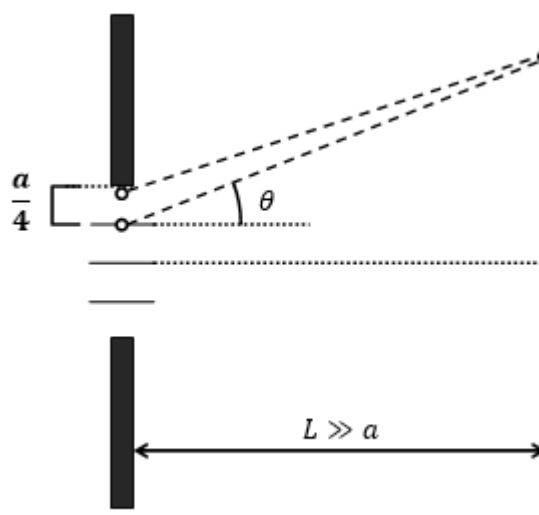
Tendo encontrado a posição angular de um dos mínimos do padrão de difração da fenda, vamos agora considerá-la dividida em quatro partes iguais, como indicado na figura 3.3. Da discussão anterior, sabe-se que a diferença de caminho percorrido pelos raios de luz vindos das duas fontes indicadas por círculo na figura é

$$\Delta C = \frac{a}{2} \operatorname{sen}\theta \quad (\text{Eq. 6.3})$$

Num ponto do anteparo onde essa diferença de caminho é de meio comprimento onda, teremos interferência destrutiva dessa luz. A posição angular do ponto em questão é dada por

$$a \operatorname{sen}\theta = 2\lambda \quad (\text{Eq. 6.4})$$

Figura 6.3 - Diagrama de uma fenda simples com largura "a", dividida em quatro partes iguais, com comprimento a/4. O ponto destacado no anteparo observação tem posição angular θ .



Fonte: Acervo próprio.

Da mesma forma, cada fonte puntual no quarto superior da fenda tem uma fonte no quarto imediatamente abaixo tal que a luz dessas fontes se cancela no ponto do anteparo cuja posição é dada pela equação 6.3. Seguindo o argumento, o leitor poderá mostrar que cada fonte da fenda tem a sua luz destruída pela luz proveniente de uma outra fonte. Conseqüentemente, o ponto dado pela equação 3.3 é um mínimo de difração.

Dividindo-se a fenda sucessivamente em 6, 8, 10 ... partes, o argumento acima nos conduzirá a outros mínimos. A posição deles e dos dois mínimos apontados antes é sintetizada pela seguinte expressão.

$$a \sin \theta = m \lambda \quad , \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (\text{Eq. 6.5})$$

Esse resultado está em acordo com as conclusões experimentais.

Questão 1:

Adapte o argumento do nosso livro-texto para encontrar a posição angular dos MÁXIMOS de difração de uma fenda simples. Você chegará a uma resposta que é obviamente errada. a) Qual é essa resposta (basta mencionar)? b) Por que o argumento que funcionou tão bem para obtenção dos mínimos não se aplica para

obter a posição dos máximos? Em outras palavras, o que há de errado na adaptação do argumento para obter a posição dos máximos?

O aluno que entendeu o raciocínio apresentado no texto, não terá dificuldade de adaptá-lo para encontrar a posição dos máximos de difração. Ele irá procurar os pontos do anteparo nos quais a interferência da luz provenientes das fontes destacadas é CONSTRUTIVA. Por exemplo, dividindo a fonte em duas partes, como na figura 6.2, ele poderá calcular para que valores de θ a diferença entre os caminhos tracejados é igual um comprimento de onda. Dessa forma, será obtida a posição de um ponto no qual a luz proveniente de cada fonte da fenda será reforçada por interferência construtiva. Levando a ideia até o final, conclui-se que a posição de um máximo é dada pela equação $a \sin\theta = 2\lambda$. Dividindo a fenda em 2, 4, 6, ... partes, obtém outros máximos. Em resumo, a adaptação do argumento do livro nos leva a concluir que os máximos de difração estão nos pontos dados por

$$a \sin\theta = m \lambda , m = 2, 4, 6, \dots \quad (\text{Eq. 6.5})$$

Obviamente tal resposta está errada! Conforme a equação 6.5, esses são pontos de mínimo!

A segunda parte da pergunta solicita que se explique o que há de errado nessa adaptação. É importante pontuar que se trata de uma questão difícil e sutil, mesmo para professores. De fato, apenas 1% dos alunos responde corretamente. Contudo, isso não tira o valor da questão pré-aula. A questão, por envolver um certo enigma, leva o aluno interessado a um reexame crítico de uma parte do texto que, como se mencionou antes, que envolve várias “ferramentas” importantes para o estudo de todo de interferência e difração. Recordemos que estimular esse “corpo-a-corpo” com o texto é o objetivo principal do questionário pré-aula, independente do aluno ter sido capaz de respondê-lo corretamente. Em seguida discutimos questões com menor dificuldade, porém elaboradas o mesmo propósito.

Afinal, por que o argumento não funciona para encontrar a posição dos máximos? Talvez o leitor queira se divertir com a questão antes de esboçarmos a resposta. Sinteticamente, a adaptação do raciocínio descrita acima, de fato, nos leva a pontos do anteparo nos quais cada fonte puntual sobre a fenda tem uma “irmã gêmea” cuja luz interfere construtivamente com a sua. Em outras palavras, as fontes

podem ser divididas em pares que se reforçam nos pontos mencionados. Contudo, um par que se reforça pode interferir destrutivamente com um outro par que também se reforça. Dito de outra forma, um par de gêmeos que se ajuda, pode ser atrapalhado por outro par que também se ajuda. O argumento funciona para mínimos, por que se a luz das fontes de cada par se destruírem num ponto, não restará luz alguma ali, independente da interferência entre pares diferentes ser construtiva ou destrutiva.

Questão 2:

No método utilizado no livro-texto para determinar a posição dos mínimos de difração de uma fenda, ela é dividida em 2, 4, 6, ... partes. Por que a fenda não é dividida em 3 partes? Em outras palavras, por que o método não funciona dividindo-se a fenda em 3 partes? Para responder, você precisará entender a lógica do método.

A questão 2 é mais simples que a anterior. Entretanto, a maioria dos alunos responde de forma incorreta, porque não compreende a essência do argumento do livro – em certos pontos do anteparo, a luz vinda de cada uma das fontes interfere destrutivamente com a de uma outra fonte.

Questão 3:

Na difração de fenda simples discutida no livro (fenda estreita, iluminada coerentemente) é possível que não exista no anteparo de observação nenhum ponto totalmente escuro, isso é, com intensidade nula. Explique em que condições isso acontece? Dica: Examine a equação para a posição dos mínimos de difração.

Nesse caso, trata-se de uma questão bem mais simples que as anteriores. Espera-se que o aluno tenha na sua leitura se atentado para os fatos experimentais discutidos no texto. Menciona-se ali que tornando a fenda mais estreita e mantendo-se o comprimento de onda da luz incidente, os mínimos de difração, se deslocam para pontos mais longe do centro do anteparo, ou seja, o θ correspondente a eles aumenta. O aluno deveria perguntar se para uma fenda suficientemente estreita o primeiro mínimo poderia chegar, ao infinito ($\theta = 90^\circ$). Examinando a equação que fornece os mínimos ($\sin\theta = \lambda/a$), é fácil ver que teremos essa situação quando a largura da fenda é igual ao comprimento de onda. Conclusão: para uma fenda ainda mais estreita, não se formam mínimos no anteparo. Essa informação é mencionada no livro-

texto, porém não no material a ser estudado quando essa questão foi proposta. Novamente, a resposta demanda mais do que uma leitura rápida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CLUMP, M. A.; BAUER, H.; BRADLEY, C. "The extent to which psychology students read textbooks: A multiple class analysis of reading across the psychology curriculum." **Journal of Instructional Psychology**, v. 31, n. 3, p. 227–232, 2004.

CROUCH, C. H. *et al.* Peer Instruction: Engaging Students One-on-One, All At Once. **Research-Based Reform of University Physics**, v. 1, n. 1, p. 40-95, 2007. Disponível em: <mazur.harvard.edu/sentFiles/Mazurpubs_537.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2019.

CROUCH, C. H.; MAZUR, E., Peer Instruction: Ten years of experience and results. **Am. J. Phys.** v. 69, n. 9, September, 2001.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. Tradução de José Paulo de Azevedo. 4. ed. V.2. Rio de Janeiro: LTC, 1996. 292 p.

HEINER, C.; BANET, A.; WIEMAN, C. **Preparing students for class: How to get 80% of students reading the textbook before class.** **American J. Physics**, v. 82, n. 10, p. 989-996, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1119/1.4895008>>. Acesso em: 5 Oct. 2019.

LOPES, A. M. **Combinando Metodologia de Ensino Peer Instruction com JUST-IN-TIME TEACHING para o Ensino de Física**. Viçosa. 2016. 165 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2016.

MAZUR, E. **Peer Instruction: A User's Manual**. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 1997. 253 p.

MAZUR, E.; WATKINS, J. **Just-in-Time Teaching and Peer Instruction**. In: **SIMKINS, S.; MAIER, M. (Eds.). Just-In-Time Teaching: Across the Disciplines, Across the Academy Just-In-Time Teaching**. 1. ed. Sterling: Stylus Publishing, p. 39-62, 2010.

NOVAK, G. N.; PATTERSON, E.T.; GAVRIN, A.; Christian, W. **Just-in-Time Teaching: Blending active Learning and Web Technology**. Addison-Wesley, NY, 1999. 188 p.

PODOLEFSKY, N.; FINKELSTEIN, N. "The perceived value of college physics textbooks: Students and instructors may not see eye to eye," **Phys. Teach.** v. 44, n. 6, p. 338–342, 2006.