

Avaliação da metodologia *Peer Instruction* no aprendizado de termodinâmica na graduação em Química

Geraldo Novaes Tessaro, Antoni Guilherme Souza Silva, Roberto Pereira Santos e Denise Rocco de Sena

Estudantes frequentemente carregam interpretações equivocadas acerca de conceitos da termodinâmica. Em virtude disso, o presente trabalho propôs a aplicação da metodologia *Peer Instruction* durante um semestre na disciplina de Físico-química I. Esta metodologia ativa de ensino é caracterizada pelo estímulo da interação e da discussão entre os estudantes, promovendo uma maior participação nas aulas. Os resultados sugerem que os alunos tendem a aprimorar seus hábitos de estudo, o aprendizado sobre conceitos da termodinâmica, a interação entre si e a participação durante as aulas. Foi observada uma alteração no comportamento dos estudantes, que evoluíram de ouvintes passivos para agentes ativos de seus aprendizados, desenvolvendo mais autonomia em seus estudos, utilizando o conhecimento em maturação para discutir ideias com os colegas e aprender em um ambiente de socialização dos saberes. Conclui-se que a metodologia *Peer Instruction* é passível de aplicação e adaptação no ensino de Química.

► *peer instruction*, termodinâmica, metodologias ativas ◀

Recebido em 30/11/2023; aceito em 30/07/2024

Introdução

Ao iniciar o estudo da termodinâmica química na graduação, estudantes normalmente carregam consigo equívocos conceituais sobre os fenômenos fundamentais relacionados aos conceitos de calor, temperatura, entalpia, entropia, aos critérios de espontaneidade e à compreensão da natureza particulada da matéria (Mortimer e Amaral, 1998; Cavalcanti *et al.*, 2018). Um equívoco comum, por exemplo, é a compreensão de que entalpia e calor são equivalentes independentemente das condições, quando esta igualdade se torna verdadeira apenas sob pressão constante. Em geral, é recorrente observar dificuldade na aplicação da matemática como uma maneira de descrever e representar os fenômenos da natureza. A metodologia predominante no ensino de termodinâmica é a tradicional, ou seja, primeiro o professor transmite a teoria

A metodologia predominante no ensino de termodinâmica é a tradicional, ou seja, primeiro o professor transmite a teoria e depois o aluno a aplica durante a resolução das listas de exercícios. Esse tipo de abordagem pedagógica, apesar de ser importante em momentos específicos, não deve ser a única proposta metodológica, pois estudos apontam que quando se aplica apenas esse tipo de metodologia, os alunos tendem a se sentir frustrados e desmotivados em seu aprendizado

e depois o aluno a aplica durante a resolução das listas de exercícios. Esse tipo de abordagem pedagógica, apesar de ser importante em momentos específicos, não deve ser a única proposta metodológica, pois estudos apontam que quando se aplica apenas esse tipo de metodologia, os alunos tendem a se sentir frustrados e desmotivados em seu aprendizado (Bain *et al.*, 2014; Saricayir *et al.*, 2016).

As metodologias ativas de aprendizagem são centradas na experiência e no desenvolvimento da autonomia do aluno em ambientes colaborativos, motivadores, incentivando a criatividade, a proatividade e a comunicação (Diesel *et al.*, 2017). Assim, o professor atua como mediador motivando, questionando, orientando e promovendo a participação ativa do estudante no processo de aprendizagem (Bacich e Moran, 2018).

O *Peer Instruction* (PI) é uma metodologia ativa que incentiva a aprendizagem colaborativa a partir das discussões

O *Peer Instruction* (PI) é uma metodologia ativa que incentiva a aprendizagem colaborativa a partir das discussões



entre pares, promovendo a autonomia por meio de leituras prévias. É uma metodologia que altera a dinâmica na sala de aula, onde os alunos realizam reflexões durante as discussões e elaboram argumentações acerca dos conceitos estudados, diferente dos métodos não ativos no quais os estudantes assistem passivamente as exposições orais realizadas pelos professores (Araujo e Mazur, 2013).

Desenvolvida por Eric Mazur, professor da Universidade de Harvard, para uma disciplina introdutória de Física, a metodologia PI surgiu a partir da percepção de que os alunos realizavam exercícios de física sem compreender os conceitos relacionados, apenas seguindo as etapas para chegar no resultado. Mazur (2015) também afirmou que a forma tradicional de apresentar o conteúdo para os alunos era pouco eficiente, já que se tratava de uma apresentação resumida do livro e de suas notas de aula (Mazur, 2015).

Os passos de aplicação do PI são descritos na Figura 1. Em uma aula-exemplo, o estudante realiza um estudo prévio utilizando o material disponibilizado pelo professor; em seguida, é aplicado um teste de leitura, em sala, com a finalidade de verificar se o estudo prévio foi feito ou não, seguido de uma breve explicação do conteúdo realizada pelo professor e, por fim, aplica-se um teste conceitual. A partir do resultado do teste é determinado o próximo passo. Se o resultado do teste for superior a 70%, é possível dar continuidade à matéria e abordar o próximo tópico. Para valores entre 30 e 70%, formam-se duplas e os alunos discutem o teste conceitual, utilizando as justificativas das suas respostas individuais para convencer um ao outro. Após alguns minutos, o professor repete o teste. Nos casos em que o resultado da turma for menor do que 30%, é aconselhado revisar o conceito novamente através de uma nova explicação detalhada e aplicar um novo teste conceitual, reiniciando o processo (Mazur, 2015).

Mazur (2015) destaca ainda que as discussões entre os estudantes os fizeram permanecer ativos durante a aula, em oposição à passividade e monotonia relatada durante as aulas expositivas. Segundo o autor, a experiência de explicar para os colegas torna as ideias mais claras, fazendo com que o estudante organize seus pensamentos e aprofunde sua compreensão sobre os conceitos. Existe um aumento de autoconfiança quando os estudantes interagem entre si e apresentam respostas semelhantes. Além disso, o PI é uma

metodologia flexível que permite a combinação com outras metodologias de ensino e também adaptações, podendo ser utilizado com ou sem recursos tecnológicos, a depender da infraestrutura de cada local de ensino.

Brooks e Koretsky (2011) aplicaram o PI na disciplina de Termodinâmica Química e observaram que a interação entre os pares desenvolveu nos estudantes compreensões mais aprofundadas sobre os conceitos termodinâmicos, bem como justificativas melhores em suas respostas.

Dumont *et al.* (2016) verificaram a aplicabilidade do PI no ensino médio abordando tópicos de estequiometria. A participação dos alunos durante as aulas foi satisfatória e as discussões foram frutíferas. É interessante observar que as atividades de leitura prévia foram recebidas pelos estudantes com certa resistência, pois estavam habituados a estudar o conteúdo após aulas expositivas. O estudo constatou que as etapas de leitura prévia e discussão em duplas estão relacionadas com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e a teoria socioconstrutivista de Vygotsky, utilizando a prática docente somada à revisão bibliográfica para inferir tal associação. Os autores concluem que o PI se mostrou eficiente para utilização no ensino de Química e destacam a escassez de estudos sobre esta metodologia no Brasil.

Uma combinação das metodologias ativas PI e *Just in Time Teaching* foi aplicada em três aulas no ensino de Química no ensino médio (Silva e Bedin, 2020), utilizando o *Plickers* para coletar as respostas dos testes conceituais. Os autores relataram enfrentar dificuldades com a metodologia *Just in Time Teaching*, que utiliza atividades assíncronas para preparar a aula com base nas dificuldades dos alunos, devido ao baixo índice de realização da atividade de leitura e exercícios. Contudo, a etapa de discussão do PI foi realizada apenas duas vezes, as poucas ocasiões nas quais o índice de acertos ficou entre 30 e 70%, nas demais, o resultado era superior a 80%. Nesse estudo, os autores destacam que os alunos estavam motivados e entusiasmados em atingir 100% e apresentavam uma participação mais efetiva nessas aulas do que em aulas tradicionais. Ao final, é ressaltada a importância de adotar metodologias ativas que promovam atividades extraclasse, incentivando o aluno a desenvolver seu hábito de estudo.

Belmonte *et al.* (2022) modificaram o PI para a aplicação de forma remota durante a pandemia de covid-19. O

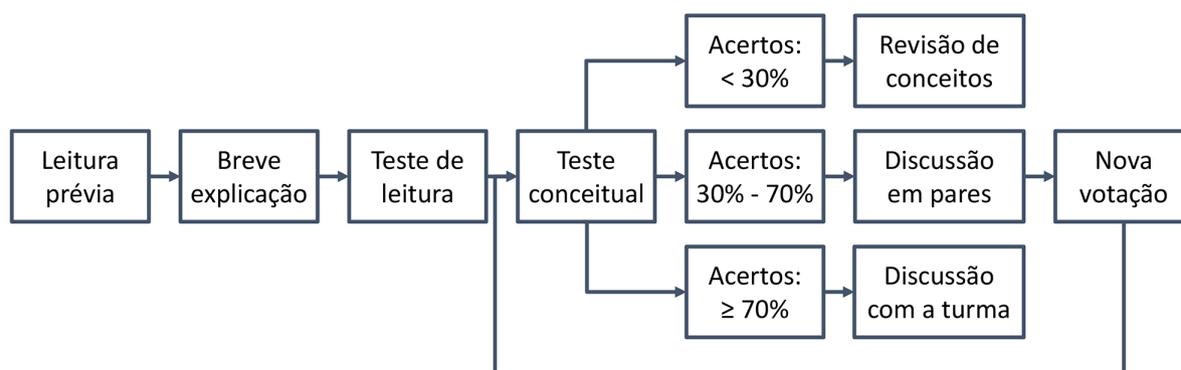


Figura 1: Diagrama da metodologia PI

conteúdo apresentado foi de cinética química, presente na disciplina de Físico-química III. Primeiro, os estudantes tiveram 1h30 para responder testes conceituais em duplas e, duas semanas depois, um segundo teste foi aplicado para resolução individual. Na aplicação única do método, os autores destacaram o desenvolvimento do pensamento crítico e a aquisição de *soft skills* (por exemplo, socialização e tomada de decisões em grupo).

Em virtude das dificuldades dos alunos no entendimento dos conceitos fundamentais para o aprendizado da termodinâmica e tendo em vista a escassez de estudos relativos à utilização do PI em nível superior de Química, o presente estudo teve como objetivo principal responder a seguinte questão: a metodologia PI é capaz de tornar a aula mais dinâmica e atrativa, influenciando os hábitos de estudo de forma a auxiliar os estudantes a superar as dificuldades inerentes à aprendizagem de termodinâmica? Para isso, foram estipulados os objetivos específicos a seguir: I) Avaliar a aprendizagem dos conceitos abordados na disciplina; II) Identificar o impacto da discussão por pares na socialização entre os alunos; III) Investigar o potencial da metodologia de influenciar os hábitos de estudo dos alunos.

Percurso metodológico

Participantes e contexto

O presente trabalho é um estudo de caso realizado por meio da integração entre pesquisa qualitativa e quantitativa, buscando uma complementação a partir da união de diferentes perspectivas metodológicas para melhor compreender as múltiplas facetas dos fenômenos aqui observados (Flick, 2009; Souza e Kerbauy, 2017). A pesquisa foi realizada no Ifes – Campus Vila Velha, durante a disciplina de Físico-química I com 60h de carga horária e 4 créditos, que compõe o 4º semestre dos cursos de Química. A duração das aulas era de 2h, duas vezes por semana e, até então, a disciplina era realizada de modo tradicional, sendo ministrada pelo mesmo docente. No semestre da aplicação da presente pesquisa (2022/2), a turma era composta por 13 (treze) alunos, sendo 8 (oito) estudantes do curso de Licenciatura em Química e 5 (cinco) do curso de Química Industrial. Uma apresentação sobre o PI foi realizada para a turma pelo pesquisador e os alunos foram convidados a participar do estudo. Todos os alunos concordaram e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Durante o semestre de estudo foram aplicados 9 testes conceituais abordando os seguintes tópicos: gás ideal; gás real; energia, calor e trabalho; calorimetria; calor e transformações adiabáticas; entropia e energia de Gibbs, totalizando 50 questões conceituais de múltipla escolha e verdadeiro ou falso, com uma média de 5 questões em cada teste.

A idade dos estudantes variava de 19 a 28 anos, e 80% não estava periodizado em seu curso. Além disso, os indivíduos relataram ter experienciado dificuldades tanto na disciplina de Química Geral II quanto na de Cálculo II, ambas pré-requisitos da disciplina Físico-química I. A maioria dos estudantes relatou não manter horários regulares de estudo e manifestou interesse por disciplinas que utilizam metodologias ativas de ensino.

Modificações e implementação do PI

O processo de aplicação da metodologia estudada em sala de aula foi realizado conforme o apresentado na Figura 2. A principal modificação realizada na metodologia PI foi relativa às discussões entre os alunos, que, no presente trabalho, ocorreram independentemente do resultado do teste inicial, com o objetivo principal de incentivar a interação entre os alunos em discussões conceituais que estimulam o estudante a ensinar e aprender com o outro, desenvolvendo argumentação científica relacionada aos conceitos estudados. Para que isso ocorresse em tempo hábil para uma aula de 2 horas, incorporamos nos testes conceituais questões com baixo nível de dificuldade para verificar a leitura prévia, e questões com médio a alto nível de dificuldade, para verificar o aprofundamento da aprendizagem dos conceitos envolvidos nos tópicos trabalhados. Optou-se também pela aplicação de uma sequência de perguntas conceituais, ao invés de realizar a aplicação de questão por questão separadamente, tendo em vista que perguntas que abordam o mesmo tópico aplicadas de maneira sucessiva demonstram ser benéficas para o aprendizado (Smith *et al.*, 2009).

Durante o semestre de estudo foram aplicados 9 testes conceituais abordando os seguintes tópicos: gás ideal; gás real; energia, calor e trabalho; calorimetria; calor e transformações adiabáticas; entropia e energia de Gibbs, totalizando 50 questões conceituais de múltipla escolha e verdadeiro ou falso, com uma média de 5 questões em cada teste. Os testes conceituais foram desenvolvidos com base na metodologia PI, sendo compostos por questões que, segundo Mazur (2015), devem estimular os estudantes a compreender conceitos fundamentais, utilizando em suas alternativas de resposta exemplos de equívocos conceituais recorrentes.

Para a elaboração das questões conceituais, foram utilizados os livros de Atkins e Paula (2012) e Levine (2012). Antes da aplicação dos testes conceituais, os alunos receberam indicações de leituras prévias referentes aos capítulos do

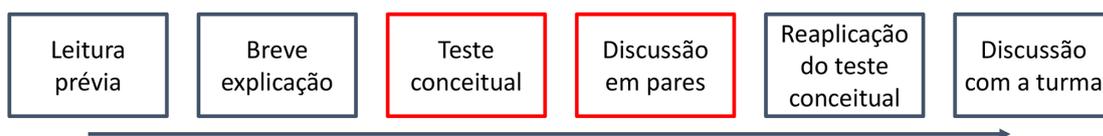


Figura 2: Percurso de aplicação da metodologia PI modificada

livro Atkins e Paula (2012), bem como com alguns artigos publicados na revista *Química Nova na Escola* (Mortimer e Amaral, 1998; Oliveira e Santos, 1998; Rocha, 2001; Cavalcanti *et al.*, 2018), disponibilizados para os alunos através da plataforma *Moodle*.

O artigo de Rocha (2001) sobre interações intermoleculares foi indicado como leitura prévia para o teste conceitual sobre gases reais, assim como os capítulos 1.3 e 1.4 de Atkins e Paula (2012). A aplicação do teste contendo 5 questões foi realizada de forma individual na primeira aplicação, solicitando que os alunos assinalassem sua confiança na alternativa fornecida. Os estudantes também receberam uma folha com as questões conceituais para justificar suas respostas por escrito. Nas formações das duplas para discussão, os alunos eram incentivados a evitar repetir a dupla das discussões passadas, com o objetivo de fazê-los interagirem com uma maior quantidade de colegas ao longo do semestre.

O tempo de aplicação de cada questão conceitual foi calculado conforme a complexidade do conteúdo e ao modelo da questão. Questões de verdadeiro ou falso, em geral, foram respondidas mais rapidamente do que questões com múltiplas alternativas. Neste estudo, as aplicações dos testes conceituais duraram de 25 a 45 minutos e, somando ao tempo da explicação inicial e discussão final com a turma, as 2h de aula eram utilizadas em sua totalidade.

Coleta e análise de dados

Os participantes foram analisados e tiveram o seu desenvolvimento acompanhado ao longo de um semestre letivo com os seguintes instrumentos: diário de bordo; dois testes sobre termodinâmica - no início e no final do semestre -; testes conceituais sobre os assuntos abordados na disciplina; e um questionário final.

O diário de bordo foi utilizado para anotar as percepções do pesquisador durante as aulas e acerca da utilização da metodologia PI. O questionário final era composto por perguntas abertas e fechadas, com o intuito de obter o *feedback* dos estudantes sobre os impactos da metodologia pela ótica discente. Os relatos de experiência com a metodologia PI foram analisados com o suporte do *software Iramuteq* (<http://www.iramuteq.org/>) versão 0.7 alpha 2 (2020), para construir o diagrama de similitude e a nuvem de palavras. Camargo e Justo (2013, p. 516) descrevem o diagrama de similitude e suas funcionalidades como algo que “possibilita identificar as co-ocorrências entre as palavras e seu resultado traz indicações da conexão entre as palavras, auxiliando na identificação da estrutura de um corpus textual”. A nuvem de palavras é uma forma mais simples de se obter uma análise textual, sendo elaborada com base na frequência das palavras utilizadas no texto, possibilitando a fácil identificação de palavras-chave (Camargo e Justo, 2013).

As respostas aos testes conceituais e a confiança atribuída foram coletadas por meio do aplicativo *Plickers* (www.plickers.com) a partir dos cartões-resposta distribuídos para cada estudante. Optou-se por sua utilização devido aos

seguintes benefícios: a) flexibilidade de não depender dos estudantes possuírem acesso à *internet*, visto que somente o aplicador do teste precisa ter conexão com a *internet* para computar as respostas com um *smartphone*; b) os resultados da turma são fornecidos de forma imediata e são gerados relatórios individuais, viabilizando uma compreensão mais exata das dificuldades de cada aluno. O *Plickers* possui a limitação de até quatro alternativas de resposta, o que inviabilizou a utilização da escala de Likert na coleta da confiança relativa aos testes conceituais. Portanto, a atribuição da confiança foi estipulada como baixa, média ou alta.

O ganho normalizado (Hake, 1998) representado pela Equação 1, foi adotado para analisar o progresso da aprendizagem dos estudantes entre as aplicações dos testes conceituais.

$$g = \frac{pós - pré}{100 - pré} \quad (1)$$

onde g representa o ganho normalizado, *pré* refere-se ao percentual de acerto da turma no teste conceitual respondido individualmente, e *pós* é o percentual médio de acertos da turma após a discussão em duplas. O ganho normalizado é utilizado para avaliar a evolução da turma entre as votações, utilizando o desempenho na primeira votação como conhecimento prévio. Na Equação 1, o numerador representa o ganho adquirido pelo aluno e o denominador, a máxima evolução possível. Sendo tradicionalmente normalizado, o valor de g deve representar valores entre 0 e 1, onde o ganho é classificado como baixo para valores menores que 0,3, médio para valores entre 0,3 e 0,7, e alto para valores acima de 0,7 (Muller *et al.*, 2017).

Neste estudo, foram mantidos para análise tanto os testes em que o percentual de acerto do aluno foi maior na primeira aplicação do que na segunda, ou seja, $g < 0$, que denominamos de “perda de Hake”, quanto a análise do percentual nos casos em que as duas aplicações tiveram o mesmo resultado.

Foi desenvolvido um teste sobre Termodinâmica com base em estudos da literatura (Kamcharean e Wattanakaswich, 2016; Brown e Singh, 2021) que abrangem os tópicos investigados no presente trabalho. O teste era composto por 20 questões, sendo aplicado no início e no final do semestre através do *Google Forms*, com o objetivo de mensurar o ganho de aprendizagem a longo prazo, conforme realizado por Mazur (2015) no campo da Física. A escala de *Likert* foi utilizada para analisar o grau de confiança das respostas, 1 sendo “Sem confiança” e 5, “Muito confiante”.

O ganho normalizado foi aplicado como base para avaliar a aprendizagem entre as aplicações do teste de termodinâmica. O valor de g foi 0,48 para estudantes que tiveram aulas com metodologias ativas e 0,23 em casos onde a metodologia tradicional foi adotada (Hake, 1998). Mazur (2015) também utilizou o ganho normalizado, caracterizando como 0,25 o valor associado aos ensinamentos tradicionais e o intervalo entre 0,36 e 0,68 às metodologias ativas.

Resultados e discussão

Análise da compreensão conceitual

O desenvolvimento dos conceitos sobre gás real é aqui apresentado de forma detalhada, pois, além de ser muito representativo da forma que a metodologia foi aplicada durante toda a disciplina, esse conteúdo refletiu muito contundentemente os desafios iniciais que professores podem enfrentar ao aplicar a metodologia PI em suas disciplinas.

Testes conceituais sobre gases reais

Em sala, a leitura prévia sobre gases reais foi discutida brevemente, porém sem grande participação dos estudantes. Quando questionados sobre a leitura, poucos disseram tê-la realizado por completo, mas esta resistência inicial às leituras prévias era esperada devido aos relatos iniciais que apontavam a ausência de uma rotina de estudos.

Na primeira aplicação do teste conceitual foi observado 49% de acertos. Em seguida, foi solicitado que a turma discutisse entre si, para que os alunos tentassem argumentar suas respostas com seus colegas, bem como as justificativas que os levaram a escolher determinadas respostas. O percentual de acertos da segunda aplicação do teste conceitual foi de 51%, uma variação considerada baixa e que não apresenta um ganho significativo de aprendizagem. As porcentagens de acertos das 5 questões em ambas as aplicações estão presentes no Gráfico 1.

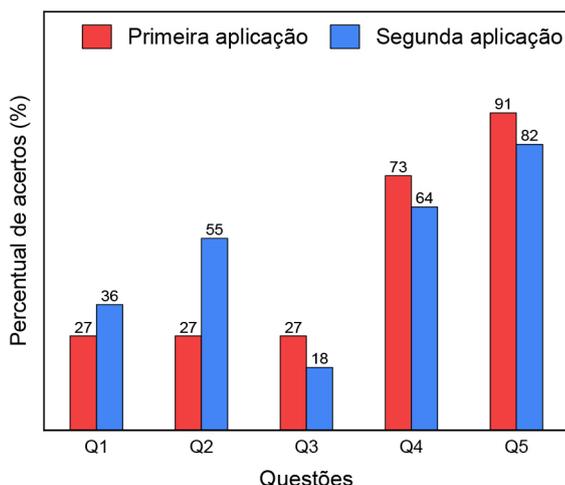


Gráfico 1: Resultados das aplicações do teste de gás real A

Os estudantes demonstraram, de fato, possuir as dificuldades relatadas no início da disciplina, já que a temática de gás real teria sido abordada de forma introdutória na disciplina de Química Geral II. Somado ao fato da maioria dos alunos não ter realizado a leitura prévia nessa etapa inicial, poucos utilizaram o campo de justificativa da resposta,

O desenvolvimento dos conceitos sobre gás real é aqui apresentado de forma detalhada, pois, além de ser muito representativo da forma que a metodologia foi aplicada durante toda a disciplina, esse conteúdo refletiu muito contundentemente os desafios iniciais que professores podem enfrentar ao aplicar a metodologia PI em suas disciplinas.

indicando que responderam sem compreender precisamente a razão de estarem assinalando tal alternativa, impactando negativamente o resultado da aplicação do PI. O estudo prévio é uma etapa importante, uma vez que interfere tanto no entendimento quanto no diálogo com o professor durante a etapa de explicação do tema, assim como na argumentação dos estudantes durante a etapa de discussão.

Realizar um estudo prévio é uma proposta que tende a ser recebida com certa resistência, pois não é habitualmente realizada pelos estudantes (Dumont *et al.*, 2016; Silva e Bedin, 2020). Adotar formas variadas de estudo prévio como vídeos (Pereira *et al.*, 2021), *podcasts* (Leite, 2023), documentários e artigos que discutam os conceitos químicos de forma contextualizada (Mortimer e Amaral, 1998; Oliveira e Santos, 1998; Rocha, 2001; Cavalcanti *et al.*, 2018) pode auxiliar os alunos nesta mudança de hábito.

No que tange à confiança dos alunos ao responderem o teste conceitual, o Gráfico 2 apresenta a quantidade de respostas (certas ou erradas) combinadas à confiança atribuída (baixa, média ou alta) à resposta. É interessante observar que os estudantes reportaram estar confusos na maioria de suas respostas, sendo a confiança distribuída entre os três graus aqui propostos. A frequência teve uma pequena variação na segunda aplicação, novamente demonstrando que o potencial da discussão em dupla foi impactado pela falta de leitura prévia.

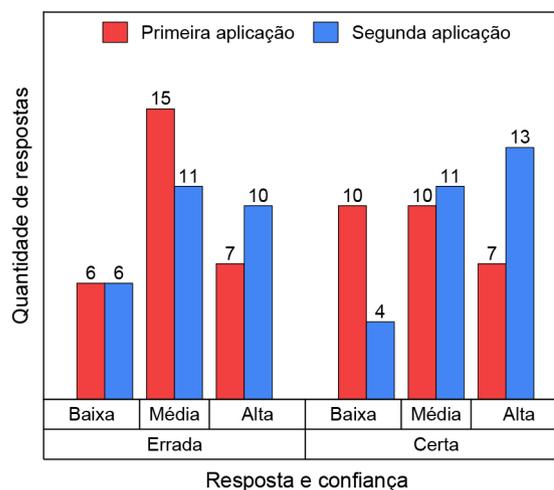


Gráfico 2: Relação entre resposta e confiança no teste de gás real A

A Questão 3 (Q3) enunciava que:

Os gases em geral, mesmo a baixas pressões têm as interações intermoleculares atuando e se comportam como gases reais.

- Verdadeiro
- Falso (correta)

Esta questão foi formulada para avaliar a realização da leitura prévia, pois este conceito é abordado no texto de

forma enfática e repetitiva. Como pode ser observado no gráfico 1, a Q3 teve o menor percentual de acertos na segunda aplicação. Alguns exemplos das justificativas coletadas estão transcritas no Quadro 1.

Quadro 1: Exemplos de justificativas utilizadas na Q3 do teste de gás real A

Estudante	Resposta	Transcrição da justificativa	Confiança
1	Verdadeiro	Altas pressões = ideais	Alta
2	Verdadeiro	Os desvios ocorrem com o aumento da pressão	Média

O Estudante 1 apresentou um equívoco conceitual correlacionando a idealidade do gás com a condição de altas pressões. O Estudante 2, por sua vez, justificou sua resposta com a utilização de conceitos coerentes, mas assinalou a alternativa errada, sugerindo uma interpretação incorreta da questão. Caso os estudantes não houvessem verbalizado sobre a não realização completa da atividade prévia, o baixo percentual de acertos da Q3 indicaria que a turma não completou a leitura prévia, ou que leu o material de forma superficial.

Mesmo com resultado insatisfatório, o teste teve importância para a identificação dos equívocos conceituais dos estudantes, proporcionando um *feedback* ao professor, possibilitando assim a elaboração de uma aula específica para sanar dúvidas e realizar uma discussão sobre os conceitos equivocados, conforme sugerido por Pereira e Ribeiro (2023). Ao final da aula, foi solicitado aos estudantes que fizessem a leitura prévia de modo mais aprofundado.

Em outra aula, foi promovido um debate sobre o tema entre o professor e os alunos em que as dificuldades apresentadas no teste foram esclarecidas. Além disso, foi indicado aos estudantes o uso de uma simulação interativa denominada “Propriedades dos Gases” desenvolvido no projeto *PhET* da Universidade do Colorado em Boulder (https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/gas-properties). A utilização desse recurso proporcionou uma representação visual das propriedades dos gases em nível microscópico. Essa representação visual favorece o ensino de conceitos abstratos, que é uma das dificuldades comumente enfrentadas na disciplina de Físico-química (Bain *et al.*, 2014). É importante ressaltar que o PI é uma metodologia ativa que permite adaptações e combinações com outras metodologias e recursos, viabilizando sua aplicação de acordo com a realidade individual

No segundo teste sobre gases reais, denominado gases reais B, obteve-se 72% de acerto na primeira aplicação, resultado que, segundo o método PI original, não demandaria a discussão em pares. Entretanto, partindo do pressuposto de que a troca de conhecimento entre os estudantes era válida em todos os cenários, manteve-se a etapa de discussão.

de cada instituição de ensino (Dumont *et al.*, 2016; Silva e Bedin, 2020; Petter *et al.*, 2021; Belmonte *et al.*, 2022).

Uma lista de exercícios foi distribuída para que os estudantes aplicassem os conceitos em maturação em problemas numéricos, tendo em vista que o aprendizado de Química também passa pelo desenvolvimento de tais habilidades. Essa abordagem não descaracteriza a metodologia ativa em questão e é abordada em estudos sobre o PI como parte integrante do processo de aprendizado (Araujo e Mazur, 2013).

No segundo teste sobre gases reais, denominado gases reais B, obteve-se 72% de acerto na primeira aplicação, resultado que, segundo o método PI original, não demandaria a discussão em pares. Entretanto, partindo do pressuposto de que a troca de conhecimento entre os estudantes era válida em todos os cenários, manteve-se a etapa de discussão. Após o diálogo entre as duplas, uma nova votação foi realizada, sendo obtido 92% de acertos. Em contraste com o teste aplicado anteriormente, foi observado que quando a leitura prévia foi realizada de modo eficiente, o diálogo entre as duplas proporcionou um enorme benefício aos estudantes, estimulando a socialização do conhecimento, gerando maturação e internalização dos conceitos.

Mesmo que o PI não seja fundamentado na teoria socio-construtivista (Vygotsky, 1998), diversos estudos utilizam os pressupostos de Vygotsky para explicar a eficácia dessa metodologia (Lenaerts, 2003; Araujo e Mazur, 2013; Dumont *et al.*, 2016; Muller *et al.*, 2017; Paula *et al.*, 2020). Na etapa de discussão entre os estudantes durante a aplicação do PI, os alunos demonstram níveis diferentes de desenvolvimento real e potencial, consequentemente, conhecimentos distintos em maturação estão na Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) de cada aluno. A interação através da argumentação possibilita uma colaboração mútua, na qual os alunos agem como mediadores, auxiliando no processo de internalização do conhecimento (Rego, 1995).

Os resultados das aplicações do teste sobre gases reais B (Gráfico 3) demonstraram que a metodologia PI foi eficaz

em possibilitar que os estudantes recuperassem conceitos importantes deficitários de disciplinas anteriores, como o conceito por trás dos desvios de idealidade. A lei dos gases ideais é uma lei limite, que funciona a altas temperaturas e baixas pressões. Os desvios da idealidade ocorrem porque as moléculas interagem entre si e tais interações são mais efetivas quando as moléculas estão próximas,

ou seja, em casos de baixas temperaturas e altas pressões (Atkins e Paula, 2012). Um equívoco conceitual recorrente é pensar que existem moléculas caracterizadas como gás ideal e outras como gás real.

A Questão 4 (Q4) foi construída a partir de conceitos apresentados na bibliografia de estudo, com a intenção de avaliar a realização da leitura prévia. A Q4 enunciava:

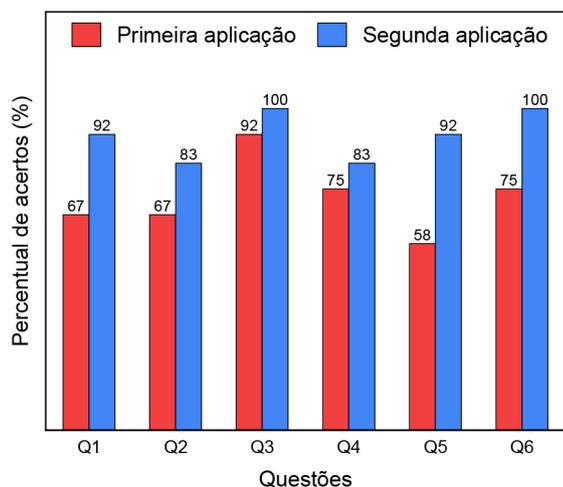


Gráfico 3: Resultados das aplicações do teste de gás real B

A constante ‘a’ de Van der Waals possui um significado físico. Com base nesse significado, qual das moléculas abaixo provavelmente possuirá maior valor de ‘a’.

- H_2
- H_2O (correta)
- O_2
- CH_4

A partir de algumas justificativas aqui transcritas (Quadro 2), é possível constatar que o acerto da questão estava correlacionado à compreensão de que a constante “a” é responsável por corrigir os desvios da idealidade ocasionados pelas interações atrativas das moléculas, que são uma característica de cada gás (Atkins e Paula, 2012). Esse resultado indica que as leituras prévias haviam sido realizadas de forma adequada.

Ademais, destacamos que a aplicação do PI com uma etapa de discussão entre pares, realizada independentemente do percentual de respostas corretas alcançado, possibilita que os estudantes aprofundem a compreensão conceitual, aumentando a confiança em suas respostas. Isso se deve ao fato de que explicar ao colega exige que o conceito abordado esteja bem esclarecido para si próprio, do contrário, a dupla irá perceber inconsistências no raciocínio adotado (Paula *et al.*, 2020).

O Gráfico 4 ilustra o aumento na confiança das respostas entre a primeira e a segunda aplicação, indicando que o conhecimento está sendo internalizado. É importante enfatizar que a aprendizagem não se resume a apenas acertar o teste conceitual. Quando o estudante é solicitado a indicar sua

confiança na resposta, ocorre um processo de reflexão acerca do que realmente se sabe e o que ainda não foi aprendido, e essa reflexão é uma etapa essencial para o processo de aprendizagem (Bunce *et al.*, 2023).

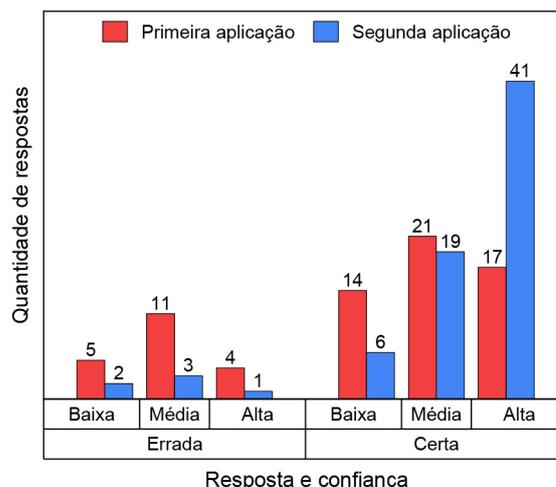


Gráfico 4: Relação entre resposta e confiança no teste de gás real B

Comparando as aplicações do teste sobre gases reais A e B, utilizando como base os valores de ganho normalizado calculados para cada questão conceitual (Gráfico 5), a evolução da turma na compreensão dos conceitos de gás real é perceptível, visto que as questões conceituais pontuaram ganhos médios e altos na aplicação do teste B. Este resultado demonstra que a metodologia PI foi efetiva na construção e reconstrução do conhecimento dos estudantes (Paula *et al.*, 2020).

Demais testes conceituais

Com o intuito de apresentar um panorama geral da pesquisa, o Gráfico 6 ilustra a dispersão dos ganhos normalizados observados nas 50 questões conceituais aplicadas durante o semestre letivo. Os pontos em vermelho são questões que obtiveram um valor de $g < 0$ e indicam as perdas de Hake. Esses pontos não representam um resultado negativo, e sim indicativos das dificuldades e equívocos conceituais. Em verde, os pontos marcam as questões conceituais que tiveram $g \geq 0$, contabilizando 84% das aplicações. Os pontos que sobrepõem a linha cinza correspondem aos valores de $g = 0$, em que, na maioria das situações, ambas as aplicações obtiveram altos percentuais de acerto. Todos os demais pontos demonstram que a discussão em duplas promoveu um aumento na porcentagem de acertos dos estudantes

Quadro 2: Exemplos de justificativas utilizadas na Q4 do teste de gás real B

Estudante	Resposta	Transcrição da justificativa	Confiança
3	B	“Levou-se em consideração as força das interações. A ligação de hidrogênio é a mais forte.”	Alta
4	B	“ H_2O , devido a ligação de hidrogênio fortalecer a interação da molécula.”	Média

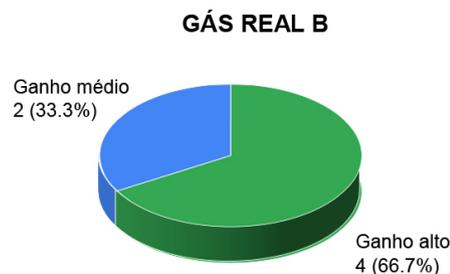
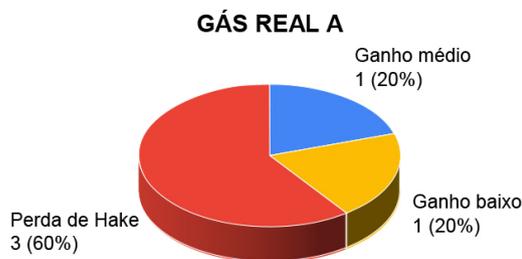


Gráfico 5: Distribuição do ganho normalizado para os testes de gás real

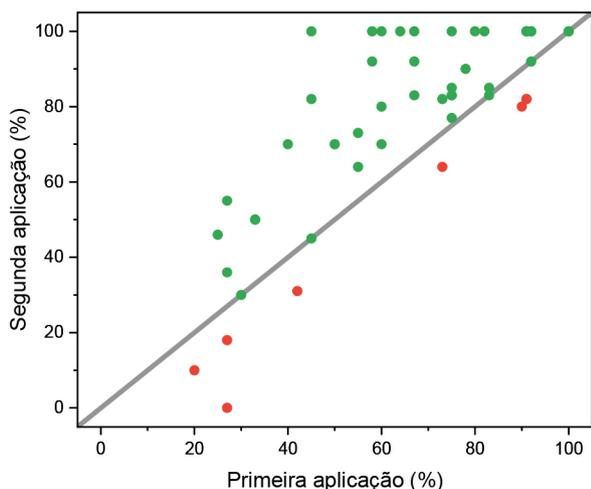


Gráfico 6: Dispersão para as questões conceituais (n=50)

(Mazur, 2015; Paula *et al.*, 2020; Camillo e Graffunder, 2022), sinalizando uma evolução da compreensão dos conceitos abordados em sala.

Os testes conceituais aplicados ao longo do semestre letivo possibilitaram que fosse realizada uma avaliação contínua da turma, disponibilizando um *feedback* em tempo real sobre as dificuldades conceituais dos estudantes. Essas informações foram levadas em consideração para a elaboração das aulas seguintes, proporcionando ao professor a possibilidade de resgatar os conceitos equivocados, viabilizando discussões mais efetivas. A socialização entre os estudantes foi estimulada durante as discussões por meio do esquema de rotatividade entre as duplas e, com a metodologia PI, os estudantes deixaram de lado a passividade durante as aulas, começando a interpretar, analisar e discutir os resultados da resolução dos problemas numéricos. Essa mudança de comportamento dos alunos também foi observada por Camillo e Graffunder (2022) em sua pesquisa sobre o PI no ensino de ciências.

Os testes conceituais aplicados ao longo do semestre letivo possibilitaram que fosse realizada uma avaliação contínua da turma, disponibilizando um *feedback* em tempo real sobre as dificuldades conceituais dos estudantes. Essas informações foram levadas em consideração para a elaboração das aulas seguintes, proporcionando ao professor a possibilidade de resgatar os conceitos equivocados, viabilizando discussões mais efetivas.

Teste geral de termodinâmica

O ganho normalizado obtido para o teste geral de termodinâmica foi 0,46 (Tabela 1). Esse valor é compatível com os

resultados encontrados nos estudos internacionais de Hake (1998) e Mazur (2015), demonstrando que a metodologia PI desenvolveu significativamente a compreensão de conceitos de termodinâmica nos estudantes de Físico-química I.

Tabela 1: Resultados do teste de termodinâmica

Teste conceitual	Primeira aplicação (%)	Segunda aplicação (%)	Ganho normalizado
Termodinâmica	33,75	64,38	0,46

Foi possível verificar a progressão simultânea de acertos e confiança entre as aplicações (Gráfico 7). A ocorrência de acertos e confiança máxima entre estudantes cresceu 256% entre a primeira e a segunda aplicação do teste sobre termodinâmica, sendo possível obter uma avaliação positiva desta mudança expressiva em relação à evolução dos alunos na compreensão dos conceitos estudados.

Percepção dos estudantes em relação a metodologia PI

Alguns dos relatos coletados no questionário final foram transcritos no Quadro 3, optou-se por agrupar os relatos em um corpus textual e representá-los de modo visual, em benefício da presente discussão. O diagrama foi gerado pelo *software* (Figura 3) e apresenta 4 regiões com palavras em seu interior. Essas palavras foram utilizadas em relatos com co-ocorrência, ou seja, palavras que estiveram vinculadas

umas às outras com mais frequência (por exemplo, “leitura prévia”, presente na região vermelha).

A interpretação do diagrama deve ser feita utilizando como base a espessura da linha que liga uma palavra à outra. A variação da espessura demonstra a intensidade com que as palavras foram utilizadas em consonância nos relatos. Na região roxa, as palavras “estudar”, “melhor”, “bom”, “entender” e “discussão” demonstram que as discussões foram associadas pelos alunos como uma boa forma de

estudar, permitindo uma melhor compreensão do conteúdo. Na região azul ciano, a palavra “matéria” é centralizada e conectada com “rendimento”, “disciplina”, “conseguir” e “entender”, ilustrando os relatos em que os estudantes descreveram

a evolução da compreensão dos conceitos de termodinâmica na disciplina de Físico-química I. O ganho normalizado obtido no valor de 0,46 é satisfatório e comparável a estudos similares realizados por Mazur (2015) e Hake (1998). Esse resultado demonstra que o PI é uma opção interessante para auxiliar os alunos na superação de dificuldades relacionadas à disciplina de Físico-química I e no desenvolvimento de uma compreensão conceitual mais aprofundada da termodinâmica.

Os resultados sugerem que os momentos de discussão aumentaram a socialização entre os estudantes, sendo enfatizada pelos alunos em suas avaliações sobre a metodologia. Além disso, a aplicação do PI promoveu a criação de um ambiente de discussão e debates sobre os saberes, no qual os estudantes atuavam como atores centrais da própria aprendizagem, propiciando a maturação e internalização de novos conhecimentos. Os conceitos mais complexos, em que a maioria dos alunos apresentavam dificuldades, foram revisados e discutidos novamente em sala. Tal ação só foi possível devido à implementação da metodologia PI, que possibilitou o desenvolvimento de uma avaliação processual e contínua ao longo do semestre.

A implementação do PI foi positiva para além dos ganhos normalizados obtidos quantitativamente. Os estudantes demonstraram satisfação e aprovação da metodologia, a classificando como uma estratégia pedagógica valiosa para o processo de aprendizagem, destacando as etapas centrais da metodologia PI: leitura prévia; testes conceituais; e discussões em dupla, o que sugere que a metodologia influenciou nos hábitos de estudo dos estudantes.

Cabe ressaltar que os alunos demonstraram certa resistência inicial à uma etapa fundamental deste método, que é a realização de leituras prévias. Não obstante, com

Cabe ressaltar que os alunos demonstraram certa resistência inicial à uma etapa fundamental deste método, que é a realização de leituras prévias. Não obstante, com a continuidade na aplicação da metodologia, os alunos compreenderam a importância de criar uma rotina de leitura e mudaram seus hábitos de estudo.

a continuidade na aplicação da metodologia, os alunos compreenderam a importância de criar uma rotina de leitura e mudaram seus hábitos de estudo. Tais observações demonstram que os benefícios da aplicação do PI vão além da disciplina de Físico-química I, sendo possível desenvolver uma autonomia de estudo prévio no aluno, essencial para o seu percurso acadêmico.

Em uma perspectiva futura, recomenda-se realizar novos estudos explorando a combinação do PI com outras metodologias e diversificando os tipos de materiais disponibilizados para a leitura prévia. O PI é uma metodologia ativa que permite ao professor, acostumado à utilização exclusiva do método tradicional, realizar avanços significativos em suas aulas.

Agradecimentos

Ao Ifes pela bolsa de iniciação científica e aos alunos que tornaram este estudo possível.

Geraldo Novaes Tessaro (geraldolq@gmail.com) é licenciado em Química pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES) - Campus Vila Velha. Atualmente é mestrando no Instituto de Química de São Carlos (IQSC) - USP, São Carlos, SP - BR. **Antoni Guilherme Souza Silva** (antoniguilherme79@gmail.com) é licenciado em Química pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES) - Campus Vila Velha. Atualmente é mestrando na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Guarapari, ES - BR. **Roberto Pereira Santos** (roberto.santos@ifes.edu.br) é bacharel em Química pela UFJF, mestre e doutor em Química Orgânica pela UFRJ. Atualmente é professor titular do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) - Campus Vila Velha. Vila Velha, ES - BR. **Denise Rocco de Sena** (denisesena@ifes.edu.br) é bacharel em Química, mestre e doutora em Físico-Química pelo Instituto de Química de São Carlos (IQSC) - USP. Atualmente é professora titular no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES) - Campus Vila Velha. Vitória, ES - BR.

Referências

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

ATKINS, P. W e PAULA, J. *Físico-química*. 9ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

BACICH, L. e MORAN, J. *Metodologias ativas para uma educação inovadora: uma abordagem teórico-prática*. Porto Alegre: Penso, 2018.

BAIN, K.; MOON, A.; MACK, M. R.; e TOWNS, M. H. A review of research on the teaching and learning of thermodynamics at the university level. *Chemistry Education Research and Practice*, v. 15, n. 3, p. 320-335, 2014.

BELMONTE, I. S.; BORGES, A. V. e GARCIA, I. T. S. Adaptation of physical chemistry course in covid-19 period: reflections on peer instruction and team-based learning. *Journal of Chemical Education*, v. 99, n. 6, p. 2252-2258, 2022.

BROOKS, B. J. e KORETSKY, M. D. The Influence of Group Discussion on Students Responses and Confidence during Peer Instruction. *Journal of Chemical Education*, v. 88, n. 11, p. 1477-1484, 2011.

BROWN, B. e SINGH, C. Student understanding of the first law and second law of thermodynamics. *European Journal of Physics*, v. 42, n. 6, p. 1-24, 2021.

BUNCE, D. M. *et al.* Impact of Clicker and Confidence Questions on the Metacognition and Performance of Students of Different Achievement Groups in General Chemistry. *Journal of Chemical Education*, v. 100, n. 5, p. 1751-1762, 2023.

CAMARGO, B. V. e JUSTO, A. M. IRAMUTEQ: um software gratuito para análise de dados textuais. *Temas em psicologia*, v. 21, n. 2, p. 513-518, 2013.

CAMILLO, C. M. e GRAFFUNDER. Contribuições do Peer Instruction para o ensino de ciências: uma revisão sistemática de literatura. *Pesquisa e Debate em Educação*, v. 12, n. 2, p. 1-20, 2022.

CAVALCANTI, H. L. B.; FERREIRA, E. A.; ABRANTES, P.

G. e CAVALCANTI, G. N. As muitas interpretações da entropia e a criação de um material didático para o ensino da interpretação probabilística da entropia. *Química Nova na Escola*, v. 40, n. 3, p. 169-177, 2018.

DIESEL, A.; BALDEZ, A. e MARTINS, S. Os princípios das metodologias ativas de ensino: uma abordagem teórica. *Revista Thema*, v. 14, n. 1, p. 268-288, 2017.

DUMONT, L. M. M.; CARVALHO, R. S. e NEVES, Á. J. M. O *peer instruction* como proposta de metodologia ativa no ensino de química. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, v. 2, n. 3, p. 107-131, 2016.

FLICK, U. *Introdução a pesquisa qualitativa*. Porto Alegre: Artmed, 2009.

HAKE, R. R. Interactive-engagement versus traditional methods: a six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, v. 66, n. 1, p. 64-74, 1998.

KAMCHAREAN, C. e WATTANAKASIWICH, P. Development and Implication of a Two-tier Thermodynamic Diagnostic Test to Survey Students' Understanding in Thermal Physics. *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education*, v. 24, n. 2, p. 14-36, 2016.

LEITE, B. S. Podcasts para o ensino de Química. *Química Nova na Escola*, v. 45, n. 2, p. 101-108, 2023.

LENAERTS, J.; WIEME, W. e ZELE, E. V. Peer Instruction: a case study for an introductory magnetism course. *European Journal of Physics*, v. 24, p. 7-14, 2003.

LEVINE, I. N. *Físico-química*. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

MAZUR, E. *Peer Instruction: A revolução da aprendizagem ativa*. Porto Alegre: Penso, 2015.

MORTIMER, E. F. e AMARAL, L. O. F. Quanto mais quente melhor: calor e temperatura no ensino de termoquímica. *Química Nova na Escola*, v. 7, n. 1, p. 30-34, 1998.

MULLER, M. J.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. e SCHELL, J. Uma revisão da literatura acerca da implementação da metodologia interativa de ensino *Peer Instruction* (1991 a 2015). *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 39, n. 3, p. e3403, 2017.

OLIVEIRA, R. J. e SANTOS, J. M. A Energia e a Química. *Química Nova na Escola*, v. 8, n. 8, p. 19-22, 1998.

PAULA, J.; FIGUEIREDO, N. e FERRAZ, D. P. A. *Peer Instruction* e Vygotsky: uma aproximação a partir de uma disciplina de astronomia no ensino superior. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 37, p.127-145, 2020.

PEREIRA, A. S. M. e RIBEIRO, A. J. A. Metodologias ativas: relato da prática docente utilizando o método *peer instruction*. *Conexões ciência e tecnologia*, v. 17, p. 1-9, 2023.

PEREIRA, W. G.; NASCIMENTO, R. J. M. e NASCIMENTO, T. L. O uso da metodologia ativa instrução por pares assistida pelo aplicativo *pickers*: uma experiência no ensino de química. *Conexões Ciência e Tecnologia*, v. 15, p. 1-10, 2021.

PETTER, A. A.; ESPINOSA, T. e ARAUJO, I. S. Inovação didática no Ensino de Física: um estudo sobre a adoção do método Instrução pelos Colegas (*Peer Instruction*) no contexto de mestRADOS profissionais em ensino no Brasil. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 43, e20210070, 2021.

REGO, T. C. *Vygotsky: uma perspectiva histórico-cultural da educação*. Petrópolis: Vozes, 1995.

ROCHA, W. R. Interações Intermoleculares. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, v. 4, p. 31-36, 2001.

SARICAYIR, H.; AY, S.; COMEK, A.; CANSIZ, G e UCE, M. Determining students' conceptual understanding level of thermodynamics. *Journal of education and training studies*, v. 4, p. 1-11, 2016.

SMITH, M.K.; WOOD, W. B.; ADAMS, W. K.; WIEMAN, C.; KNIGHT, J. K.; GUILD, N. e SU, T. T. Why peer discussion improves student performance on in-class concept questions. *Science*, v. 323, p. 122-124, 2009.

SILVA, F. B. e BEDIN, E. *Peer instruction e just in time teaching* e suas atribuições ao Ensino de Química. *Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática*, v. 3, p. 394-421, 2020.

SOUZA, K. R. e KERBAUY, M. T. M. Abordagem quantitativa-qualitativa: superação da dicotomia quantitativa-qualitativa na pesquisa em educação. *Educação e Filosofia*, v. 31, p. 21-44, 2017.

VYGOTSKY, L. S. *A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores*. 6ª ed. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

Abstract: Evaluation of the Peer Instruction methodology in thermodynamics learning in a chemistry undergraduate program. Students often have misconceptions regarding thermodynamic principles. With that in mind, the present study investigates the application of Peer Instruction during one semester in the Physical Chemistry I course. This active instructional strategy is characterized by the promotion of interaction, stimulating discussion among students and encouraging a greater participation in class. The results suggest that students improved their study habits, learning more about thermodynamics principles, with a better interaction and participation in the classroom. There was a development in the students' performance, going from passive listeners to active agents of their learning, presenting more autonomy in their studies, using maturing knowledge to discuss ideas with colleagues and learn in an environment of knowledge socialization. In conclusion, the findings herein indicate that the Peer Instruction methodology can be successfully applied and adapted to the teaching of Chemistry.

Keywords: peer instruction, thermodynamics, active methodologies