

EXPERIMENTO PORTÁTIL PARA O ESTUDO DE PRODUÇÃO DE GASES A PARTIR DA FERMENTAÇÃO ALCÓOLICA: O CASO DA MASSA DE PIZZA

Portable Experiment for Studying Gas Production from Alcoholic Fermentation: The Case of Pizza Dough

Milton Baptista Filho mfilho@iff.edu.br
Cassiana Barreto Hygino Machado cassiana.h.machado@iff.edu.br
Fernanda Vidal de Campos fernanda.campos@iff.edu.br
Tiago Desteffani Admiral tiago.admiral@iff.edu.br

*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, campus Campos Centro
Rua Dr. Siqueira 273, Campos dos Goytacazes RJ, Brasil*

Ana Cláudia da Silva Gonçalves ac_uenf@hotmail.com
*Liceu de Humanidades de Campos, e Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Polo
34, Instituto Federal Fluminense, campus Campos Centro
Rua Dr. Siqueira 273, Campos dos Goytacazes RJ, Brasil*

Recebido em: 05/08/2025

Aceito em: 29/06/2026

Resumo

Atividades experimentais com caráter investigativo contribuem para uma compreensão mais profunda dos processos naturais e, conseqüentemente, para a formação de um pensamento crítico necessário à sensibilização frente às mudanças climáticas e seus impactos. Neste trabalho, propõe-se uma atividade que integra o uso de dispositivos móveis à prática em sala de aula, articulando tecnologia e ensino de Ciências. Sensores infravermelhos, acessíveis e de fácil manuseio, mostraram-se úteis na análise de gases em ambientes diversos. O objetivo foi desenvolver e aplicar uma atividade experimental no ensino médio com um protótipo de sensores de baixo custo para investigar a produção de CO₂ durante a fermentação, com base no ensino por investigação. A atividade foi realizada em sala de aula, com os estudantes monitorando os dados gerados em seus dispositivos móveis. As percepções dos estudantes foram coletadas por questionário, cujas respostas indicaram boa recepção da proposta e potencial para aplicação no ensino médio e superior.

Palavras-chave: Dióxido de carbono; experimento portátil; smartphone; etanol; fermentação alcoólica;

Abstract

Experimental activities with an investigative character contribute to a deeper understanding of natural processes and, consequently, to the development of critical thinking necessary for raising awareness about climate change and its impacts. This study proposes an activity that integrates the use of mobile devices into classroom practice, articulating technology and science education. Infrared sensors, accessible and easy to handle, proved useful for analyzing gases in diverse environments. The aim was to develop and implement an experimental activity in high school using a low-cost sensor prototype to investigate CO₂ production during fermentation, based on inquiry-based teaching. The activity was carried out in the classroom, with students monitoring the data generated on their own mobile devices. Students' perceptions were collected through a questionnaire, results indicated a positive reception of the proposal and its potential for application in both high school and higher education.

Keywords: Carbon dioxide; portable experiment; smartphone; ethanol; alcoholic fermentation.

1 Introdução

A forma como o conhecimento científico é construído difere bastante da visão idealizada que muitas vezes é ensinada nas escolas. Embora a ciência seja vista como um conjunto de certezas e leis consolidadas, ela reconhece suas limitações e avança justamente ao questionar verdades estabelecidas, como afirmou Karl Popper (1972). Apesar dos progressos ao longo do tempo, parte da sociedade ainda enxerga a ciência como algo fechado, quando, na verdade, ela frequentemente nos leva a novas e mais profundas perguntas sobre a realidade.

A experimentação é um elemento fundamental na construção da ciência e do conhecimento científico (Lang, 1992). No entanto, quando aplicada em sala de aula, muitas vezes ocorre de forma dedutiva, com objetivos previamente definidos e pouco espaço para a formulação autônoma de hipóteses pelos estudantes. As sequências didáticas propostas por manuais de kits comerciais costumam ser engessadas e prescritivas, frequentemente voltadas à obtenção de um modelo matemático induzido. Esse tipo de abordagem pode levar à concepção da ciência como uma prática meramente mecânica e repetitiva, centrada na reprodutibilidade dos resultados, mas esvaziada de seu caráter investigativo e reflexivo (Lang, 2000).

Neste contexto, o ensino por investigação propõe uma abordagem que rompe com a simples transmissão de conteúdos, colocando o aluno como protagonista na construção do conhecimento. Ao estimular a observação, a formulação de hipóteses, a análise de dados e o debate, essa abordagem aproxima o estudante da prática científica e valoriza a problematização e a dúvida, exigindo do professor uma mediação atenta às ideias dos alunos (Sasseron e Carvalho, 2008; Carvalho, 2018). Com isso, desenvolvem-se não só conteúdos conceituais, mas também habilidades cognitivas, comunicativas e argumentativas.

Desta forma, a experimentação torna-se uma oportunidade privilegiada para implementar o ensino por investigação, especialmente quando associada a tecnologias que ampliem o acesso a dados e a autonomia dos estudantes durante a atividade. A demanda pela inserção de tecnologias digitais na prática pedagógica, especialmente em atividades experimentais, é destacada na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para o ensino médio (Brasil, 2018). A integração de tecnologias, tais como dispositivos móveis, sensores e microcontroladores possibilitam a criação de protótipos didáticos do tipo *plug and play*, que são acessíveis, portáteis e de fácil uso (Penido, 2017). Esses recursos permitem uma coleta e análise de dados mais autêntica, incentivando questionamentos reais, diversas interpretações e decisões baseadas em evidências (Staacks, 2025). Com isso, a inserção dessas tecnologias não apenas moderniza os instrumentos didáticos, mas também reforça o potencial investigativo das atividades experimentais em sala de aula.

Nos últimos anos, a programação de microcontroladores foi facilitada por conexões simplificadas, uso de linguagens de alto nível e maior acesso a exemplos práticos, beneficiando também quem não é da área de computação (Staacks, 2018). Com a popularização de microcontroladores com diversas conectividades, como *Bluetooth* e *Wi-Fi*, essa tecnologia tornou-se mais acessível e viável para a criação de experimentos didáticos automatizados e originais (Mariano, 2021). Aplicativos educacionais como o *Phyphox* oferecem gratuitamente diversas possibilidades para criar interfaces de exibição de dados em dispositivos móveis ou computadores (Staacks, 2018). Com integração via rede interna, é possível transmitir dados de experimentos realizados em sala de aula ou remotamente (Schlaf, 2024; Staacks, 2025). O *Phyphox* permite montar interfaces gráficas diretamente no navegador para exibir dados de sensores conectados a microcontroladores, tornando a automatização mais simples e os dispositivos mais portáteis (Staacks, 2022). Isso tem facilitado a criação e a aplicação de experimentos autorais, inclusive em apresentações remotas para grandes públicos.

São muitas as aplicações destas tecnologias a atividades experimentais que se relacionam a temáticas presentes no cotidiano, dentre elas, diversos estudos têm explorado a fermentação

alcoólica por meio de atividades experimentais em sala de aula. Conceição et al. (2022), por exemplo, propuseram um experimento para o ensino médio utilizando *Saccharomyces cerevisiae*, açúcar e balões de borracha, com o objetivo de observar a liberação de CO₂. Já Rehotnek et al. (2021) abordaram o tema por meio de uma sequência didática baseada na metodologia dos Três Momentos Pedagógicos (TMP), utilizando indicadores ácido-base para evidenciar a presença de dióxido de carbono dissolvido em uma solução de levedura e água, além da dilatação de balões como sinal qualitativo da produção de gás.

No ensino fundamental, Lago et al. (2022) propuseram uma atividade em que os alunos observaram visualmente o crescimento da massa de pizza fermentada e compararam seu peso ao longo do processo com o uso de uma balança. Por sua vez, Pires et al. (2015) instrumentaram uma coluna de destilação para extrair e quantificar o álcool produzido a partir de uma solução de levedura e glicose. A produção de dióxido de carbono, observada durante a fermentação, pode ser compreendida não apenas como um fenômeno bioquímico, mas também como uma expressão dos ciclos vitais que conectam os seres vivos ao ambiente. Essa perspectiva dialoga com as reflexões de Krenak (2019), ao propor uma retomada do pertencimento humano à Terra, em contraste com a lógica de distanciamento e domínio que marca a racionalidade moderna. Nesse sentido, ao integrar práticas investigativas que permitem aos estudantes observar transformações sutis da matéria em sala de aula, reforça-se a importância de uma educação científica comprometida com modos de vida que reconheçam a interdependência entre natureza, tecnologia e existência.

A popularização de sensores de CO₂ com alta sensibilidade, capazes de detectar concentrações na faixa de centenas de partes por milhão, tem ampliado as possibilidades de experimentação em sala de aula, permitindo a coleta de dados mais precisos, que enriquecem o ensino por investigação. Nesse contexto, este trabalho apresenta o relato de uma atividade experimental embasada no ensino por investigação e inspirada no preparo de massa de pizza como situação-problema com estudantes do ensino médio. A proposta envolve a utilização de um protótipo desenvolvido para viabilizar estudos experimentais com diferentes fontes de dióxido de carbono. Especificamente, investigou-se o processo de fermentação alcoólica por meio do uso de levedura desidratada (*Saccharomyces cerevisiae*).

2 Procedimentos metodológicos

2.1 Protótipo utilizado na atividade experimental

A atividade proposta envolve a utilização de um sensor de dióxido de carbono (CO₂) de alta precisão, com resolução da ordem de 1 parte por milhão (ppm) e faixa de operação entre 400 e 5000 ppm. De custo acessível, o sensor está integrado a um protótipo que também inclui termômetro, barômetro e etilômetro, projetado para o estudo em sala de aula de fenômenos relacionados ao CO₂. O sensor opera por absorção óptica no infravermelho, garantindo elevada seletividade e sensibilidade. O protótipo foi concebido para realizar medições em atmosfera estacionária, utilizando um suporte de vidro com volume interno de 120 mL, o que permite a saturação de gases e vapores em um curto intervalo de tempo, entre 3 e 5 minutos. A caracterização e os testes do dispositivo foram conduzidos em detalhes pelos autores.

A Figura 1A apresenta o protótipo utilizado na investigação do processo de fermentação alcoólica. Além da avaliação da produção de dióxido de carbono, foram analisadas variações em parâmetros termodinâmicos, como temperatura e pressão, bem como a concentração de álcool gerado.

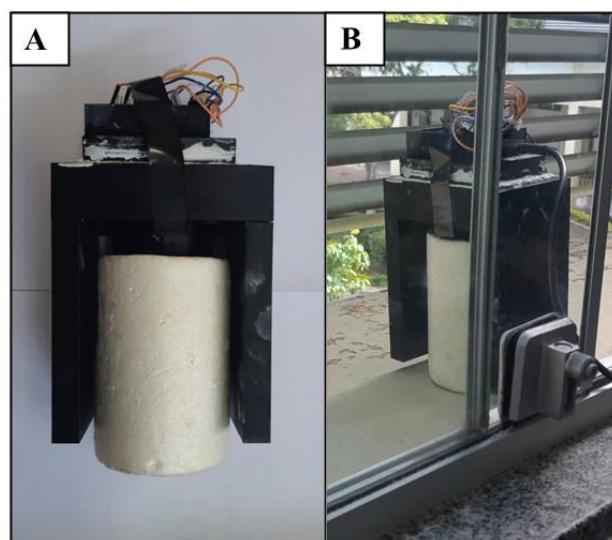


Figura 1 – Protótipo utilizado na investigação (A). Protótipo locado fora da sala de aula para realização do experimento (B). Fonte: Autoria própria (2025)

2.2 Sequência didática

A sequência didática foi aplicada em uma turma de segundo ano do ensino médio de uma escola pública, composta por 24 estudantes. A atividade foi desenvolvida de forma interdisciplinar, integrando os componentes curriculares de Física e Biologia. Sua execução foi dividida em três etapas: (1) análise e discussão da situação-problema; (2) realização do experimento; e (3) discussão dos dados obtidos, seguida da coleta das percepções dos estudantes sobre a atividade proposta.

A primeira etapa foi realizada sete dias antes da segunda. Nela, os alunos foram instruídos a ler a história hipotética intitulada 'Por que a massa da pizza cresce?' (Figura 2). Após a leitura, promoveu-se uma discussão baseada nas perguntas presentes ao final do texto, durante a qual os estudantes puderam expressar suas opiniões, conhecimentos sobre o assunto e levantar questionamentos.

Por que a massa da pizza cresce?

Joana adora comer pizza. Em uma tarde de sábado, um grupo de amigos decide fazer uma visita à sua casa. Como gosta de cozinhar e é naturalmente curiosa, sempre disposta a aprender novos processos, Joana vê na ocasião a oportunidade perfeita para encarar um antigo desafio: fazer sua própria massa de pizza.

Antes de sair para comprar os ingredientes, ela pesquisa na internet algumas receitas e encontra diversas variações, cada uma com proporções diferentes de farinha, água e técnicas variadas de preparo. Apesar das diferenças, todas as receitas têm algo em comum: os ingredientes básicos são farinha de trigo, água e fermento biológico.

Durante a leitura, ela descobre detalhes importantes, como a necessidade de sovar a massa durante o processo de fermentação. Nota também que algumas receitas incluem azeite de oliva e açúcar, como variações opcionais.

Entre tantas opções, uma receita em especial chama sua atenção: leva 400 g de farinha de trigo, 500 g de água morna e 10 g de fermento biológico. Ela segue o procedimento indicado: mistura os ingredientes e deixa a massa descansar por 40 minutos. Depois, retorna para sová-la por mais 10 minutos antes de moldá-la na forma e levá-la ao forno.

No entanto, ao final do processo, Joana se decepciona com o resultado. A pizza não cresceu como ela esperava e não ficou com a textura típica das pizzas que costuma gostar. Frustrada, começa a se questionar: em qual etapa poderia ter agido de maneira diferente? Será que errou na quantidade de algum ingrediente? A massa deveria ter sido sovada por mais tempo? A água usada estaria quente demais?

Figura 2 – Texto utilizado como ponto de partida para a discussão inicial do tema na primeira etapa da sequência didática. Fonte: Autoria própria (2025)

As segunda e terceira etapas da sequência didática foram realizadas em duas aulas de 50 minutos cada. Para a execução do experimento com o uso do protótipo manuseado pelo professor, os estudantes foram organizados em grupos de cinco integrantes, sendo orientados a utilizar um smartphone por grupo para a recepção dos dados gerados durante a atividade. Devido à sensibilidade do protótipo à concentração de dióxido de carbono, ele foi posicionado na parte externa da janela da sala (Figura 1B), uma vez que a concentração de CO₂ no interior da sala indicava cerca de 600 ppm.

Foi criada uma rede Wi-Fi local a partir do smartphone do professor, a qual foi compartilhada com os demais grupos. Nesse dispositivo, o aplicativo de aquisição de dados já estava instalado e configurado para receber, via conexão Bluetooth, as informações transmitidas pelo protótipo. Para ampliar o alcance e a visibilidade dos dados coletados, utilizou-se a televisão da sala para exibição em tempo real.

Uma vez tendo o professor certificado que todos os grupos estavam recebendo os dados no smartphone ou acompanhavam os dados através da televisão, foi informado da dinâmica que seria realizada. O professor esclareceu que dada a condição da sala fechada por conta do uso do aparelho de ar condicionado, a concentração de dióxido de carbono na sala estava acima do limite mínimo do sensor. Por conta disto o protótipo foi colocado na parte externa da janela. A partir deste momento o professor esclareceu que colocaria uma amostra de uma solução de levedura na concentração 3% (3,0 g de levedura em 100 mL de água) seriam inseridas na câmara e que todos deveriam observar o valor do dióxido de carbono medido. Após alguns minutos, tendo o valor de dióxido de carbono estabilizado, o professor informou que iria inserir 1,0 g de solução de açúcar e água (1% m/m) dentro do suporte de vidro e pediu que os estudantes observassem o comportamento da concentração de dióxido de carbono.

Após registrarem os valores fornecidos pelos sensores em cada contexto experimental, os estudantes foram orientados a responder a um formulário, acompanhado de uma discussão coletiva sobre cada questão. O instrumento foi estruturado em três partes: (1) questões discursivas relacionadas ao experimento; (2) avaliação das percepções dos estudantes sobre a atividade experimental, por meio de um questionário baseado na escala do tipo Likert; e (3) escolha livre de três adjetivos a partir de uma lista com dez pares de características opostas, conforme proposto por Zanon (2013). O conjunto de quatro perguntas versava sobre o comportamento dos valores dos parâmetros medidos durante a atividade e sobre a inserção do protótipo como recurso educacional (Quadro 1).

P1: O que acontece com o valor do dióxido de carbono durante o processo de fermentação durante a atividade? (Exemplo, aumentou e estabilizou, apenas aumentou, aumentou, estabilizou e diminuiu?)

P2: Em comparação às condições da atividade da levedura quando o açúcar foi adicionado ou não adicionado, houve diferença na produção de dióxido de carbono? Quem teve o aumento mais rápido?

P3: Com relação aos valores de pressão e temperatura, você observou uma mudança com padrão ou tendência compatível com o efeito da fermentação no crescimento da massa de pão? Justifique.

P4: Do ponto de vista da instrumentação utilizada, o protótipo utilizado na atividade e os dados produzidos te ajudaram a visualizar melhor o fenômeno estudado?

Quadro 1 – Perguntas contidas no formulário. Fonte: Autoria própria (2025).

A escala Likert original é composta por um conjunto de afirmações relacionadas a um determinado tema, estruturadas de forma a permitir a combinação e análise conjunta das respostas. Essa abordagem possibilita a identificação de padrões de associação múltipla entre dimensões distintas do fenômeno estudado. Por outro lado, a escala do tipo Likert refere-se a um instrumento baseado em afirmações isoladas, cujo principal objetivo é sintetizar as opiniões e percepções dos participantes em relação a aspectos específicos. As afirmações apresentadas aos estudantes para marcação na escala do tipo Likert estão organizadas no Quadro 2. Elas abordavam diferentes objetivos, de modo que os resultados obtidos não eram, necessariamente, interrelacionados. A escala utilizada variava de 1 a 5, com opções que variavam de "concordo totalmente" a "discordo totalmente", incluindo um ponto neutro. O uso de um número ímpar de alternativas permite essa resposta intermediária, conforme descrito por Likert (1983) e Costa Júnior (2024).

AF1. Consegui observar a dinâmica do fenômeno com clareza e precisão.

AF2. Consegui acessar a rede disponibilizada e o endereço, bem como os dados transmitidos durante a atividade.

AF3. O tempo de realização de cada teste e atividade foram suficientes para acompanhar a dinâmica, tirar dúvidas e discutir com os colegas a respeito.

Quadro 2 – Lista de afirmações para respostas através de marcação da escala tipo Likert. Fonte: Autoria própria (2025).

Por fim, para complementar a coleção de dados à acerca da percepção dos estudantes a respeito da atividade realizada, uma sequência de dez adjetivos de sentido oposto (Zanon, 2013) foi proposta na disposição de sentido negativo acima e positivo abaixo. Foi solicitado que cada estudante marcasse três. Os adjetivos estavam dispostos no formulário conforme apresentado no Quadro 3.

Confuso	Desagradável	Entediante	Complicado	Conservador
Claro	Prazeroso	Motivador	Simple	Explorador

Quadro 3 – Dez adjetivos de oposto. Fonte: Autoria própria (2025).

3 Resultados e discussão

3.1 Resultados experimentais obtidos durante a atividade

Os dados apresentados na figura 3 foram produzidos a partir do momento do fechamento do suporte de vidro. Nos instantes 1,8 minutos e 8,0 minutos a câmara foi momentaneamente aberta para a injeção da solução de levedura e água e açúcar e água, respectivamente. O aspecto ruidoso do sinal produzido pelo etilômetro é típico de sensores químico-resistivos (Araújo, 2020) o que não prejudicou observamos a tendência de aumento sensível da concentração de álcool quando a solução de açúcar e água foi injetada (8 minutos). Os patamares de saturação da concentração de dióxido de carbono foram bem estabelecidos, indicando estabilização do processo. Estes patamares se estabeleceram em 250 ppm para a primeira injeção e 675 ppm para a segunda injeção, apresentando uma diferença de 425 ppm na produção de dióxido de carbono na presença de açúcar.

Com relação à variação de temperatura, dada a massa da amostra utilizada e em função da natureza do etilômetro ser resistiva, implica na dissipação de calor no ambiente interno, a variação sutil de temperatura em torno de 1,5°C desde o início não dá indício de que a fermentação alcoólica, de natureza exotérmica, tenha liberado calor suficiente para promover esta reação.

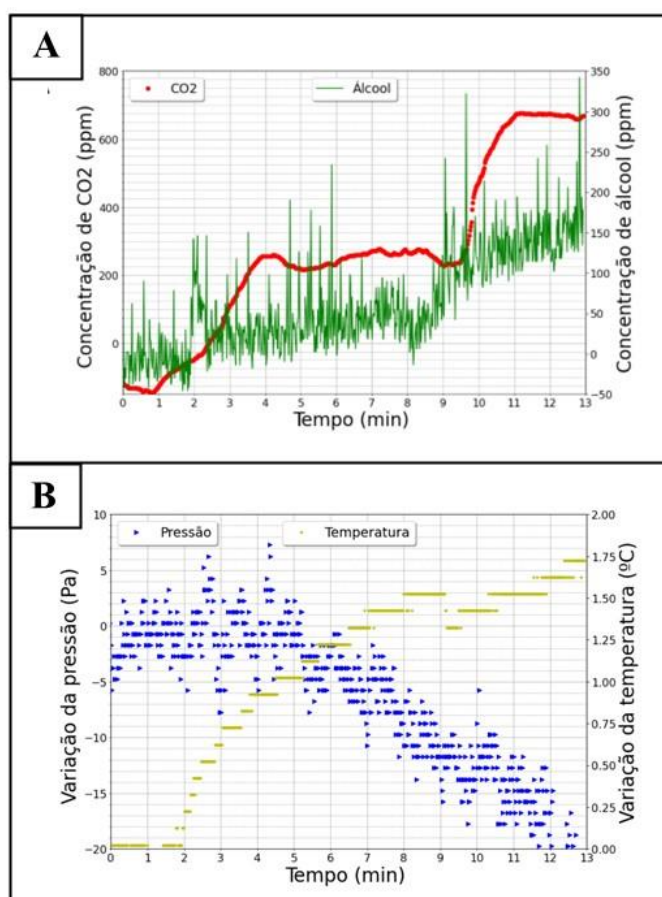


Figura 3. A) Concentração de dióxido de carbono (à esquerda) e álcool (à direita); B) Variação da pressão interna (à esquerda) e temperatura interna (à direita). Fonte: Autoria própria (2025).

Os resultados experimentais obtidos evidenciaram com clareza a mudança na dinâmica da produção de dióxido de carbono. A solução contendo apenas levedura e água resultou na produção de dióxido de carbono. Isso se deve ao fato de que as próprias leveduras possuem reservas intracelulares de açúcares, que podem ser metabolizadas por meio da fermentação assim que as células são reidratadas. No entanto, quando foi aplicada na câmara a solução contendo açúcar, observou-se um aumento significativo na produção de dióxido de carbono, uma vez que as leveduras passaram a dispor de um substrato energético em maior concentração para realizar o processo fermentativo.

3.2 Percepções dos estudantes em relação à atividade

Em relação à atividade experimental realizada, os estudantes foram questionados sobre o comportamento da concentração de dióxido de carbono durante o experimento, a comparação entre a produção de dióxido de carbono com e sem a solução de açúcar, e a contribuição dos instrumentos utilizados na investigação. As respostas manuscritas dos estudantes foram digitadas e organizadas em um corpus por questão. Desses *corpora*, foram excluídas palavras recorrentes e de pouco conteúdo informativo, como, “pois” e “sim”. Cada corpus foi então utilizado para a geração de uma nuvem de palavras. A Figura 4 apresenta as quatro nuvens produzidas, organizadas conforme a ordem numérica das questões do Quadro 1.

As respostas individuais às perguntas eram, em sua maioria, compostas por frases curtas e objetivas, com menos de sete palavras. Na nuvem correspondente à primeira pergunta (Figura 4.P1), destacaram-se termos relacionados às mudanças na concentração de dióxido de carbono ao

[illegible]

Em relação à pergunta 2, que abordava a comparação da produção de dióxido de carbono em dois contextos, levedura com água e levedura com água e açúcar, as palavras mais frequentes na nuvem foram “açúcar”, “aumento”, “variação” e “adicionado”. Esses termos indicam que o contraste entre os comportamentos da levedura nos dois cenários foi destacado nas respostas dos participantes (Figura 4.P2). As respostas indicam que os estudantes perceberam com clareza o papel do açúcar como fator que acelera a produção de CO₂, reconhecendo sua influência na intensidade e no ritmo da fermentação. A Pergunta 3 focava nas observações sobre pressão e temperatura. Na nuvem correspondente, as palavras “influência” e “importante” apresentaram maior frequência, enquanto “pressão” e “temperatura” foram mencionadas com menor destaque, acompanhadas de termos como “relação”, “levedura” e “açúcar”. Apesar de menor ênfase, a presença dos termos “pressão” e “temperatura” sugere que os estudantes reconheceram certa influência desses parâmetros físicos no processo fermentativo.

66

compreensão dos conceitos envolvidos. Em seguida, foram apresentadas três afirmações com o objetivo de investigar as percepções dos estudantes sobre a dinâmica realizada. As afirmações abordavam: a qualidade da observação do fenômeno por meio dos dados exibidos, o acesso à rede e à transmissão dos dados, e a duração das atividades. As respostas foram organizadas em uma escala de 1 a 5, representando, respectivamente: discordo totalmente, discordo, não concordo nem discordo, concordo e concordo totalmente. As afirmações estão dispostas na base dos gráficos de barras da Figura 5.

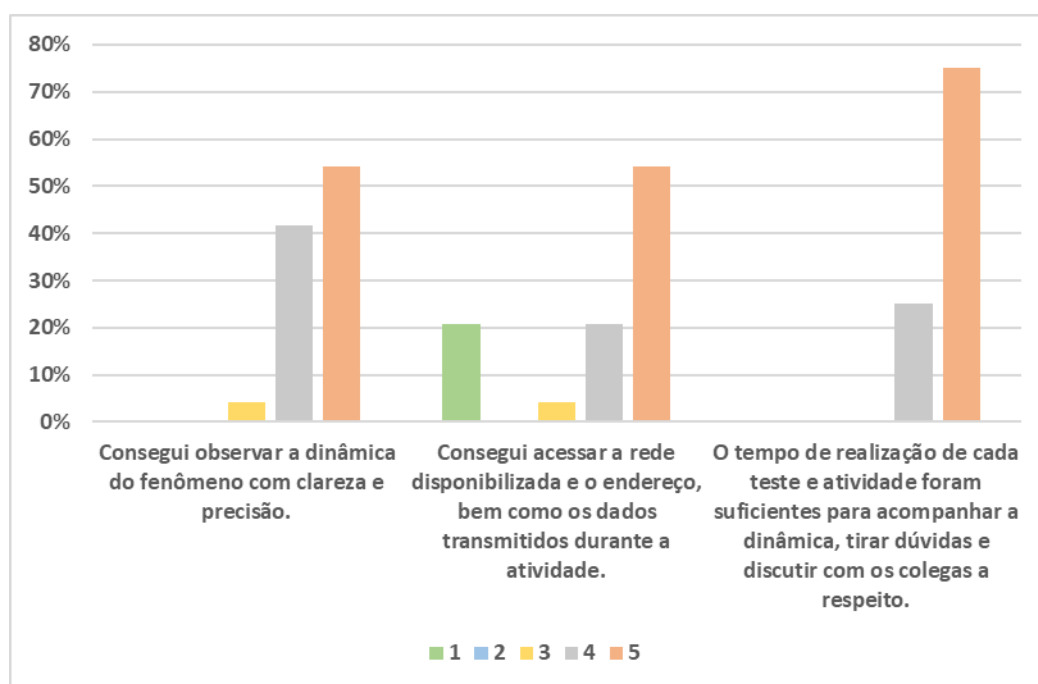


Figura 5. Respostas registradas na escala Likert para as três afirmações propostas. Fonte: Própria autoria (2025).

O instrumento adotado visou analisar a percepção dos estudantes quando à contribuição geral do uso do protótipo à atividade em sala de aula. Embora o instrumento não tenha qualquer potencial para avaliar efetividade de aprendizagem, os resultados indicam, a partir da primeira afirmação, que o uso de protótipo tecnológico em sala de aula teve uma percepção positiva, este indicativo de respostas de nível “concordo” e “concordo totalmente” alcançou mais de 90% das opções marcadas. Esse dado revela que a mediação tecnológica proporcionada pelo protótipo foi eficaz para tornar perceptível a dinâmica do fenômeno, reforçando seu potencial como recurso didático para o desenvolvimento de habilidades de análise e interpretação de dados.

Por outro lado, dificuldades para a realização da conexão Wi-fi (segunda afirmação) ficou destacada em um percentual de 20% de opções marcadas como “discordo totalmente” e “discordo”, relacionadas à afirmação que trata do acesso a rede disponibilizada. Esse comportamento sugere que a infraestrutura de rede ou a interface de acesso ainda apresentam barreiras operacionais, exigindo adaptações técnicas para garantir maior autonomia dos estudantes no uso do dispositivo. A respeito do tempo dispendido para a realização da atividade (terceira afirmação), cerca de 100 minutos no total, mais de 70% das respostas indicaram o nível “concordo totalmente”. Esse índice elevado de aprovação aponta que a duração foi suficiente para permitir não apenas a execução do experimento, mas também momentos de reflexão coletiva e discussão entre os grupos, aspectos

fundamentais em propostas de ensino por investigação.

Foi proposta uma escala não validada de adjetivos com o objetivo de complementar os instrumentos já utilizados. A finalidade deste recurso foi oferecer uma dinâmica binária e intuitiva, na qual os estudantes deveriam selecionar três adjetivos entre dez, organizados de forma simétrica (Zanon, 2014). O gráfico em formato radar da Figura 6 apresenta o percentual de escolha para cada adjetivo. O termo mais selecionado foi “explorador”, com 20% das respostas. Também se destacaram os adjetivos “claro” e “simples”, o que pode sugerir que os estudantes perceberam facilidade no acompanhamento das atividades. No entanto, não há evidências de que essas escolhas, em média, reflitam facilidade na leitura ou análise dos dados produzidos. Os resultados podem indicar uma percepção positiva frente a uma atividade diversificada, que incorpora o uso de tecnologia e a exibição de dados em tela, um ambiente familiar à geração dos estudantes da turma, com idades entre 16 e 18 anos.

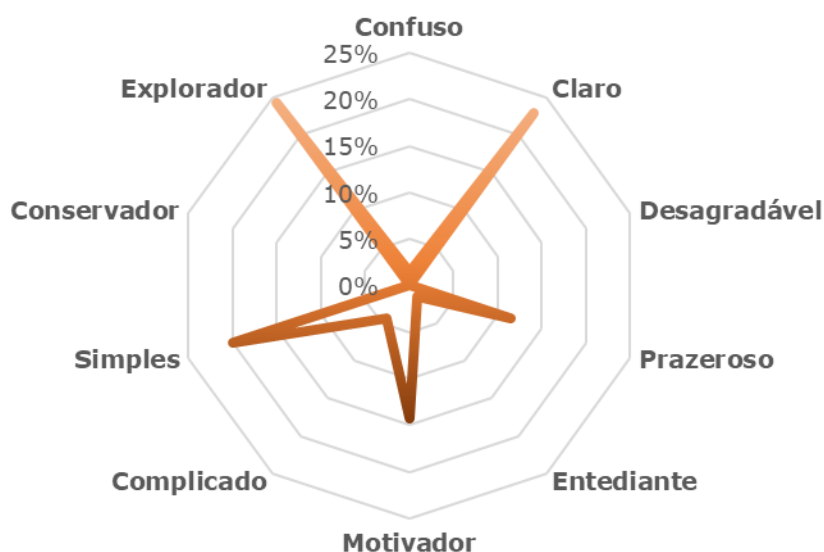


Figura 6 – Gráfico Radar distribuindo os adjetivos na ordem da tabela apresentada aos estudantes. Fonte: Própria autoria (2025).

A distribuição dos adjetivos aponta para uma percepção predominantemente positiva por parte dos estudantes. O termo “explorador”, mais recorrente, sugere receptividade à proposta e disposição em interagir com uma atividade fora do padrão tradicional. As frequências observadas para “claro” e “simples” reforçam a ideia de que, mesmo incorporando recursos tecnológicos e dados em tempo real, a dinâmica foi compreendida com facilidade. Esse conjunto de escolhas pode estar relacionado à familiaridade dos estudantes com ambientes digitais e com a visualização de dados em tela, elementos presentes na atividade. Ao dialogar com práticas cotidianas da geração participante, a proposta parece ter conseguido aproximar o conteúdo escolar de experiências já incorporadas em outros contextos, o que pode justificar a predominância de adjetivos associados à clareza e à exploração. Essa convergência entre linguagem tecnológica e abordagem didática reforça a importância de práticas que considerem os repertórios conceituais dos alunos, sem abrir mão da intencionalidade pedagógica.

4 Considerações finais

A proposta de atividades experimentais coletivas que utilizem recursos tecnológicos portáteis, com transmissão de dados para dispositivos móveis individuais ou para sistemas de exibição coletiva, deve ser incorporada à rotina da sala de aula. Com o avanço da tecnologia,

sensores para detecção de gases tornaram-se financeiramente acessíveis e de fácil manuseio e operação. Esse tipo de desenvolvimento tem ampliado as possibilidades de realização de estudos de curta duração em ambiente escolar, especialmente aqueles que envolvem variações na concentração de dióxido de carbono, como nos casos da fermentação alcoólica e da fotossíntese.

Neste trabalho, um protótipo desenvolvido anteriormente destinado ao estudo de parâmetros termodinâmicos de fontes de dióxido de carbono foi aplicado na realização de uma atividade prática com uma turma de segundo ano do ensino médio integrado. A atividade experimental foi eficiente para verificar as mudanças na produção de dióxido de carbono durante o processo de fermentação alcoólica. Os estudantes puderam acompanhar a atividade experimental em sala de aula e discutir sobre os dados apresentados.

As respostas ao questionário de percepção dos estudantes indicaram que a maioria compreendeu que a adição de açúcar intensificou a produção de dióxido de carbono, sendo esse um fator importante para a formulação de hipóteses sobre o processo de fermentação alcoólica realizado pelas leveduras. Ainda que centrada na investigação da fermentação alcoólica, a atividade também pode contribuir para ampliar a compreensão dos estudantes sobre o papel do dióxido de carbono em fenômenos ambientais relevantes. A familiaridade com a geração e a medição desse gás pode servir como ponto de partida para discussões interdisciplinares sobre processos ecológicos, mudanças climáticas e os impactos das ações humanas nos ciclos da natureza.

A respeito da tecnologia usada na atividade, a opinião geral dos estudantes foi positiva sobre a inserção da tecnologia, embora o recurso de conectividade individual a partir de dispositivo móvel tenha promovido uma sensação negativa expressa nas respostas e marcações. Por fim, o desenvolvimento de protótipo no perfil do recurso apresentado carece de divulgação e popularização, seja na instrução para licenciandos e professores em atividade ou mesmo na sua inserção nos ambientes de criação (Salas Maker) que vem se difundindo em algumas escolas das redes públicas de ensino municipal, estadual e federal.

Suplemento

O projeto completo do protótipo poderá ser acessado no seguinte link: <https://github.com/idmilton/ProjetoCamaraMultiproposito> e uma caracterização detalhada está disponível em (Baptista, 2025).

Referências

- ARAÚJO, T.; SILVA, L.; MOREIRA, A. Evaluation of low-cost sensors for weather and carbon dioxide monitoring in Internet of Things context. **IoT**, v. 1, n. 2, p. 286–308, 2020.
- BAPTISTA FILHO, M. et al.. Protótipo para o estudo de variáveis termodinâmicas em fases líquidas saturadas, vapores e gases. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 47, p. e20240342, 2025.
- CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Fundamentos teóricos e metodológicos do ensino por investigação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 18, n. 3, p. 765–794, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2018183765>. Acesso em: 15 maio 2025.
- CONCEIÇÃO, Lucas Barbosa; SIQUEIRA, Livia Constâncio de. Atividade prática sobre o processo de fermentação: um relato de experiência para o ensino médio. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 17, n. 3, p. 510–525, 2022.

COSTA JÚNIOR, J. F. da; CABRAL, E. L. dos S.; SOUZA, R. C. de; BEZERRA, D. de M. C.; SILVA, P. T. de F. e. Um estudo sobre o uso da escala de Likert na coleta de dados qualitativos e sua correlação com as ferramentas estatísticas. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 17, n. 1, p. 360–376, 2024.

KRENAK, Ailton. **Ideias para adiar o fim do mundo**. São Paulo: Companhia das Letras, 2019.

LANG, Fernando. Ciência e realidade: a concepção de ciência de Karl Popper. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 9, n. 2, p. 105–121, 1992.

LANG, Fernando. Oscilações de pêndulos: uma análise crítica de simplificações e erros comuns. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 17, n. 2, p. 161–189, 2000.

LAGO, Anna; MASIERO, Silvia; BELLIO, Marta; PIVA, Elisabetta; SCHUMANN, Sophia; IRATO, Paola; SANTOVITO, Gianfranco. Bacteria and yeasts in primary school: a laboratory approach to the study of microbiology and biotechnologies. **IJAEDU – International E-Journal of Advances in Education**, v. 8, n. 23, p. 163–170, ago. 2022. Disponível em: <https://ijaedu.ocerintjournals.org/en/pub/issue/72106/1067951>. Acesso em: 19 maio 2025.

LIKERT, Rensis. A technique for the measurement of attitudes. **Archives of Psychology**, New York, v. 22, n. 140, p. 1–55, 1932.

MARIANO, E. F. Aplicação didática de protótipos construídos em plataforma Arduino. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE BIOLOGIA – ENEBIO, 8., 2021, Online. **Anais [...]**. Campina Grande: Realize Editora, 2021. Disponível em: https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/enebio/2021/CEGO_TRABALHO_EV139_MD4_SA17_ID604_27022020154742.pdf. Acesso em: 2 jun. 2025.

PENIDO, E. C. C. **Projetos de automação com Arduino**: guia detalhado para aplicações industriais, residenciais e agrícolas. Viçosa: Editora UFV, 2017.

POPPER, Karl Raimund. A lógica da pesquisa científica. São Paulo: Cultrix, 1972.

RECHOTNEK, Fernanda; PRICINOTTO, Gustavo. A fermentação alcoólica em uma atividade experimental investigativa para o ensino de ciências. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 2, p. 509–524, 2021. Disponível em: <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/938>. Acesso em: 19 maio 2025.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Almejando a alfabetização científica no ensino fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 13, n. 3, p. 333–352, 2008.

SCHLAF, J.; DORSEL, D.; STAACKS, S.; HEINKE, H. *Phyphox*: eines Sensorkette als DIY-Projekt – orts aufgelöste Messung von Beschleunigung und Temperatur: Vorstellung und Ergebnisse erster Tests. **PhyDid B – Didaktik Der Physik** – Beiträge Zur DPG-Frühjahrstagung, v. 1, n. 1, 2024. Disponível em: <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1453>. Acesso em: 15 maio 2025.

STAACKS, Sebastian et al. Bluetooth sensors in phyphox with Arduino and MicroPython: paving the way from an idea to an experiment for teachers and learners. **Physics Education**, Bristol: IOP Publishing, v. 60, n. 3, p. 035014, 21 mar. 2025. DOI: 10.1088/1361-6552/adbf5f.

STAACKS, Sebastian et al. Collaborative smartphone experiments for large audiences with phyphox. **European Journal of Physics**, v. 43, n. 5, 055702, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1088/1361-6404/ac7830>.

STAACKS, S.; HÜTZ, S.; HEINKE, H.; STAMPFER, C. Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox. **Physics Education**, v. 53, n. 4, p. 045009, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aac05e>. Acesso em: 2 jun. 2025.

ZANON, C.; HUTZ, C. S. Escala de Afetos Positivos e Afetos Negativos (PANAS). In: HUTZ, C. S. (org.). **Avaliação em Psicologia Positiva: técnicas e medidas**. Porto Alegre: Artmed, 2014. p. 63–67.