



Giselle Alves Martins¹ , André Luis Dias¹ , Riama Coelho Gouveia^{1#} 

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, campus Sertãozinho, Sertãozinho, SP, Brasil.

Palavras-chave

Ensino Médio
termologia
calorimetria
microcervejaria

Resumo

Ciência e tecnologia estão intimamente relacionadas na sociedade contemporânea, e o ensino das ciências deve permitir ao estudante compreender o mundo que o cerca. A produção de cerveja, cada vez mais presente na vida e na economia brasileira, envolve diversos conceitos científicos. O objetivo deste trabalho foi analisar as contribuições de uma atividade didática baseada na produção de cerveja para o ensino, a aprendizagem e a contextualização de conteúdos de física. A pesquisa foi organizada em: pesquisa exploratória, com revisão bibliográfica e pesquisa de campo; pesquisa descritiva, com a sistematização de conceitos de física, e pesquisa propositiva, com a elaboração, aplicação e análise da atividade didática. Os resultados revelam que os estudantes relacionaram fenômenos e grandezas físicas com o processo de fabricação da cerveja, contribuindo para a efetiva aprendizagem dos conteúdos, dando-lhes significado no mundo vivenciado e permitindo a contextualização dos princípios científicos discutidos na escola.

1. Introdução

No decorrer da história, de diferentes formas, as ciências da natureza estabeleceram relações com o desenvolvimento tecnológico. A partir do final do século XIX, o vínculo entre ciência e tecnologia se fortaleceu, e hoje se nota sua forte presença em dois sentidos distintos: descobertas científicas permitem a fabricação de novos artefatos e os equipamentos produzidos pelo avanço da tecnologia permitem a desco-

berta de novos fenômenos científicos [1, 2].

Os impactos da relação entre ciência e tecnologia estão presentes de muitas maneiras na sociedade, mas sua importância se destaca no mundo do trabalho.

Atualmente, os processos produtivos envolvem equipamentos de alta tecnologia, que incorporam diversos conhecimentos científicos em sua fabricação, de modo que a ciência, como força produtiva, se transformou em potência material [3].

É fundamental que a escola proporcione aos estudantes a compreensão sobre os princípios científicos que fazem parte da moderna tecnologia

#Autor de correspondência. E-mail: riama@ifsp.edu.br

Este é um artigo de acesso livre sob licença Creative Commons



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Tendo em vista que o processo educativo deve preparar as futuras gerações para a vida em sociedade, que inclui o trabalho, é fundamental que a escola proporcione aos estudantes a compreensão sobre os princípios científicos que fazem parte da moderna tecnologia [4]. Nesse sentido, é papel do professor de física fomentar discussões sobre a relação entre a ciência e a tecnologia, sobre o impacto das ciências e da tecnologia no sistema produtivo e sobre as implicações sociais do desenvolvimento científico e tecnológico, “relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina” [4]. Sem isso, propaga-se uma crescente incompreensão sobre o alcance e a importância da cultura científica [1].

Na realidade educacional, no entanto, ainda se encontra, com frequência, a pura transmissão de conhecimentos, desconectados entre si e da realidade, promovendo um Ensino Médio de baixa qualidade [5]. Apesar dos esforços das reformas curriculares, as aulas permanecem, de modo geral, sem conexão com a vida dos estudantes e com o mundo do trabalho, dificultando a percepção de que os conteúdos específicos fazem parte de um todo concreto, o que, consequentemente, dificulta o processo de ensino e aprendizagem [6, 7].

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo analisar as contribuições de uma atividade didática, desenvolvida em uma microcervejaria, para o ensino e a aprendizagem da física e para a contextualização de conteúdos de termologia e calorimetria, presentes nos currículos de física, relacionando-os com os processos produtivos da fabricação de cerveja.

O processo de fabricação cervejeira apresenta grandes oportunidades para o ensino de ciências da natureza, e em especial de física, por dois motivos distintos. Em primeiro lugar, pode-se mencionar o fato de que a cerveja é uma bebida muito popular no Brasil, conhecida de todos, mesmo daqueles que, pela idade, não devem consumi-la, despertando a curiosidade dos estudantes. Em segundo lugar, durante o processo de fabricação de cerveja, ocorrem diversos fenômenos físicos, entre os quais destacam-se: a necessidade de variações de temperatura, mudanças de estado físico, transferência de calor e monitoramento de pressão. Esses processos podem ser particularmente bem explorados nas microcervejarias, uma vez que a operação do processo de fabricação de cerveja nesses locais é realizada de forma mais manual, com contato direto com as diferentes etapas [8].

Para alcançar os objetivos pretendidos, o trabalho de pesquisa foi organizado em três etapas, com metodologias e procedimentos específicos, todos com abor-

O processo de fabricação cervejeira apresenta grandes oportunidades para o ensino de ciências da natureza

No Brasil, o mercado cervejeiro é significativo, gerando emprego para 2,7 milhões de pessoas e contribuindo com 1,6% do PIB nacional

dagem qualitativa [9]. A primeira etapa consistiu em uma pesquisa do tipo exploratória [10], sendo a coleta de dados realizada por meio de pesquisa bibliográfica [11] e de campo [12], permitindo uma familiarização, tanto teórica quanto prática, com o processo de produção de cerveja em uma microcervejaria; os resultados dessa parte são descritos na seção 2. A segunda etapa, do tipo descritiva [10], cujos resultados são apresentados na seção 3, consistiu na sistematização dos conceitos de física, com ênfase na física térmica e na calorimetria, que poderiam ser discutidos com estudantes do Ensino

Médio, com base nas diferentes etapas do processo de produção de cerveja em microcervejarias. A terceira e última etapa, propositiva e participativa [11], consistiu na elaboração, aplicação e análise da atividade didático-pedagógica realizada junto a duas turmas de 2ª série do Ensino Médio integrado ao curso técnico em Automação Industrial e Química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, sendo os dados dessa etapa coletados por meio de observação participante [11] e dos textos produzidos pelos estudantes de uma das turmas e analisados com base em elementos da análise de conteúdo [13]; a descrição desta etapa encontra-se na seção 4.

2. Processo de produção de cerveja

No Brasil, o mercado cervejeiro é significativo, gerando emprego para 2,7 milhões de pessoas e contribuindo com 1,6% do PIB nacional. O Ministério da Agricultura registrou um aumento expressivo no número de cervejarias nos últimos anos, impulsionado em grande parte pela abertura de microcervejarias [14]. A Fig. 1 apresenta a quantidade e o crescimento de estabelecimentos que produzem cerveja no Brasil, registrados no Ministério da Agricultura e Pecuária, ou seja, que oficialmente são unidades produtoras regulamentadas no país.

As microcervejarias, embora no Brasil tenham classificação legal idêntica às cervejarias de grande porte, possuem características específicas, como a intensa inovação em seus produtos e processos de pequena escala, trazendo novos ingredientes, sabores e aromas aos consumidores. Além disso, seus processos de produção possuem tecnologias muito distintas em comparação com grandes cervejarias, sendo pouco automatizados e com máquinas operadas manualmente por usuários [8].

De maneira ampla, pode-se afirmar que o processo de produção da cerveja se inicia no controle da germinação do grão, que, juntamente com a maceração e a secagem, constituem a etapa de malteação, na qual são produzidas e ativadas enzimas capazes de transformar o amido do grão em açúcares fermentáveis [15]. Em

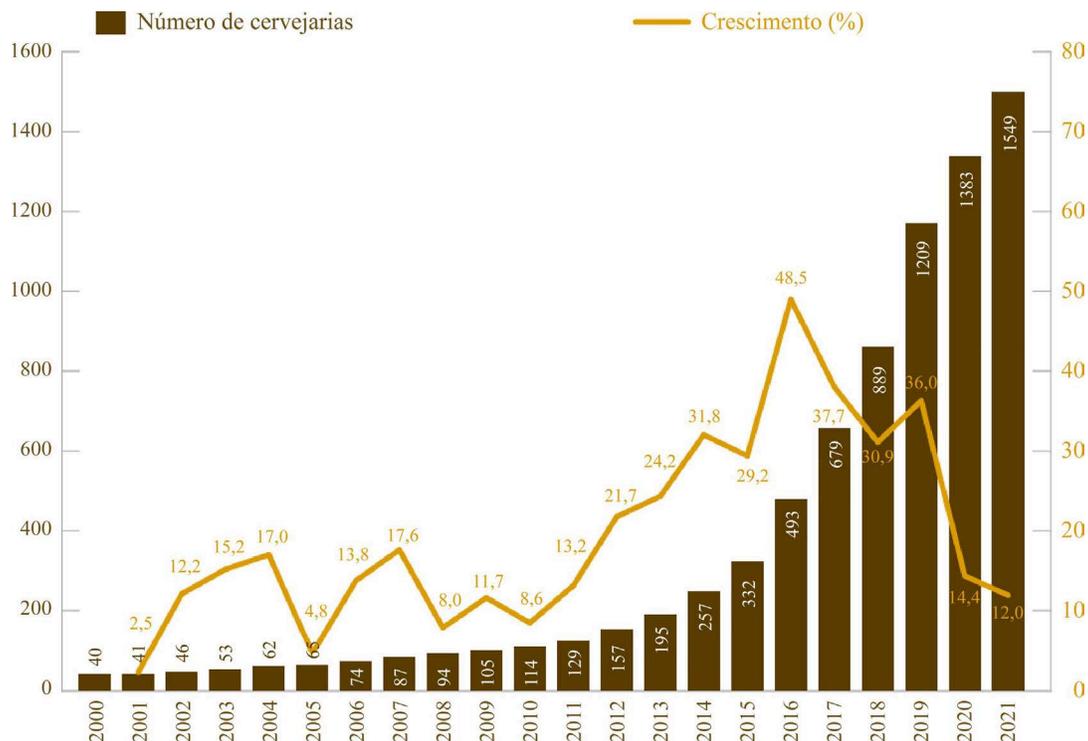


Figura 1 - Total de estabelecimentos produtores de cerveja registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Fonte: Ref. [14]

seguida, ocorre a moagem do grão, em que ocorre a quebra do malte, expondo os carboidratos presentes no interior da semente. Essas primeiras etapas ocorrem fora do ambiente do laboratório de produção de cerveja e, por esse motivo, não serão trabalhadas na atividade didática proposta.

A atividade didática envolve especificamente as etapas de produção cervejeira que ocorrem no laboratório de produção de cerveja e estão representadas esquematicamente na Fig. 2: brassagem, filtração, fervura, *whirlpool* e trocador de calor.

A mostura (ou brassagem) é o processo de mistura do grão triturado com água. Nesse processo, também ocorrem alterações controladas de temperatura. Dependendo das inclinações das curvas de aquecimento, da temperatura e da duração dos patamares, diferentes enzimas são ativadas para a quebra dos açúcares, resultando em diferentes “sabores” na cerveja [17].

Finalizadas as rampas de temperatura, o produto da brassagem é separado em bagaço do malte e mosto líquido, na etapa chamada de filtração. Nessa etapa, o próprio bagaço serve como peneira enquanto o mosto recircula continuamente no tanque com o auxílio de uma bomba hidráulica. Conforme o mosto líquido se separa do bagaço, vai ficando menos turvo, sinalizando o final da filtração.

O mosto líquido passa então para a fervura, que ocorre em altas temperaturas, para esterilização e adição do lúpulo. O lúpulo adicionado passa, então, por algumas transformações, devido ao calor, para se tornar solúvel em água, garantindo o amargor da cerveja [18].

Após a fervura, é necessário um novo processo de separação dos resíduos sólidos do mosto, o *whirlpool*. O nome é dado devido ao fato de a separação ocorrer por movimentos circulares do mosto, utilizando uma bomba hidráulica. O fenômeno físico que permite a separa-

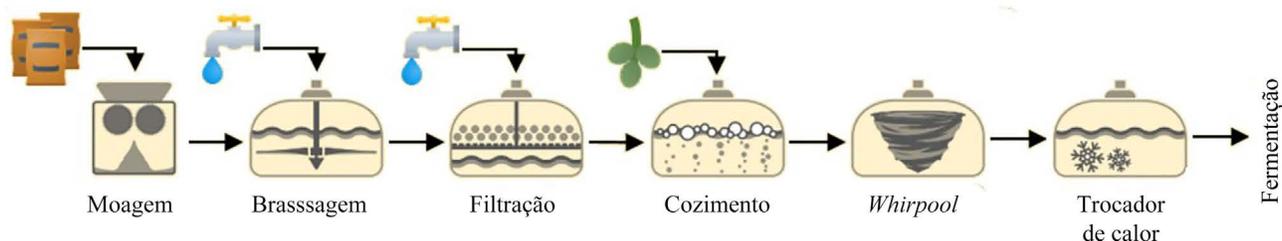


Figura 2 - Etapas da produção que ocorrem no laboratório de produção de cerveja. Fonte: Adaptado de Ref. [16].

ção foi explicado por Einstein e é conhecido como “efeito xícara de chá”: a bomba hidráulica força o líquido a executar um movimento de rotação; por conta do atrito, o líquido próximo às paredes do recipiente acaba ficando com uma velocidade angular menor do que nas partes mais centrais e, pelo mesmo motivo, a velocidade angular do líquido que fica próximo ao fundo é menor do que o líquido nas partes superiores do recipiente; o resultado é um movimento circular adicional do líquido ilustrado na Fig. 3, que carrega os resíduos sólidos, mais densos que o líquido, para baixo e para o centro [19]. Pelo fato de o tanque possuir um formato cônico, o resíduo sólido, conhecido como “trub”, deposita-se no fundo do recipiente com o auxílio da força gravitacional.

Fechando o processo de produção da cerveja, é necessária a redução de temperatura do mosto - o resfriamento - por meio de um trocador de calor. O mosto é, então, conduzido a passar entre placas resfriadas com uma mistura de água e álcool (a $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$) e, transferindo calor para a mistura, atinge a temperatura adequada para o processo de fermentação [17].

Apesar de as próximas etapas, a partir da fermentação, envolverem também conceitos de física térmica e calorimetria, como o controle e a variação de temperatura, tais processos não foram incluídos na atividade didática proposta, para que não se tornasse demasiado longa ou complexa, além de considerar que os conceitos abordados já se fizeram presentes em discussões anteriores.

As etapas seguintes incluem: i) a fermentação, na qual são adicionadas as leveduras, em um ambiente

com temperatura controlada; ii) a maturação, em que a temperatura é reduzida para aproximadamente $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ para decantação de leveduras e proteínas; iii) a carbonatação, com a adição de CO_2 sob pressão, sendo a quantidade ideal de gás a ser adicionada especificada em tabela preexistente; iv) o envase, que é o processo de acondicionamento da cerveja em garrafas ou barris, e v) a pasteurização, na qual a temperatura da cerveja é elevada e posteriormente resfriada, para a eliminação de microrganismos contaminantes e estabilização da cerveja [18].

3. Conceitos de física no processo de produção de cerveja

As diferentes etapas do processo de produção de cerveja envolvem diversos conceitos de física, química e biologia e complexas relações entre essas áreas de conhecimento. Dependendo do nível de ensino, do curso, da turma, podem ser feitas distintas abordagens, mais ou menos aprofundadas conceitual e matematicamente, dos fenômenos científicos envolvidos [21]. Sem perder de vista as relações científicas existentes no processo de produção cervejeiro e considerando o desenvolvimento da atividade com estudantes do Ensino Médio, seja regular ou integrado a algum curso técnico, a ênfase foi dada à abordagem conceitual [22], com destaque para fenômenos e grandezas geralmente trabalhados nas aulas de física.

No tanque de água quente, destaca-se a discussão sobre a temperatura e sobre os fenômenos de transferência de calor, em especial a condução e a convecção. Em relação à temperatura, é possível abordar os diferentes tipos de termômetro: termômetro de dilatação, termômetro laser, termopar e termoresistências, discutindo sua adequação à determinação de temperatura da água no tanque, levando em consideração tanto aspectos de contaminação da cerveja quanto a necessidade de inserção do termômetro no sistema de controle do processo de fabricação. Também pode ser realizada uma reflexão sobre os processos para a determinação da temperatura de um líquido, uma vez que em diferentes posições (em relação à fonte de aquecimento), a temperatura medida será diferente; assim, é de fundamental importância a escolha de um local adequado para o posicionamento do termômetro. Sobre a transferência de calor, pode-se discutir o funcionamento do ebulidor (resistência elétrica) que atua no líquido dentro do tanque, seu posicionamento em relação aos sensores de temperatura (Fig. 4A), e de que maneira o líquido é aquecido a partir do ebulidor, abordando a condução e a convecção do líquido do tanque. É possível, ainda, tra-

As diferentes etapas do processo de produção de cerveja envolvem diversos conceitos de física, química e biologia e complexas relações entre essas áreas de conhecimento. Dependendo do nível de ensino, do curso, da turma, podem ser feitas distintas abordagens, mais ou menos aprofundadas conceitual e matematicamente, dos fenômenos científicos envolvidos

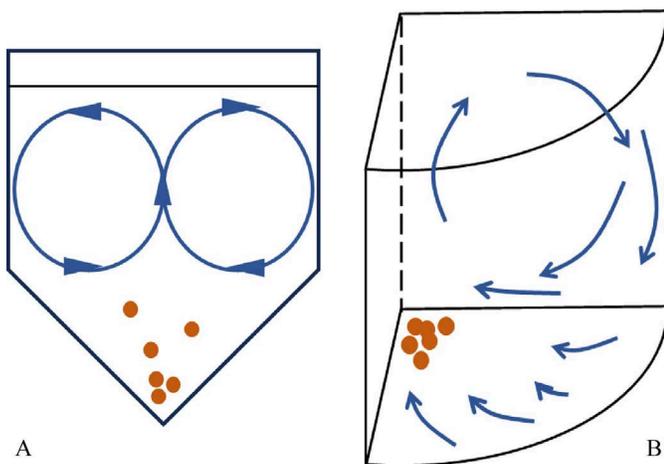


Figura 3 - Efeito xícara de chá: fenômeno gerado pela rotação de um líquido em um recipiente. A) Adaptado de Ref. [19]; B) Adaptado de Ref. [20].



Figura 4 - A) Ebulidor utilizado no processo de produção da cerveja e B) Fase de *whirlpool*, mostrando o movimento circular do líquido.

tar dos equipamentos que atuam na malha de controle desse tanque, como o controlador de temperatura, que recebe a medida de temperatura do sensor e aciona o atuador (ligando ou desligando o ebulidor).

A etapa de brassagem permite uma nova abordagem da temperatura, uma vez que nessa etapa ela deve ser controlada com maior precisão, para a adequada extração de açúcares do malte. Para tanto, o tanque de mostura é revestido por uma “camisa” preenchida por água, onde se localiza o ebulidor (resistência elétrica). O aquecimento, assim, ocorre em toda a parede lateral do tanque simultaneamente, de forma mais homogênea do que no tanque de água quente; adicionalmente, um agitador movimenta a água, tornando mais eficientes as trocas de calor e reduzindo o gradiente de temperatura dentro do tanque. Além da homogeneidade de temperatura, nesse processo a taxa de aquecimento da substância também é importante, sendo possível discutir a importância da capacidade térmica e do calor específico da substância nessa taxa de aquecimento, inclusive com a construção de um gráfico do processo. A existência da “camisa” de aquecimento permite abordar outra grandeza, que é a pressão; a pressão do vapor dentro da “camisa” é monitorada por meio de um medidor de pressão, para evitar acidentes no caso de se tornar excessivamente alta.

Na etapa de filtração, podem ser destacadas algumas grandezas que não estão tão diretamente relacionadas com a calorimetria, mas que também são estudadas na física, como vazão e densidade. A determinação da velocidade com que o mosto é transferido para o tanque de filtração e como circula (entra e sai) nesse tanque, ou seja, a vazão da bomba que executa a filtração do mosto, são fundamentais para que se obtenha o resultado desejado em termos de turbidez. A filtração

em si, por sua vez, está diretamente relacionada à densidade das substâncias envolvidas, uma vez que o bagaço do mosto, sólido, fica retido na parte de cima de um filtro de inox e não atravessa para o fundo do tanque. A parte líquida do mosto atravessa tanto o filtro de inox quanto o bagaço, que também serve como filtro. Assim, o mosto filtrado pode ser transferido para o tanque de fervura, que é a próxima etapa.

Na fervura, o processo de aquecimento ocorre como no tanque de mostura, através da “camisa”, de modo que é possível escolher um desses momentos para abordar a questão da temperatura, da taxa de aquecimento e da pressão. Acrescenta-se, porém, nesse tanque, a necessidade de ferver o mosto, o que remete à questão da mudança de estado físico e da dilatação. É possível discutir que, sendo a variação de temperatura maior nesse tanque, chegando até o ponto de ebulição do mosto, pode haver uma dilatação significativa da substância, sendo necessário observar os coeficientes de dilatação do tanque e do mosto, bem como o volume inicial máximo que pode ser ocupado pelo mosto, para que ele não transborde ao ser aquecido.

Para a realização do processo de *whirlpool* (Figura 4B), novamente é ativado o controle de rotação da bomba, que é capaz de ajustar a velocidade de circulação do mosto no tanque, realizando um movimento circular. O objetivo desse movimento é aumentar a velocidade até fazer com que as partículas em suspensão no líquido possam ser separadas, conforme o efeito “xícara de chá”.

A etapa em que o líquido passa pelo trocador de calor apresenta, além das discussões teóricas, um interessante particular, uma vez que o rápido resfriamento pode ser vivenciado diretamente pelos estudantes

Na transferência do mosto do tanque de fervura/*whirlpool* para o fermentador, ocorre um processo de resfriamento, por meio de um trocador de calor. A discussão pode ser iniciada pela mistura de fluidos do tanque de água fria que é usado no resfriamento: para alcançar a temperatura de $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$, ideal para a realização da troca rápida de calor, sem a passagem do fluido para o estado sólido, é utilizada uma

mistura de água e álcool, que possui um ponto de solidificação intermediário entre a água e o álcool. Passando ao trocador de calor, ele é um dispositivo projetado para transferir calor entre dois fluidos a diferentes temperaturas e utiliza o princípio da condução. O trocador de calor possui duas seções separadas, uma para cada fluido. Cada seção tem um conjunto de tubos através dos quais os fluidos circulam, projetados de modo a maximizar a área de superfície disponível para a transferência de calor. Além das discussões teóricas, essa etapa é particularmente interessante, uma vez que o rápido resfriamento pode ser vivenciado diretamente pelos estudantes.

Até esse momento do processo de produção da cerveja, muitos conceitos de física já puderam ser abordados com os estudantes. Tendo em vista que, desse

ponto em diante, as discussões de física acabariam por se repetir - e com a intenção de não tornar a atividade cansativa -, os processos subsequentes (fermentação) podem ser comentados de maneira mais superficial, com breve menção dos conceitos científicos envolvidos: é necessário manter um rigoroso controle de temperatura para que as leveduras transformem os açúcares do mosto em álcool e gás carbônico e, ao final do processo, as leveduras fiquem depositadas no fundo do tanque, o que está novamente relacionado à diferença de densidade das substâncias.

A Fig. 5 apresenta um esquema do processo de produção da cerveja, com a indicação das grandezas físicas, processos e equipamentos que foram abordados em cada etapa da demonstração.

4. Atividade didática

Para facilitar o acompanhamento e a compreensão dos diferentes momentos da atividade didática, os momentos de elaboração, aplicação e avaliação serão apresentados separadamente.

4.1. Elaboração

O planejamento da atividade didática foi realizado por dois docentes de física que ministram aulas para a 2ª série do Ensino Médio integrado ao curso técnico em Automação Industrial e Química, em conjunto com um professor de Automação Industrial que desenvolve trabalhos no laboratório de fabricação de cerveja.

Analisando o espaço e as normas de uso do laboratório, definiu-se a divisão das turmas de 40 estudantes em dois grupos de 20 estudantes cada. A duração da

atividade foi estabelecida em duas aulas de 45 minutos, totalizando 1 hora e 30 minutos para cada grupo de 20 alunos. A data para a realização foi estabelecida, conforme calendário acadêmico, para o final do primeiro bimestre letivo.

Antes da realização da atividade na cervejaria, em sala de aula e no laboratório de física, os docentes de física já haviam discutido com os estudantes os conceitos básicos e as grandezas físicas relacionadas à termodinâmica e à calorimetria: temperatura, termômetros, dilatação, calor, condução, convecção, irradiação, trocas de calor, calor específico e calor latente, entre outros. Além das aulas expositivas dialogadas sobre os temas, os alunos haviam realizado experimentos e resolvido exercícios sobre cada tópico.

Considerando, além dessa abordagem prévia, o tempo destinado à atividade e buscando “tornar significativo esse aprendizado científico mesmo para alunos cujo futuro profissional não dependa diretamente da física” [22], optou-se por uma abordagem conceitual, a partir de uma linguagem familiar aos estudantes.

As práticas pedagógicas foram organizadas em três momentos, conforme ilustra o fluxograma da Fig. 6.

Para a realização do primeiro momento, o campus Sertãozinho do Instituto Federal de São Paulo conta com um Centro Multidisciplinar de Tecnologia Cervejeira, apresentado na Fig. 7. Esse ambiente e suas estruturas foram escolhidos por estarem disponíveis no local de ocorrência da pesquisa. Entretanto, o intuito deste projeto é que ele possa ser replicável em qualquer microcervejaria, muitas das quais já oferecem visitas guiadas.

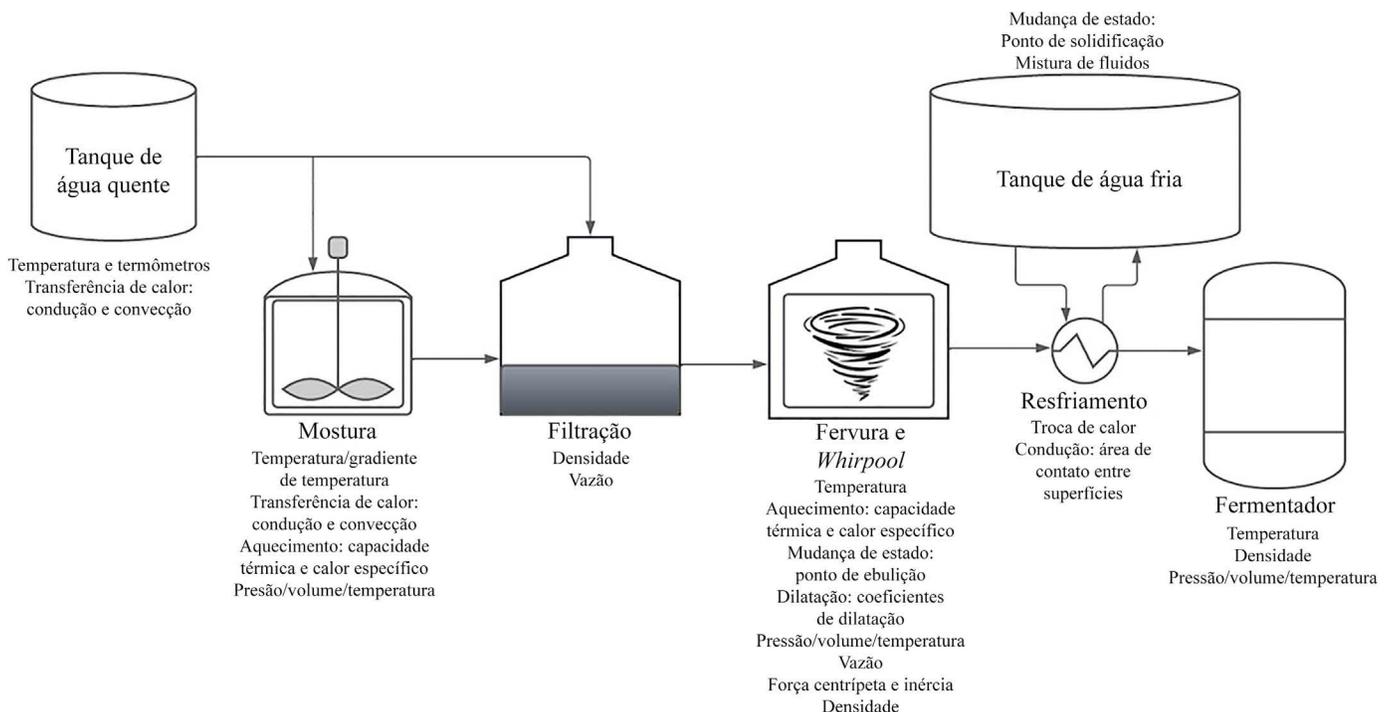


Figura 5 - Esquema do processo cervejeiro e indicação de principais grandezas e fenômenos físicos em cada etapa.

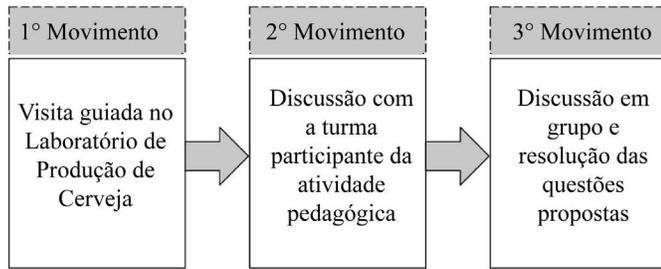


Figura 6 - Momentos da atividade didático-pedagógica.

Após o primeiro contato com o processo de produção de cerveja em suas diferentes etapas, o segundo momento consiste em uma discussão com a turma, seja na própria cervejaria ou já em sala de aula, sobre os conceitos de física envolvidos na produção de cerveja, com destaque para a termologia e a calorimetria, para solucionar as dúvidas que surgiram durante a visita.

Para o terceiro momento pedagógico, os alunos podem ser distribuídos em pequenos grupos, com 4 estudantes em cada, aos quais serão apresentadas algumas questões para direcionar a discussão, seguida pela resposta às questões por escrito:

Como ocorre o aquecimento do líquido no recipiente de água quente e no recipiente da brassagem (Destaque semelhanças e diferenças entre os dois)? Quais os processos de transferência de calor envolvidos? Observando onde estão posicionados os sensores de temperatura, o que se pode dizer sobre a precisão das medidas: o valor medido reflete a temperatura de todo o conteúdo do tanque? O que é feito no tanque da brassagem para melhorar essa medida e por que esse procedimento é necessário? Como ocorre o resfriamento do líquido após o processo de fervura? Qual a principal característica do trocador de calor para que o processo tenha a eficiência necessária (resfriamento rápido) e por que se usa uma mistura de água e etanol?

Os tanques, em especial o de brassagem e o de fervura, podem ser preenchidos de líquido até a borda? Que fenômenos e grandezas precisam ser levados em consideração para determinar a quantidade máxima de líquido nos recipientes?

Ao lado dos tanques de brassagem e de fervura existem medidores de pressão. O que, no processo de produção, poderia provocar uma mudança na pressão dos tanques?

Quais os conceitos estudados em física no primeiro bimestre que o grupo identificou no processo de produção de cerveja?

A visita ao laboratório de produção de cerveja contribuiu para a aprendizagem dos conceitos de física estudados? De que maneira?

Os conceitos de termologia e calorimetria estudados no primeiro bimestre estão presentes na vida de vocês? E na sociedade contemporânea? Em caso afirmativo, cite exemplos.

Outros comentários e sugestões do grupo.

4.2. Aplicação

Na data estabelecida para a atividade, os grupos de 20 estudantes de cada turma foram encaminhados ao laboratório de produção cervejeira, acompanhados dos docentes de Física e de Automação Industrial, e receberam informações sobre as normas de proteção e segurança relacionadas a um ambiente de produção de alimentos (Fig. 8).

Iniciando a atividade, o docente de Automação Industrial apresentou uma visão geral sobre o processo cervejeiro, comentando características técnicas do laboratório de produção cervejeira e sua importância no Arranjo Produtivo Local (APL) da região onde os alunos estão inseridos.

Em seguida, cada etapa foi apresentada com a demonstração de funcionamento. Destaca-se que para as demonstrações não foram utilizados insumos para a produção cervejeira; o processo foi executado apenas



Figura 7 - Laboratório de produção cervejeira onde ocorreu a atividade didática.



Figura 8 - Estudantes participando da atividade sobre a relação entre os conceitos de física e o processo de produção cervejeira.

com água, e assim, o momento de inserção de malte, lúpulo, leveduras e demais insumos foi apenas indicado verbalmente.

Durante a execução das etapas, nas diversas máquinas e equipamentos, os fenômenos físicos e as grandezas a eles relacionadas foram abordados, conforme detalhado na seção 3, de maneira a demonstrar, na prática, suas implicações e importância no processo cervejeiro. Tanto no tanque de água quente quanto na etapa de brassagem/mostura, foram realizadas medidas de temperatura em diferentes pontos do líquido, para evidenciar os processos de transferência de calor.

Os estudantes permaneceram atentos às explicações e interagiram ao longo de toda a atividade, fazendo perguntas sobre as distintas fases do processo. Na etapa de resfriamento, foi possível realizar uma demonstração de modo que os estudantes colocaram suas mãos na água aquecida a aproximadamente $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (representando a cerveja após o processo de fervura, entretanto com uma temperatura reduzida para evitar qualquer tipo de acidente) e, logo em seguida, colocaram a mão na água fria (aproximadamente $18\text{ }^{\circ}\text{C}$) que saía do trocador de calor, sentindo diretamente o efeito do rápido processo de resfriamento. Essa demonstração foi particularmente motivadora para os estudantes, que se expressaram com exclamações de surpresa e aumento na curiosidade sobre o processo.

Passando para o segundo momento pedagógico, ao final da explanação os estudantes foram estimulados a fazer questionamentos e apresentaram perguntas sobre os tipos de cerveja e as diferenças no processo de fabricação, sobre as diferenças do processo acompanhado em relação às grandes cervejarias e sobre alguns detalhes do processo que não haviam compreendido. Os docentes de Física e Automação Industrial também fizeram alguns questionamentos para

promover reflexões, como o motivo de apenas os tanques de brassagem e fervura possuírem medidores de pressão, ou sobre quais fatores deveriam ser analisados para determinar a quantidade máxima de líquido que poderia ser colocada no tanque de fervura sem que transbordasse durante o processo.

Em seguida, os estudantes foram encaminhados ao laboratório de física, divididos em pequenos grupos, e iniciaram as discussões sobre as questões propostas. De modo geral, as discussões ocorreram de maneira concreta e contaram com a participação efetiva de todos os integrantes dos grupos, como se pode observar na Fig. 9. Durante as discussões, os estudantes foram respondendo às perguntas por escrito, e ao final, entregaram os textos produzidos ao docente de física.

4.3. Avaliação

Os materiais utilizados para a análise dos dados foram os questionários respondidos por 10 grupos de estudantes da turma da 2ª série do Ensino Médio integrado ao curso técnico de Automação Industrial. Foi realizada a leitura flutuante dos textos redigidos pelos grupos como respostas às questões propostas e foram estabelecidas três categorias de análise, conforme os objetivos da pesquisa: fenômenos físicos, grandezas físicas e contextualização. Para cada categoria, foram definidas diferentes unidades de registro e, para cada unidade de registro, foi realizada a contagem de ocorrências e selecionados alguns exemplos. A contagem foi realizada a partir da verificação de ocorrências, ou seja, mesmo que o fenômeno ou grandeza tenha sido mencionado em diferentes respostas, foi contado uma única vez, considerando que sua ocorrência já aponta para a relação estabelecida entre a física e a produção de cerveja. A organização das categorias e unidades de registro está sistematizada na Tabela 1.



Figura 9 - Estudantes discutindo em pequenos grupos e respondendo às questões propostas sobre a relação entre os conceitos de física e o processo de produção cervejeira.

A concepção mais comum de fenômenos físicos relaciona-os às transformações da natureza, ainda que artificialmente provocadas, como nos experimentos [23]. Nas palavras de Ben-Dov, “A física estuda os fenômenos naturais tal como eles ocorrem no espaço e no tempo” [24]. Embora não seja uma definição errada, não leva em consideração que atualmente a relação com os fenômenos físicos ocorre por meio de instrumentos e teorias científicas [23], de modo que “A verdadeira fenomenologia científica é, portanto, essencialmente uma fenomenotécnica.” [25]

Para a categoria fenômenos físicos, a partir dessa concepção mais ampla, foram analisados apenas os relacionados à termologia e à calorimetria presentes no processo de produção de cerveja e que foram mencionados pelos estudantes durante as respostas aos questionamentos propostos. O número de ocorrências, bem como alguns exemplos de destaque para cada unidade de registro (fenômeno específico), está apresentado na Tabela 2.

Percebe-se que, mesmo que a explicação ou a terminologia não sejam precisas, os grupos conseguiram descrever, nas etapas da produção de cerveja, os fenômenos físicos relacionados de forma conceitualmente

correta. Observando que a ocorrência dos fenômenos entre os grupos variou de 70% a 100%, pode-se considerar que o resultado da atividade, no que toca aos fenômenos físicos envolvidos, foi satisfatório.

Passando à categoria grandezas físicas, segundo o Joint Committee for Guides in Metrology [26], grandeza é toda “Propriedade dum fenômeno dum corpo ou duma substância, que pode ser expressa quantitativamente sob a forma dum número e duma referência.”. As grandezas físicas, portanto, estão diretamente associadas aos fenômenos físicos e “Conhecer cientificamente uma lei natural é conhecê-la simultaneamente como fenômeno e como número.” [25].

A Tabela 3 apresenta as unidades de registro da categoria grandezas físicas, com a ocorrência e exemplos de contexto em que as grandezas foram mencionadas pelos estudantes durante as respostas aos questionamentos propostos. As grandezas estão relacionadas aos fenômenos físicos observados no processo de fabricação da cerveja, relativos à termologia e à calorimetria.

As grandezas volume, pressão e temperatura foram as que os grupos melhor identificaram nos processos de produção de cerveja. Volume e pressão são conceitos familiares aos estudantes, que entram em contato

Tabela 1: Categorias e Unidades de Registro.

Categoria	Objetivo	Unidades de registro
Fenômenos físicos	Analisar as contribuições para o ensino e aprendizagem da física	Condução, Convecção, Troca(s) de calor, Solidificação ou Congelamento, Dilatação, Ebulição ou vaporização ou evaporação
Grandezas físicas	Analisar as contribuições para o ensino e aprendizagem da física	Temperatura, Área de contato, Ponto de fusão ou ponto de solidificação, Volume, Pressão
Contextualização	Analisar as contribuições para a contextualização de conteúdos	Equipamentos e dispositivos, Exemplos da vida cotidiana, Exemplos do mundo do trabalho

Tabela 2: Ocorrências e exemplos para as unidades de registro da categoria fenômenos físicos.

Unidade de registro	Ocorrência	Exemplos
Condução	10/10	“a água leva um tempo para a temperatura se igualar, pois a água próxima à resistência esquenta primeiro e mais que as bordas”, “no recipiente com água, está em contato direto com o ebulidor”, “O resfriamento ocorre pela condução, que é realizada por serpentinas posicionadas lado a lado”
Convecção	10/10	“... para que a água quente mais igualmente por convecção”, “... para que toda a água possa nivelar aproximadamente a temperatura, fazendo assim a água circular por todo o recipiente”
Troca(s) de calor	7/10	“possui uma área de contato entre a água, o etanol e a mistura necessária, tornando a troca de calor entre elas mais rápida”, “a água fria armazenada em outro tanque passa próxima da água quente e nesse momento ocorrem as trocas de calor, fazendo o resfriamento da água quente”
Solidificação ou congelamento	7/10	“É usada uma mistura de água e etanol para que esse líquido não solidifique”, “... é necessária para diminuir o ponto de solidificação dessa mistura, para que ela não congele...”
Dilatação	9/10	“durante a fervura e aumento de temperatura, ocorre a dilatação volumétrica”, “É preciso levar em conta o processo de dilatação líquida que ocorre devido ao aquecimento do líquido”
Ebulição ou vaporização ou evaporação	7/10	A ebulição da água durante os processos em que há aquecimento...”, A vaporização da água na camisa...”, “... pois numa temperatura acima de 100 °C a água começa a evaporar...”

Tabela 3: Ocorrências e exemplos para as unidades de registro da categoria grandezas físicas.

Unidade de registro	Ocorrência	Exemplos
Temperatura	8/10	“... leva um tempo para a temperatura se igualar...”, “... deixando a temperatura mais homogênea...”, “... nivelar aproximadamente a temperatura...”
Área (de contato)	3/10	“... a principal característica é a grande área de contato...”, “...tem uma área de contato entre a mistura de água e etanol e o mosto a fim de que a troca de calor seja mais rápida e eficiente.”
Ponto de fusão ou ponto de solidificação	5/10	“... ficando o ponto de fusão dessa mistura entre o ponto de fusão da água e do etanol.”, “... o ponto de solidificação do etanol é mais baixo que o da água”
Volume ou capacidade	8/10	“Também é necessário levar em consideração a capacidade máxima dos tanques...”, “...quando a água é aquecida, seu volume aumenta...”
Pressão	10/10	“...vai gerar o vapor aumentando a pressão”, “...ocasionam aumento da pressão dentro dos recipientes”, “os tanques teriam uma mudança na pressão...”

com os termos no cotidiano, nas aulas de ciências do ensino fundamental e na física do primeiro ano do Ensino Médio. A temperatura também é uma grandeza presente no cotidiano e a realização de medidas de temperatura durante a visita guiada pode ter contribuído para facilitar seu reconhecimento.

No entanto, mesmo que tenhamos 100% de ocorrência para a grandeza pressão e 80% de ocorrência para as grandezas temperatura e volume, observa-se que o reconhecimento das grandezas envolvidas nos fenômenos foi menos efetivo que a percepção do fenômeno em si. Esse fato fica evidente quando se verifica que, ainda que 7 dos 10 grupos tenham percebido a troca de calor e os 10 tenham mencionado a transferência de calor por condução, apenas 3 grupos citaram a área de contato como fator importante na troca de calor e/ou na condução. Também é notório o fato de que, apesar de 7 grupos terem mencionado solidificação/congelamento e ebulição/vaporização, apenas 5 mencionaram o ponto de fusão/solidificação e nenhum grupo citou o ponto de ebulição. Vale destacar, ainda, que não foram mencionados, por nenhum dos grupos, os conceitos de coeficiente de dilatação, capacidade térmica, calor específico, quantidade de calor etc.

A abordagem mais conceitual dos processos, sem formulações matemáticas ou muitas quantificações (com exceção para as medidas de temperatura), como a que foi definida pelos docentes envolvidos, pode ter contribuído para esses resultados, já que as grandezas estão diretamente relacionadas com números e medidas [25, 26]. Além disso, a diferença epistemológica entre fenômenos e grandezas, e a consequente diferença no processamento psicológico dos conceitos relacionados a cada uma dessas categorias, pode fornecer uma análise mais ampla.

Bachelard [27] afirma que existem três estados para o “espírito científico”: o primeiro, que “se entretém com as primeiras imagens do fenômeno”; o segundo, em que à experiência física se soma uma abstração pautada ainda por uma intuição sensível. e o terceiro, o estado abstrato, em que as informações não estão vin-

culadas à experiência imediata. Tratando especificamente das grandezas físicas, Vasconcelos Júnior e cols. [28], após uma ampla discussão sobre a construção das grandezas distância, massa e tempo, afirmam que mesmo “ao falarmos sobre qualquer grandeza que nos é usual, nem sempre conseguimos, de imediato, fornecer seu domínio, espaço de valores”.

A percepção, pelos estudantes, dos fenômenos físicos relacionados à produção de cerveja pode constituir-se no segundo estado do espírito científico, por uma associação das observações diretas com os conceitos previamente estudados em sala de aula (primeiras abstrações). Para a percepção das grandezas, no entanto, é necessário um exercício maior de abstração, já que as mesmas fazem parte do universo das ideias (da razão) e não da experiência.

Tratando da categoria contextualização, parte-se do pressuposto de que a abordagem dos conteúdos científicos a partir de situações cotidianas ou do mundo do trabalho torna a aprendizagem significativa, auxiliando na percepção de que os conceitos estudados fazem parte da realidade vivenciada [6]. A perspectiva não é reforçar conhecimentos já adquiridos pelos estudantes, mas utilizar temáticas contidas no universo de vivência dos estudantes como ponto de partida para sua transcendência na direção do pensamento científico [22].

Procurou-se, nesse sentido, observar se a atividade promoveu o estabelecimento de relações entre a física e situações do cotidiano ou do mundo do trabalho. Foi realizada a contagem de ocorrências das unidades de registros nos textos produzidos pelos estudantes e foram anotados os diferentes exemplos mencionados pelos grupos. Os dados analisados encontram-se na [Tabela 4](#).

Todos os grupos conseguiram identificar equipamentos e dispositivos relacionados à termologia e à calorimetria utilizados no processo de produção da cerveja e mencionaram diversos exemplos relacionados a experiências do cotidiano. Em relação aos exemplos do mundo do trabalho, foram identificados apenas

Observou-se que a atividade promoveu o estabelecimento de relações entre a física e situações do cotidiano ou do mundo do trabalho

Tabela 4: Ocorrências e exemplos para as unidades de registro da categoria contextualização.

Unidade de registro	Ocorrência	Exemplos
Equipamentos e dispositivos	10/10	agitador, ebulidor, pá, painel de controle, resistor, resistência, sensores, serpentina, tanque, termômetro
Exemplos do cotidiano	10/10	aquecimento de bebidas e alimentos, ar-condicionado, chuveiro, garrafas térmicas, gelo, micro-ondas, temperatura do corpo e do ambiente, tomar sol
Exemplos no mundo do trabalho	2/10	“espaço entre pisos de concreto a fim de evitar problemas com a dilatação” “quando o motor do carro esquenta muito e precisa ser resfriado é usada uma bombinha com água”

dois exemplos, cada um mencionado por um grupo, e mesmo esses exemplos acabam estabelecendo relação com o cotidiano dos estudantes.

Verifica-se, assim, que a significação dos conteúdos a partir do mundo do trabalho é menos natural do que a sua identificação no cotidiano, o que pode ser explicado pelo fato de que boa parte dos estudantes nessa etapa do processo educativo ainda não exerce atividade profissional. Reforça-se, assim, a importância da atividade, como mencionado pelos próprios estudantes nos textos produzidos, em frases como:

“Mais exemplos em sala de aula de profissões que utilizam do conhecimento adquirido por nós no seu dia a dia.”

“...irmos de excursão para outros lugares, como fábricas e usinas (claro, se isso for possível).”

“...para entendermos a necessidade dos conhecimentos em física para promover atividades (profissionais ou não) de forma segura e consciente, evitando contratempos e auxiliando no entendimento dos processos.”

Finalizando a análise do material produzido pelos estudantes, pode-se destacar algumas observações adicionais mencionadas nos textos entregues pelos grupos sobre a importância da atividade para a aprendizagem da física:

“Essa atividade foi importante para revisar e concretizar os conhecimentos de forma organizada das coisas que estudamos.”

“... abordou tudo o que foi ensinado na teoria, como sobre diferença de calor e temperatura, sobre os termômetros e sua precisão, termometria, condução e convecção, calorimetria, sobre as mudanças de estado físico e dilatação.”

Dois grupos mencionaram, além da questão da aplicação dos conceitos científicos, o gosto pela cerveja e seu elevado consumo no país, com observações como: “Com essa experiência, pudemos ver a aplicação

dos conceitos vistos em sala de aula em uma cervejaria [...] e além de ser uma experiência nova, vimos isso aplicado em uma das bebidas mais consumidas e famosas do país.”

5. Considerações finais

A pesquisa bibliográfica e de campo, juntamente com a sistematização dos conhecimentos de física presentes nos processos de produção de cerveja, na primeira e na segunda etapas da pesquisa, evidenciaram o potencial pedagógico da temática proposta no que diz respeito ao ensino de terminologia e calorimetria. Embora a abordagem tenha sido definida como conceitual e destinada à educação básica - nível médio -, é fácil perceber que outras discussões são possíveis, adicionando a realização de medidas, o cálculo de grandezas como quantidade de calor ou dilatação, bem como a construção e a análise de gráficos. Também é possível abordar outros temas relacionados à física, como a hidrodinâmica da transferência do fluido entre os tanques e seu movimento circular no processo de *whirlpool*, ou a potência elétrica dos aquecedores e das bombas que movimentam o fluido.

Em relação à atividade com os estudantes do Ensino Médio, nota-se claramente que eles perceberam os fenômenos físicos estudados em sala de aula num processo produtivo da sociedade contemporânea e conseguiram, ainda que de maneira incipiente, relacionar algumas grandezas físicas com o processo de fabricação da cerveja. A atividade, portanto, contribuiu para a aprendizagem dos conteúdos, dando-lhes significado no mundo vivenciado e permitindo a contextualização dos princípios científicos discutidos na escola.

Recebido em: 5 de Julho de 2023

Aceito em: 12 de Março de 2024

Referências

- [1] L.C. Menezes, *Vale a Pena ser Físico?* (Moderna, São Paulo, 1988), p. 79.
- [2] G.F. Kneller, *A Ciência Como Atividade Humana* (Zahar Editora, São Paulo, 1980), p. 310.
- [3] D. Saviani, *Trabalho, Educação e Saúde* **1**, 131 (2003).
- [4] Brasil, *Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional*, Lei nº 9.394. 1996. (MEC, Brasília, 1996).
- [5] G. Frigotto, *Rev. Educ. e Sociedade* **28**, 100 (2007). DOI
- [6] M. Ramos, in *Ensino Médio Integrado: Concepção e Contradições* (Cortez, São Paulo, 2012), p. 176.
- [7] L.C. Petraglia, *Edgar Morin: A Educação e a Complexidade do Ser e do Saber* (Vozes, Petrópolis, 2001), p. 128.

- [8] A.G. Hargrave, B. Koponen, *To Beer or not to Beer: Investigating Swedish Microbrewing Through an Integrated Resource Based and Institutional Capital View*. Tese de Bacharelado em Administração de Empresas, Universidade de Jönköping, Suécia, 2019.
- [9] M. Ludke, M. Andre, *Pesquisa em Educação: Abordagens Qualitativas* (E.P.U., Rio de Janeiro, 2013), p. 128.
- [10] A.C. Gil, *Como Elaborar Projetos de Pesquisa* (Atlas, São Paulo, 2002), p. 176.
- [11] A.C. Gil, *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social* (Editora Atlas S.A., São Paulo, 2008), p. 220.
- [12] A.J. Severino, *Metodologia do Trabalho Científico* (Cortez, São Paulo, 2007), p. 274.
- [13] L. Bardin, *Análise de Conteúdo* (Edições 70, São Paulo, 2016), p. 281.
- [14] Brasil. *Anuário da Cervejaria: 2021* (MAPA/SDA, Brasília, 2022).
- [15] E. Muzzolon, J. Melati, L. Lucchetta, C.E.C. Bravo, I.B. Tonial, in: *Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimento volume 3* (Editora científica, São Paulo, 2021), p. 648.
- [16] F. Pasic, B. Wohlers, M. Becker, in: *Anais do 24th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA, Zaragoza, 2019)*, p. 1281.
- [17] J.F. Mega, E. Neves, C.J. Andrade, *Rev. Citino da Ciência, Tecnologia, Inovação e Oportunidade* **1**, 21 (2011). <https://www.calameo.com/read/00110564053940029ce3d>
- [18] Senai, *Tecnologia Cervejeira* (SENAI - Centro de Tecnologia de Alimentos e Bebidas, Rio de Janeiro, 2014).
- [19] A. Einstein, *Writing & Correspondence, June 1925 - May 1927* (Princeton University Press, Princeton, 2018) v. 15, p. 1067. Disponível em <https://einsteinpapers.press.princeton.edu/vol15-trans/>, acesso em fevereiro de 2024.
- [20] W. Kunze, *Technology Brewing and Malting* (VLB, Berlin, 2019), p. 948.
- [21] G.A. Martins, R.C. Gouveia, J.C.R. da Silva, G.B. Messiano, A.L. Dias, *Revista Nova Paideia - Revista Interdisciplinar em Educação e Pesquisa* **5**, 65 (2023). DOI
- [22] Gref: Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, *Física 1: Mecânica* (Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001), p. 336.
- [23] A.R.C. Lopes, *Química Nova* **17**, 338 (1994). DOI
- [24] Y. Ben-Dov, *Convite à Física* (Jorge Zahar, Rio de Janeiro, 1996), p. 156.
- [25] G. Bachelard, *O Novo Espírito Científico* (Abril Cultural, São Paulo, 1978), p. 363.
- [26] A.C. Baratto, *Avaliação de Dados de Medição: O Papel da Incerteza de Medição na Avaliação da Conformidade*. (Inmetro - Comitê Conjunto para Guias em Metrologia, Brasília, 2022), p.5.
- [27] G. Bachelard, *A Formação do Espírito Científico: Contribuição para uma Psicanálise do Conhecimento* (Contraponto, Rio de Janeiro, 1996), p. 309.
- [28] G.F. Vasconcelos Júnior, R.P.S. Costa, B.F. Rizzuti, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **40**, e3304 (2018). DOI