



## Abordagem dos temas Indústria 4.0 e sustentabilidade: contextualização baseada em fatos históricos e na cadeia produtiva do alumínio

Jefferson S. Ribeiro, Sérgio O. Freitas, Pedro I. S. Maia e Carla R. Costa

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) contempla termos bastante difundidos na sociedade atual, como *digital* e *tecnologia*, que caracterizam o atual cenário histórico denominado Indústria 4.0, bem como *sustentabilidade*, que tem influenciado consideravelmente as decisões estratégicas empresariais. A BNCC menciona que é necessário discutir com os estudantes os impactos da tecnologia no funcionamento da sociedade e suas consequências para o desenvolvimento sustentável. Assim, os temas Indústria 4.0 e sustentabilidade podem ser abordados de forma contextualizada no Ensino Médio e nos cursos de formação continuada de professores. Este artigo tem como objetivo relatar as experiências vivenciadas com professores cursistas do PROFQUI e com estudantes do Ensino Médio durante a abordagem dos temas Indústria 4.0 e sustentabilidade, relacionando-os a eventos históricos e à cadeia produtiva do alumínio.



► Revoluções Industriais, desenvolvimento sustentável, mineração ◀

115

Recebido em 22/11/2021, aceito em 02/03/2022

**A** Base Nacional Comum Curricular (BNCC) é um documento que estabelece o conjunto de aprendizagens imprescindíveis que todos os estudantes devem desenvolver ao longo da Educação Básica (Brasil, 2018). Por se tratar de um documento contemporâneo, ele contempla termos bastante difundidos na sociedade atual. Assim, as palavras “digital” e “digitais” juntas aparecem 353 vezes e as palavras “tecnologia” e “tecnologias” totalizam 291 ocorrências no documento que contém 595 páginas. As palavras “sustentabilidade”, “sustentável” e “sustentáveis” também aparecem na BNCC, porém em um número inferior, totalizando 50 ocorrências\* (Brasil, 2018).

“Digital”, “tecnologia” e seus derivados são termos presentes no atual cenário histórico denominado quarta Revolução Industrial. Uma Revolução Industrial compreende um período histórico caracterizado por profundas transformações da sociedade, principalmente nos setores econômico, político e social (Pasquini, 2020). A quarta Revolução Industrial também é conhecida como Indústria 4.0

em alusão ao sistema de numeração costumeiramente usado pelos profissionais de informática para designar a versão de seus artefatos, geralmente composto de dois números: um principal e um secundário. Assim, trata-se de uma apropriação de um sistema de marcação da área de informática para sugerir evolução.

Atualmente, nos deparamos com vários termos que fazem referência à Indústria 4.0, como: empresas 4.0, profissionais 4.0, RH 4.0, educação 4.0, mineração 4.0 e outros (Barreto, 2020; SAE Digital, 2021; Bastos, 2020). Ao

escutar esses termos, pessoas leigas podem associá-los a conceitos futuristas. Entretanto, para que uma empresa, um setor ou um profissional sejam classificados como 4.0, devem ser capazes de realizar a captação, o processamento e a análise de grandes quantidades de dados, contribuindo para a execução eficaz do trabalho e mantendo-se competitivos no mercado (Barreto, 2020).

Nos últimos anos, o termo sustentabilidade também tem sido bastante divulgado na mídia e tem influenciado consideravelmente as tomadas de decisões estratégicas das empresas.

[...] para que uma empresa, um setor ou um profissional sejam classificados como 4.0, devem ser capazes de realizar a captação, o processamento e a análise de grandes quantidades de dados, contribuindo para a execução eficaz do trabalho e mantendo-se competitivos no mercado (Barreto, 2020).



A sustentabilidade pode ter um papel importante no desenvolvimento e reconhecimento de uma empresa ou marca em seu mercado de atuação. Logo, para que seja sustentável, uma empresa deve definir ações, políticas e iniciativas que visem a ética e o respeito ambiental, de forma a promover o desenvolvimento e o fortalecimento da própria empresa e de todos que se relacionam com ela, ou seja, consumidores, funcionários e comunidade (Santander, 2021).

De acordo com a BNCC, o Ensino Médio deve contribuir para o aprimoramento da autonomia intelectual e do pensamento crítico dos estudantes, e a escola deve possibilitar que eles construam projetos pessoais e coletivos fundamentados, entre outros fatores, na sustentabilidade (Brasil, 2018). Além disso, o documento menciona que é necessário debater com os estudantes os impactos da tecnologia no funcionamento da sociedade e nas relações humanas locais e globais, além de suas consequências para o desenvolvimento sustentável e para a proteção da vida no planeta (Brasil, 2018). Assim, considerando a relevância dos temas Indústria 4.0 e sustentabilidade para o atual cenário histórico, eles podem ser abordados de forma contextualizada no Ensino Médio.

Uma abordagem contextualizada deve considerar a cultura local e a realidade cotidiana dos estudantes (Santos e Ferreira, 2018). Porém, a contextualização vai além de exemplificar como e onde determinado conhecimento pode ser aplicado, possibilitando a abordagem de temas ambientais, sociais, políticos e econômicos de forma a auxiliar a construção do conhecimento científico (Santos e Ferreira, 2018; Quimentão e Milaré, 2015). Os professores devem estar familiarizados com os processos de construção do conhecimento para possibilitarem aos estudantes uma efetiva elaboração conceitual. Além disso, devem promover debates em sala de aula que confrontem as ideias de senso comum dos estudantes, contribuindo, assim, para a reflexão e a reelaboração dessas concepções e para a compreensão dos conteúdos científicos. Isso só será possível se o professor estiver preparado para refletir e realizar o gerenciamento eficaz dessa construção. Para isso, as formas de ensino adotadas nas escolas de Educação Básica e nos cursos de formação inicial e continuada de professores devem suprir as necessidades da sociedade atual (Gonzaga *et al.*, 2020).

Para possibilitar aos docentes em exercício na Educação Básica nacional uma formação continuada que resulte em efetiva qualificação, foram criados os mestrados profissionais (Gonzaga *et al.*, 2020). Na área de Química, o Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI) foi aprovado pela CAPES em 2015. Ele conta com a participação de várias Instituições de Ensino Superior (IES), coordenadas nacionalmente pelo Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IQ/UFRJ) com a

colaboração de um comitê gestor composto por docentes das IES associadas e por representantes da Sociedade Brasileira de Química (SBQ) (Viana, 2015). A matriz curricular do PROFQUI conta com uma série de disciplinas, dentre elas a “Química 3: Química da Vida, Ambiente e Materiais” que propõe abordar os temas Indústria 4.0 e sustentabilidade (Gonzaga *et al.*, 2020). Assim, para uma abordagem contextualizada desses temas, procurou-se relacioná-los à mineração, uma atividade econômica e industrial muito presente no estado de Minas Gerais. Nesse contexto, este artigo tem como objetivo relatar a experiência vivenciada com professores cursistas do PROFQUI durante a abordagem dos temas Indústria 4.0 e sustentabilidade, relacionando-os a eventos históricos e à cadeia produtiva do alumínio. Também é apresentada uma proposta de atividade sobre a mineração e a reciclagem do alumínio elaborada no PROFQUI e desenvolvida com estudantes do Ensino Médio.

### Percurso metodológico

A atividade apresentada neste trabalho foi desenvolvida com uma turma do PROFQUI constituída por cinco professores cursistas. Ela foi realizada remotamente na disciplina “Química 3: Química da Vida, Ambiente e Materiais” e contou com momentos síncronos e assíncronos.

A atividade foi dividida em três etapas. Na primeira etapa, foi aplicado um questionário diagnóstico constituído por 13 perguntas abertas que tinham como objetivos: (1) levantar características gerais do público-alvo da pesquisa e de suas concepções sobre sustentabilidade; (2) obter informações sobre a abordagem do tema sustentabilidade nas aulas de Química ministradas pelos professores cursistas e sobre a adoção de práticas sustentáveis nas escolas em que lecionam. A segunda etapa consistiu na realização de uma aula virtual síncrona por meio da plataforma *Google Meet*, com duração aproximada de 3 horas, para discutir os temas Indústria 4.0 e sustentabilidade inseridos no contexto histórico.

Na terceira etapa, foram apresentadas duas atividades que integram um produto educacional elaborado no PROFQUI em que são propostas uma discussão sobre a mineração e a reciclagem do alumínio. Posteriormente, foi solicitado aos professores cursistas que elaborassem um plano de aulas que permitisse discutir a temática sustentabilidade com base no ciclo de vida do alumínio. O plano de aulas deveria ser proposto com base na BNCC (Brasil, 2018) e no Currículo Referência do Ensino Médio de Minas Gerais (Minas Gerais, 2021). Cada professor cursista recebeu um *feedback* sobre o seu plano de aulas e o fechamento dessa etapa foi realizado de forma assíncrona, por meio de *podcast* disponibilizado aos professores cursistas pelo *WhatsApp*.

Os professores devem estar familiarizados com os processos de construção do conhecimento para possibilitarem aos estudantes uma efetiva elaboração conceitual. Além disso, devem promover debates em sala de aula que confrontem as ideias de senso comum dos estudantes, contribuindo, assim, para a reflexão e a reelaboração dessas concepções e para a compreensão dos conteúdos científicos.

## Resultados e Discussão

### Caracterização dos participantes da pesquisa

Os cinco professores cursistas que participaram desta pesquisa lecionam em escolas públicas, sendo que três deles ministram aulas no Ensino Médio regular e EJA, um nos Ensinos Fundamental e Médio regulares e um nos Ensinos Técnico e Técnico Integrado. Com relação ao tempo de atuação no magistério, um leciona há um ano e seis meses, um há quatro anos, dois há cinco anos e um há 15 anos. Três dos cinco professores cursistas lecionam no estado de

Minas Gerais, um em Goiás e um em São Paulo. Ao longo deste artigo, os professores cursistas que participaram desta pesquisa serão designados como **A**, **B**, **C**, **D** e **E**.

A Tabela 1 apresenta as respostas dos professores cursistas para algumas perguntas do questionário diagnóstico. Com relação à compreensão de sustentabilidade (questão 1, Tabela 1), os professores cursistas **A** e **E** apresentaram respostas semelhantes ao conceito clássico de desenvolvimento sustentável, ou seja, aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações em atender suas próprias demandas (Nascimento, 2012). Os

Tabela 1: Respostas dos professores cursistas do PROFQUI para algumas questões do questionário diagnóstico.

Perguntas do questionário diagnóstico	Respostas dos professores cursistas
1 - Descreva o que você entende por sustentabilidade?	<b>A:</b> "Tudo que se auto sustenta. Que não gera prejuízo para o futuro ou que não comprometa as gerações do futuro." <b>B:</b> "O uso consciente do ambiente em que está inserido, onde, após o uso, o ambiente utilizado é devolvido de forma a que haja o menor número possível de alterações." <b>C:</b> "Uma ação que se preocupa com o meio ambiente, reciclagem, pensando na preservação do planeta sem deixar de atender as necessidades humanas." <b>D:</b> "Basicamente, aproveitamento de resíduos que seriam descartados, muitas vezes potenciais contaminantes do meio em que vivemos, sendo que uma vez aproveitados, além de reduzir impactos, podem ter valor agregado e gerar emprego entre outros." <b>E:</b> "São ações e/ou atividades que tem por objetivo suprir as necessidades humanas, sem comprometer as gerações futuras (social, econômica e ambiental)."
2 - Você já realizou atividades relacionadas ao tema sustentabilidade durante suas aulas? Se sim, descreva sucintamente suas experiências com o e tema.	<b>D:</b> "Sim, trabalhei na orientação de projetos como: Reaproveito de biomassa de cana-de-açúcar, reaproveitamento de fuligem de indústria sucroenergética, reaproveitamento de rejeitos orgânicos para produção de biogás, compostagem, utilização de óleo de soja para produção de sabões e biodiesel." <b>A, B, C e E:</b> "Não."
3 - Você consegue vislumbrar atividades interdisciplinares envolvendo o tema sustentabilidade?	<b>A:</b> "Já trabalhei com a biologia sobre defensivos agrícolas e com a história sobre a Guerra Mundial com o foco em armas químicas." <b>D:</b> "Sim. Como trabalho em escola técnica, sempre estamos desenvolvendo projetos interdisciplinares voltados para a sustentabilidade." <b>B, C e E:</b> "Sim."
4 - Como você relacionaria o tema sustentabilidade aos conteúdos de Química?	<b>A:</b> "Ao petróleo, produção de etanol, defensivos agrícolas." <b>B:</b> "A Química relaciona o uso de matéria e energia a todo tempo. Assim, quando se fala do uso consciente desses dois fatores, teremos produtividade elevada relacionada ao ambiente em que as ações foram feitas." <b>C:</b> "Relacionaria por exemplo com o tempo de degradação de cada material, os impactos ambientais a geração de lixo, dentre outros." <b>D:</b> "A química é uma das áreas que giram em torno da transformação, desta transformação resulta vários subprodutos de diferentes aspectos físicos, químicos e biológicos, os quais muitas vezes têm grande potencial para serem aproveitados de outras maneiras, desta forma a sustentabilidade se relaciona diretamente com a química." <b>E:</b> "Poderia falar sobre o desenvolvimento de produtos e processos sustentáveis e que prejudicam menos o meio ambiente."
5 - Quais dificuldades você acredita que teria ao desenvolver o tema sustentabilidade durante suas aulas de Química?	<b>A:</b> "A participação do aluno." <b>B:</b> "Dentro do ambiente em que trabalho há dificuldades com relação ao espaço físico; suporte da administração; interesse dos alunos. Em outros momentos, essas ações foram pensadas e colocadas em prática e não se sustentaram devido a esses fatores." <b>C:</b> "Administração do tempo." <b>D:</b> "Talvez a adesão de outros professores para colaborar e incentivar os alunos." <b>E:</b> "Falta de recursos/ Limitação de espaço."
6 - A(s) escola(s) onde você trabalha realiza(m) ações sustentáveis? Se sim, quais?	<b>A:</b> "Sim. No cultivo de frutas, hortaliças e leguminosas." <b>D:</b> "Sim. Coletas seletivas, Reaproveitamento de resíduos orgânicos entre outros." <b>B, C e E:</b> "Não."

demais professores cursistas relacionaram a sustentabilidade ao uso consciente do meio ambiente e à adoção de práticas como a reciclagem e o reaproveitamento de resíduos.

Em se tratando da realização de atividades relacionadas à sustentabilidade nas aulas de Química (questão 2, Tabela 1), apenas o professor cursista **D** mencionou que orientou projetos sobre o reaproveitamento de resíduos de diferentes naturezas e para diferentes finalidades. O mesmo professor mencionou na questão seguinte (questão 3, Tabela 1) que desenvolve projetos interdisciplinares e que trabalha em uma escola de Ensino Técnico. Isso evidencia que a sustentabilidade não é abordada nas aulas de Química nos Ensinos Fundamental, Médio e EJA pelos professores cursistas que participaram da pesquisa. Ainda com relação ao desenvolvimento de atividades interdisciplinares, o professor cursista **A** mencionou que já trabalhou a sustentabilidade de forma interdisciplinar com a Biologia, por meio da abordagem dos temas defensivos agrícolas e armamento químico nas guerras mundiais. Defensivos agrícolas é um tema que pode possibilitar uma discussão relevante sobre a agricultura moderna e sua relação com a sustentabilidade e a tecnologia (Levin, 2020). Por outro lado, os impactos das guerras sobre o meio ambiente permitem a abordagem da poluição do ar, da água e do solo, além do desflorestamento e degradação de áreas protegidas (Trabazo, 2018), o que vai no sentido contrário ao do desenvolvimento sustentável.

As respostas apresentadas pelos professores cursistas quando indagados sobre como relacionariam a sustentabilidade com conteúdos de Química (questão 4, Tabela 1) mostram que eles não compreenderam a pergunta, uma vez que deveriam ter indicado conteúdos e não temas. Nesse sentido, petróleo, produção de etanol e defensivos agrícolas são temas que podem ser utilizados para contextualizar o ensino da Química Orgânica, enquanto o tempo de degradação de materiais é um assunto que poderia ser abordado no ensino de Cinética Química.

Ao serem questionados sobre quais dificuldades esperariam encontrar ao desenvolver o tema sustentabilidade em suas aulas de Química (questão 5, Tabela 1), os professores cursistas apontaram: a participação e o interesse dos alunos, a limitação de espaço físico, o suporte da administração, a adesão de outros professores, a administração do tempo e a falta de recursos. O professor **B** mencionou em sua resposta que, na escola em que leciona, ações sustentáveis já haviam sido realizadas, mas não tiveram continuidade devido à limitação de espaço físico, suporte da administração e interesse dos alunos. Embora a pergunta questionasse sobre a abordagem do tema sustentabilidade nas aulas de Química, os professores relacionaram suas respostas a ações mais abrangentes envolvendo toda a escola, o que foi questionado

na pergunta seguinte (questão 6, Tabela 1). Com relação a ações sustentáveis praticadas nas escolas em que trabalham (questão 6, Tabela 1), três participantes da pesquisa responderam que as escolas não realizam ações sustentáveis e os outros dois indicaram, como ações realizadas nas escolas em que lecionam: o cultivo de frutas, hortaliças e leguminosas, a coleta seletiva e o reaproveitamento de resíduos orgânicos. Após o questionário diagnóstico, deu-se início à aula virtual síncrona sobre Indústria 4.0 e sustentabilidade.

### Aula virtual sobre Indústria 4.0 e sustentabilidade

A aula virtual foi iniciada apresentando a definição de Indústria 4.0 e, na sequência, foi realizado um resgate histórico sobre as revoluções industriais, destacando os principais marcos de cada uma delas até chegar na Indústria 4.0. Em seguida foi abordada a definição de sustentabilidade e aspectos relacionados ao desenvolvimento sustentável e, por último, a contribuição da Indústria 4.0 para uma sociedade sustentável.

Os professores cursistas participaram ativamente da aula apresentando suas opiniões, o que resultou em uma rica discussão. Um dos pontos de maior discussão foi sobre a educação no contexto da Indústria 4.0, chamada de Educação 4.0. Os professores cursistas colocaram as dificuldades que enfrentam no atual cenário educacional em que seus

estudantes têm acesso rápido às informações. Continuamente esses professores são questionados sobre essas informações mesmo antes de tomarem conhecimento delas e de terem tempo para se prepararem adequadamente para responder às indagações dos alunos. Outro ponto levantado pelos professores cursistas foi que a pandemia favoreceu a implantação da Educação 4.0 principalmente nas escolas particulares,

contribuindo para aumentar as diferenças entre as escolas públicas e particulares.

Percebeu-se, ao longo da discussão, que os professores cursistas apresentavam familiaridade com a temática de sustentabilidade, mas não com a Indústria 4.0. Um dos professores cursistas relatou que havia feito um exame de proficiência em língua inglesa recentemente e que o assunto da prova havia sido “*Internet of Things*” (IOT - Internet das Coisas), um dos pilares tecnológicos da Indústria 4.0, o qual ele desconhecia naquele momento.

A seguir é apresentada uma sugestão para a abordagem dos temas Indústria 4.0 e sustentabilidade de forma integrada, em uma sequência que permite mostrar os avanços ocorridos em cada Revolução Industrial, bem como a evolução do pensamento industrial em relação ao ambiente.

Na primeira Revolução Industrial (1780-1830), processos que antes eram realizados manualmente e apenas por

Ao serem questionados sobre quais dificuldades esperariam encontrar ao desenvolver o tema sustentabilidade em suas aulas de Química (questão 5, Tabela 1), os professores cursistas apontaram: a participação e o interesse dos alunos, a limitação de espaço físico, o suporte da administração, a adesão de outros professores, a administração do tempo e a falta de recursos.

trabalhadores altamente especializados (artesãos) deram espaço para as fábricas mecanizadas (Pasquini, 2020; Quintino *et al.*, 2019). Além disso, a aplicação do carvão como fonte de energia e o desenvolvimento da máquina a vapor e da locomotiva revolucionaram tanto o setor produtivo quanto o de transporte (Sakurai e Zuchi, 2018).

Na segunda Revolução Industrial (1850-1910), a modernização de máquinas e equipamentos industriais foi impulsionada pelo uso da energia elétrica que contribuiu para tornar as máquinas mais produtivas e menos poluentes, embora esta última característica não fosse muito relevante, uma vez que, nessa época, os problemas ambientais eram tratados de maneira superficial (Almeida, 2019; Oliveira *et al.*, 2019; Pasquini, 2020). Também foi durante a segunda Revolução Industrial que o modelo de produção chamado fordismo surgiu nos Estados Unidos, tendo como princípios fundamentais: a repetitividade, a padronização do produto e a produção em massa (Quintino *et al.*, 2019).

Durante décadas, as indústrias se preocuparam apenas com questões econômicas, negligenciando o impacto ambiental de suas atividades, inclusive sobre a saúde da população. Nesse período, alguns eventos industriais impactantes aconteceram, resultando na poluição do ar, na contaminação das águas e na perda de diversas vidas (Pott e Estrela, 2017).

Em 1930, ocorreu na Bélgica o primeiro evento agudo de poluição do ar (Tabela 2) que atraiu a atenção da comunidade científica, uma vez que forneceu evidências de que a poluição atmosférica poderia ocasionar mortes (Nemery *et al.*, 2001). Em 1956, outro evento industrial ocorrido no Japão causou danos ambientais impactantes (Tabela 2). A condição resultante da contaminação da baía de Minamata por metilmercúrio foi denominada como “Doença de Minamata” pela comunidade médica japonesa e pela mídia, uma vez que, inicialmente, sua causa era desconhecida (Jenks, 2010).

A terceira Revolução Industrial (1969-2010), conhecida como Revolução Digital e Revolução Técnico-Científica, foi marcada pelo advento dos semicondutores, em especial do transistor, responsável pela modernização dos computadores e demais equipamentos elétricos, eletromecânicos e eletrônicos (Almeida, 2019; Quintino *et al.*, 2019). Nesse período, surge no Japão o modelo produtivo denominado toyotismo, que tinha como principal característica a produção flexível, realizada conforme a demanda de mercado (Quintino *et al.*, 2019). Também se destacam como características da terceira Revolução Industrial a automação industrial, a nanotecnologia, a biotecnologia, a mecatrônica, a microinformática, as telecomunicações, bem como as tecnologias de automação (TA) e de informação (TI) (Quintino *et al.*, 2019). Durante essa Revolução Industrial, ocorreram avanços significativos na produção de energias renováveis, como a eólica e a solar, o que possibilitou que as indústrias diversificassem as fontes

de energia utilizadas (Roberts, 2015; Sakurai e Zuchi, 2018).

O advento da indústria foi responsável por provocar grandes mudanças no ambiente. A indústria acelerou a extração dos recursos naturais visando à obtenção do lucro em curto prazo, sem levar em conta suas consequências (Borges *et al.*, 2009). Nesse contexto, para disciplinar o consumo racional de recursos naturais e contribuir para que o desenvolvimento econômico causasse menos impacto ao ambiente, uma série de acordos, convenções e leis surgiram, o que culminou no “aumento da consciência ambiental” nesse período (Borges *et al.*, 2009; Pott e Estrela, 2017; Sakurai e Zuchi, 2018).

Em 1972, foi realizada a Conferência Mundial das Nações Unidas (ONU) em Estocolmo (Suécia), a primeira manifestação dos líderes mundiais a respeito das consequências do progresso da economia sobre o ambiente (Nascimento, 2012). Essa conferência foi realizada em meio ao impacto provocado pelo relatório do Clube de Roma, intitulado *The limits of growth* (Os limites do crescimento), que propunha, entre outras ações, a desaceleração do desenvolvimento industrial nos países desenvolvidos e do crescimento

O advento da indústria foi responsável por provocar grandes mudanças no ambiente. A indústria acelerou a extração dos recursos naturais visando à obtenção do lucro em curto prazo, sem levar em conta suas consequências (Borges *et al.*, 2009).

populacional nos países subdesenvolvidos (Nascimento, 2012; Pott e Estrela, 2017). Dez anos após a conferência de Estocolmo, uma avaliação realizada pela ONU mostrou que os esforços empreendidos ficaram muito aquém do necessário. Isso resultou na formação da *World Commission on Environment and Development* (WCED - Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento), que foi coordenada pela então primeira-ministra norueguesa Gro Harlem Brundtland. O relatório produzido por essa comissão e apresentado em 1987, com o título de *Our common future* (Nosso futuro comum) propôs o desenvolvimento sustentável, que foi definido como o desenvolvimento que supre as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações em satisfazer suas próprias necessidades (WCED, 1987). Essa definição tornou-se clássica e objeto de discussão, pois deixa em aberto quais seriam as necessidades humanas do momento atual e as das gerações futuras, além de não fazer menção à finitude dos recursos naturais. O relatório ficou conhecido como relatório Brundtland e consagrou a dimensão social como parte integrante da questão ambiental, além de mostrar-se contra os efeitos do liberalismo, uma vez que ele provocava o aumento das desigualdades sociais entre os países (Nascimento, 2012; WCED, 1987).

Em 1984, ocorreu na Índia a maior catástrofe industrial da história, o desastre de Bhopal (Tabela 2) (Wittckind *et al.*, 2017).

Em 2011, um projeto intitulado *Platform Industrie 4.0* (Plataforma Indústria 4.0) foi lançado pelo governo alemão durante a Feira de Hannover (Alemanha), a principal feira de tecnologia industrial do mundo. O projeto tinha como objetivo permitir a troca de informações/dados entre máquinas e seres humanos e a otimização de todo o processo produtivo.

Tabela 2: Principais eventos industriais que resultaram em catástrofes ambientais.

Evento	Evento agudo de poluição atmosférica	Doença de Minamata	Desastre de Bhopal
<b>Local</b>	Vale do Rio Meuse (Bélgica)	Baía de Minamata (Japão)	Bhopal (Índia)
<b>Ano</b>	1930	1956	1984
<b>Causas do evento</b>	Combinação entre emissões acentuadas de poluentes e condições meteorológicas durante o inverno resultou em uma neblina tóxica e densa que cobriu parte da Bélgica.	Descarte de efluentes contendo metilmercúrio na baía de Minamata pela Chisso Corporation, de 1932 a 1968.	A inexistência de planos de segurança e de conscientização da população local, além de planos de evacuação da área em caso de acidente; a adoção de um método reacional de menor custo e maiores riscos; a falta de investimento à medida que a rentabilidade da fábrica de Bhopal diminuiu devido ao surgimento de pesticidas concorrentes.
<b>Consequências do evento</b>	Centenas de pessoas apresentaram problemas respiratórios e cerca de 60 pessoas morreram.	Gatos e cachorros alimentados com restos de peixe das docas da baía de Minamata começaram a sofrer convulsões e a apresentar comportamentos estranhos. Corvos começaram a cair sem vida nas rochas e moradores passaram a apresentar sintomas alarmantes como: tremores e convulsões incontroláveis, perda de fala e audição e dormência. Estudos epidemiológicos realizados em 1956 identificaram 55 casos da doença, 17 dos quais evoluíram a óbito.	A catástrofe resultou na morte de mais 20.000 pessoas e em diversos problemas médicos e ambientais.
<b>Explicação química para o evento</b>	Estima-se que a concentração de SO <sub>2</sub> na região aumentou de 9,6 ppm para 38,4 ppm.	Mercúrio inorgânico era empregado como catalisador na síntese do acetaldeído a partir da hidrólise do acetileno. Na reação era gerado metilmercúrio como subproduto, a espécie de mercúrio mais tóxica e cuja exposição é capaz de provocar efeitos de origem neurológica.	A filial indiana da empresa estadunidense <i>Union Carbide Corporation</i> passou a produzir o pesticida carbaril por meio da mistura do $\alpha$ -naftol com isocianato de metila (ICM), sendo que este último era produzido a partir da reação entre a metilamina e o foscênio, um gás extremamente letal. Uma reação inesperada em um dos tanques que armazenava o ICM provocou a liberação de gases tóxicos que se espalharam rapidamente pela região ao redor da fábrica.
<b>Referências</b>	Jun, 2021; Nemery <i>et al.</i> , 2001; Silva e Vieira, 2017.	Bisinoti e Jardim, 2004; Hachiya, 2006; Jenks, 2010.	Chemello, 2010; Martins, 2016; Wittckind <i>et al.</i> , 2017.

Em 2015, a Plataforma Indústria 4.0 foi relançada como um programa do governo alemão (Sacomano *et al.*, 2018).

A Indústria 4.0 se apoia em nove pilares tecnológicos: *Big Data*, robótica autônoma, manufatura aditiva (ex.: impressão 3D), simulação, integração de sistemas, computação em nuvem, Internet das Coisas, segurança cibernética e realidade aumentada. A linha de produção de uma planta industrial 4.0 pode ser acionada e controlada remotamente. Nesse contexto, um modelo virtual dessa linha pode ser

criado para ser otimizado *online*, garantindo que, quando implantado, cause um número reduzido de problemas. Problemas na linha de produção podem ser detectados pelo próprio sistema que aciona os fornecedores, solicitando sua manutenção. Além disso, os clientes podem ter seus pedidos processados e programados automaticamente, além de terem acesso virtual às fases de produção, tendo inclusive a possibilidade de realizarem customizações em seus produtos (Sacomano *et al.*, 2018).

Além de promover automatização nas plantas industriais e maior eficácia dos processos, a Indústria 4.0 pode contribuir para a adequação da produção visando o desenvolvimento sustentável. Em geral, as indústrias consomem muita energia e água. A automatização dos processos torna possível programar as máquinas para que operem com menos recursos em determinados horários e para que sejam desligadas quando não houver demanda, o que contribui para a economia de energia e de água. A manufatura aditiva, na qual a matéria-prima é adicionada até a formação completa de um produto, contribui para a redução de resíduos. Em se tratando da fabricação tradicional, os sistemas inteligentes conseguem utilizar os recursos de forma mais precisa, evitando o desperdício (Pederneiras, 2020).

Após a aula virtual sobre Indústria 4.0 e sustentabilidade, foi apresentado aos professores cursistas o produto educacional desenvolvido no PROFQUI e que propõe duas atividades para a abordagem da mineração e da reciclagem do alumínio.

### Abordagem do ciclo de vida do alumínio no Ensino Médio e no PROFQUI

O alumínio é um elemento economicamente importante no mundo contemporâneo por possuir inúmeras aplicações em diversos setores industriais, estando presente nos meios de transporte (automóveis, aeronaves, trens e navios), na construção civil (portas, janelas e fachadas) e nos eletroeletrônicos (equipamentos elétricos, componentes eletrônicos e de transmissão de energia) (Constantino *et al.*, 2002). Além de possuir diversas propriedades químicas que o tornam um material excepcional, ele é considerado sustentável por apresentar alto nível de reciclabilidade, ou seja, ele pode ser reciclado diversas vezes sem perder qualidade (Beegreen, 2019). O Brasil tem se destacado como um dos líderes mundiais na reciclagem de latas de alumínio, sendo que, de acordo com a Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alumínio (Abralatas), o país obteve um índice de reciclagem de 97,4% em 2020, mesmo em um cenário de pandemia em que houve interrupção de atividades de coleta seletiva em diversos municípios e a suspensão do trabalho de cooperativas de catadores (Agência Brasil; 2021). Essas características permitem que o tema sustentabilidade possa ser contextualizado a partir do ciclo de vida do alumínio.

Um produto educacional para a abordagem do tema metais no Ensino Médio foi desenvolvido no PROFQUI. Ele consiste em um material de apoio ao professor constituído por cinco atividades. As duas primeiras atividades desse material são dinâmicas de grupo, cujos objetivos são: fazer com que os estudantes identifiquem a presença de elementos metálicos em objetos/produtos selecionados; e promover uma discussão sobre a organização desses elementos na tabela periódica (Freitas *et al.*, 2019; Freitas *et al.*, 2021). A terceira

atividade propõe explorar o conceito de densidade por meio da sua determinação experimental para alguns metais (Freitas *et al.*, 2019). As duas últimas atividades objetivam trabalhar conceitos químicos relacionados à fabricação do alumínio, além de aspectos químicos, ambientais e sociais relacionados à reciclagem deste metal por meio de uma história em quadrinhos e de recursos audiovisuais. A seguir é apresentado um relato do desenvolvimento das duas últimas atividades, realizadas em 4 aulas, com 14 alunos do 1º ano do Ensino Médio do período matutino de um colégio estadual de Goiás, no segundo semestre de 2018, em uma disciplina criada pela Secretaria de Educação do referido estado com o objetivo de possibilitar a melhoria do ensino de Química.

O ciclo de vida do alumínio se inicia com a mineração da bauxita e termina com a reciclagem do alumínio. Na atividade intitulada “De onde vem os metais?”, o professor propôs a leitura, em sala de aula, da história em quadrinhos “Wandeca e o que sai da mina: a aventura com o alumínio” (CETEM e MCT, 2006), um material de divulgação científica disponibilizado gratuitamente na internet. O material conta a aventura de uma perereca chamada Wandeca que, no começo da história, caminha levando uma prancha de *surf* rumo à casa de seu primo Deco, que não aparece na história, uma vez que Wandeca não chega ao seu destino. No caminho, ela percebe que está andando sobre um chão vermelho, quando encontra dois robôs: Tecno e Logia. Nesse momento, Wandeca descobre que aquele local era uma área de exploração mineral de alumínio e que a terra vermelha onde pisava se tratava de rejeitos de bauxita (minério de alumínio), da qual é extraída a alumina, mineral que dá origem ao alumínio primário. A partir daí eles percorrem juntos todo o processo envolvido na obtenção do alumínio. No final da história, Wandeca aparece descartando uma lata de alumínio no lixo convencional, quando Logia chama sua atenção dizendo que a latinha não deveria ser descartada ali porque o alumínio é um metal reciclável (CETEM e MCT, 2006).

Para tornar a leitura do livro mais atrativa e proporcionar um ambiente agradável de aprendizagem, o professor designou três estudantes para fazer o papel dos protagonistas da história. No decorrer da leitura, o professor fez intervenções para explicar os conceitos químicos necessários para promover uma compreensão crítica da história, destacando aqueles considerados relevantes para o primeiro ano do Ensino Médio e que haviam sido abordados nas atividades anteriores. Ele explicou que o minério com aspecto de terra vermelha (bauxita) é uma forma impura do mineral alumina ( $Al_2O_3$ ), de onde é extraído o metal alumínio por meio do processo Hall-Héroult. Nesse processo, ocorre a eletrólise ígnea da alumina (preliminarmente refinada pelo processo Bayer), que é reduzida a alumínio metálico enquanto que o ânodo de carbono é oxidado a  $CO_2$  (Toquette, 2019). Após a finalização da leitura, o vídeo “De onde vem o alumínio?”

Um produto educacional para a abordagem do tema metais no Ensino Médio foi desenvolvido no PROFQUI. Ele consiste em um material de apoio ao professor constituído por cinco atividades.

(Manual do Mundo, 2018) foi apresentado aos estudantes para complementar as informações retratadas na história em quadrinhos.

Ao final da atividade, foi solicitado aos alunos que respondessem a pergunta: “O que é o alumínio e onde ele é utilizado?”. As respostas “*Elemento químico muito abundante na crosta terrestre, utilizado na fabricação de copos, panelas*” e “*É um metal usado em panelas, fabricação do papel alumínio*” foram consideradas satisfatórias, e a resposta “*É um metal usado em vários objetos*” foi considerada parcialmente satisfatória. “*Não sei*” e “*Em muitos lugares*” são exemplos de respostas consideradas insatisfatórias.

A outra atividade, intitulada “Como são recicladas as latinhas de alumínio?”, teve como objetivo conscientizar os alunos sobre a importância ambiental, econômica e social da separação e do destino adequados de materiais recicláveis

como o alumínio. Primeiramente, os estudantes assistiram ao vídeo “Como funciona a reciclagem de latinhas de alumínio?” (Manual do Mundo, 2016). Após isso, o professor iniciou uma discussão sobre os benefícios ambientais da reciclagem do alumínio, destacando que ela promove economia de matéria-prima (bauxita) para a fabricação de alumínio e de energia, utilizando apenas 5% da energia elétrica empregada na produção do alumínio primário, além de promover uma diminuição do volume de lixo gerado que seria destinado aos aterros sanitários (ABAL, 2018). Além disso, a reciclagem do alumínio promove uma diminuição significativa dos gases de efeito estufa (GEE), como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CF}_4$  e  $\text{C}_2\text{F}_6$ , em comparação com aqueles emitidos no processo de produção do alumínio primário (Silva, 2010). A cadeia de reciclagem do alumínio também tem um papel social importante, pois é capaz de gerar um número significativo de empregos, uma vez que envolve cooperativas e catadores autônomos de materiais recicláveis, sucateiros de pequeno e grande porte e outros intermediários, que recolhem as embalagens em postos de coleta, condomínios públicos e privados e pontos comerciais (CEMPRE, 2018).

Para finalizar a atividade, os estudantes responderam duas questões. Quando questionados acerca da importância da reciclagem do alumínio, as duas respostas que mais chamaram a atenção foram: “*Minimizar a emissão de carbono e promover o eficiente uso de recursos naturais*” e “*Além de combater a poluição de rios, lagos, das ruas, podemos economizar recursos com a reciclagem do alumínio e ajudar o meio ambiente*”. Quando questionados se realizavam a coleta seletiva em suas casas, constatou-se que a maioria dos educandos não faziam a separação dos materiais, justificando tal ato pelo fato de não ocorrer a coleta seletiva por catadores ou cooperativas na região onde moram. A atividade despertou a consciência ambiental nos estudantes e muitos afirmaram que passariam a fiscalizar os pais no descarte das latinhas de alumínio.

As duas atividades relatadas anteriormente foram apresentadas de maneira sucinta aos professores cursistas do

PROFQUI e o material contendo essas atividades foi disponibilizado a eles. Após a apresentação, foi solicitado aos professores cursistas que elaborassem um plano de aulas que contemplasse os temas sustentabilidade, mineração, produção e reciclagem do alumínio.

De maneira geral, a avaliação dos planos de aulas mostrou que os professores cursistas têm dificuldade em definir com clareza os objetivos de suas propostas. Com relação ao público-alvo das aulas propostas, dois professores propuseram atividades para o 1º ano do Ensino Médio, dois para o 2º ano do Ensino Médio e um para o 2º módulo do Ensino Técnico em Química. O tempo previsto para o desenvolvimento dos

planos de aulas propostos variou entre 4 e 6 aulas.

Com relação aos conteúdos químicos a serem abordados nas aulas propostas, os seguintes conteúdos foram classificados como satisfatórios: propriedade

dos metais, ligação metálica, metalurgia e siderurgia, impactos ambientais, separação de sólidos, estudo do elemento alumínio, mineração da bauxita, refino (processo Bayer), redução, tratamento dos rejeitos da mineração, fabricação de produtos derivados do alumínio, reciclagem, eletrólise ígnea e processo industrial do alumínio. Observa-se que a maioria desses conteúdos são coerentes com a temática mineração e reciclagem do alumínio, exceto os conteúdos separação de sólidos e redução, que não estão completamente claros. O professor cursista **E** elencou os seguintes conteúdos: conscientização ambiental (Geografia); recicláveis e não recicláveis (Ciências - Química), reutilização e recuperação de objetos (Ciências - Química); descarte do lixo orgânico (Geografia e Química); e história do reaproveitamento e da reciclagem dos materiais ao longo do tempo (História). Esses conteúdos foram considerados parcialmente satisfatórios por envolverem a temática sustentabilidade, mas não serem direcionados para o contexto do alumínio, conforme havia sido solicitado.

Com relação aos recursos didáticos, a maioria dos professores elencaram recursos tradicionais, como quadro branco, pincel, *datashow*, livros, vídeos e outros. As propostas de dois professores cursistas chamaram a atenção: o professor **D** mencionou a utilização de reagentes químicos, vidrarias e equipamentos de laboratório, e o professor **B** mencionou uma visita virtual a uma mineradora e o uso de jogos e simuladores do processo de mineração.

Na metodologia, chamou a atenção a resposta do professor cursista **D**, que possivelmente baseou a sua proposta em sua pesquisa de mestrado. A resposta do referido professor foi: “*As aulas serão expositivas, explicativas e dialogadas no formato híbrido no modelo rotacional, adaptando o modelo de sala de aula invertida, rotação por estações e laboratório rotacional*”. No item avaliação, os professores cursistas sugeriram: aplicação de avaliação escrita, participação dos estudantes nas aulas e seminários, debate de notícias sobre desastres ambientais causados pela mineração e análise de

De maneira geral, a avaliação dos planos de aulas mostrou que os professores cursistas têm dificuldade em definir com clareza os objetivos de suas propostas.



textos interdisciplinares. Nesse tópico do plano de aulas, o professor cursista **A** também sugeriu a utilização da ferramenta *Plickers* (Plickers, 2022) para avaliar os alunos.

Para finalizar essa etapa, foi produzido um *podcast* de aproximadamente 15 minutos, com o objetivo de apontar alguns objetos de conhecimento que poderiam ser abordados no Ensino Médio a partir do tema produção e reciclagem do alumínio e realizar o fechamento da atividade. Optou-se pelo *podcast* uma vez que os professores cursistas possuem pouco tempo para se dedicar às atividades do PROFQUI, pois realizam o mestrado concomitantemente ao trabalho nas escolas.

Avaliando os objetos de conhecimento da Química referentes à área de ciências da natureza e suas tecnologias no Currículo Referência do Ensino Médio de Minas Gerais (Minas Gerais, 2021), observa-se que a eletroquímica é um objeto de conhecimento da competência 1 e a produção e aplicação do alumínio, da competência 3. Assim, a produção do alumínio a partir da redução eletroquímica do óxido de alumínio fundido pelo processo Hall-Héroult (Toquetto, 2019) poderia ser abordada para contemplar esses conteúdos.

Problemas ambientais mundiais, nacionais e regionais integram os objetos de conhecimento da competência 2 (Minas Gerais, 2021). Um problema recorrente em Minas Gerais e que pode ser trabalhado com os alunos do Ensino Médio consiste no rompimento de barragens, que constituem o principal dispositivo de destinação final de rejeitos da mineração no Brasil. Em Minas Gerais, os casos ocorridos nos municípios de Mariana e Brumadinho causaram desastres ambientais catastróficos, o que possibilitou questionar a segurança do método frequentemente empregado na construção de barragens de rejeitos de mineração, denominado método de alteamento para montante, muito empregado por apresentar baixo custo quando comparado a outros métodos mais seguros (Silva e Ribeiro, 2020).

Propriedades coligativas e suas aplicações constituem outro objeto da competência 2 (Minas Gerais, 2021). A produção do alumínio também pode ser utilizada na contextualização da abordagem desse conteúdo. Como mencionado anteriormente, o processo de produção do alumínio primário consiste na eletrólise do óxido de alumínio fundido. A temperatura de fusão do óxido de alumínio é em torno de 2072 °C. A mistura de criolita ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) ao óxido de alumínio fundido resulta no abaixamento significativo da temperatura de fusão para 980 °C, o que contribui para tornar o processo menos dispendioso (Kotz *et al.*, 2011).

O uso de novas tecnologias com objetivos sustentáveis é um objeto de conhecimento da competência 3 (Minas Gerais, 2021), possibilitando uma abordagem integrada dos temas Indústria 4.0 e sustentabilidade com alunos do Ensino Médio. Considerando a produção de alumínio, um

estudo realizado pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) em parceria com a Associação Brasileira do Alumínio (ABAL) mostrou que a maioria das plantas industriais do setor do alumínio possuem soluções de automação e sensores em pelo menos parte de seu parque fabril. Apesar disso, ainda é necessário ampliar a combinação de novas tecnologias habilitadoras de Indústria 4.0. Assim, a transformação digital deve fortalecer cada vez mais a sustentabilidade, a inovação e a competitividade do setor (Agência CNI de Notícias, 2021).

A química ambiental, descarte consciente, substâncias e ações sustentáveis também integram um objeto de conhecimento da competência 3. Tal objeto pode ser abordado a partir do descarte adequado e da reciclagem do alumínio, como apresentado anteriormente.

### Considerações finais

Este trabalho teve como objetivo apresentar relatos de experiências de atividades desenvolvidas no Ensino Médio e no PROFQUI envolvendo os temas Indústria 4.0 e sustentabilidade. Essas atividades podem contribuir para a contextualização histórica e regional dos temas e para uma aprendizagem mais crítica e efetiva. Foram apresentadas propostas de conteúdos que podem ser abordados na Educação Básica a partir da cadeia produtiva do alumínio, atendendo os objetos de conhecimento e as competências do Currículo Referência do Ensino Médio de Minas Gerais. No caso do PROFQUI, a contextualização envolvendo o ciclo de vida do alumínio possibilitou a discussão de um tema regional de grande relevância econômica, social e ambiental que poderá inspirar os professores cursistas na abordagem crítica desse e de outros temas com seus alunos do Ensino Médio.

### Nota

\*O número de ocorrências de palavras foi contabilizado empregando o *Google Chrome*.

---

**Jefferson Silva Ribeiro** (d201610339@uftm.edu.br), técnico em Química e discente do curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal do Triângulo Mineiro. Uberaba, MG – BR. **Sérgio de Oliveira Freitas** (sofreitasprofessor@hotmail.com), mestre pelo Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI) e professor da Educação Básica no Colégio Estadual Adoniro Martins de Andrade. Itumbiara, GO – BR. **Pedro Ivo da Silva Maia** (pedro.maia@uftm.edu.br), graduado em Química (Bacharelado e Licenciatura) e mestre em Química Inorgânica pela Universidade de Brasília, doutor em Química Inorgânica pela Universidade de São Paulo. Atualmente é Professor Associado da Universidade Federal do Triângulo Mineiro. Uberaba, MG – BR. **Carla Regina Costa** (carla.costa@uftm.edu.br), graduada em Química (Licenciatura e Bacharelado com Atribuições Tecnológicas), mestre em Ciências e doutora em Ciências (área de concentração: Química) pela Universidade de São Paulo. Atualmente é Professora Associada da Universidade Federal do Triângulo Mineiro. Uberaba, MG – BR.

## Referências

ABAL (Associação Brasileira de Alumínio). *Sustentabilidade: Reciclagem*. Disponível em: <http://abal.org.br/sustentabilidade/reciclagem/por-que-reciclar/>, acesso em jun. 2018.

AGÊNCIA BRASIL. *Brasil fecha 2020 entre os maiores recicladores de latas de alumínio*. 2021. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2021-04/brasil-fecha-2020-entre-os-maiores-recicladores-de-latas-de-aluminio>, acesso em jul. 2021.

Agência CNI de Notícias. *Empresas de alumínio rumo à indústria 4.0*. 2021. Disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/inovacao-e-tecnologia/empresas-de-aluminio-rumo-a-industria-40/>, acesso em jul. 2021.

ALMEIDA, P. S. *Indústria 4.0 -Princípios básicos, aplicabilidade e implantação na área industrial*. São Paulo: Érica, 2019. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536530451/>, acesso em out. 2021.

BARRETO, T. O que significa o termo 4.0 quando aplicado a empresas, setores e profissionais? *Ind4.0 Manufatura Avançada Organização*. 2020. Disponível em: <https://www.industria40.ind.br/artigo/19813-o-que-significa-o-termo-40-quando-aplicado-a-empresas-setores-e-profissionais>, acesso em nov. 2021.

BASTOS, A. Mineração 4.0: O futuro da mineração. *TECKAVAN Blog*. 2020. Disponível em: <https://teckavan.com.br/blog/mineracao-4-0/>, acesso em nov. 2021.

BEEGREEN. *Consumo consciente e sustentabilidade: conheça a reciclabilidade dos materiais*. 2019. Disponível em: <https://beegreen.eco.br/consumo-consciente-reciclabilidade-dos-materiais/>, acesso em nov. 2021.

BISINOTI, M. C. e JARDIM, W. F. O comportamento do metilmercúrio (MetilHg) no ambiente. *Química Nova*, v. 27, n. 4, p. 593-600, 2004.

BORGES, L. A. C.; REZENDE, J. L. P. e PEREIRA, J. A. A. Evolução da legislação ambiental no Brasil. *Revista em Agronegócios e Meio Ambiente*, v. 2, n. 3, p. 447-466, 2009.

BRASIL. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>, acesso em out. 2021.

CEMPRE (Compromisso Empresarial para Reciclagem). *Latas de alumínio*. Disponível em: <https://cempre.org.br/latas-de-aluminio/>, acesso em jun. 2018.

CETEM (Centro de Tecnologia Mineral); MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). *Wandeca e o que sai da mina: a aventura com o alumínio*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2006. Disponível em: <https://www.cetem.gov.br/antigo/images/popularizacao-ciencia/wandeca-2.pdf>, acesso em nov. 2019.

CHEMELLO, E. Desastre em Bhopal. *Química Virtual*. 2010. Disponível em: <https://pdfslide.net/documents/a-tragedia-de-bhopal.html>, acesso em out. 2021.

CONSTANTINO, V. R. L.; ARAKI, K.; SILVA, D. O. e OLIVEIRA, W. Preparação de compostos de alumínio a partir da bauxita: considerações sobre alguns aspectos envolvidos em um experimento didático. *Química Nova*, v. 25, n. 3, p. 490-498, 2002.

FREITAS, S. O.; COSTA, C. R. e MAIA, P. I. S. Uma proposta de sequência didática para a abordagem do tema metais no Ensino Médio. 2019. Disponível em: <http://educapes.capes.gov.br/handle/capes/574367>, acesso em fev. 2022.

FREITAS, S. O.; MAIA, P. I. S. e COSTA, C. R. Uma proposta para a abordagem da tabela periódica nos cursos de formação

de professores de ciências e no Ensino Médio a partir do tema metais. *Revista Virtual de Química*, v. 13, n. 3, p. 822-835, 2021.

GONZAGA, G. R.; PAIVA, D. C. e EICHLER, M. L. Desafios e perspectivas atuais na formação do professor de química: expectativas sobre o Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI). *Química Nova*, v. 43, n. 4, p. 493-505, 2020.

HACHIYA, N. The history and the present of Minamata disease – Entering the second half a century. *Japan Medical Association Journal*, v. 49, n. 3, p. 112-118, 2006.

JENKS, A. L. *Perils of progress: environmental disasters in the twentieth century*. London: Pearson, 2010.

JUN, K. *Case study of air pollution episodes in Meuse Valley of Belgium, Donora of Pennsylvania, and London, U.K.* Environmental Toxicology and Human Health, vol. I, *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*. Disponível em: <https://www.eolss.net/sample-chapters/C09/E4-12-02-03.pdf>, acesso em out 2021.

KOTZ, J. C.; TREICHEL, P. M. e WEAVER, G. C. *Química Geral e Reações Químicas*, Vol. 2. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

LEVIN, G. *Agricultura moderna e sustentabilidade*. 2020. Disponível em: <https://www.bayer.com.br/pt/blog/agricultura-moderna-e-sustentabilidade>, acesso em nov. 2021.

MANUAL DO MUNDO. *Como funciona a reciclagem de latinhas de alumínio?* 1 vídeo ( 3 min. 30 s). 2016. Disponível em: <http://www.manualdomundo.com.br/2016/06/reciclagem-de-latinha-de-aluminio/>, acesso em jun. 2018.

MANUAL DO MUNDO. *De onde vem o alumínio?* 1 vídeo (10 min). 2018. Disponível em: <http://www.manualdomundo.com.br/2018/07/como-e-fabricado-o-aluminio-boravel/>, acesso em jun. 2018.

MARTINS, B. S. Revisitando o desastre de Bhopal: os tempos da violência e as latitudes da memória. *Sociologias*, v. 18, n. 43, p. 116-148, 2016.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais. *Currículo Referência do Ensino Médio de Minas Gerais*. Minas Gerais, 2021. Disponível em: <https://www2.educacao.mg.gov.br/images/documentos/Curr%C3%ADculo%20Refer%C3%Aancia%20do%20Ensino%20M%C3%A9dio.pdf>, acesso em nov. 2021.

NASCIMENTO, E. P. Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico. *Estudos Avançados*, v. 26, n. 74, p. 51-64, 2012.

NEMERY, B.; HOET, P. H. M. e NEMMAR, A. The Meuse Valley fog of 1930: an air pollution disaster. *The Lancet*, v. 357, n. 9257, p. 704-708, 2001.

OLIVEIRA, S. V. W. B.; LEONETI, A. B. e CEZARINO, L. O. *Sustentabilidade: princípios e estratégias*. São Paulo: Manole, 2019. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520462447/>, acesso em out. 2021.

PASQUINI, N. C. As Revoluções Industriais: uma abordagem conceitual. *Revista Tecnológica da Fatec Americana*, v. 8, n. 1, p. 29-44, 2020.

PEDERNEIRAS, G. *Sustentabilidade na Indústria 4.0*. 2020. Disponível em: <https://www.industria40.ind.br/artigo/20042-sustentabilidade-na-industria-40>, acesso em out. 2021.

PLICKERS. *Formative assessment has never been faster*. Disponível em: <https://get.plickers.com/>, acesso em fev. 2022.

POTT, C. M. e ESTRELA, C. C. Histórico ambiental: desastres

ambientais e o despertar de um novo pensamento. *Estudos Avançados*, v. 31, n. 89, p. 271-283, 2017.

QUIMENTÃO, F. e MILARÉ, T. Contextualização, interdisciplinaridade e experimentação na proposta curricular paulista de Química. *Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente*, v.1, n. 1, p. 47-54, 2015.

QUINTINO, L. F.; SILVEIRA, A. M.; AGUIAR, F. R.; RUWER, L. M. E. e QUADROS, M. L. *Indústria 4.0*. Porto Alegre: SAGAH, 2019. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595028531/>, acesso em out. 2021.

ROBERTS, B. The Third Industrial Revolution: Implications for Planning Cities and Regions. Canberra: Working Paper Urban Frontiers 1. 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/278671121>, acesso em out. 2021.

SACOMANO, J. B.; GONÇALVES, R. F.; SILVA, M. T.; BONILLA, S. H. e SÁTYRO, W. C. *Indústria 4.0: conceitos e fundamentos*. São Paulo: Blucher, 2018. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521213710/>, acesso em out. 2021.

SAE DIGITAL. *Educação 4.0 – Tudo o que você precisa saber*. Disponível em: <https://sae.digital/educacao-4-0/>, acesso em out. 2021.

SAKURAI, R.; ZUCHI, J. D. As Revoluções Industriais até a Indústria 4.0. *Revista Interface Tecnológica*, v. 15, n. 2, p. 480-491, 2018.

SANTANDER. Por que sua empresa deve ser sustentável? Disponível em: <https://santandernegocioempresas.com.br/conhecimento/empreendedorismo/por-que-sua-empresa-dever-ser-sustentavel/>, acesso em out. 2021.

SANTOS, B. C. D. e FERREIRA M. Contextualização como princípio para o ensino de Química no âmbito de um curso de educação popular. *Experiências em Ensino de Ciências*, v.13, n. 5, p. 497- 511, 2018.

SILVA, A. F. e VIEIRA, C. A. Aspectos da poluição atmosférica: uma reflexão sobre a qualidade do ar nas cidades brasileiras. *Ciência e Sustentabilidade*, v. 3, n. 1, p. 166-189, 2017.

SILVA, K. B. C. e RIBEIRO, K. D. R. Ruptura em barragens de rejeitos: uma abordagem sobre monitoramento e fiscalização. *Ignis*, v. 9, n. 3, p. 17-34, 2020.

SILVA, D. C. C. *Estudo sobre a vulnerabilidade sócio-ambiental no município de Alumínio, São Paulo, a partir da poluição do ar*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 159 f. 2010.

TOQUETTO, A. R. O tema “Alumínio” nas coleções do PNLD 2018: uma análise de acordo com a educação CTS. *Química Nova na Escola*, v. 41, n. 3, p. 233-241, 2019.

TRABAZO, C. *Meio ambiente é uma das principais vítimas de guerras e conflitos armados*. 2018. Disponível em: <http://diplomaciadecivil.org.br/meio-ambiente-e-uma-das-principais-vitimas-de-guerras-e-conflitos-armados/>. Acesso em: 15 nov. 2021.

VIANA, M. H. Capes aprova criação do Profqui, mestrado profissional em rede para professores de química. *Sociedade Brasileira de Química*. 2015. Disponível em: <http://www.sbgq.org.br/noticia/capes-aprova-cria%C3%A7%C3%A3o-do-profqui-mestrado-profissional-em-rede-para-professores-de-qu%C3%ADmica>. Acesso em: 02 nov. 2021.

WITTCKIND, E. V.; BERWIG, J. A. e ENGELMANN W. O desastre de Bhopal: riscos e vulnerabilidades na transferência de tecnologias e o direito de saber. *Veredas do Direito*, v. 14, n. 30, p. 293-316, 2017.

WCED (WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT): *Our Common Future*. United Nations, 1987. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>, acesso em fev. 2022.

**Abstract:** Approach to Industry 4.0 and sustainability themes: contextualization based on historical facts and on the aluminum production chain. The Common National Curriculum Base (BNCC) includes terms that are widespread in today's society, such as “digital” and “technology”, which characterize the current historical scenario called Industry 4.0, as well as “sustainability”, which has considerably influenced strategic business decisions. BNCC states that it is necessary to discuss with students the impacts of technology on the operation of society and its consequences for sustainable development. Thus, the themes Industry 4.0 and sustainability can be approached in a contextualized way in High School and in continuing education courses for teachers. This article aims to report the experiences with PROFQUI program teachers and high school students during the approach to the themes Industry 4.0 and sustainability, relating them to historical events and the aluminum production chain.

**Keywords:** Industrial Revolutions; sustainable development; mining.



A publicação deste artigo foi patrocinada pelo Conselho Federal de Química (CFQ)