



O Tema “Alumínio” nas Coleções do PNLD 2018: Uma Análise de Acordo com a Educação CTS

André R. Toquette

Este artigo tem por objetivo analisar como o tema “Alumínio” é abordado nas coleções didáticas de química aprovadas pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) de 2018, considerando conhecimentos da tríade Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS). Esta pesquisa apresenta cunho qualitativo, pois investiga nos LD de química os aspectos históricos, sociais, ambientais, econômicos e científico-tecnológicos relacionados à obtenção e reciclagem do alumínio. Na análise, detecta-se que apenas um LD aborda os dois processos utilizados para a obtenção do alumínio metálico, a partir da bauxita: processos Bayer e Hall-Héroult. Além disso, revela as regiões brasileiras ricas em bauxita e, também, traz informações sobre o processo de obtenção do alumínio reciclado. Outro LD menciona os impactos sociais, econômicos e ambientais causados pelo efluente líquido denominado “lama vermelha” e, também, inova ao informar sobre a reação da alumina com a criolita, no processo Hall-Héroult. Sobre a história da ciência e da tecnologia química, outro LD cita as atividades experimentais realizadas por Charles Martin Hall que o levaram à obtenção do alumínio metálico. Por sua vez, constata-se a necessidade de questionamentos sobre os fatores sociais, ambientais e econômicos relacionados à reciclagem do alumínio.

► alumínio, educação CTS, livros didáticos de química ◀

Recebido em 24/06/2018, aceito em 17/11/2018

Os livros didáticos (LD) podem exercer uma forte influência pedagógico-didática na formação de professores ao apontar informações sobre questões sociocientíficas. Sobre o tema “Mineração”, os LD de química podem guiar os docentes nas suas práticas por meio de textos que apresentem os impactos sociais e ambientais causados pelas atividades de extração e beneficiamento dos minérios e, também, pelos efluentes dos processos metalúrgicos. Essa orientação deve ocorrer concomitantemente com o conhecimento científico-tecnológico e a história da ciência e da tecnologia química, pois, segundo Gérard e Roegiers (1998, p. 90), o LD proporciona ao professor uma série de pistas de trabalho aptas a melhorar ou mesmo renovar a prática pedagógica, além de fornecer instrumentos que permitam, no dia a dia, melhorar as aprendizagens.

Para Saviani (2009, p. 151), a formação de professores apresenta um dilema derivado do “confronto entre os dois modelos: aquele centrado nos conteúdos culturais-cognitivos

e aquele referido ao aspecto pedagógico-didático”. O autor pontua que a formação do dilema teve sua origem justamente na dissociação entre os dois modelos no processo de formação de professores. Logicamente, a saída do dilema implica na recuperação da indissociabilidade dos dois modelos. Além disso, os LD poderiam ser tomados como ponto de partida para a reformulação dos cursos de Pedagogia e dos demais cursos de licenciatura. Diante do exposto, ressalta-se a importância da análise de coleções didáticas de química durante o período da graduação e posteriormente, durante a formação continuada de professores.

O tema “Alumínio” tem grande relevância para a educação científica, tecnológica, ambiental e socioeconômica dos cidadãos brasileiros, porque possibilita a abordagem das consequências das atividades das multinacionais em solo brasileiro ligadas ao ramo da mineração. De acordo com o economista francês René Passet (2003, p. 99): “Mais que os outros, os países opulentos [Estados Unidos, Canadá, União Européia, Japão] eximem-se de integrar a seus preços o conjunto dos custos sociais e ambientais porque são responsáveis”. Novaes e Fraga (2010, p. 158) enfatizam que os

A seção “Espaço Aberto” visa abordar questões sobre Educação, de um modo geral, que sejam de interesse dos professores de Química.

Estudos Sociais da Ciência e Tecnologia Latino-americanos: “não podem deixar de questionar a exploração do trabalho e a destruição da natureza por grandes monoculturas, mineradoras, extrativistas, etc”.

Nessa vertente, é de extrema relevância apontar as questões trabalhistas e a gestão ambiental imoral e, para isso, torna-se necessário o envolvimento dos professores das duas áreas: Ciências Humanas e Sociais Aplicadas e Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Esse trabalho em conjunto busca proporcionar questionamentos com maior profundidade sobre os problemas socioambientais e socioeconômicos ligados, neste caso, aos temas globalização e mineração.

Concepção, Metodologia e Corpus de Análise

Sobre a concepção de análise, cabe enfatizar que avaliar não é emitir um juízo de valor sobre as pessoas – no caso, os autores dos LD – mas consiste em reunir as informações e promover um estudo do material textual. Além do mais, seria desastroso e prepotente não levar em consideração o investimento muito importante feito pelos autores dos LD, ou seja, não reconhecer os pontos positivos de seus trabalhos (Gérard e Roegers, 1998, p. 282-283).

Procurar-se-á não se ater somente às “vozes” emitidas pelos livros didáticos, mas também detectar os silêncios. A respeito das possibilidades provenientes do silêncio, Orlandi (2007, p. 68) ressalta que: “O silêncio não é o vazio, ou o sem-sentido; ao contrário, ele é o indício de uma instância significativa. Isso nos leva à compreensão do “vazio” da linguagem como um *horizonte* e não como *falta*”. Ou melhor, revelar-se-á as questões sociocientíficas não tratadas nas coleções didáticas de química aprovadas pelo PNLD 2018, possibilitando assim a formação de um espectro de maior amplitude sobre este tema. Segundo Brooke (1998): “Não é suficiente, no entanto, deter-se nas questões que se referem aos autores e ao que eles escrevem; é necessário também prestar atenção àquilo que eles silenciam, pois se o livro didático é um espelho, pode ser também uma tela”.

Nesta análise, investiga-se nos LD de química “a contextualização referenciada nos aspectos socioculturais, bem como a explicitação das inter-relações entre a Química, a tecnologia, a sociedade e o meio ambiente, ainda que no âmbito da parte diversificada da proposta curricular” (Brasil, 2006, p. 122). Face ao exposto, a linha de análise constitui-se em detectar como os processos Bayer, Hall-Héroult e de reciclagem de alumínio são abordados nos LD de química aprovados pelo PNLD 2018, com seus aspectos históricos, sociais, ambientais, científico-tecnológicos e econômicos. Os livros didáticos de química analisados encontram-se descritos no Quadro 1.

Resultados da Análise sobre o Tema Alumínio

Processo Bayer para Obtenção da Alumina

O LD3 (p. 266) aponta as localizações das reservas de bauxita em solo brasileiro, a saber: “A terceira maior

Quadro 1: Livros Didáticos de Química analisados

Código de Identificação	Referências
LD1	REIS, M. <i>Química: ensino médio</i> , vol. 2. 2ª ed. São Paulo: Ática, 2016.
LD2	MORTIMER, E. F. e MACHADO, A. H. <i>Química: ensino médio</i> , vol. 2. 3ª ed. São Paulo: Scipione, 2016.
LD3	MORTIMER, E. F. e MACHADO, A. H. <i>Química: ensino médio</i> , vol. 3. 3ª ed. São Paulo: Scipione, 2016.
LD4	SANTOS, W. L. P.; MÓL, G. S.; DIB, S. M. F.; MATSUNAGA, R. T.; SANTOS, S. M. O.; CASTRO, E. N. F.; SILVA, G. S. e FARIAS, S. B. <i>Química cidadã</i> , vol. 3. 3ª ed. São Paulo: Ed. AJS, 2016.
LD5	CISCATO, C. A. M.; PEREIRA, L. F.; CHEMELLO, E. e PROTI, P. B. <i>Química: ensino médio</i> , vol. 2. São Paulo: Moderna, 2016.
LD6	LISBOA, J. C. F.; BEZERRA, L. M.; BRUNI, A. T.; NERY, A. L. P.; BIANCO, P. A. G.; LIEGEL, R. M.; ÁVILA, S. G.; YDI, S. J.; LOCATELLI, S. W. e AOKI, V. L. M. <i>Ser protagonista: química</i> , vol. 2. 3ª ed. São Paulo: Edições SM, 2016.

reserva do mundo está localizada na Amazônia. No Brasil, reservas de alumínio podem também ser encontradas na região Sudeste, em Poços de Caldas e Cataguases, cidades de Minas Gerais”. O mapeamento das reservas de bauxita permite a identificação das regiões brasileiras ricas neste minério e, assim, estabelece uma relação com a componente curricular Geografia. Em seguida, é apresentado o processo de mineração da bauxita, que consiste na remoção da vegetação e do solo e beneficiamento do minério (LD3, p. 266). Na sequência, o LD3 informa que “essa etapa envolve a britagem, a lavagem do minério com água para redução do teor de sílica e a secagem. Após esse processo, a bauxita é enviada para uma indústria de produção da **alumina** (Al_2O_3), óxido de alumínio de elevada pureza” (LD3, p. 266).

Os autores iniciam referindo-se ao processo de remoção da vegetação e do solo, comumente conhecido como *lavra*, que consiste na extração do minério propriamente dito. Essa etapa promove uma alteração tanto na flora quanto no relevo, e por isso se torna pertinente formular a seguinte questão: Como são realizadas as etapas de extração e reabilitação do solo? Antes da retirada do minério, a camada superior do solo, entre 10 e 50 cm, é removida e armazenada para uso posterior no processo de recuperação da área lavrada. A bauxita se encontra entre 2 a 10 m de profundidade, e a extração da bauxita é feita por intermédio de retroescavadeiras hidráulicas, permitindo que se explore seletivamente o terreno a diferentes profundidades, visando o melhor aproveitamento possível do minério disponível e menor dano ao solo (Moura *et al.*, 2008, p. 11-12). A reabilitação do solo

é realizada desta forma, pois as bancadas intermediárias construídas para correção do solo e os poços de decantação para controle da erosão permitem um replantio adequado, permitindo a reposição gradual da vegetação, através da inserção de gramíneas, espécies pioneiras e finalmente, a vegetação perene, composta por árvores nativas e nobres (Moura *et al.*, 2008, p. 12). A abordagem sobre a recuperação do solo é importante para a educação ambiental, uma vez que pode levar ao conhecimento dos educandos sobre como deve ser realizada a regeneração das áreas exploradas pelas mineradoras.

No LD3 consta como é realizada a produção da alumina:

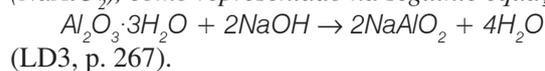
*A primeira etapa desse processo é a moagem do minério. Como o minério utilizado é proveniente de diferentes jazidas, é necessário, inicialmente, fazer um processo de homogeneização, chamado **blendagem**. Assim, o minério que entrará no processo Bayer apresenta, em média, 45% de Al_2O_3 disponível e aproximadamente 4% de sílica reativa (caulinita). Em seguida, a moagem é feita em um moinho de barras. Ao final do processo obtém-se uma pasta moída e com a granulometria ideal para início da digestão. Granulometria é a palavra usada para designar o tamanho médio dos grãos de qualquer material, resultado normalmente de uma moagem, de acordo com faixas pré-estabelecidas de tamanhos de grãos (LD3, p. 266).*

Os autores abordam a etapa inicial da preparação da matéria-prima, sendo também chamada de cominuição, que consiste na redução do tamanho do minério bruto. Segundo Moraes *et al.* (2014, p. 10), são realizadas duas etapas: britagem e moagem. A britagem é a primeira etapa, e atua na faixa granulométrica de tamanhos maiores, do metro ao centímetro. Já na etapa da moagem, “os equipamentos empregados apresentam grande robustez, sendo utilizados normalmente britadores de mandíbulas, de impacto, de rolo dentado, de rolo liso, giratório e, também, cônico”. A moagem atua na faixa granulométrica do centímetro ao micrômetro, sendo utilizados moinhos de meios revolventes, que são cilindros rotativos em que a fragmentação do minério é realizada no seu interior pela ação de corpos moedores tais como bolas, com diâmetro variando entre 2,5 e 7,5 cm, barras ou fragmentos do próprio minério. Os moinhos são fabricados com materiais metálicos, em geral aços especiais e alguns tipos de ferro fundido, cerâmica e com revestimento de borracha (Moraes *et al.*, 2014, p. 10). A moagem pode ser realizada a seco e em circuito aberto ou fechado, e em conjunção com grelhas e peneiras vibratórias (Araújo *et al.*, 2006).

Na continuidade, os autores do LD3 informam sobre a redução do teor de sílica:

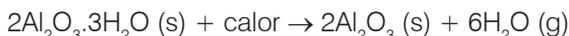
No processo de digestão do minério ocorre a redução do teor de sílica. A reação do minério com hidróxido de sódio concentrado (NaOH) é feita a

uma temperatura de aproximadamente 150 °C. A solução alcalina reage com óxido de alumínio hidratado ($Al_2O_3 \cdot 3H_2O$) e produz o aluminato de sódio ($NaAlO_2$), como representado na seguinte equação:



A temperatura no processo de digestão é informada; porém, a pressão utilizada não é abordada, e segundo Moura *et al.* (2008, p. 14), “as condições em que se processa a digestão (concentração, temperatura e pressão), variam de acordo com as propriedades da bauxita. Plantas modernas comumente operam em temperaturas entre 200 °C e 240 °C e pressão em torno de 30 atm”. Na continuidade do texto, aborda-se o processo de clarificação, no qual “ocorre a remoção dos resíduos sólidos resultantes do processo de digestão da bauxita” (LD3, p. 267). Posteriormente, é informado que “a clarificação do licor é realizada em duas etapas: espessamento e filtração. Na etapa de precipitação, o licor, livre dos resíduos sólidos não solúveis, será reconvertido ao óxido de alumínio hidratado ($Al_2O_3 \cdot 3H_2O$) em uma reação inversa à digestão” (LD3, p. 267).

Para finalizar, os autores informam que “a calcinação é a etapa final para a obtenção da alumina e envolve a transformação do hidrato em uma mistura cristalina de formas alotrópicas de Al_2O_3 ”, na qual “inicialmente, o hidrato recém-chegado da precipitação é lavado e filtrado, seguindo então para secagem e calcinação” (LD3, p. 267). A equação química que representa a reação de calcinação pode ser expressa da seguinte forma, indicando a energia calorífica:



A temperatura para a desidratação dos cristais de óxido de alumínio hidratado é de, aproximadamente, 1000 °C (Moura *et al.*, 2008, p. 15).

No LD3 detecta-se um avanço na área de Educação Científica e Tecnológica, ao delinear as etapas do processo Bayer: é o único dos LD analisados que abordou essa tecnologia, visando o conhecimento sociotecnocultural relacionado à obtenção da alumina.

Impactos Ambientais na Produção da Alumina: Lama Vermelha

Devido às ações antropogênicas, existe a necessidade premente de abordar os impactos socioambientais e socioeconômicos causados pelo processo Bayer. De acordo com Tundisi *et al.* (2014, p. 41): “O rejeito da produção da alumina no processo Bayer, chamada de lama vermelha, apresenta características de alcalinidade e eventualmente de presença de outros elementos químicos que fazem com que a toxicidade seja também uma preocupação importante”. Esse efluente líquido recebe a denominação “lama vermelha” devido à presença de elevado teor de óxidos de ferro não solubilizados. Na tabela de Santos (1989), apresenta-se a composição química da lama vermelha.

Quadro 2: Composição química da lama vermelha. Fonte: P. Santos (1989)

Constituinte	Teor / %	Constituinte	Teor / %
Al ₂ O ₃	17,42	Na ₂ O	3,36
Fe ₂ O ₃	51,65	MgO	0,64
TiO ₂	7,49	CaO	1,78
SiO ₂	4,44		

De acordo com as informações apresentadas no Quadro 2, cerca de 50% da lama vermelha é composta por óxido de ferro III, e “o ferro em altas concentrações pode afetar a saúde humana, pois pode catalisar quimicamente a oxidação de lipídios e outras biomoléculas” (Bast *et al.*, 1991). O LD5 aborda essa questão ambiental por meio do seguinte apontamento:

Após sua produção, o resíduo da purificação da bauxita não pode ser descartado direto no meio ambiente, pois apresenta caráter altamente básico [pH 10 a 13] em razão do hidróxido de sódio usado nessa etapa. Denominado lama vermelha, esse resíduo deve ser acondicionado em grandes reservatórios que requerem cuidados para evitar acidentes. Em 2010, um reservatório na cidade de Ajka, Hungria, rompeu e alagou a cidade, causando diversos transtornos ambientais e financeiros. Acidente similar ocorreu em novembro de 2015 na cidade de Mariana, em Minas Gerais. O rompimento das barragens liberou milhares de litros de resíduos de minério de ferro, água e lama vermelha provenientes de uma mineradora. Esse acidente gerou grandes prejuízos econômicos, sociais e ambientais (LD5, p. 116).

O LD5 aponta os desastres ambientais ligados às atividades de mineradoras, mais especificamente, os crimes ambientais ocorridos em Mariana (MG) e Ajka, na Hungria. Cita também uma propriedade química da lama vermelha. Kuhn (2013, p. 195) chama a atenção para o fato de que

“antes da revolução química, uma das tarefas reconhecidas da química consistia em explicar as qualidades [propriedades] das substâncias químicas e as mudanças experimentadas por essas substâncias durante as reações”.

Nessa vertente, o rejeito industrial se constitui num grave problema ambiental. Por exemplo, de acordo com o Relatório de Acidentes Ambientais 2009 do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) (Brasil, 2010, p. 19-20), houve um grave sinistro, no dia 27 de abril de 2009, envolvendo o efluente líquido citado, proveniente da empresa ALUNORTE, multinacional japonesa, localizada no município de Barcarena, região metropolitana de Belém, PA. Naquela ocasião, ocorreu o transbordamento da bacia de rejeitos, causando o lançamento de rejeitos industriais no rio Murucupi (Figura 1).

O rio Murucupi tem grande importância para as comunidades ribeirinhas, pois suas águas “são destinadas tanto para abastecimento urbano, das cidades de Barcarena e Vila do Conde (PA), onde se faz tratamento convencional, quanto para suprir as necessidades de populações ribeirinhas” (Pereira *et al.*, 2007, p. 64).

Sobre a atuação das multinacionais, o renomado geógrafo brasileiro Milton Santos (2013, p. 68) denuncia que: “Um pequeno número de grandes empresas que se instala acarreta para a sociedade como um todo um pesado processo de desequilíbrio”. Logo surgem cenas de descaso para com as necessidades dessas comunidades locais e, assim, a pobreza passa a ser algo natural e banal. Quando as empresas e instituições são revestidas pelo manto do poder econômico, Santos (2013, p. 80) explica que: “o dinheiro usurpa em seu favor as perspectivas de fluidez do território, buscando conformar sob seu comando as outras atividades”. Peremptoriamente, o Estado precisa ter “uma vontade política interior, capaz de evitar que a influência dos ditos fatores [informação midiática e finança] seja absoluta” (Santos, 2013, p. 77).

Na contramão daquela tendência imoral, as empresas produtoras de alumina podem optar por outros métodos modernos de disposição da lama vermelha, a saber: tratamentos conhecidos como “secos” ou “semi-secos” (Moura *et al.*, 2008, p. 18). A implantação da Tecnologia Social¹



Figura 1: Detalhes do local de transbordo da bacia de rejeito da empresa ALUNORTE e o ponto de lançamento no rio Murucupi (Belém, PA). Fonte: Brasil, 2010.

busca a minimização dos impactos sociais e ambientais sobre a sociedade e a Natureza, e também, procura uma distribuição mais igualitária dos rendimentos econômicos oriundos das atividades antropogênicas. Pinto (2005) alude a necessidade da apropriação de tecnologias alternativas no seguinte apontamento:

Se a técnica rege com exclusividade o curso das transformações sociais e se tão somente ela fornece os meios para erradicar os males que provoca, não podemos apelar senão para ela, a fim de ver concretizados os bons sentimentos que nos animam e os nobres desejos de melhorar a sorte de nossos semelhantes (p. 231).

As tecnologias de tratamento de efluentes eficientes surgem como meios de proteção ao meio ambiente e, dessa forma, a implementação da Tecnologia Social somada à firme ação fiscalizadora do Estado e à participação crítica da sociedade em questões ambientais podem ser os catalisadores para a preservação da fauna, da flora, dos recursos hídricos, da atmosfera terrestre e da manutenção da qualidade de vida das comunidades locais.

A História do Processo Hall-Hérault

Santos e Schnetzler (2003, p. 69) salientam “a necessidade de o aluno adquirir conhecimentos básicos sobre filosofia e história da ciência [e da tecnologia], para compreender as potencialidades e limitações do conhecimento científico [e tecnológico]”. Face ao exposto, outro foco desta análise se refere à abordagem da História da Ciência e da Tecnologia Química (HCTQ), porquanto o surgimento e o desenvolvimento das tecnologias para a obtenção de materiais metálicos estão intrinsecamente ligados a fatores sociohistóricos.

A literatura aponta que o alumínio foi obtido, pela primeira vez, em 1825, pelo dinamarquês Hans Christian Oersted, em cujo laboratório, ao estudar a ação da corrente elétrica, procurou isolar o alumínio a partir da alumina, Al_2O_3 . A partir desta, preparou o cloreto de alumínio, $AlCl_3$ que, ao ser tratado com um amálgama de potássio (liga de potássio e mercúrio), possibilitou a obtenção de um amálgama de alumínio. “Por aquecimento, esta liga foi decomposta nos seus constituintes: mercúrio e alumínio. Assim, o mercúrio foi evaporado e o alumínio metálico foi obtido como resíduo desta destilação” (Peixoto, 2001). Segundo Jaffe (1960), outro cientista que trabalhou na obtenção do alumínio foi o químico alemão Friedrich Wöhler:

Wöhler montou um famoso laboratório em Göttingen [Alemanha]. Foi um dos primeiros grandes laboratórios de ensino do mundo. Sua fama como químico e professor se espalharam pela Europa. De todos os países, estudantes foram arrebanhados por ele, tendo seu laboratório se transformado num verdadeiro enxame, movimentado dia e noite. Dos Estados Unidos veio James Curtis Booth, seu primeiro

estudante americano, e também o professor Frank F. Jewett, do Oberlin College [Ohio], que trouxe de volta [para os Estados Unidos] a história da descoberta, por seu mestre [em 1827], de um metal leve e prateado: o alumínio. Jewett falava, para suas classes, desse estranho metal que ninguém conseguira, até então, obter de modo barato, embora fosse de grande abundância nas rochas do planeta. Um dia, quando ele [professor Jewett] fazia comentários sobre a fortuna que aguardava o homem que conseguisse desenvolver um método simples para extrair alumínio, um de seus alunos deu um cutucão nas costelas de um jovem colega de classe, Charles Martin Hall. “Eu vou em busca desse metal”, disse Hall, que, em 23 de fevereiro de 1886, entregou a Jewett um pedaço do metal brilhante. O processo de Hall foi patenteado naquele ano. Este foi o início da enorme indústria de alumínio da América, os produtores de mais de um milhão de toneladas de alumínio por ano (p. 117, tradução do autor).

De acordo com as últimas citações, observa-se que Oersted e Wöhler estiveram entre os pioneiros na obtenção do alumínio metálico e, assim, o legado de ambos pode ser levado em consideração durante a abordagem do processo Hall-Hérault. Sobre a influência da sociedade de determinada época nas ações dos cientistas, Pinto (2005, p. 284) faz a seguinte observação: “Se a técnica tem de ser sempre a ação de alguém, esse ‘alguém’ acha-se situado no tempo e no espaço, portanto num âmbito social definido, que necessita descobri-la e aplicá-la para fins que lhe são essenciais”. Nessa direção, o momento histórico era favorável para a invenção de uma nova técnica, neste caso, alcançada pelos jovens cientistas Hall e Hérault.

O LD3 (p. 268) apresenta o momento histórico e os jovens cientistas descobridores da redução eletrolítica da alumina; contudo, o contexto social da época ou, em outras palavras, as motivações, os desafios técnico-científicos e a questão socioeconômica se encontram silenciadas. Por sua vez, o LD1 cita o trabalho de Wöhler e, na continuidade, informa sobre as atividades experimentais que levaram Hall ao desenvolvimento de uma nova técnica:

Hall desconfiou de que poderia alcançar esse objetivo usando a eletricidade e também de que seria necessário encontrar um fundente para a bauxita (o composto mais abundante de alumínio).

Construiu uma bateria improvisada e testou várias substâncias como fundente até que chegou à criolita, Na_3AlF_6 (s).

Aqueceu a criolita até a fusão e, em seguida, adicionou a bauxita e percebeu que ela se dissolveu facilmente.

Hall ligou a bateria, de modo que a corrente elétrica atravessasse a mistura, e observou o alumínio metálico se acumulando ao redor do eletrodo nega-

tivo da bateria. Tão logo o metal esfriou o suficiente para poder ser segurado nas mãos, Hall correu para mostrá-lo ao professor Jewett.

Consta que, poucos meses depois, um jovem francês chamado Paul L. T. Héroult (1863-1914), também com 22 anos, desenvolveu o mesmo processo eletrolítico para a obtenção de alumínio (sem nunca ter ouvido falar do trabalho de Hall) (LD1, p. 268).

Com essa abordagem, o LD1 apresenta a “luta” que Hall travou para resolver o desafio técnico, e desse modo demonstra um avanço no ensino da HCTQ. Ao delinear a sequência experimental desenvolvida por Hall, o LD1 expõe os esforços realizados para o desenvolvimento de uma nova técnica visando a resolução de um problema científico-tecnológico. Kuhn (2013, p. 183) retrata bem esse embate na solução de um problema técnico-científico: “O homem que luta para resolver um problema definido pelo conhecimento e pela técnica existente não se limita simplesmente a olhar à sua volta. Sabe o que quer alcançar; concebe seus instrumentos e dirige seus pensamentos de acordo com seus objetivos”.

A abordagem estrategicamente estruturada da HCTQ nos livros didáticos de química pode impulsionar o conhecimento dos fatores socioeconômicos, científico-tecnológicos e socioambientais que levaram à gênese ou ao aperfeiçoamento de novas técnicas, caracterizando-a como essencial no processo de ensino-aprendizagem.

Os livros didáticos LD1, LD5 e LD6 apontam que a alta temperatura de fusão da alumina, aproximadamente 2000 °C, representava um problema técnico, para o qual a solução encontrada foi a adição do fundente denominado criolita. Isso permitiu a obtenção de alumínio metálico por via eletrolítica em temperaturas próximas a 1000 °C, uma diminuição bastante significativa e que reduziu muito o custo de produção do alumínio. Os LD de química citados, ao apontarem o fator econômico e o desafio científico-tecnológico relacionado à alta temperatura de fusão da alumina, apresentam outro progresso na abordagem da HCTQ, pois é relevante enfatizar que o desenvolvimento de novas tecnologias químicas se encontra intimamente ligada à resolução de problemas técnicos, econômicos e socioambientais.

Um Processo Metalúrgico: Processo Hall-Héroult

Com relação ao processo Hall-Héroult, para redução da alumina, encontram-se nos livros didáticos LD1, LD3, LD5 e LD6 informações tecnológicas tais como: que as barras de grafita agem como pólos positivos (anodo), e que o recipiente de aço atua como pólo negativo (catodo). O LD5 (p. 152) apresenta a reação da criolita, mineral raro composto basicamente por hexafluoraluminato (III) de sódio, Na₃AlF₆, com a alumina, formando uma mistura líquida, a partir das equações químicas apresentadas no Quadro 3.

As semirreações de oxidação e redução, representadas no Quadro 3, explicitam o meio reativo no qual ocorre a produção de alumínio metálico nas células eletrolíticas, detalhando as transformações químicas que ocorrem no sistema industrial.

Ainda sobre a produção de alumínio metálico, o LD2 aponta o estresse sofrido pelas comunidades locais devido à atuação das

indústrias de alumínio:

A instalação de fábricas de alumínio acarreta várias transformações nas regiões próximas e configura uma situação de risco para os seres vivos. O processo de produção demanda muita energia e libera, para a atmosfera, compostos de flúor (provenientes da criolita), além de outros compostos danosos à saúde humana. Atingidas por materiais particulados que ficam em suspensão no ar, as folhas das vegetações ficam queimadas e a qualidade do ar é prejudicada (LD2, p. 233).

O LD2 apresenta um avanço sobre questões socioambientais envolvendo o processo Hall-Héroult, ao apontar os efluentes gasosos contendo flúor, juntamente com os impactos à flora, à atmosfera e à saúde humana. No entanto, considera-se que a melhor sequência didática resulta na inclusão dessas informações no LD3, na abordagem do processo Hall-Héroult.

O LD3 (p. 269) traz, ainda, um importante dado sobre o gasto energético do processo Hall-Héroult: “A demanda de energia elétrica para produção de alumínio é alta, em torno de 13000 kWh/t, sendo o processo metalúrgico que mais demanda energia”. De acordo com os PCNs+ Ensino Médio – Orientações Educacionais Complementares aos

A abordagem estrategicamente estruturada da HCTQ nos livros didáticos de química pode impulsionar o conhecimento dos fatores socioeconômicos, científico-tecnológicos e socioambientais que levaram à gênese ou ao aperfeiçoamento de novas técnicas, caracterizando-a como essencial no processo de ensino-aprendizagem.

Quadro 3: Equações químicas da reação da criolita com a alumina no processo Hall-Héroult (LD5, p. 153)

Reação da alumina com a criolita	$2\text{Al}_2\text{O}_3 (\text{s}) + 8[\text{AlF}_6]^{3-} (\ell) \rightarrow 6[\text{Al}_2\text{OF}_6]^{2-} (\ell) + 12\text{F}^- (\ell)$
Semirreação de oxidação	$6[\text{Al}_2\text{OF}_6]^{2-} (\ell) + 36\text{F}^- (\ell) + 3\text{C} (\text{s}) \rightarrow 12[\text{AlF}_6]^{3-} (\ell) + 3\text{CO}_2 (\text{g}) + 12\text{e}^-$
Semirreação de redução	$4[\text{AlF}_6]^{3-} (\ell) + 12\text{e}^- \rightarrow 4\text{Al} (\text{s}) + 24\text{F}^- (\ell)$
Reação global	$2\text{Al}_2\text{O}_3 (\text{s}) + 3\text{C} (\text{s}) \rightarrow 4\text{Al} (\text{s}) + 3\text{CO}_2 (\text{g})$

Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias (Brasil, 2002, p. 110): “Como em todo processo industrial, são fundamentais o cálculo de rendimento e custo dos processos envolvidos e a avaliação dos riscos operacionais e ambientais”.

Reciclagem do Alumínio

O LD3 (p. 270) aborda as etapas do processo de obtenção do alumínio reciclado revelando um avanço na área tecnológica. O LD3 (p. 270) cita que “o Brasil lidera a reciclagem de latas de alumínio [97,9%], entre os países onde essa atividade não é obrigatória por lei”. Em seguida, apresenta um gráfico no qual mostra a evolução da reciclagem de alumínio em alguns países, de 1996 até 2005, e apresenta o Brasil como líder mundial, chegando próximo a 100%. Na sequência, aponta os benefícios provenientes do processo de reciclagem do alumínio: “A reciclagem do alumínio representa vantagens. Economiza recursos naturais, energia elétrica – no processo, consomem-se apenas 5% da energia necessária para produção do alumínio primário, além de oferecer ganhos sociais e econômicos” (LD3, p. 271). No entanto, alguns questionamentos podem ser feitos: Qual é a dimensão da economia dos recursos naturais, neste caso, da bauxita? Layrargues (2011) promove o seguinte tratamento estatístico sobre a redução da extração de bauxita:

Mas se o argumento refere-se ao panorama de esgotamento da bauxita, devemos observar a influência da reciclagem em suas reservas mundiais. Se cada tonelada de alumínio reciclado poupa cinco toneladas de bauxita, as 86.409 toneladas de latas de alumínio recicladas no Brasil em 1999 permitiram a economia de 432.045 toneladas de bauxita, o que significa que 0,0179% das reservas brasileiras [2,4 bilhões de toneladas de bauxita] e 0,0138% das reservas mundiais [31 bilhões de toneladas de bauxita] foram poupadas. Na verdade, esses números não se revelam muito expressivos, pois são estatisticamente insignificantes (p. 199).

Layrargues (2011, p. 200) ressalta que “se 100% das latas de alumínio fossem recicladas no Brasil, teríamos 118.368 toneladas de alumínio reinseridas no processo produtivo, de forma que 591.842 toneladas de bauxita seriam poupadas, ou seja, 0,019% das reservas mundiais desse minério seriam economizadas no ano de 1999”. O LD1 (p. 271) caminha na mesma direção ao informar que não houve redução da extração de bauxita no Brasil, “uma atividade que causa um intenso impacto ambiental porque a demanda mundial por alumina e alumínio metálico destinado às mais diversas aplicações continua crescendo vertiginosamente”. O LD1 permite uma discussão mais aprofundada durante o processo de ensino-aprendizagem sobre a premissa da economia de recursos naturais.

Layrargues (2011, p. 201) faz o seguinte questionamento sobre a reciclagem focada no alumínio: “Dados de 1992

apontam que algumas jazidas minerais têm menos de um século de vida.² Por que então a preocupação com a reciclagem focalizada no alumínio, se outros metais vitais para a civilização industrial possuem longevidade expressivamente inferior?”. Assim, outra pergunta que precisa ser colocada é: Quem é o grande beneficiado pela economia de energia elétrica e ganhos econômicos? A empresa *Reynolds Latasa*, multinacional norte-americana pioneira em reciclagem de alumínio, divulga que a reciclagem de alumínio promove a economia de 95% de energia elétrica. Contudo, Ramos (1982) observa que, embora existam aspectos ambientais importantes na reciclagem de alumínio, o motivo principal é o ganho econômico, pois o processo para obtenção de alumínio metálico demanda grande quantidade de energia elétrica. Calderoni (1998) admite que, apesar dos ganhos econômicos dos catadores e sucateiros oriundos da reciclagem das latas de alumínio, sua pesquisa, realizada no município de São Paulo, indica a má distribuição dos rendimentos econômicos, indicada pelo Quadro 4.

Quadro 4: Ganhos percentuais e numéricos do processo de reciclagem de alumínio no município de São Paulo. Fonte: Calderoni (1998)

Segmentos da sociedade	Porcentagens / % (e rendimentos / R\$)
Indústria da reciclagem	66 (215 milhões)
Catadores	13 (43 milhões)
Prefeitura de São Paulo	11 (36 milhões)
Sucateiros	10 (32 milhões)

As informações do Quadro 4 revelam o favorecimento das empresas ligadas à reciclagem de alumínio às custas da exploração laboral, especificamente, dos sucateiros/catadores. Assim, durante o processo de ensino-aprendizagem é possível expor os reais interesses econômicos e ambientais da empresa *Reynolds Latasa*, proporcionando um debate mais amplo sobre o significado ideológico da reciclagem das latas de alumínio.

Layrargues (2011, p. 204) ainda chama a atenção para os dividendos sociais, pois “os sucateiros e catadores atuam como operários terceirizados da indústria da reciclagem, desprovidos de quaisquer benefícios trabalhistas”. Nessa direção, o LD4 aponta para questões sociais envolvendo a reciclagem de materiais metálicos:

A riqueza dos metais custa caro para muitos, e a indústria que surge em torno do processo de reciclagem ainda se dá, em nosso país, a partir do trabalho em condições desumanas de catadores de lixo, que envolve crianças e adolescentes. Enfim, enquanto não mudamos o modelo de desenvolvimento, os benefícios advindos do desenvolvimento científico e tecnológico vão continuar concentrados nas mãos de poucos (LD4, p. 188).

O LD4 leva em consideração as péssimas condições de trabalho de jovens e crianças, promovendo a aproximação entre o Ensino de Química e questões sociais. Cabe enfatizar, que os estudos sociais sobre a reciclagem do alumínio podem ser aprofundados, a partir de um trabalho em conjunto com a componente curricular Sociologia.

Considerações Finais

Diante dos resultados desta investigação, considera-se que o LD3 apresenta a melhor sequência didática, ao informar sobre os processos Bayer, Hall-Héroult e de reciclagem do alumínio, o que representa um avanço no Ensino de Química, salvo as considerações realizadas ao longo deste artigo. Em relação à educação ambiental, são detectados avanços nos livros didáticos LD2 e LD5; contudo, os impactos sociais, ambientais e econômicos causados pela lama vermelha podem ser mais explorados por meio de debates de maior amplitude durante o processo de ensino-aprendizagem. Além disso, deve ser enfatizada a necessidade da recuperação do solo após a extração da bauxita.

Por sua vez, foram observados avanços sobre a HCTQ nos livros didáticos de química citados, ao apontarem os fatores técnicos e socioeconômicos sobre o processo Hall-Héroult. Especialmente o LD1, que delinea as atividades experimentais realizadas por Charles Martin Hall que o levaram à resolução do problema técnico-científico, a saber, a alta temperatura de fusão da alumina (2062 °C).

Sobre as transformações químicas, o LD5 apresenta uma abordagem profícua ao apresentar as equações químicas relacionadas à reação da alumina com a criolita fundida, que ocorre nas cubas eletrolíticas para produção do alumínio metálico. Pois, durante o processo de ensino-aprendizagem

sobre a ciência dos materiais metálicos, se deve ter como um dos focos as transformações químicas ocorridas nos processos metalúrgicos.

Para finalizar, o tema “Alumínio” propicia o estabelecimento de relações com as componentes curriculares Geografia e Sociologia, sendo possível abordar os efeitos perversos da globalização,³ como a destruição da Natureza, as condições inadequadas de trabalho e a distribuição desigual dos rendimentos econômicos.

Notas

¹De acordo com Renato Dagnino (2010, p. 255), os Estudos Sociais de Ciência e Tecnologia Latino-americanos defendem a apropriação da Tecnologia Social, que consiste na “difusão dos frutos do progresso científico e tecnológico para a sociedade ou para os cidadãos para, assim, contribuir para a adoção de um estilo de desenvolvimento alternativo caracterizado por maior equidade econômica, justiça social e sustentabilidade ambiental”.

²São aproximadamente 222 anos para o alumínio, 161 anos para o minério de ferro, 51 anos para o níquel, 45 para o estanho, 43 para o mercúrio, 33 para o cobre, 20 para o zinco e 18 para o chumbo (Penna, 1999, p. 166).

³O estudo do trabalho do geógrafo brasileiro Milton Santos (2013) permite uma compreensão da grande perversidade na produção da globalização atual.

André Ricardo Toquetto (andretoquetto@hotmail.com), licenciado em Química pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), é mestre em Educação Científica e Tecnológica pela UFSC e atualmente é professor efetivo de Química na rede estadual de ensino no estado de Santa Catarina, em Florianópolis. Florianópolis, SC – BR.

Referências

ARAÚJO, A. C.; PERES, A. E. C. e VIANA, P. R. M. Pesquisa e desenvolvimento em flotação. In: CHAVES, A. P. (Org.). *Teoria e prática do tratamento de minérios – flotação, o estado da arte no Brasil*. São Paulo: Signus, 2006.

BAST, A.; HAENEN, G. R. M. M. e DOELMAN, C. J. A. Oxidants and antioxidants: state of the art. *The American Journal of Medicine*, v. 91, p. 3C-25-3C-135, 1991.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). *Relatórios de acidentes ambientais 2009*. Brasília: MMA, 2010.

_____. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. *Orientações curriculares para o ensino médio – ciências da natureza, matemática e suas tecnologias*. Brasília: MEC, 2006.

_____. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *PCNs+ Ensino médio: orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais. Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias*. Brasília: MEC, 2002.

BROOKE, J. H. Textbooks and the history of science. *Paradigm*, v. 25, p. 35-37, 1998.

CALDERONI, S. *Os bilhões perdidos no lixo*. 2ª ed. São Paulo: Humanitas, 1998.

CISCATO, C. A. M.; PEREIRA, L. F.; CHEMELLO, E. e PROTI, P. B. *Química: ensino médio, vol. 2*. São Paulo: Moderna, 2016.

DAGNINO, R. Um dilema latino-americano: ciência e tecnologia para a sociedade ou adequação socio-técnica com o povo? In: DAGNINO, R. (Org.). *Estudos sociais da ciência e tecnologia e política de ciência e tecnologia: abordagens alternativas para uma nova América Latina*. Campina Grande: EDUEPB, 2010, p. 253-279.

GÉRARD, F. M. e ROEGIERS, X. *Conceber e avaliar manuais escolares*. Porto: Porto Editora, 1998.

JAFFE, B. *Crucibles: the story of chemistry*. 2ª ed. New York: Fawcett World Library, 1960.

KUHN, T. S. *A estrutura das revoluções científicas*. Trad. B. V. Boeira e N. Boeira. 12ª ed. São Paulo: Perspectiva, 2013.

LAYRARGUES, P. P. O cinismo da reciclagem: o significado ideológico da reciclagem da lata de alumínio e suas implicações para a educação ambiental. In: LOUREIRO, C. F. B.; LAYRARGUES, P. P. e CASTRO, R. S. (Orgs.). *Educação ambiental: repensando o espaço da cidadania*. 5ª ed. São Paulo: Cortez, 2011, p. 185-225.

LISBOA, J. C. F.; BEZERRA, L. M.; BRUNI, A. T.; NERY, A. L. P.; BIANCO, P. A. G.; LIEGEL, R. M.; ÁVILA, S. G.; YDI,

S. J.; LOCATELLI, S. W. e AOKI, V. L. M. *Ser protagonista: química*, vol. 2. 3ª ed. São Paulo: Edições SM, 2016.

MORAIS, C. A.; ALBUQUERQUE, R. O. e LADEIRA, A. C. Q. Processos físicos e químicos utilizados na indústria mineral. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, n. 8, p. 9-17, 2014.

MORTIMER, E. F. e MACHADO, A. H. *Química: ensino médio*, vols. 2 e 3. 3ª ed. São Paulo: Scipione, 2016.

MOURA, A. R. S.; FERREIRA, E. H. F.; FUKUSHIMA, F. H.; ARAÚJO NETO, T. M.; MOUTINHO, T. M. P. e COSTA, T. V. *Processo de obtenção do alumínio*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Pará, Belém, 2008. Disponível em <https://www.ambienteporinteiro.com/news/aluminio-ocorrencia-obtencao-industrial-propriedades-e-utilizacao/>, acessado em Junho 2019.

NOVAES, H. T. e FRAGA, L. Por um novo desenvolvimento na América Latina. In: DAGNINO, R. (Org.). *Estudos sociais da ciência e tecnologia e política de ciência e tecnologia: abordagens alternativas para uma nova América Latina*. Campina Grande: EDUEPB, 2010.

ORLANDI, E. P. *As formas do silêncio: no movimento dos sentidos*. 6ª ed. Campinas: Editora da Unicamp, 2007.

PASSET, R. *Elogio da globalização: por um contestador assumido*. Rio de Janeiro: Record, 2003.

PEIXOTO, E. M. A. Alumínio. *Química Nova na Escola*, n. 13, terceira capa, 2001.

PENNA, C. G. *O estado do planeta: sociedade de consumo e degradação ambiental*. Rio de Janeiro: Record, 1999.

PEREIRA, S. F.; LIMA, M. A.; FREITAS, K. H.; MESCOUTO, C. S. e SARAIVA, A. F. Estudo químico ambiental do rio Murucupi – Barcarena, PA, Brasil, área impactada pela produção de alumínio. *Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 2, n. 3, p. 62-82, 2007.

PINTO, A. V. *O conceito de tecnologia*, vol. 1. Rio de Janeiro: Contraponto, 2005.

RAMOS, C. R. Perfil analítico do alumínio. *Boletim do DNPM*, n. 55, 1982.

REIS, M. *Química: ensino médio*, vol. 2. 2ª ed. São Paulo: Ática, 2016.

SANTOS, M. *Por uma outra globalização: do pensamento único à consciência universal*. 23ª ed. Rio de Janeiro: Record, 2013.

SANTOS, P. *Ciência e tecnologia de argilas*, vol. 1. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1989.

SANTOS, W. L. P. e SCHNETZLER, R. *Educação em química: compromisso com a cidadania*. 3ª ed. Ijuí: Ed. Unijuí, 2003.

_____; MÓL, G. S.; DIB, S. M. F.; MATSUNAGA, R. T.; SANTOS, S. M. O.; CASTRO, E. N. F.; SILVA, G. S. e FARIAS, S. B. *Química cidadã*, vol. 3. 3ª ed. São Paulo: Ed. AJS, 2016.

SAVIANI, D. Formação de professores: aspectos históricos e teóricos do problema no contexto brasileiro. *Revista Brasileira de Educação*, v. 14, n. 40, p. 143-155, 2009.

TUNDISI, J. G.; DUARTE, H. A.; CIMINELLI, V. S. T. e BARBOSA, F. A. R. Recursos minerais, água e biodiversidade. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, n. 8, p. 39-45, 2014.

Abstract: “Aluminum” in the PNL D 2018 Collections: An Analysis According to STS Education. This article aims to analyze how the theme “Aluminum” is approached in chemistry textbook collections approved by the 2018 National Program of Textbooks (PNLD), considering the Science, Technology and Society (STS) triad. This research has a qualitative character, investigating historical, social, environmental, economic and scientific-technological aspects related to the obtaining and recycling of aluminum included in chemistry textbooks. Our analysis shows that only one textbook addresses the two processes used to obtain metallic aluminum from bauxite: Bayer and Hall-Héroult processes. In addition, the textbook informs which are the Brazilian regions rich in bauxite and also provides information on the process of recycling aluminum. Another textbook mentions the social, economic and environmental impacts of the liquid effluent called “red mud” and also innovates in reporting the reaction of alumina with cryolite in the Hall-Héroult process. Concerning the history of chemical science and technology, another textbook mentions the experimental activities carried out by Charles Martin Hall which led him to obtain metallic aluminum. In turn, it is necessary to question the social, environmental and economic factors related to aluminum recycling.

Keywords: aluminum, STS education, chemistry textbooks