



O Lixo Eletroeletrônico: Uma Abordagem para o Ensino Fundamental e Médio

Rafael da Silva Oliveira, Elisa Silva Gomes e Júlio Carlos Afonso

Este trabalho apresenta um dos maiores desafios da sociedade moderna: a gestão do lixo eletroeletrônico, cuja geração cresce a uma velocidade impressionante sem que muitos percebam esse fato. A partir do desmonte de equipamentos usados, os alunos percebem a complexidade que está por trás da montagem de um equipamento eletroeletrônico, obtido por meio da junção de diferentes materiais que constituem seus componentes. Uma das etapas de gestão desse tipo de lixo é a desmontagem e separação de componentes por métodos físicos. A solução para o problema do lixo eletrônico passa também pela mudança de mentalidade do consumidor, visando ao consumo consciente.

► lixo eletroeletrônico, lixo tecnológico, consumo consciente, reciclagem ◀

240

Recebido em 23/11/09, aceito em 05/10/10

Introdução

O lixo eletroeletrônico (e-waste ou *waste of electrical and electronic equipment* – WEEE) é mais um desafio que se soma a outros inúmeros problemas ambientais hoje enfrentados pela humanidade. Resultado do consumo crescente de equipamentos eletroeletrônicos (EEE), as consequências desse consumo dificilmente são refletidas pelos consumidores, os quais se preocupam basicamente com a satisfação de suas necessidades imediatas. Afinal, esses produtos são sinônimo de melhoria da qualidade de vida. A explosão da indústria da informação é uma das forças motoras da sociedade contemporânea, disponibilizando ferramentas para rápidos avanços na economia e no desenvolvimento social. Existe uma constante busca de informações em tempo real, dada a imensa esfera de dinamismo em que o mundo globalizado de hoje está envolvido.

Tudo isso também representa um fascínio e uma atração irresistível para os jovens, e a interação com as novas tecnologias propicia maiores oportunidades e benefícios, segundo o relatório *Making new technologies work for human development* do Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas (PNUD), publicado em 2001¹. Em 2007, o comércio de EEE para comunicação chegou a US\$ 1,37 trilhão (Ogunseitan e cols., 2009).

Celulares, aparelhos de som e computadores são exemplos típicos em que ocorre o lançamento constante de novas versões. Há logo o desejo por parte de muitos usuários de substituir os equipamentos antigos pelos mais recentes. Face ao constante avanço da tecnologia, a vida útil dos EEE está cada vez menor. Nos países desenvolvidos, essa vida útil caiu de seis para apenas dois anos entre 1997 e 2005 (Khetriwal e cols., 2009).

Um mercado que cresce a taxas expressivas

Os números da obsolescência dos EEE são impressionantes. Estimativas mostram que, no ritmo atual, em 2010, haverá 600 milhões de computadores obsoletos só nos EUA. Considerando o resto do mundo, esse número ultrapassa três bilhões (Frota Neto e cols., 2008). A cada ano, 1,5 bilhão de celulares são substituídos. Resultado: a produção de lixo eletroeletrônico aumenta em 50 milhões de toneladas/ano hoje. Até 2010, segundo a ONU, o número deve subir para 150 milhões de toneladas anuais (Wagner, 2009). O lixo eletroeletrônico cresce a uma velocidade três a cinco vezes maior que a do lixo urbano.

A insustentabilidade ambiental do ciclo de consumo dos EEE

Do ponto de vista ambiental, a produção cada vez maior e mais rápida de novos EEE traz dois grandes riscos: o elevado consumo dos recursos naturais empregados na fabricação destes e a destinação

A seção "Relatos de sala de aula" socializa experiências e construções vivenciadas nas aulas de Química ou a elas relacionadas.

final inadequada. Estudos mostram que, para se fazer um computador novo e seu monitor, são necessários cerca de duas toneladas de insumos (combustível, matéria-prima e, principalmente, água). Um simples chip eletrônico, menor que a unha de um dedo mínimo, exige 72 g de substâncias químicas e 32 L de água para ser produzido. Já a fabricação de um carro ou de uma geladeira consome o dobro de sua massa em recursos naturais (United Nations University, 2004). Por isso, o primeiro grande impacto do lixo eletroeletrônico não é o seu descarte, mas sim a extração dos insumos necessários à sua fabricação. Dados de caracterização química mostram que até cerca de 60 elementos da Tabela Periódica se acham presentes nos computadores atuais, alguns bastante tóxicos aos seres vivos (Tabela 1 – Artoni, 2007; United Nations University, 2004).

A má gestão do lixo eletrônico

O que fazer com os EEE de versões antigas? Atitudes como o *upgrade* e a doação a organizações não governamentais (ONGs) para fins de inclusão digital são meritórias, mas na prática apenas adiam o problema: um dia o EEE antigo vai virar lixo.

Esse fato assume proporções preocupantes, particularmente porque os países desenvolvidos, burlando os termos da Convenção de Basileia, que regulamenta o transporte transfronteiriço de resíduos (os EUA não são signatários dessa Convenção), exportam lixo eletroeletrônico para países da África e da Ásia, numa

pretensão “inclusão digital” ou para fins de “alimentar a indústria recicladora dessas regiões”, com resultados danosos para a saúde das pessoas que lidam com esse material e para o meio ambiente, segundo relatório da Basel Action Network, organização suíça, divulgado em 2005, e em trabalhos da literatura, em especial na China (Ogunseitan e cols., 2009; Jun-Hui e Hang, 2009; Xing e cols., 2009). A queima de EEE libera metais pesados como chumbo, cádmio e mercúrio na atmosfera, em forma de cinzas, e ainda substâncias tóxicas e cancerígenas como as dioxinas (Artoni, 2007). Mesmo quando não incinerados, os elementos tóxicos presentes nos EEE difundem-se no solo com o tempo, afetando assim o ambiente e as comunidades nos arredores (Ogunseitan e cols., 2009; Iakovou e cols., 2009). Na Ásia, a legislação ambiental é fraca ou mesmo inexistente, e a fiscalização é precária, o que facilita a recepção dos EEE usados do primeiro mundo.

A difusão dos novos televisores de plasma e LCD (visor de cristal líquido – *liquid crystal display*) produz uma expectativa crítica em curto prazo: com o fim da transmissão analógica em 2016 no Brasil, teremos dezenas de milhões de televisores feitos com tubos de raios catódicos (que contêm chumbo) sem utilidade. O fim do sinal analógico nos Estados Unidos em junho de 2009 fez com que cerca de três milhões de televisores perdessem sua utilidade.

Na prática, a maior parte dos EEE

vai para lixões ou em aterros sanitários como resíduos urbanos comuns. Isso ocorre por falta de políticas e leis que determinem o descarte e tratamento ideais para esses resíduos e a falta de incentivo para a prática da reciclagem. Por isso, o lixo eletroeletrônico é duplamente nocivo ao meio ambiente: tanto ao ser produzido quanto ao ser descartado. Cerca de 70% dos metais pesados dos aterros norte-americanos provêm de lixo eletroeletrônico (Yanakiew, 2005), sendo que cerca de 40% em massa do chumbo encontrado nos aterros daquele país é proveniente dos EEE.

Situação do Brasil

Nosso país é hoje o 5º maior mercado mundial de Internet e de telefonia celular (Chade, 2009). Chegamos a mais de 190 milhões de aparelhos celulares habilitados e a mais de 50 milhões de pessoas com acesso à Internet em setembro de 2010. Por outro lado, o mercado brasileiro de informática cresce a uma taxa de 20-25% ao ano, superior à média mundial (Yanakiew, 2005).

Em 2008, foram geradas 149,2 mil toneladas de lixo eletroeletrônico no Brasil (Viktor, 2009). Cerca de 90% vão parar em terrenos baldios, lixões e outros destinos inadequados. Estima-se que cerca de um milhão de computadores sejam descartados no país por ano (Spitzcovsky, 2009).

No Brasil, não há uma regulamentação específica para o lixo eletroeletrônico em nível federal. Contudo, a Lei 12305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos), recentemente

Tabela 1: Elementos tóxicos presentes em diversas partes de um computador

Elemento	Onde se localiza	Efeitos tóxicos no ser humano
Chumbo	Tubos de raios catódicos e soldas	Danos neurológicos, renais e sanguíneos
Vanádio	Tubos de raios catódicos	Distúrbios gastrointestinais, inapetência
Bromo	Retardantes de chama em circuitos impressos, fios e cabos	Desordem hormonal, nervosa e reprodutiva
Antimônio	Alguns tipos de retardantes de chama	Nefrite, problemas cardiovasculares e gastrointestinais.
Cádmio	Algumas baterias, soldas e circuitos integrados	Danos aos ossos, rins, dentes e pulmões. Possível agente cancerígeno
Bário	Vidro (tela) de um tubo de raios catódicos	Distúrbios gastrointestinais, convulsões, hipertensão, lesões renais e cardíacas
Mercúrio	Soldas, termostatos e sensores	Danos neurológicos e hepáticos
Berílio	Liga antifricção (cobre-berílio)	Edema e câncer pulmonar

sancionada pelo Presidente da República, prevê nos artigos 30 a 36 (Capítulo III, Seção II) a responsabilidade compartilhada de fabricantes, importadores, distribuidores e vendedores na logística reversa para os seguintes produtos pós-consumo: agrotóxicos, pilhas, baterias, pneus, óleos lubrificantes, lâmpadas e produtos eletroeletrônicos. O artigo 47 proíbe a destinação inadequada de resíduos em corpos hídricos (rios, mares etc.) e a céu aberto (como lixões). Alguns governos estaduais, como os de São Paulo, Paraná, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Santa Catarina, mobilizaram-se para elaborar regulamentações para os resíduos eletroeletrônicos. A legislação europeia é considerada a mais avançada no mundo (Serrano, 2009)². O Brasil ainda não tem um sistema de coleta (logística reversa) e reciclagem sistemática em nenhum ponto da cadeia que envolve os EEE: indústria, comerciantes e consumidores, como ocorre em países do primeiro mundo (Khetriwal e cols., 2009).

Eventos como o I Encontro Nacional de Reciclagem, realizado em Curitiba em junho de 2008 (organizado pelo Núcleo Interdisciplinar de Meio Ambiente e Desenvolvimento da Universidade Federal do Paraná) e o Seminário Internacional de Resíduos Eletroeletrônicos, realizado em agosto de 2009 em Belo Horizonte (organizado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais) mostram que o assunto movimenta as esferas acadêmica, produtiva e setor público no país.

O Brasil ainda parece possuir poucos grupos de pesquisa voltados à problemática do lixo eletroeletrônico, e são ainda raros os trabalhos científicos publicados. Muitas das informações que nos chegam, principalmente dados estatísticos de consumo e produção, provêm de revistas, jornais e reportagens de televisão ou rádio.

Perspectivas da reciclagem

No estado atual do conhecimento, a reciclagem do lixo eletroeletrônico envolve duas etapas. A primeira é a desmontagem para separação dos

componentes diretamente recicláveis. A outra etapa é a crítica: o processamento de peças multicomponentes (como as placas-mãe de computadores e tubos de raios catódicos), obtidos a partir da união de inúmeros componentes diferentes em natureza (plásticos, metais, resinas, sais etc.). É ali que se encontram metais preciosos (Tabela 2), ao mesmo tempo em que metais tóxicos também se acham presentes em alguns componentes (Tabela 1). Há mais ouro em 1 tonelada de computadores do que em 17 toneladas de minério (Park e Fray, 2009). As técnicas de reciclagem hoje empregadas para as peças multicomponentes envolvem a moagem/trituração do material, seguido de separação por métodos físicos (separação magnética, diferença de densidade), processamento químico (em geral, dissolução em meio ácido) e fracionamento dos elementos solubilizados (Iakovou e cols., 2009; Rahimifard e cols., 2009). De acordo com pesquisas realizadas por duas empresas do setor da tecnologia da informação, apenas 10% dos computadores no mundo são reciclados e só 3% dos telefones celulares antigos são enviados à reciclagem. EUA, Europa e Japão só reciclam 30% do seu lixo eletroeletrônico (Spitzcovsky, 2009). A reciclagem precisa estar acompanhada de medidas de proteção à saúde. Em países desenvolvidos, o processo ocorre em locais específicos e controlados. No restante do mundo, essa operação, na grande parte das vezes, é feita à mão quase sempre por crianças e pessoas inabilitadas e sem qualquer proteção (Fu e cols., 2008; Artoni, 2007).

Descrição do trabalho

Entre agosto de 2008 e setembro de 2009, foram proferidas dezesseis palestras sobre lixo eletroeletrônico a turmas de alunos do ensino fundamental (9º ano) e das três séries do ensino médio de escolas da rede privada e pública do Rio de Janeiro, sempre em eventos como feiras de ciências ou semanas culturais. Com duração de 40 minutos e apresentado na forma de slides, o conteúdo abordado obedecia à sequência: definição de EEE; dados de produção, consumo e descarte no Brasil e no mundo; o que existe dentro de um EEE (exemplificado para computadores, TVs e celulares); qual é a consequência do consumo incessante e crescente de EEE; como enfrentar o problema do lixo eletroeletrônico. Em seguida, estimou-se um período de 20 minutos para debate, momento em que foi distribuída aos alunos uma folha contendo uma pergunta a ser respondida na hora: qual é a destinação final que você dá ao seu lixo eletroeletrônico? As respostas indicadas foram: (a) descarta-o junto com os resíduos domiciliares (resíduos sólidos urbanos); (b) guarda em gavetas e armários; (c) vende o produto a oficinas que consertam EEE; (d) doa para ONGs e igrejas; (e) repassa a cooperativas e programas de reciclagem. As impressões e discussões levantadas foram analisadas para se ter uma ideia do grau de consciência dos alunos. Logo a seguir, foram realizadas oficinas nas quais os alunos, em grupos de quatro a seis pessoas, desmontavam EEE obsoletos ou estragados. A seleção desses equipamentos levou

Tabela 2: Teor médio de elementos de alto valor agregado presentes em placas de circuito impresso de EEE (mg kg⁻¹)*

Elemento	Computador (placa-mãe)	Celular	Calculadora
Ouro	250	350	50
Prata	1.000	1.390	260
Paládio	110	210	5
Cobre	200.000	130.000	30.000
Alumínio	5.000	1.000	5.000

* Dados apresentados por Peter Bornard (ex-diretor do sistema suíço de gestão dos EEE) no Seminário Internacional de Resíduos Eletroeletrônicos (Belo Horizonte, agosto de 2009).

em consideração o tempo dessa atividade (uma hora). Cada grupo tinha a supervisão de um professor ou monitor da escola participante ou dos autores deste trabalho. Todos os alunos usavam luvas.

Durante o trabalho experimental, foi enfatizada a necessidade de identificar e separar os componentes feitos de um só tipo de material daqueles que são compostos por vários materiais diferentes em natureza (como as placas de circuito impresso).

Sumário da oficina de desmonte de EEE

Matérias-primas: os equipamentos selecionados foram: calculadora eletrônica, mouse e teclado de computador. Suas massas foram determinadas por pesagem em balança digital. As peças foram fotografadas. Um exemplar de cada EEE selecionado foi processado pelos diversos grupos.

Separação manual: Os equipamentos foram abertos com a utilização de ferramentas simples: alicate, chave de fenda, estilete e tesoura. Identificaram-se e segregaram-se os diferentes tipos de materiais componentes dos EEE. Cada componente separado era classificado segundo sua natureza (plástico, metal etc.). Todo o processo foi fotografado. As massas dos diversos materiais foram determinadas por meio de balança digital.

Separação parcial dos componentes identificados: quando possível, empregaram-se métodos físicos de separação: magnetismo (metais ferrosos e não ferrosos) e densidade.

A análise gravimétrica é uma das ferramentas básicas dessa oficina, porque são elaborados balanços de massa dos componentes diretamente recicláveis e daqueles que exigem etapas adicionais, os quais serão visualizados sob a forma de gráficos do tipo pizza.

Discussão

O que é feito com o lixo eletroeletrônico caseiro?

A maioria dos alunos (40%) descartou o lixo eletroeletrônico junto

com os resíduos domiciliares, principalmente os EEE de pequeno porte (como i-pods e mp-3). Outros 35%, guardam-nos (e acabam sendo esquecidos por um longo tempo) em gavetas e armários (em geral, são versões obsoletas); 11% levam a oficinas para venda (prática de “carnibalismo” – retirada de peças para conserto de equipamentos defeituosos); 11% doam para ONGs e igrejas; e 3% encaminham a cooperativas e programas de reciclagem. Esse resultado espelha bem um grande problema envolvido nessa situação: a desinformação da população quanto à maneira adequada de lidar com o lixo eletroeletrônico.

A consciência prévia dos alunos quanto ao problema do lixo eletroeletrônico

Praticamente todos os alunos (cerca de 600) que participaram das palestras e das oficinas não tinham consciência alguma sobre o custo ambiental da fabricação de um EEE e os danos que podem causar ao meio-ambiente se descartados de forma incorreta. O interesse imediato deles era dispor da “última palavra em tecnologia”, satisfazendo seus desejos de comunicação com outras pessoas e também o acesso a todo tipo de informação. Poucos têm EEE com mais de dois anos de uso. Os EEE mais citados pelos alunos foram: celular, mp-3, discman, i-pod e jogos eletrônicos portáteis.

A maioria afirmou que dispunha de EEE havia pelo menos cinco anos, e notou-se uma crescente acessibilidade dos alunos a esses equipamentos nos últimos anos, fruto do barateamento destes, permitindo o acesso a camadas de menor poder aquisitivo.

Outros dados que impressionaram foram os números relativos à produção, ao consumo e ao descarte em nível mundial e no país. Essas escalas numéricas extrapolavam qualquer nível de percepção por parte dos alunos. Alguns também citaram que já viram EEE como computadores e aparelhos de som jogados em terrenos baldios e até em calçadas de ruas nos dias em que a companhia de limpeza pública recolhe o lixo urbano.

Quando lhes era perguntado sobre a necessidade de consumir de forma mais consciente os produtos eletroeletrônicos, a grande maioria dos alunos demonstrou preocupação, mesmo em nível superficial, com questões ambientais: todos já ouviram falar de efeito estufa, aquecimento global, buraco na camada de ozônio, derretimento das calotas polares, extinção de espécies animais e vegetais, alterações climáticas..., mas nunca tinham tido a possibilidade de relacionar como o consumo de EEE poderia causar impactos ambientais. A primeira percepção foi de não desistir do direito de dispor de seus EEE. Todavia, será preciso consumi-los da forma como vem sendo verificada em todo o mundo? Os alunos, em geral, viram-se surpreendidos com a situação que lhes foi apresentada e precisavam refletir mais sobre as atividades que acabaram de participar. Nesse momento, o professor cumpre papel central para estimular neles a necessidade de refletirem sobre o modo como a sociedade de hoje consome produtos o mais das vezes descartáveis, sem se preocupar com as consequências ambientais desse comportamento. As reflexões e opiniões dos alunos devem constar em uma redação de 3-4 páginas. Essa dinâmica de trabalho se aplica a quaisquer alunos das séries do ensino fundamental e médio, e deve ser entregue em, no máximo, duas semanas após as atividades, a fim de que o impacto da palestra e da oficina não se diluam com o passar do tempo.

O desmonte dos EEE selecionados

A abordagem desse assunto deve ser adaptada a cada segmento escolar. Para os alunos do ensino fundamental, os professores de ciências devem focar sobre os materiais que compõem os EEE. Cada material empregado possui propriedades que servem para a concepção e fabricação das peças de um EEE. Os alunos fazem uma pesquisa sobre que propriedades explicam o emprego de metais, plásticos etc., entregando ao professor o resultado na forma de trabalho impresso no máximo duas semanas após a oficina.

Para os alunos do ensino médio, podem ser trabalhados diversos conceitos vistos nas aulas de física e de química: por que se encontra um grande percentual de plásticos na composição dos EEE (em especial nas carcaças destes); que propriedades justificam o emprego de metais nobres (Tabela 2) na composição dos circuitos impressos; como é feita a solda que fixa os componentes nas placas; que propriedades esta apresenta para ser usada como tal. A Tabela 3 mostra outros itens que podem ser abordados. Os alunos apresentam um relatório a ser entregue em até duas semanas após a palestra e a oficina.

Mouse. A placa de circuito impresso e o plugue não são diretamente recicláveis, correspondendo em média a 13% em massa do mouse. Em cerca de 10 minutos, um mouse foi completamente desmontado (Figura 1) e segregado em seus constituintes (Figura 2).

Teclados. A placa e as folhas de circuito impresso e o plugue não são diretamente recicláveis. Essas peças correspondem em média a 5% em massa dos teclados. Em cerca de 20 minutos, um teclado foi desmontado (Figura 3) e segregado em seus constituintes (Figura 4). Nesse caso, os alunos observaram que os teclados de fabricação mais recente tinham menor massa, sendo uma tendência em geral notada em todos os EEE.

Calculadora eletrônica. Apenas a placa de circuito impresso não é diretamente reciclável. Ela corresponde a 11% em massa do produto. A calculadora foi o item mais rapidamente trabalhado, sendo desmontada em cerca de 8 minutos. As Figuras 5 e 6 ilustram os resultados obtidos.

Para que não fique a impressão que todos os EEE são rapidamen-

te desmontáveis, basta pedir aos alunos que imaginem qual seria o tempo gasto na desmontagem de uma impressora, um monitor ou uma televisão. Certamente bem mais que o tempo da oficina. Ao lembrarem como é a constituição de um monitor de tubo de raios catódicos (CRT) apresentado na palestra (Figura 7), os alunos verão

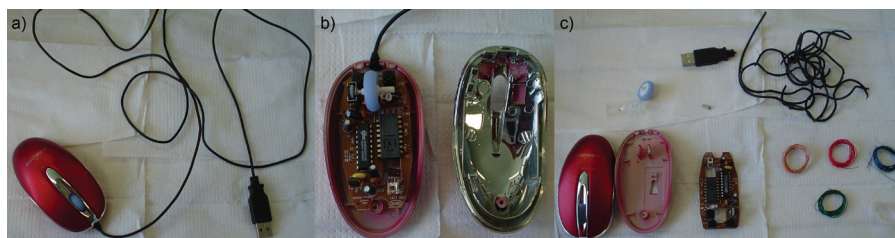


Figura 1: O mouse e seus componentes.

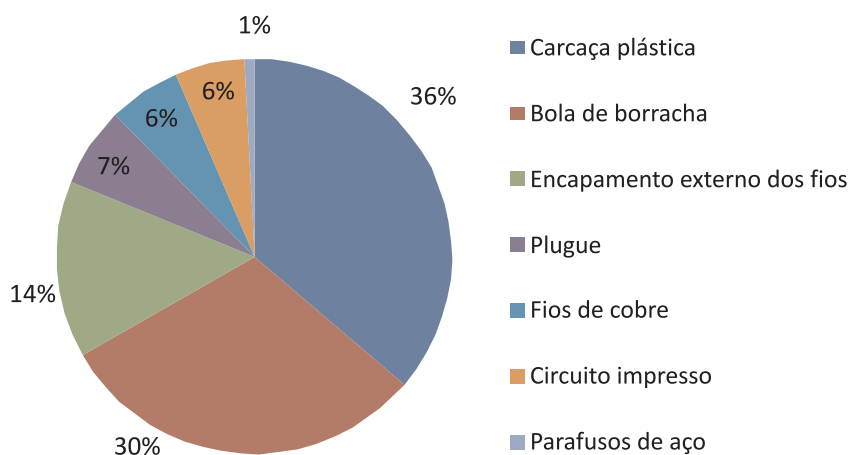


Figura 2: Composição (em massa) do mouse desmontado na Figura 1.

Tabela 3: Conteúdos que podem ser propostos aos alunos do ensino médio.

Tópico	Motivação
O emprego do ABS como material estrutural de muitos EEE	Que propriedades ele possui, e que superam o de outros plásticos utilizados hoje?
O poli(cloreto de vinila) é muito usado para encapar fios elétricos	Que propriedades desse plástico justificam esse emprego?
Visor de cristal líquido	Ele substituiu quase na íntegra os visores fosforescentes e os diodos emissores de luz (vermelha). De que ele é feito?
A massa de um dado EEE tende a diminuir com a evolução das versões	Que materiais foram substituídos, e quais as propriedades dos novos materiais que permitiram sua inclusão na fabricação de EEE?
Fios de alumínio ocasionalmente são empregados no lugar dos de cobre	Como se comparam o custo e as condutividades térmica e elétrica desses dois metais?
A temperatura de fusão da solda (liga eutética) é da ordem de 183 °C	De que é feita a placa que receberá os circuitos impressos e como se soldam os componentes nela?
Retardantes de chama: o que são? (O tratamento de peças com esses produtos se chama ignifugação)	Quais as fórmulas estruturais dos retardantes utilizados nos EEE? Por que são tóxicos?

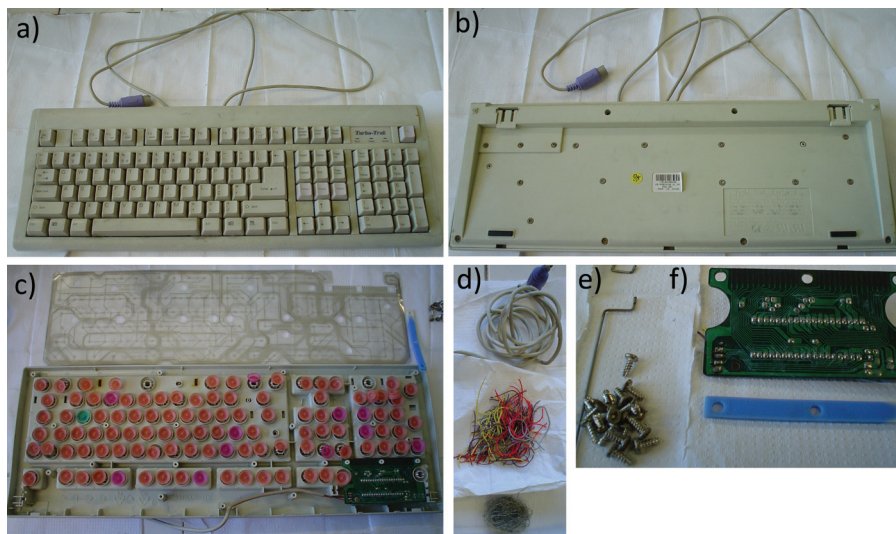


Figura 3: O teclado e seus componentes: A = vista superior; B = vista inferior, onde estão os parafusos que permitem a abertura da carcaça; C = após a remoção do tampo traseiro, notam-se as almofadas amortecedoras, as folhas e a placa de circuito impresso; D = fios de cobre e alumínio e os encapamentos; E = peças em aço; F = placa de circuito impresso e seu suporte plástico.

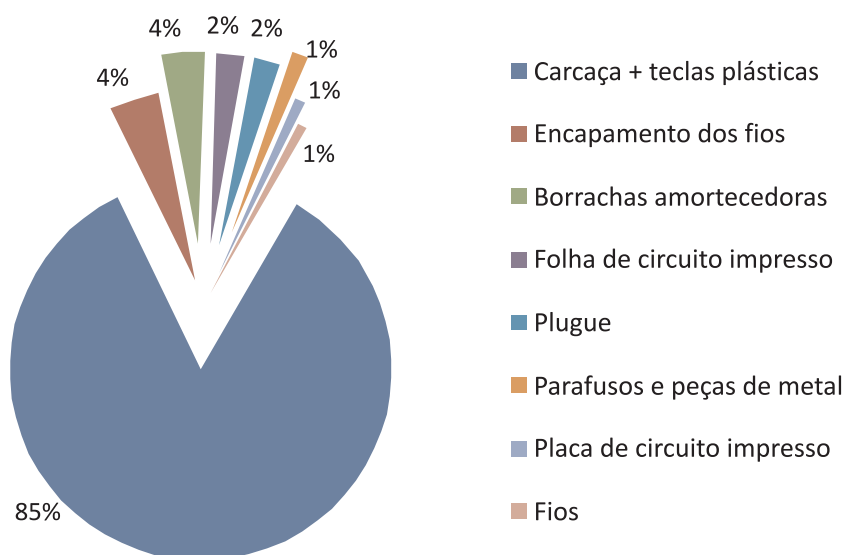


Figura 4: Composição (em massa) do teclado desmontado na Figura 3.

que a desmontagem é mais difícil, e o percentual de componentes diretamente recicláveis é menor frente aos EEE trabalhados.

Como dar uma destinação final às peças isoladas

Plásticos

Os alunos são orientados a identificar os tipos de plásticos existentes nos EEE, seguindo a padronização de identificação mostrada na Figura 8. Essa padronização segue a Norma Brasileira ABNT NBR 13230 (ABNT,

2008). Duas situações ocorreram quando do trabalho de identificação:

a) a maior parte do material plástico tinha a identificação ABS (Figura 9), material composto por três monômeros: acrilonitrila; butadieno; e estireno (styrene, em inglês). Ele costuma ser o material estrutural das carcaças dos EEE e mesmo de componentes internos. O ABS está dentro da classificação “outros” (número 7 no diagrama da reciclagem);

b) nenhuma identificação. Esse fato dificulta a reciclabilidade, pois não é possível uma identificação ime-

diata. Isso foi particularmente notado em produtos chineses de fabricação mais antiga, anterior a 2002. Uma exceção pode, contudo, ser contornada: o encapamento dos fios de cobre é feito de PVC [poli(cloreto de vinila)].

A necessidade de separação dos diversos tipos de plásticos se deve ao fato de a reciclagem destes não poder ser feita de forma integrada (misturada). Em particular, plásticos termofixos e termorrígidos não podem sob hipótese alguma ser misturados em processos de reciclagem (Cangemi e cols., 2009).

O plástico é um dos componentes principais dos EEE examinados. Além do baixo custo, a leveza, a resistência a quedas e a possibilidade de uma grande variedade de formatos respondem pela ampla utilização na atualidade. O tema plástico é muito versátil, tanto sob o ponto de vista tecnológico como ambiental (Cangemi e cols., 2005; Santos e cols., 2009; Cangemi e cols., 2009). Os plásticos foram colocados em caixas de coleta seletiva identificadas em vermelho.

Metais

A separação de metais por métodos físicos reduz o uso de reagentes químicos e condições drásticas como alta temperatura e pressão. A separação magnética foi uma experiência fascinante para os alunos, pois eles conseguiam separar ferro e aço de cobre, alumínio, cromo e outros metais presentes nos EEE. Ferro e aço são os principais metais presentes nesses equipamentos. A separação magnética é muito usada no processamento de sucatas metálicas ferrosas (eletroímãs). O cobre é outro elemento facilmente reconhecido por sua cor característica. Ele compõe a grande maioria dos fios condutores dos EEE. Os poucos fios que não são de cobre são de alumínio, metal com cerca de 2/3 da condutividade elétrica (e térmica) do cobre. Os metais são colocados em coletores de cor amarela.

Os materiais multicomponentes

O exame das placas de circuito impresso mostra que eles são uma mistura complexa de vários mate-



Figura 5: Componentes de uma calculadora eletrônica que funciona a pilha. A = carcaça + teclas; B = circuito impresso; C = almofada; D = elastômeros; E = célula solar; F = visor (vidro); G = peças em aço.

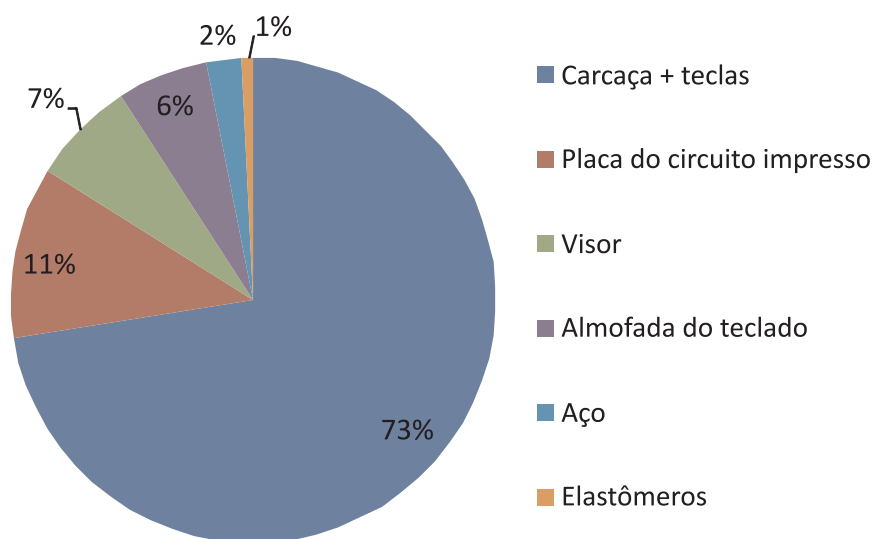


Figura 6: Composição (em massa) da calculadora desmontada na Figura 5.

riais diferentes em natureza (metais, plásticos, resinas). Pode-se remover a solda, liberando os componentes fixados às placas, mas esse procedimento não é tão simples como possa parecer à primeira vista: a presença de retardantes de chama, que geram gases tóxicos quando aquecidos, e a presença de metais tóxicos nessas soldas (Cd, Pb, Sb, Sn, Bi) impõem rígidos controles de saúde ocupacional, evitando o que ocorre em alguns lugares na África e na Ásia que recebem o lixo eletroeletrônico do primeiro mundo.

A conclusão a que se deve chegar é que quanto mais multicomponente for um dado produto usado, mais difícil é a sua reciclagem. Por isso, uma preocupação hoje é conceber produtos que são mais facilmente desmontáveis após o fim de sua vida útil. Um exemplo é a televisão, cujo gabinete é hoje feito de um só material (plástico), e antigamente encontravam-se diferentes materiais (madeira, metal, plástico) na sua montagem.

A mudança de comportamento

Para mudar o comportamento da

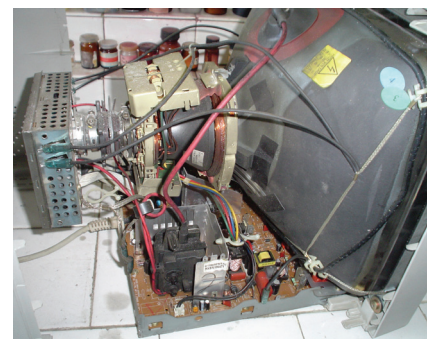


Figura 7: Um monitor de CRT aberto mostra a dificuldade em desmontá-lo.

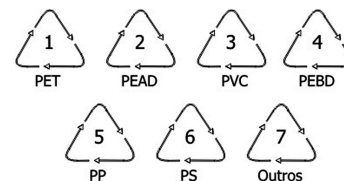


Figura 8: Padrão utilizado para identificação dos diferentes plásticos utilizados, segundo a norma brasileira NBR 13230: 1 = poli(tereftalato de etileno); 2 = polietileno de alta densidade; 3 = poli(cloreto de vinila); 4 = polietileno de baixa densidade; 5 = polipropileno; 6 = poliestireno; 7 = outros plásticos.

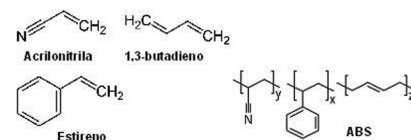


Figura 9: Fórmula estrutural plana dos monômeros (esquerda) do polímero ABS $[(C_6H_5)_x-(C_4H_6)_y-(C_3H_3N)_z]$ (direita).

sociedade quanto ao lixo eletroeletrônico, existe uma importante vertente de trabalho: a educação ambiental, voltada para o consumo consciente e à participação em programas de coleta seletiva desse lixo, valorizando-o como insumo para reciclagem. Todos têm o direito de dispor de produtos que facilitem a vida cotidiana. O problema é a velocidade com que o fenômeno da obsolescência vem ocorrendo. A sociedade se tornou vítima de um consumo compulsivo e sem controle, alimentado pela última palavra da tecnologia e insustentável do ponto de vista ambiental. A educação ambiental é primordial para uma mudança de atitude: crianças e jovens são particularmente decisivos para criar uma nova cultura comprometida com a sustentabilidade do planeta. Eles têm efeito multiplicador

na família e nas pessoas de seu convívio. A escola e os educadores são parte fundamental desse esforço.

O setor produtivo também tem papel importante para enfrentar o desafio do lixo eletroeletrônico: trata-se do redesenho da concepção dos EEE. O surgimento de novos materiais permite que (a) substituam outros tóxicos hoje utilizados na fabricação dos EEE; (b) sejam mais facilmente recicláveis após o fim da sua vida útil; (c) permitam uma separação mais fácil dos componentes dos produtos; (d) reduzam o consumo de insumos necessários à fabricação dos produtos; e (e) aumentem a durabilidade desses produtos (Jiang e cols., 2009; Iakovou e cols., 2009; Rahimfarid e cols., 2009).

O desenvolvimento de tecnologias de reciclagem ou de novas gerações de produtos eletroeletrônicos mais adequados ambientalmente não terá sentido se a sociedade, o poder público e o setor produtivo não colaborarem para gerenciar o lixo eletroeletrônico. É preciso estabelecer uma logística reversa de coleta dos produtos usados que contemple todo o território nacional. São necessárias campanhas permanentes (e não apenas ocasionais) de esclarecimento para alunos e os consumidores quanto ao consumo responsável e à forma correta de destinar os produtos inservíveis. É necessário adquirir produtos apenas de empresas certificadas e comprometidas com o meio ambien-

te. A consciência da população para um consumo consciente é um desafio tão forte quanto o desenvolvimento tecnológico de soluções para o lixo eletroeletrônico.

Conclusões

O lixo eletroeletrônico é uma excelente ferramenta de sensibilização dos alunos, tanto para questões ambientais quanto para perceber a importância das propriedades dos elementos químicos na concepção dos produtos de nossa vida moderna. Face ao impacto deste trabalho em todos os alunos participantes, as atividades propostas a eles devem ser realizadas o mais rapidamente possível, para que não se perca uma preciosa oportunidade de mudança de atitude.

Os principais ganhos com este trabalho foram: despertar nos alunos – que também são consumidores – a necessidade de adquirir com consciência os EEE, sem desistir do direito de dispô-los, e reconhecê-los como um material em potencial para a reciclagem. Tanto em aulas de ciências (ensino fundamental) como de química (ensino médio), os EEE despertam a curiosidade dos alunos e facilitam a exposição e a assimilação de diversos conceitos abordados nessas disciplinas.

Notas

1. O relatório *Making new technologies work for human development*

pode ser acessado pelo endereço: <http://hdr.undp.org/en/reports/global/hdr2001/>.

2. Um documento sobre a situação dos EEE na Europa pode ser obtida no Jornal Oficial da União Europeia, nº. C175, p. 34-36, 28 de julho de 2009 (Parecer do Comitê Econômico e Social Europeu sobre Enfrentar os Desafios da Gestão dos Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos [REEE] na UE). Disponível (em português) no endereço <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2009:175:0034:0036:PT:PDF>.

Agradecimentos

Elisa Silva Gomes e Rafael da Silva Oliveira agradecem ao PIBIC-CNPq UFRJ a concessão de bolsas de iniciação científica.

Rafael da Silva Oliveira, aluno do curso de graduação em Engenharia Química da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), é bolsista de iniciação científica do Grupo de Reciclagem e de Resíduos do Departamento de Química Analítica do Instituto de Química da UFRJ. **Elisa Silva Gomes**, aluna do curso de graduação em Química do Instituto de Química da UFRJ, é bolsista de iniciação científica do Grupo de Reciclagem e de Resíduos do Departamento de Química Analítica do Instituto de Química da UFRJ. **Júlio Carlos Afonso** (julio@iq.ufrj.br), graduado em Química e Engenharia Química e doutor em Engenharia Química pelo IRC/CNRS (França), é professor associado do Departamento de Química Analítica do Instituto de Química da UFRJ.

Referências bibliográficas

ABNT – Associação Brasileira de Norma Técnicas. *NBR 13230: embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis – identificação e simbologia*. Rio de Janeiro, 2008.

ARTONI, C. Perigos escondidos - para onde vai o e-lixo. *Galileu*, n. 187, fev. 2007, seção ambiente.

CANGEMI, J.M.; SANTOS, A.M. e CLARO NETO, S. Biodegradação: uma alternativa para minimizar os impactos decorrentes dos resíduos plásticos. *Química Nova na Escola*, n. 22, p. 17-25, 2005.

_____. Poliuretano: de travessieiros a preservativos, um polímero versátil. *Química Nova na Escola*, n. 31, p. 159-164, 2009.

CHADE, J. Brasil é o 5º maior mercado para celular e Internet do mundo. *O Es-*

tado de São Paulo, seção economia, 22 out. 2009.

FU, J.; ZHOU, Q.; LIU, J.; LIU, W.; WANG, T.; ZHANG, Q. e JIANG, G. High levels of heavy metals in rice (*Oryza sativa* L.) from a typical e-waste recycling area in southeast China and its potential risk to human health. *Chemosphere*, n. 71, p. 1269-1275, 2008.

IAKOVOU, E.; MOUSSIOPOULOS, N.; XANTHOPOULOS, A.; ACHILLAS, C.; MICHAILIDIS, N.; CHATZIPANAGIOTI, M.; KORONEOS, C.; BOUZAKIS, K.; PARK, Y.J. e FRAY, D. J. Recovery of high purity precious metals from printed circuit boards. *Journal of Hazardous Materials*, n. 164, p. 1152-1158, 2009.

FROTA NETO, J.Q.; RUWAARD, J.M.B.; VAN NUNEN, J.A.E. e HECK, E.V. Designing and evaluating sustainable logistics

networks. *International Journal of Production Economics*, n. 111, p. 195-208, 2008.

JIANG, W.; JIA, L.; ZHEN-MING, X. A new two-roll electrostatic separator for recycling of metals and nonmetals from waste printed circuit board. *Journal of Hazardous Materials*, n. 161, p. 257-262, 2009.

JUN-HUI, Z.; HANG, M. Eco-toxicity and metal contamination of paddy soil in an e-wastes recycling area. *Journal of Hazardous Materials*, n. 165, p. 744-750, 2009.

KHETRIWAL, D.S.; KRAEUCHI, P. e WIDMER, R. Producer responsibility for e-waste management: Key issues for consideration – Learning from the Swiss experience. *Journal of Environmental Management*, n. 90, p. 153-165, 2009.

OGUNSEITAN, O.A.; SCHOENUNG, J.M.; SAPHERES, J.D.M. e SHAPIRO, A.A. The electronics evolution: from e-

wonderland to e-wasteland. *Science*, 30 out. 2009, p. 670-671.

RAHIMIFARD, S.; ABU BAKAR, M.S. e WILLIAMS, D.J. Recycling process planning for the end-of-life management of waste from electrical and electronic equipment. *Manufacturing Technology*, n. 58, p. 5-8, 2009.

SANTOS, A.S. e SILVA, G.G. O tênis nosso de cada dia. *Química Nova na Escola*, n. 31, p. 67-75, 2009.

SERRANO, F. A legislação europeia e o e-waste. *O Estado de São Paulo*, seção meio ambiente, 8 nov. 2009.

SPITZCOVSKY, D. Reciclagem de lixo eletrônico deixa a desejar. *Planeta Sustentável*, 8 jun. 2009.

UNITED NATIONS UNIVERSITY. *Com-*

puter and the Environment: Understanding and Managing Their Impacts. Amsterdam: Kluwer, 2004. 285 p.

VIKTOR, M. Onde os eletrônicos vão morrer (e matar). *Galileu*, n. 218, jul. 2009, seção ambiente.

WAGNER, T.P. Shared responsibility for managing electronic waste: A case study of Maine, USA. *Waste Management*, n. 29, p. 3014-3021, 2009.

YANAKIEW, M. Os perigos do lixo eletrônico. *O Globo*, Rio de Janeiro, seção meio ambiente, 17 nov. 2005.

Para saber mais

BASEL ACTION NETWORK. Movimentação e destinação final do lixo eletrônico e de resíduos perigosos em geral. Dispo-

nível em <http://www.ban.org>.

GREENPEACE. *Guide to Greener Electronics*. 15. ed. Disponível em <http://www.greenpeace.org/international/campaigns/toxics/electronics/how-the-companies-line-up>.

ESTADO DE SÃO PAULO. *Lei estadual 13.576/09* (12/07/2009). Normas para reciclagem, gerenciamento e destinação final do lixo tecnológico. Disponível em http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamento/legislacao/estadual/leis/2009_Lei_Est_13576.pdf.

LEI FEDERAL 12.305/10 (02/08/2010). *Política Nacional de Resíduos Sólidos*. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>.

Abstract: THE WASTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC EQUIPMENT (WEEE): AN APPROACH FOR ELEMENTARY AND HIGH SCHOOL. This work shows one of the main challenges of the human society: the management of waste of electrical and electronic equipment. Its generation has been sharply increasing but many people have not yet recognized this phenomenon. From a manual disassembly of WEEE, students can realize the great complexity of these equipments, many different materials compose its components. One of the steps for management of WEEE is the manual disassembly and separation of components by physical methods. The solution for the WEEE also includes the change of mentality of the customer, i. e., the conscious consuming.

Keywords: waste of electrical and electronic equipment; technological waste; conscious consuming; recycling.

Resenha

248

CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. (Org.) *Ensino de ciências e matemática II: temas sobre formação de conceitos*. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009. 290 p (ISBN 978-85-7983-041-9)

Da mesma forma que o primeiro volume, *Ensino de Ciências e Matemática II: temas sobre formação de conceitos* consiste em uma seleção de artigos e ensaios realizados pelo Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência da Faculdade de Ciências da UNESP.

O ensino de ciências exatas e biológicas no Brasil carece de elementos inovadores e ricos de conteúdo pedagógico, o que compromete o ensino de base. Nas palavras de Ana Maria de Andrade Caldeira, organizadora da obra, "as crianças têm muita dificuldade em atingir um nível de aprendizado satisfatório e compatível com um país em desenvolvimento como o nosso". De fato, a ausência de um ensino mais lógico e menos simbólico intimida os alunos e, conseqüentemente, é um dos fatores que explicam a redução do número de interessados em seguir carreiras ligadas às Ciências e à Matemática como Engenharia e Biologia, por exemplo.

Com o propósito de corrigir essas deficiências e aprimorar a formação de docentes dessas esferas de conhecimento, a coletânea apresenta artigos desenvolvidos por 28 pesquisadores. Todos os ensaios têm linguagem simples e objetiva, tendo em vista dirigirem-se a educadores. Essa obra também conta com uma gama de recursos gráficos e exemplos para tornar o conteúdo teórico ainda mais acessível. O livro se divide em quatro partes: I – A formação de conceitos no ensino de biologia e de química; II – A formação de conceitos no ensino de matemática e física; III – Tecnologias

da informação e comunicação (TIC) e ensino de ciências; IV – Formação de conceitos na perspectiva Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente, CTS(A). As experiências são ambientadas em diversas escolas do estado de São Paulo.

Na parte I, um capítulo importante é o terceiro, que mostra muito bem a importância da História da Ciência como ferramenta para mostrar aos alunos como se constrói e evolui o conhecimento científico, inserindo-o no cotidiano. O exemplo apresentado – a molécula de DNA como portadora da informação genética dos seres vivos – é relevantíssimo e mostra a riqueza que une a química e a biologia nesse episódio. Ainda na parte I, o capítulo 5 mostra quão positiva é a inserção da experimentação no ensino da biologia. De fato, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) de Ciências Naturais indicam que é importante que as atividades práticas sejam também um espaço para reflexão, questionamento, desenvolvimento e construção de ideias. As experiências mostram que o aluno, centro do próprio processo de construção do conhecimento, mudou a sua forma de ver e entender o conhecimento trabalhado, inclusive na sua forma de expressar. Dado que a química também é uma ciência de experimentação, fica fácil entender como os alunos têm uma percepção distorcida desta quando não existe a experimentação acoplada ao ensino dos conhecimentos. O laboratório assume importância pelo uso que se pode fazer dele e não apenas por ele simplesmente existir. O professor, no entanto, precisa também ser preparado para se tornar o elemento mediador/facilitador do aprendizado de seus alunos. O capítulo 6 introduz as chamadas "experiências de pensamento", com vasta utilização no campo da filosofia, matemática, física e biologia. Embora ciências como a

química e a biologia não possam existir sem a experimentação, nada impede que se concebam situações imaginadas para debater quais serão as consequências de tais manipulações. Os alunos serão impelidos a pensar e a inter-relacionar várias áreas do conhecimento para tentar "visualizar" os resultados, constituindo-se numa ferramenta para discutir conceitos teóricos e de maior dificuldade na química.

A parte II, dedicada à física e à matemática, propõe exemplos que mostram as possibilidades de ministrar conteúdos dessas duas áreas de conhecimento (capítulos 7, 8 e 11), enquanto que as estratégias de ensino colocadas nos capítulos 9 e 10 podem ser adaptadas para o ensino de química. A parte III é importante por mostrar os impactos e as potencialidades das novas tecnologias de informação em nosso cotidiano e no ensino. Em particular, os "objetos de aprendizagem" (OAs) podem ser poderosas ferramentas de auxílio na aprendizagem. Enfim, a parte IV explora e analisa as perspectivas e críticas da abordagem CTS(A), defendendo um olhar mais cuidadoso para o desenvolvimento das habilidades da crítica e da leitura do mundo por meio da prática discursiva em sala de aula. Um aspecto importante do ensino de ciências para a cidadania é a habilidade de o professor lidar com os conflitos decorrentes dos diferentes pontos de vista dos alunos com relação aos impactos da ciência e da tecnologia na sociedade. O exemplo trabalhado com uma turma de ensino médio se refere às implicações sociais e ambientais do uso de etanol como fonte de energia. Em poucas palavras, trata-se de uma referência e um excelente livro não só para os professores que já atuam no magistério, mas igualmente para os alunos dos cursos de licenciatura.

Prof. Dr. Júlio Carlos Afonso (UFRJ)