



Luciana Diniz Borges e Patrícia Fernandes Lootens Machado

A limpeza de roupas é uma atividade doméstica muito antiga e, ao longo dos anos, essa prática vem sendo facilitada e aperfeiçoada com o uso de máquinas de lavar, branqueadores, tira-manchas, detergentes cada vez mais eficientes etc. Entretanto, a forma tradicional de se lavar os tecidos com água e sabão nem sempre consegue atingir um alto grau de limpeza, dada a natureza das sujidades. Esse fato, somado a outros fatores como a deformação e o desbotamento dos tecidos, gerou a necessidade de se desenvolver novos métodos de limpeza como a lavagem a seco. Esse artigo apresenta uma temática contemporânea, articulada a questões sociais, ambientais, econômicas e políticas, que possibilita a significação do ensino de química na perspectiva de mudanças nas formas de pensar e agir e se coaduna com uma abordagem de educação ambiental.

► lavagem a seco, percloroetileno, educação ambiental ◀

Recebido em 25/05/2012, aceito em 23/07/2012

Lavar a seco significa lavar por meio de fluido ou solvente não aquoso, isto é, trata-se de um processo que limpa sem utilizar a água. Dessa forma, apesar de o nome ser lavagem a seco, o processo deixa o que está sendo lavado molhado, mas usando um solvente orgânico no lugar da água, o qual poderá ser facilmente evaporado ao final do processo. Hoje, esse tipo de lavagem pode ser considerado a forma mais eficiente para se lavar uma grande variedade de tecidos naturais e sintéticos (DOW, 1992). No entanto, ela não se restringe à lavagem de tecidos, fala-se também em lavagem a seco de carros, de estofados em geral, de embalagens reutilizáveis ou não e, até mesmo, de cabelos, na forma de *spray* ou em pó, sem água em sua formulação, para se absorver o excesso de oleosidade destes.

Para peças de vestuário, a lavagem sem água pode significar um aumento da vida útil dos tecidos: sua não deformação (dilatação e contração das fibras), como o encolhimento, e a manutenção das cores das roupas devido à menor dissolução dos corantes nos solventes utilizados. Além disso, um processo completo de lavagem a seco pode restaurar a aparência de roupa nova. Outra grande vantagem é que a quantidade de material residual gerado no processo pode ser minimizada, já que, em geral, alguns solventes podem ser destilados e reutilizados (DOW, 1992). Todavia, nem todos os artefatos têxteis podem ser submetidos a esse tipo de lavagem e, por isso, é preciso sempre conferir as indicações presentes nas etiquetas das roupas (Figura 1).

	
Pode lavar na máquina	Não pode lavar na máquina
	
Pode usar alvejante	Não pode usar alvejante
	
Pode passar a ferro	Não pode passar a ferro
	
Pode secar em secadora	Não pode secar em secadora
	
Pode secar verticalmente	Não pode secar verticalmente
	
Pode lavar a seco	Não pode lavar a seco

Figura 1: Instruções geralmente presentes nas etiquetas de tecidos. O quadro em vermelho destaca o símbolo (círculo) utilizado para a lavagem a seco (Marks; Luhring, 2008).

Um pouco sobre a história...

Em 1849, há relatos de que, quando Napoleão III (Charles Louis Napoléon Bonaparte) era presidente da mais nova segunda República Francesa, um criativo alfaiate de Paris, chamado Jolly Belin, começou a usar um novo método para limpeza de roupas desgastadas. Ele descobriu que um combustível comumente utilizado em lamparinas, o canfeno¹ (Figura 2a), era um solvente eficaz para algumas das manchas mais comuns dos vestuários que chegavam à sua tinturaria. Belin percebeu que uma toalha de mesa ficou mais limpa quando sua funcionária tombou, acidentalmente, uma lamparina com o combustível sobre ela e, a partir daí, começou a testá-lo nos vestuários em sua loja. O canfeno podia substituir a água durante a lavagem sem causar encolhimento, perda da cor, enrugamento ou distorções das características da costura e, após lavar os vestuários com esse solvente, as roupas mantinham a mesma aparência, como se não tivessem sido lavadas. Então, esse novo método de limpeza começou a ser chamado de lavagem a seco (no inglês, o termo *dry washing* veio primeiro para, depois, ser substituído por *dry cleaning*) (Marks e Luhring, 2008).

Como a descoberta de Belin não ficou em segredo, ao final de 1850, já existiam estabelecimentos de lavagem a seco em muitas partes da Europa. Na década de 1870, o benzeno (Figura 2b) substituiu o canfeno como o mais popular solvente para lavagem, e muitas máquinas para lavar a seco tiveram que ser redesenhadas para servir ao novo solvente. Devido às experiências com as máquinas de combustão interna, a gasolina bruta, uma mistura de hidrocarbonetos com cadeias abertas contendo de 7 a 11 carbonos, logo foi descoberta como um melhor solvente de limpeza que o benzeno para o propósito da lavagem a seco. Por ser mais barata e mais facilmente disponível, a gasolina bruta substituiu os outros solventes pelos próximos 30 ou 40 anos do crescimento da indústria de lavagem a seco, mas também tinha suas desvantagens. Assim como o canfeno e o benzeno, ela deixava um odor bastante desagradável e era uma ameaça constante de fogo e explosão devido ao seu ponto de fulgor². Então, em 1925, a Associação Nacional de Tintureiros e Lavadores (National Association of Dyers and Cleaners), hoje o Instituto Nacional de Lavagem a Seco (National Institute of Dry Cleaning), adotou o uso de um produto do petróleo chamado solvente Stoddard. Após pesquisas feitas, descobriu-se que este era uma mistura de alcanos e hidrocarbonetos aromáticos, constatando-se que possuía ótimas propriedades para a lavagem a seco e era mais seguro para se trabalhar do que a gasolina bruta (Lohman, 2002).

[...] Jolly Belin começou a usar um novo método para limpeza de roupas desgastadas. Ele descobriu que um combustível comumente utilizado em lamparinas, o canfeno¹ (Figura 2a), era um solvente eficaz para algumas das manchas mais comuns dos vestuários que chegavam à sua tinturaria. Belin percebeu que uma toalha de mesa ficou mais limpa quando sua funcionária tombou, acidentalmente, uma lamparina com o combustível sobre ela e, a partir daí, começou a testá-lo nos vestuários em sua loja.

Experimentações com solventes sintéticos foram sendo feitas durante a década de 1920 e, no começo de 1930, as máquinas de lavagem a seco foram aperfeiçoadas para a limpeza com o uso de fluidos de hidrocarbonetos clorados não inflamáveis. O tetracloreto de carbono (Figura 2c) se tornou o melhor solvente conhecido dentre os sintéticos e, algumas lojas, a partir de 1940, passaram a usá-lo ao lado do tricloroetileno (vide Figura 2d). Entretanto, após a Segunda Guerra Mundial, outro sintético passou a ser mais popular: o tetracloroetano, hidrocarboneto clorado não inflamável e com alto poder de solvência. Não somente era mais rápido e mais seguro como também limpava muito melhor. Ao mesmo tempo, necessitava equipamentos menos robustos e podia ser instalado em locais de lojas de varejo, oferecendo serviço rápido de qualidade. Em 1952, os sintéticos já estavam sendo usados em torno de 20% das lavanderias de lavagem a seco dos Estados Unidos, Canadá e outros países europeus. Os solventes derivados do petróleo, todavia, ainda continuaram a ser utilizados, apesar das suas características de inflamabilidade, por causa de sua disponibilidade e seu custo muito mais baixo, aproximadamente 1/6 a 1/10 do custo dos sintéticos (Lohman, 2002).

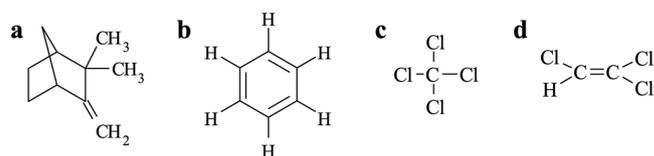


Figura 2: Representação da estrutura molecular planar do canfeno (a), do benzeno (b), do tetracloreto de carbono (c) e do tricloroetileno (d), solventes utilizados no processo de limpeza a seco ao longo dos anos.

O processo de lavagem a seco

Atualmente, o processo de lavagem a seco segue essencialmente três etapas: na primeira, o solvente é usado para dissolver e dispersar a sujeira do tecido; na segunda, o solvente e a sujeira são removidos do tanque de lavagem; e na terceira, a sujeira é removida do solvente pelo processo de destilação, possibilitando sua reutilização.

Apesar de haver muitas marcas e fabricantes de máquinas de lavar, elas são basicamente as mesmas no que diz respeito aos princípios e às funções e são similares a uma combinação das máquinas de lavar domésticas, que se utilizam de água, com as secadoras de roupas (vide Figura

3). Essa junção lavadora/secadora possibilita a recuperação quase total do solvente usado durante a limpeza, o que é mais econômico para a lavanderia e menos prejudicial para o meio



Figura 3: Máquina moderna de lavagem a seco. Fabricada na Alemanha pela Böwe®/Permac, seu processo de limpeza utiliza o percloroetileno como solvente (Böwe, 2011).

ambiente se forem desconsideradas perdas por evaporação.

Na primeira etapa da operação, a mais básica de todas, as roupas são colocadas no tambor da máquina, que é então fechada e enchida com a solução em diferentes proporções de solvente orgânico/detergente vinda do tanque básico. O detergente utilizado nesse processo é um estabilizador de emulsão sem água capaz de alterar o balanço hidrofílico/lipofílico do solvente, possibilitando uma remoção maior de diferentes tipos de sujeiras. A proporção solvente orgânico/detergente variará de acordo com o tipo de sujeira que se deseja remover e de acordo com o tipo de tecido que será lavado. Dessa maneira, se a sujeira for menos solúvel em solvente orgânico, ou seja, mais hidrofílica, uma maior quantidade de detergente deverá ser usada na limpeza. Do contrário, se a mancha interage mais com o solvente orgânico, mais lipofílica ela é e, então, menos detergente deve ser empregado. No tanque básico, as roupas são submetidas à agitação mecânica, a qual, somada à presença do solvente e do detergente, faz com que tanto a sujeira solúvel em água quanto aquela solúvel em solvente orgânico se dissolva.

Enquanto as roupas giram no cesto perfurado da máquina de lavagem a seco, há um fluxo constante do solvente de limpeza. O solvente sujo é bombeado continuamente através de um filtro e circula novamente limpo, ficando a sujeira presa no filtro. Cada máquina possui um nível de agitação determinado pelo projeto da lavadora ou do tambor de lavagem, pela velocidade da rotação e pela quantidade de solvente na máquina. Além disso, uma operação de lavagem a seco eficiente, capaz de remover grande variedade de sujeiras solúveis e insolúveis, requer um controle cuidadoso das proporções da mistura solvente/detergente.

O processo de lavagem a seco ocorre sob uma determinada temperatura, e isso está diretamente relacionado ao solvente utilizado. Por exemplo, quando o solvente é o tetracloroetano (ver Figura 4), a melhor temperatura para aquecer o ar que

circula no tambor da máquina é de 60 °C. Se essa temperatura não for alcançada, algumas roupas podem não ficar completamente secas ao final do processo; se ficar acima, a roupa poderá enrugar e alguns tecidos mais sensíveis poderão ser danificados. Aqui cabe uma reflexão: sabendo-se que a temperatura de ebulição desse solvente é de 121 °C e sendo a temperatura no interior da máquina de 60 °C, pode-se inferir que, apesar de as roupas já estarem aparentemente secas, muito do solvente ainda pode permanecer entranhado nas fibras dos tecidos, já que o calor gerado pela máquina não será capaz de vaporizar todo o solvente.

Falando sobre o percloroetileno

O solvente tetracloroetano, comercialmente conhecido como percloroetileno ou simplesmente PERC (sigla em português) ou PCE (sigla em inglês), é usado largamente na indústria de lavagem a seco como agente de limpeza. Neste trabalho, optamos por utilizar seu nome comercial. A fórmula molecular do percloroetileno é C_2Cl_4 e sua estrutura pode ser vista na Figura 4.

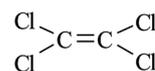
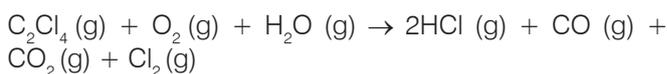


Figura 4: Representação da estrutura molecular do percloroetileno.

Esse solvente também é utilizado em tinturarias, indústrias têxteis, indústrias de limpeza, fábricas de borrachas laminadas como desengraxantes de metais e por fabricantes do gás clorofluorcarbonetos (CFC) (Anvisa, 2004). Quando os vapores de percloroetileno são expostos a situações de elevada temperatura, acima de 600 °C, na presença de oxigênio e água, observa-se a formação de cloreto de hidrogênio (HCl), dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO) e cloro (Cl_2), representada pela equação (DOW, 1992; Yasuhara, 1993):



Por meio de uma reação secundária, os gases monóxido de carbono e cloro poderão se combinar e formar fosgênio ($COCl_2$), um gás tóxico e corrosivo:



A formação desse produto pode criar riscos muito maiores do que o próprio solvente, visto o maior grau de toxicidade do fosgênio que, mesmo em concentrações letais, pode não provocar efeitos perceptíveis, levando à morte por consequência de problemas respiratórios, além de provocar a

Por ser mais barata e mais facilmente disponível, a gasolina bruta substituiu os outros solventes pelos próximos 30 ou 40 anos do crescimento da indústria de lavagem a seco, mas também tinha suas desvantagens. Assim como o canfeno e o benzeno, ela deixava um odor bastante desagradável e era uma ameaça constante de fogo e explosão devido ao seu ponto de fulgor.

corrosão de materiais metálicos presentes no local de trabalho (DOW, 1992).

Ao percloroetileno, estão associados problemas carcinogênicos em animais como, por exemplo, incidência de adenomas renais ou adenocarcinomas em ratos machos, aumento da incidência de células leucêmicas em ratos e aumento de tumores hepatocelulares em camundongos. Encontra-se na literatura estudos que apontam para um aumento do risco de câncer entre trabalhadores de lavanderias que lavam a seco. Em homens e mulheres, são três as principais vias de contaminação desse solvente: por inalação de seus vapores, por absorção pelo trato gastrointestinal e por absorção pela pele. Dentro de certas condições de trabalho, um excesso de exposição ao percloroetileno pode causar irritação de pele, olhos, garganta e nariz e provocar dores de cabeça, tonturas e náuseas. Também a inalação prolongada dessa substância pode lesar fígado e rins e deprimir o sistema nervoso central, causando até mesmo perda da consciência (Ruder; Ward e Brown, 2001; Toraason et al., 2003). Esses sintomas são facilmente observados em trabalhadores de lavanderias a seco, que utilizam como solvente o percloroetileno (Borges, 2009). Também nos setores das indústrias químicas supracitadas, encontram-se portadores dos sintomas descritos devido a exposições elevadas e prolongadas ao percloroetileno.

Outras populações possivelmente em risco são aquelas que vivem próximas a indústrias que descartam ilegalmente esse produto na natureza (seja em sua forma líquida ou por emissões gasosas) e aquelas que vivem próximas a áreas de lixo tóxico contaminadas com níveis elevados do percloroetileno. Uma vez liberado na atmosfera, esse solvente orgânico é moderadamente estável, com uma meia-vida de aproximadamente 50 dias, dependendo da temperatura e de outras condições ambientais. Como resultado, os vapores do percloroetileno liberados no ar podem se mover em distâncias significativas a partir da fonte e têm o potencial de contaminar uma variedade de espaços ambientais. Por exemplo, se esse solvente for liberado no solo, pode mover-se imediatamente para baixo, contaminando lençóis freáticos. No entanto, enquanto estiver no solo, é degradado lentamente por microrganismos (Kamrin, 2001).

Lavagem a seco versus lavagem com água

Na limpeza com água, dois grandes problemas afetam

diretamente os tecidos: o encolhimento e o desgaste dos vestuários. O desgaste está relacionado com a aparência das roupas e ocorre devido à deformação das fibras dos tecidos. Essa deformação, por sua vez, é acarretada por porções de detergente que se acumulam e permanecem nas fibras mesmo após a lavagem com água (Klein, 2001). Já a lavagem a seco pode promover maior limpeza e menores deformações nos tecidos. Existem certas fibras que interagem intensamente com manchas gordurosas, de forma que apenas uma limpeza com água e sabão não é capaz de removê-la totalmente. Outros tecidos já apresentam melhores resultados com a lavagem a úmido (com água) ou nem sequer podem

ser lavados a seco como, por exemplo, os sintéticos vinil, viscose e poliéster, além de tecidos com aplicações plastificadas. Tecnologias vêm sendo desenvolvidas para ambos os tipos de lavagens, de forma a diminuir os impactos no meio ambiente e na saúde dos indivíduos. Por exemplo, um maior controle e estabilização da espuma, que já vem sendo feito por algumas marcas de detergentes em pó para lavagem com água, é um fator importante para tornar os detergentes menos impactantes ao meio ambiente. Isso porque menos espuma implica em menores quantidades de água no enxágue. Além disso, mais roupas podem ser lavadas na máquina por vez, pois a quantidade de detergente utilizada pode aumentar sem que isso gere um excesso de espuma. A formação da dispersão gás-líquido (espuma) está intimamente relacionada ao pH da solução, à quantidade de eletrólitos existente no meio e à dureza da água. Atualmente, a formação de espumas pode ser controlada e estabilizada utilizando-se um tensoativo não iônico ou adicionando um agente antiespumante como as alcanolamidas de ácidos graxos (Motta, 2007; Osório e Oliveria, 2001).

Outro impacto ambiental que vem sendo contornado com a mudança na composição dos detergentes é a eutrofização. Atualmente, algumas marcas de detergentes vêm substituindo compostos contendo fosfato por zeólitas, ambos agentes sequestrantes utilizados para remover cátions que conferem maior dureza à água como Ca^{2+} e Mg^{2+} . Sabe-se que esses íons metálicos dificultam a limpeza dos tecidos, pois reagem com o tensoativo formando sais insolúveis. Os compostos de fosfatos presentes nos detergentes, como o trifosfato de sódio ($\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_{10}$), o fosfato trissódico (Na_3PO_4) e o pirofosfato de sódio ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$), apesar de conferirem maior basicidade e cumprirem seu papel no abrandamento de

Ao percloroetileno, estão associados problemas carcinogênicos em animais como, por exemplo, incidência de adenomas renais ou adenocarcinomas em ratos machos, aumento da incidência de células leucêmicas em ratos e aumento de tumores hepatocelulares em camundongos. Encontra-se na literatura estudos que apontam para um aumento do risco de câncer entre trabalhadores de lavanderias que lavam a seco. Em homens e mulheres, são três as principais vias de contaminação desse solvente: por inalação de seus vapores, por absorção pelo trato gastrointestinal e por absorção pela pele.

Na limpeza com água, dois grandes problemas afetam diretamente os tecidos: o encolhimento e o desgaste dos vestuários. O desgaste está relacionado com a aparência das roupas e ocorre devido à deformação das fibras dos tecidos.

águas duras, causam a eutrofização em aquíferos, isto é, um aumento descontrolado de algas ocasionado pelo excesso de nutrientes (compostos químicos ricos em fósforo ou nitrogênio) disponíveis no meio. O aparecimento excessivo de algas causa, por sua vez, um desequilíbrio no ecossistema. Os materiais zeolíticos, aluminossilicatos de alta porosidade, são bons substitutos por serem eficientes como sequestrantes, devido a sua alta capacidade de troca catiônica e não causam o fenômeno da eutrofização (Sutili et al., 2009).

Uma comparação entre os métodos de lavagem a seco e de lavagem com água pode ser feita com base nos aspectos ambientais, no impacto à saúde dos indivíduos, no desempenho da lavagem, na economia e nas regulamentações existentes. No que diz respeito aos impactos ambientais, o percloroetileno, solvente mais utilizado nas lavanderias a seco, é cancerígeno para animais e bastante tóxico ao ambiente. A maioria das lavanderias paga para ter seus resíduos de percloroetileno removidos do local de serviço e recupera parte deles. Não raro, esse solvente é descartado nos sistemas de esgoto na forma de águas residuais, podendo migrar, por meio das tubulações, para o solo, atingindo e contaminando águas subterrâneas. Além disso, as máquinas para lavagem a seco, que usam a tecnologia para o percloroetileno (Figura 3) consomem mais eletricidade que aquelas desenvolvidas para lavagem com água. Isso ocorre devido à necessidade de condensadores e destiladores para controlar as emissões de vapores do solvente para o ambiente. Sem falar das lavanderias que irregularmente ainda lançam para a atmosfera os vapores de percloroetileno por não adequarem seus maquinários com filtros de carbono ativo e com ciclos fechados, dotados de bandeja para recolhimento total desse solvente, e por não fazerem regularmente a manutenção dessas máquinas (Blackler et al., 1998).

Em contrapartida, a lavagem a úmido consome, em geral, muito mais água que aquela com outros solventes. As novas máquinas com tecnologia desenvolvida para capturar os vapores do percloroetileno conseguem, com facilidade, um nível de reaproveitamento do solvente bastante alto e com qualidade, já que há a presença de destiladores. Isso se torna vantajoso tanto para o desempenho como para minimizar a agressão ao ambiente e, também, para a economia de quem lava a seco, visto a possibilidade de reutilização desse solvente.

Tratando-se do desempenho para lavar, o percloroetileno é um solvente efetivo para limpeza das roupas, pois evita o encolhimento dos tecidos, já que evapora facilmente, dado sua baixa pressão de vapor (0,017 atm, 20 °C), e dissolve manchas lipofílicas, como óleos, ceras e gorduras em geral, em função das polaridades similares.

Na presença de tensoativos, a interação soluto-solvente

pode ser compreendida a partir do modelo de micelas. Na lavagem com água e detergente (surfactante), a parte apolar do tensoativo circunda as sujeiras lipofílicas, ficando a parte polar voltada para fora (vide Figura 5a). No caso da lavagem a seco, em que uma mistura de hidrocarbonetos e surfactantes é utilizada para a limpeza, tanto sujeiras apolares como polares podem ser removidas. As manchas apolares (gordurosas) serão carregadas pelo solvente e qualquer sujeira mais polar ou até mesmo porções mínimas de água presentes no tecido serão circundadas pela parte polar do surfactante, formando uma micela reversa (Figura 5b). Resquícios de água no tecido são originados do processo de pré-lavagem das roupas, em que sujeiras menos solúveis no solvente orgânico são removidas com água e detergente.

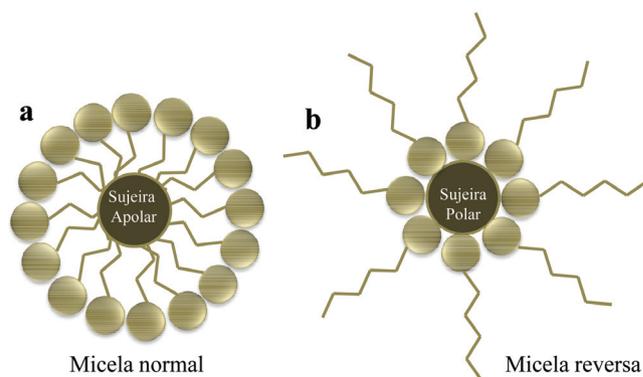


Figura 5. Representação esquemática da estrutura das micelas. À esquerda (5a), uma micela normal, com a cauda apolar voltada para dentro, normalmente formada na presença de um surfactante em meio aquoso e, à direita (5b), uma micela reversa, com as cabeças polares voltadas para o interior, formada em meio orgânico (Enade, 2011).

Já a água pode remover muitos tipos de sujeiras, mas sozinha não é capaz de dissolver manchas lipofílicas, por isso, a necessidade de detergentes, os quais, muitas vezes, também não são suficientes para eliminar as manchas. Além disso, a água, em certos casos, causa o encolhimento das fibras e/ou o desbotamento da cor das peças durante a lavagem, mas em grande parte dos tecidos, a limpeza com água e detergente não gera um enfraquecimento das fibras com consequente desgaste das roupas. Também a interação química dos surfactantes com a água depende significativamente do tamanho dos grupos polares presentes no tensoativo, tendo em vista que a água é uma substância polar com momento de dipolo diferente de zero. Por isso, os detergentes acrescentados aos solventes apolares da lavagem a seco não devem ser os mesmos utilizados na lavagem com água.

As lavanderias que lavam com água oferecem os mesmos preços daqueles da limpeza a seco, apesar de a lavagem com água desprender significativamente menos capital

A maioria das lavanderias paga para ter seus resíduos de percloroetileno removidos do local de serviço e recupera parte deles. Não raro, esse solvente é descartado nos sistemas de esgoto na forma de águas residuais, podendo migrar, por meio das tubulações, para o solo, atingindo e contaminando águas subterrâneas.

que a lavagem a seco, no que diz respeito ao maquinário e à manutenção. Por exemplo, o custo de uma máquina que lava a seco para lavanderias é, em média, o dobro de uma de tamanho similar que lava com água. No entanto, o custo do percloroetileno e de tensoativos para lavar a seco é significativamente menor que o custo dos surfactantes e outros agentes utilizados na lavagem com água. Entretanto, a lavagem a seco possui custos adicionais associados com a eliminação de resíduos perigosos, contaminados com solventes possivelmente tóxicos, o que acaba por torná-la ainda mais cara. Também, como já foi dito, a lavagem com água envolve custos bem menores com eletricidade que a lavagem a seco, em grande parte devido aos aparatos das máquinas utilizados para controlar a poluição com o solvente orgânico. Esse gasto a mais de energia na limpeza a seco, no entanto, é compensado com a grande demanda por água exigida na lavagem a úmido (Blackler et al., 1998).

A lavagem a seco tem ainda regulamentações mais rígidas devido à toxicidade dos solventes orgânicos utilizados, o que não existe para a lavagem com água e sabão. Feitas essas comparações, fica clara a necessidade de se analisar melhor qual lavagem aplicar dependendo do tecido que precisa de limpeza.

A lavagem a seco no ensino de química

Hoje, temas ambientais, como aquecimento global, efeitos El Niño e La Niña, poluição de rios, da atmosfera e do solo, aparecem frequentemente nos livros didáticos adotados pelas escolas. Entretanto, esses assuntos geralmente são tratados de uma forma mais global e, muitas vezes, somente servem como ilustradores de um conteúdo químico (Silva et al., 2009).

Assim, a temática lavagem a seco nas aulas de química do ensino médio pode ser utilizada para inserção de uma abordagem centrada em Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS), bem como contemplando aspectos da Educação Ambiental (EA), na forma de um problema a ser resolvido a partir de conteúdos da química inter-relacionados a outras matérias. Além disso, é importante que o professor aborde em sala de aula o fator humano envolvido nessa atividade profissional da limpeza a seco e não deve apenas focar no processo em si, pois é comum, quando se ensina algo sobre um processo de produção ou sobre uma tecnologia, destacar mais as etapas do desenvolvimento de um determinado produto, sua história, os problemas técnicos e de mercado e não demonstrar a periculosidade e a salubridade do trabalho para aqueles que estão produzindo (Lufti, 2005). Assim, torna-se necessário conhecer o processo como um todo sem se isolar apenas no conhecimento científico ou técnico. Na literatura, já se pode

[...] a temática lavagem a seco nas aulas de química do ensino médio pode ser utilizada para inserção de uma abordagem centrada em Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS), bem como contemplando aspectos da Educação Ambiental (EA), na forma de um problema a ser resolvido a partir de conteúdos da química inter-relacionados a outras matérias.

encontrar diversos artigos tratando sobre temas relevantes, que transcendem os saberes técnicos do assunto em questão e que envolvem problemas ambientais importantes a serem abordadas em sala de aula como lixo eletrônico (Oliveira; Gomes e Afonso, 2010), biocombustível (Cardoso; Machado e Pereira, 2008), pilhas e baterias (Bocchi; Ferracin e Biaggio, 2000), aquecimento global (Borges e Duso, 2011).

É provável que a maioria dos alunos desconheça o que venha a ser lavar a seco, e os poucos que conhecerem podem não associar, de imediato, essa forma de limpeza com a química envolvida nesse contexto e a grande toxicidade dos solventes orgânicos utilizados no processo. Pensando nisso, propõe-se que esse tema seja apresentado aos alunos como um organizador de conteúdos, isto é, como um material introdutório que sirva como uma ponte entre o que o aluno já conhece e o que se deseja que ele aprenda, ressaltando a importância do conhecimento científico para compreensão de fenômenos vivenciados cotidianamente. A proposição de uma temática como organizador prévio tem por objetivo retomar continuamente problemas inicialmente relatados na perspectiva de encontrar soluções enriquecidas por conteúdos de química.

No que diz respeito aos conceitos químicos a serem abordados dentro desse tema, pode-se perceber uma infinidade de conexões do assunto limpeza a seco com as matérias ensinadas ao longo do nível médio. Dentro do conteúdo de ligações químicas, polaridade e solubilidade, por exemplo, pode-se estudar o porquê de os solventes clorados fazerem mal ao ser humano. Em função da natureza de suas ligações, esses solventes possuem diferentes graus de lipossolubilidade e é a polaridade que lhes confere a capacidade de atravessar membranas biológicas e de serem, por isso, amplamente distribuídos nos organismos vivos (Salgado e Marona, 2004).

Os conteúdos sobre reações químicas e sobre química orgânica podem ser explorados por meio do tema lavagem a seco antes mesmo de serem iniciadas as explicações sobre hidrocarbonetos. No decorrer do conteúdo, uma conexão poderia ser feita analisando-se as moléculas dos solventes orgânicos já utilizados ao longo da história da lavagem a seco: hidrocarbonetos derivados do petróleo, aromáticos, solventes clorados etc. Assim, os alunos poderão comparar as funções orgânicas presentes nas moléculas, diferenciando suas propriedades a partir da estrutura orgânica estudada. Os professores podem, inclusive, discutir com os alunos sobre o porquê de alguns desses solventes terem sido banidos do mercado. Nesse ponto, cabem discussões sobre cadeias abertas, fechadas, aromáticas (relembrando que o benzeno já foi utilizado como solvente para limpeza a seco). Também se pode promover discussões a respeito dos haletos orgânicos e de sua toxicidade.

Ainda dentro dessa abordagem, o professor pode fazer uma comparação entre a lavagem a seco e a lavagem com água. Dessa maneira, os alunos poderão compreender por que utilizar a lavagem a seco para determinados tecidos em vez da lavagem com água. Portanto, explicações sobre a polaridade dos solventes devem conduzir as discussões em sala: o percloroetileno e os outros solventes utilizados na lavagem a seco, por serem moléculas apolares, dissolvem as manchas de gordura das roupas, que também são apolares, ao contrário da água que, por ser polar, não consegue limpar essas manchas sem que sejam acrescentados sabões e detergentes à lavagem. O professor deverá ressaltar que, para retirar as sujeiras mais polares das roupas, também é preciso que sejam adicionados surfactantes ao solvente orgânico na limpeza a seco (ou fazer um pré-tratamento das manchas antes de lavá-las a seco). Nesse momento, caberá abordar conteúdos como tensão superficial, agentes tensoativos, micelas, cadeias hidrofílicas e hidrofóbicas etc. Esses temas serão um complemento à matéria funções orgânicas e explicarão o papel dos tensoativos na lavagem tanto com água como a seco.

Visto que, para a limpeza da roupa ser mais eficiente, há necessidade de se utilizar surfactantes tanto em lavagem a seco como na lavagem com água, uma questão pode ser proposta aos alunos: por que então lavar a seco? A resposta pode ser fornecida comparando-se os impactos ambientais, sabendo-se que cada tipo de lavagem tem suas vantagens e desvantagens e com base no fato de que alguns tecidos possuem maior afinidade com as gorduras. Então, torna-se complicado remover as manchas lavando-as somente com água e detergente. Todavia, é preciso analisar o tipo de tecido e as sujeiras envolvidas nas roupas para escolher a melhor forma de limpeza, tanto para não danificar a roupa como para buscar uma solução ambientalmente mais amigável.

O uso da temática lavagem a seco possibilita discutir aspectos ambientais relacionados ao conhecimento científico e ao emprego deste no desenvolvimento de tecnologias nem sempre sustentáveis. Na perspectiva de se minimizar os impactos causados pelos solventes utilizados hoje na limpeza a seco, novas tecnologias vêm sendo pensadas, buscando principalmente desenvolver um processo mais limpo. Assim, questões sobre química verde e sobre as novas tendências do setor de lavagem a seco podem também ser abordadas em sala de aula, procurando sempre integrar os processos químicos com suas implicações ambientais, sociais, políticas e econômicas, pois são essas conexões que levam os alunos a tomarem decisões bem fundamentadas como indivíduo e como cidadão (Brasil, 2002).

Considerações finais

Os estabelecimentos que limpam a seco estão geralmente

[...] o professor pode fazer uma comparação entre a lavagem a seco e a lavagem com água. Dessa maneira, os alunos poderão compreender por que utilizar a lavagem a seco para determinados tecidos em vez da lavagem com água.

localizados o mais próximo dos consumidores, o que faz com que a utilização de solventes tóxicos seja prejudicial não só para a saúde daqueles que trabalham diariamente com esses produtos. Por isso, há necessidade de normas mais severas para regular esse tipo de atividade, bem como a manutenção permanente de fiscalização sobre esses serviços (Desimone e Tumas, 2003). O percloroetileno pode ser manuseado com segurança desde que se utilize um maquinário com circuitos fechados e filtros de carbono ativado que possibilitem a absorção total dos vapores. Todavia, existem novas pesquisas científicas em desenvolvimento para tornar mais limpo e seguro o processo de lavagem a seco. Tais pesquisas procuram desenvolver não só o maquinário para uma utilização eficaz desse solvente, mas também uma forma segura de tratar os resíduos gerados (Saez et al., 2009), além de testar novos solventes e cossolventes para a limpeza a seco menos impactantes ambientalmente.

A exposição de aspectos relevantes da interface química/sociedade do tema lavagem a seco possibilita ao professor desenvolver em sala de aula alguns conteúdos de ciências, discutir problemas relacionados à tecnologia e abordar questões socioambientais. As perspectivas apresentadas constituem-se, dentre outras, de uma forma para contribuir no processo ensino-aprendizagem de ciências, bem como mobilizar atitudes e valores em relação aos problemas socioambientais que são vivenciadas diariamente sem, muitas vezes, serem percebidos. Por meio do desenvolvimento da criticidade, torna-se possível julgar o que vivenciamos, seja para avaliar algo simples como lavar uma peça de roupa (escolher entre lavagem a seco e lavagem com água), seja para exigir boas condições de trabalho em ambientes insalubres, como ainda são hoje algumas lavanderias a seco.

Notas

1 - Nome oficial: 2,2 - dimetil - 3 - metilenonorbonano ou 3,3 - dimetil - 2 - metilenorcanfano, cuja fórmula molecular é $C_{10}H_{16}$.

2 - Ponto fulgor: é a menor temperatura na qual um líquido combustível ou inflamável desprende vapores em quantidade suficiente para que a mistura vapor-ar, logo acima de sua superfície, propague uma chama a partir de uma fonte de ignição. Os vapores liberados a essa temperatura não são suficientes para dar continuidade à combustão (CETESB, 2003).

Luciana Diniz Borges (ludinizb@gmail.com), bacharel, licenciada e mestre em Química pela UnB (área de Química Inorgânica - Laboratório de Catálise), é doutoranda em Química na UnB e técnica de nível superior no IQ-UnB. Brasília, DF – BR. **Patrícia Fernandes Lootens Machado** (plootens@unb.br), bacharel em Química pela UFC, mestre e doutora em Engenharia pela UFRGS, é docente da Divisão de Ensino de Química no IQ-UnB. Brasília, DF – BR.

Referências

ANVISA. *Máquinas de lavanderia deverão ser adaptadas para diminuir exposição ao tetracloroetano*. Brasília: Ministério da Saúde, 2004. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em: 21 jul. 2009.

BLACKLER, C.E.; DENBOW, R.; LEVINE, W.; NEMSICK, K. e POLK, R. *A comparative analysis of tetrachloroethene dry cleaning and an alternative wet cleaning process*. Michigan, 1998. Disponível em <<http://www.umich.edu/nppcpub/resources/tetrachloroethenoexecsum.html>>. Acesso em 20 jul. 2009.

BOCCHI, N.; FERRACIN, L.C. e BIAGGIO, S.R. Pilhas e baterias: funcionamento e impacto ambiental. *Quím. Nova*, n. 11, 2000.

BORGES, L.D. *Inserção da educação ambiental no ensino médio: uma proposta para discussão do tema lavagem a seco no contexto escolar*. 2009. 96f. Monografia (Graduação) – Instituto de Química, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

BORGES, R.M.R. e DUSO, L. Projetos integrados em sala de aula: ressignificação do processo de aprendizagem por meio de uma abordagem CTS. In: SANTOS, W.L.P. e AULER, D. (Orgs.). *CTS e educação científica: desafios, tendências e resultados de pesquisa*. Brasília: Editora UnB, 2011. p. 395-415.

BRASIL. *Currículo da educação básica das escolas públicas do Distrito Federal: ensino médio*. 2. ed. Secretaria do Estado de Educação. Brasília: Subsecretaria de Educação Pública, 2002.

CARDOSO, A.A.; MACHADO, C.M.D. e PEREIRA, E.A. Biocombustível, o mito do combustível limpo. *Quím. Nova*, n. 28, 2008.

DESIMONE, J.M. e TUMAS, W. *Green chemistry using liquid and supercritical carbon dioxide*. New York: Oxford University Press, 2003.

DOW, C.C. *Um guia básico para a lavagem a seco*. São Paulo: s/n., 1992.

KAMRIN, M. *Fatos científicos a respeito do produto químico para lavagem a seco tetracloroetano*. Nova York, 2001. Disponível em: <<http://www.acsh.org>>. Acesso em: 21 jul. 2009.

KLEIN, P. *Mudanças mundiais em solvente e maquinário oferecem novas possibilidades para limpadores a seco inovadores*. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CUIDADOS TÊXTEIS MODERNOS. Paris: 2001.

LOHMAN, J.H. A history of dry cleaners and sources of solvent releases from dry cleaning equipment. *Environmental Forensics*, n. 3, p. 35-58, 2002.

LUFTI, M. *Os ferrados e os cromados: produção social e apropriação privada do conhecimento químico*. 2a. ed. Ijuí: Ed. Unijuí, 2005. Coleção Educação Química.

MARKS, N. e LUHRING, D. *HowStuffWorks - Como funciona a lavagem a seco*. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://casa.hsw.uol.com.br/lavagem-a-seco8.htm>>. Acesso em: 10 jul. 2009.

MACHADO, P.F.L. e TUNES, E. Experimentar sem medo de errar. In: SANTOS, W.L.P. e MALDANER, O.A. *Ensino de*

química em foco. Ijuí: Ed. Unijuí, 2010, p. 231-258.

MOTTA, E.F.R.O. *Dossiê técnico: fabricação de produtos de higiene pessoal*. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <http://www.cdt.unb.br/telecentros/files/dossie_higiene.pdf>. Acesso em: 13 maio 2012.

OLIVEIRA, R.S.; GOMES, E.S. e AFONSO, J.C. O lixo eletrônico: uma abordagem para o ensino fundamental e médio. *Quím. Nova*, v. 32, n. 4, 2010.

OSÓRIO, V.K.L. e OLIVEIRA, W. Polifosfatos em detergentes em pó comerciais. *Quím. Nova*, v. 24, n. 5, 2001.

RUDER, A.M.; WARD, E.M. e BROWN, D.P. Mortality in dry-cleaning workers: an update. *American Journal of Industrial Medicine*, n. 39, p. 121-132, 2001.

SAEZ, V.; VICENTEB, M.D.E.; FRÍAS-FERRER, A.J.; BONETEB, P. e GONZÁLEZ-GARCÍA, J. Electrochemical degradation of perchloroethylene in aqueous media: an approach to different strategies. *Water Research*, n. 43, p. 2169-2178, 2009.

SALGADO, P.E.T. e MARONA, H.R.N. *Informações gerais e ecotoxicológicas de solventes clorados*. Série Cadernos de Referência Ambiental, v. 15. Salvador: CRA, 2004.

SILVA, C.N.; LOBATO, A.C.; LAGO, R.M.; CARDEAL, Z.L. e QUADROS, A.L. Ensinando a química do efeito estufa no ensino médio: possibilidades e limites. *Química Nova na Escola*, v. 31, n. 4. p. 268-274, 2009.

SUTILI, F.K.; MIOTTO, N.; RIGOTI, E.; PERGHER, S.B.C. e PENHA, F.G. Aplicação de zeólitas sintéticas como coadjuvante em formulação detergente. *Quím. Nova*, v. 32, n. 4, 2009.

TORAASON, M.; BUTLER, M.A.; RUDER, A.; FORRESTER, C.; TAYLOR, L.; ASHLEY, D.L.; MATHIAS, P.; MARLOWA, K.L.; CHEEVER, K.L.; KRIEG, E. e WEY, H. Effect of perchloroethylene, smoking, and race on oxidative DNA damage in female dry cleaners. *Mutation Research*, n. 539, p. 9-18, 2003.

YASUHARA, A. Thermal decomposition of tetrachloroethylene. *Chemosphere*, n. 8, p. 1507-1512, 1993.

<http://www.cetesb.sp.gov.br/gerenciamento-de-riscos/analise-de-risco-tecnologico/28-liquidos-inflamaveis>, acessada Julho 2011.

Para saber mais

ELECTROLUX. *Lagoon woolmark da Electrolux laundry systems*. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.nextch.com.br>>.

HJERESSEN, D.L.; SCHUTT, D.L. e BOESE, J.M. Green chemistry and education. *Journal of Chemical Education*, v. 77, n. 12, p. 1543-1547, 2000.

MOREIRA, M.A. *Teorias de aprendizagem*. São Paulo: E.P.U., 1999.

WHO. *Guidelines for drinking-water quality: health criteria and other supporting information*. 2. ed. Geneva: World Health Organization, 1996.

Abstract: *Dry Cleaning*. Cleaning clothes is a very old domestic activity and, over the years, this practice has been facilitated and enhanced by the use of washing machines, optical brighteners agents, stain removers, more efficient detergents etc. Sometimes, the traditional way of washing the fabrics with soap and water do not achieve a high degree of cleanliness, depending on the nature of the dirt. This fact, added to others such as the deformation and the discoloration of the fabrics, has generated the need to develop new methods of cleaning, such as dry cleaning. This paper presents a contemporary theme, linked to the social, environmental, economic and political issues, which allows the significance of the chemistry teaching with the prospect to change the way of thinking and acting, which is consistent with an approach of environmental education.

Keywords: Dry Cleaning, perchloroethylene, environmental education.