

**ÁREA TEMÁTICA:**Área 1: Gestão Ambiental

## **MINIMIZAÇÃO DE REAGENTES QUÍMICOS E RESÍDUOS SÓLIDOS EM LABORATÓRIOS DE UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR**

*Olga Regina Gauza<sup>1</sup> (gauza@utfpr.edu.br), André Nagalli<sup>1</sup> (nagalli@utfpr.edu.br), Valma Martins  
Barbosa<sup>1</sup> (valma@utfpr.edu.br), Gabriela Alcoforado Pereira<sup>1</sup> (gabriela.alcoforado@hotmail.com),  
Mariana Basilio<sup>1</sup> (marianabasilio@utfpr.edu.br), Paulo Roberto Geraldo Filho<sup>1</sup>  
(engpauloroberto87@gmail.com)*

1 Universidade Tecnológica Federal do Paraná

### **RESUMO**

A Química é uma das ciências com grande contribuição à sociedade, mas, em decorrência das atividades práticas laboratoriais, que geram resíduos químicos com diferentes níveis de toxicidade, impõe-se a necessidade de um gerenciamento efetivo. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar criticamente a geração de resíduos oriundos de práticas de ensino e pesquisa em laboratórios didáticos de química em uma instituição de ensino superior. Foram realizadas palestras e orientações a usuários e responsáveis pelos laboratórios, os quais contribuíram na proposição de novas práticas, com vistas à racionalização do processo de geração de resíduos e consumo de reagentes químicos. A investigação possibilitou identificar oportunidades de melhoria nos processos de gestão, dentre as quais a alteração de rotinas de práticas laboratoriais que possibilitaram a redução no consumo de reagentes químicos, com impacto direto sobre custos associados. Atingiram-se reduções no consumo de reagentes químicos que variaram de 50% a 100%, além da inserção de novas práticas de reaproveitamento de resíduos.

**Palavras-chave:** Resíduos Químicos; Práticas Laboratoriais; Reaproveitamento de Resíduos.

## **REDUCTION AND REUSE ACTIONS IN THE CHEMISTRY LABORATORIES OF A HIGHER EDUCATION INSTITUTION**

### **ABSTRACT**

Chemistry is one of the sciences with great contribution to society, however; as a result of practical laboratory activities, that generate chemical residues with different levels of toxicity, it is seen to be necessary an effective management. Thus, the objective of this work was to critically evaluate the generation of residues from teaching and research practices in didactic chemistry laboratories in a higher education institution. Lectures and guidelines were given to users and responsible personal for the laboratories which, in addition to having benefited from the training, also contributed to the proposition of new laboratory practices, with a view to rationalizing the waste generation. This research made it possible to identify opportunities for improvement in the management processes, among which was the change in laboratory practices routines that allowed the reduction in the consumption of chemical reagents, with a direct impact on associated costs. Reductions in the consumption of chemical reagents ranging from 50% to 100% were achieved, as well as the insertion of new waste reuse practices.

**Keywords:** Chemical Waste; Laboratory Practices; Reuse of Waste.

### **INTRODUÇÃO**

A química é uma das ciências com grande contribuição à sociedade, mas em decorrência das práticas laboratoriais, gera resíduos químicos com níveis distintos de toxicidade. Diante desta realidade, a American Chemical Society lançou, em 1993, para minimizar o desperdício em laboratórios, um guia explicativo a respeito dos princípios básicos de sua política – menos é melhor - com a premissa básica de que é mais seguro e ecologicamente correto comprar, estocar, usar menos e fazer a disposição de menores quantidades de resíduos (ACS, 1993). Se uma operação

de laboratório produzir menos resíduos, haverá menor desperdício para descartar, redução do impacto no meio ambiente e os custos também são diminuídos (NRC, 2011).

As Instituições de Ensino Superior (IES), reconhecendo os impactos de suas atividades sobre o meio ambiente, assumiram também a iniciativa de procurar formas de atenuação (ALMEIDA, 2016). Razão disso, nos últimos anos as IES do Brasil voltaram sua atenção aos resíduos químicos resultantes das atividades de ensino e pesquisa (LEITE, 2017).

Os resíduos químicos gerados em laboratórios em decorrência de práticas de pesquisa e/ou ensino nas universidades e em centros de pesquisa passaram a ser uma preocupação no Brasil a partir da década de 1990. Até esta década não havia gerenciamento adequado para os mesmos. Essa questão não se restringe apenas à adoção de práticas que visem à minimização e tratamento dos resíduos produzidos nas atividades laboratoriais, mas também à conscientização e treinamento de recursos humanos (SILVA et al., 2010; ALBERGUINE et al., 2005).

Essas ideias continuam a se reproduzir no Século XXI com movimentos como a Química Verde, e novas tecnologias para reduzir ou eliminar os resíduos perigosos produzidos pelos procedimentos em laboratórios de ensino e de pesquisa. É por esta razão que a aplicação dos conceitos de Química Verde tem se mostrado de grande importância nas práticas didáticas das universidades, principalmente nas atividades realizadas nos laboratórios de Química. Um de seus principais conceitos, a minimização, consiste na redução na quantidade e na toxicidade dos químicos utilizados por meio de técnicas de reaproveitamento, substituição, e diminuição de escalas (GONÇALVES et al., 2014).

Mesmo com a existência de uma legislação não diretamente relacionada aos laboratórios de ensino, mas que dispõe de forma geral sobre os resíduos gerados em laboratórios, ainda há falta de gestão e de descarte seguro, ambientalmente adequado e economicamente viável (SOUZA, 2014). Em consequência disso, houve aumento na busca por ações que proporcionem a sustentabilidade, visando à manutenção da vida e dos recursos naturais em todo o planeta. Essas ações estão incluídas nas metas das IES (ZANDONAI et al., 2014).

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), antigo CEFET-PR, há anos propicia a seus alunos de ensino técnico, de graduação, de pós-graduação e aos pesquisadores, ambientes para desenvolvimento de atividades de ensino, pesquisa e extensão que incluem a área de Química. Este trabalho visa à análise crítica do gerenciamento de resíduos sólidos em laboratórios didáticos de um departamento acadêmico, com vistas à racionalização do consumo de reagentes químicos e minimização da geração de resíduos sólidos associada.

## **OBJETIVO**

O objetivo desta pesquisa é analisar criticamente a geração dos resíduos oriundos de laboratórios didáticos de química em uma IES, com vistas à racionalização do consumo de materiais e à minimização da geração de resíduos.

## **METODOLOGIA**

O método utilizado na pesquisa envolveu o levantamento de dados de quarenta e um laboratórios de ensino e/ou pesquisa de um departamento acadêmico da UTFPR - Campus Curitiba, Sede Ecoville.

Para tanto, foram acompanhadas aulas de Prática de Química Geral, Química Inorgânica, Química Analítica, Química Orgânica, Físico-Química e Engenharia. As aulas de Prática de Química Geral foram acompanhadas 1 vez por semana durante um semestre, assim como as aulas de Química Inorgânica. Já as demais foram acompanhadas 4 aulas de cada disciplina.

Promoveram-se palestras: : uma palestra para os docentes do departamento; uma palestra para estagiários do departamento; uma para os alunos do Programa de Pós Graduação de Química e do Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental; e uma palestra para alunos do curso de graduação em Tecnologia em Processos Ambientais, junto à disciplina de Biossegurança com duração média de 50 minutos que abordaram os temas: os princípios da Química Verde, a relação poluidor-pagador, a hierarquia de gerenciamento de resíduos citando-se

exemplos de cada etapa, falhas do sistema de gerenciamento, a reavaliação das aulas práticas: a prevenção e a eliminação, substituindo-se substâncias perigosas por não perigosas; a minimização; a utilização de micro e semi-microescalas; a redução do uso dos reagentes; a reutilização; a reavaliação dos novos procedimentos; a importância da participação e colaboração de todos.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **AÇÕES VISANDO À MELHORIA DO GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS**

O inventário mostrou-se um instrumento importante de gestão de resíduos, vez que permite avaliar objetivamente a eficiência do processo de geração, reaproveitamento e destinação de resíduos. Permitiu conhecer a dinâmica da geração de resíduos e identificar as fragilidades e as potencialidades, no intuito de atingir o desenvolvimento sustentável e verificar possibilidades de se aplicar os Princípios da Química Verde, citados por Gonçalves et al. (2014).

Alinhado aos princípios propostos por Silva et al. (2010) e Alberguine et al. (2005), o ciclo de palestras aplicado mostrou-se efetivo e importante, não só do ponto de vista de conscientização, mas também por oportunizar aos usuários e responsáveis a possibilidade de interagir com o processo de planejamento/replanejamento das práticas. Deste ciclo surgiram diversas ideias propostas por usuários e responsáveis que passaram a ser adotadas nos laboratórios e repercutiram diretamente sobre a geração dos resíduos.

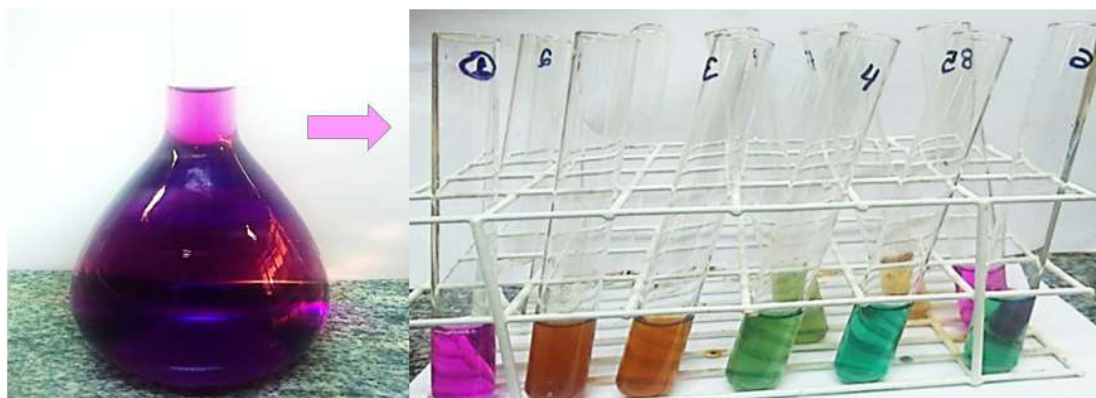
Neste trabalho, a ênfase foi de promover a conscientização para implementação de estratégias de não geração, redução, segregação e reutilização dos resíduos gerados em atividades nos laboratórios de ensino de química do departamento, sendo relevante a preocupação com o gerenciamento dos resíduos, apontando formas adequadas para redução do consumo, principalmente de reagentes, evitando-se desperdícios e custos desnecessários.

Em paralelo, revelou-se resultado importante do processo de gestão e que interfere diretamente na geração dos resíduos o trabalho das estagiárias, que após as orientações das palestras promoveram o reuso das soluções químicas que não iriam mais ser usadas nas aulas práticas. Formou-se uma bolsa intradepartamental de resíduos, a partir da qual são repassados reagentes/resíduos químicos usados a outros laboratórios que teriam demanda por tais soluções.

#### **4.2. Ações de redução em práticas de química inorgânica**

A prática experimental – Estudos de Oxidação e Coloração do Manganês – analisa os nove estados de oxidação do manganês, utilizando-se 10 mL de permanganato de potássio (concentração 0,0004 mol/L em 9 tubos). Em seguida, são adicionadas diferentes quantidades de soluções de ácido clorídrico, hidróxido de sódio e bissulfito de sódio, totalizando um resíduo de aproximadamente 90 mL por bancada. Com a pesquisa vislumbrou-se a possibilidade de se utilizar apenas 1 mL/prática, como ilustrado na Figura 1. Essas reduções de reagentes e de custos estão apresentadas, na Tabela 1, onde, “antes” refere-se aos valores utilizados anteriormente às orientações feitas pelos autores e “depois” após as orientações.

**Figura 1:** Prática - Oxidação e Coloração do Manganês



Fonte: Autores, 2018

**Tabela 1:**Quantidades e valores de reagentes gastos em um semestre de aula.

Reagente	Quantidade por Semestre *		Preço por Semestre*	
	Antes	Depois	Antes	Depois
<b>Permanganato de Potássio - 0,0004 mol/L</b>	1080 mL	216 mL	R\$ 3,60 . 10 <sup>-3</sup>	R\$ 7,20 . 10 <sup>-4</sup>
<b>Ácido Clorídrico - 2,4 mol/L</b>	25 mL	5 mL	R\$ 9,50 . 10 <sup>-2</sup>	R\$ 1,90 . 10 <sup>-2</sup>
<b>Bissulfito de Sódio - 0,04 mol/L</b>	20 mL	4 mL	R\$ 2,40 . 10 <sup>-3</sup>	R\$ 4,8 . 10 <sup>-4</sup>
<b>Hidróxido de Sódio - 3,2 mol/L</b>	34 mL	7 mL	R\$ 8,80 . 10 <sup>-2</sup>	R\$ 1,76 . 10 <sup>-2</sup>

Fonte: Autores, 2019

A Figura 2 ilustra a prática experimental – Reatividade dos Compostos de Coordenação. Na primeira parte analisaram-se ferro e cobalto. Na segunda parte são analisados ferro e cobre. A prática utilizava 9 tubos de ensaio com 2 ml de soluções de cloreto de ferro III 0,1 mol/L e sulfato de cobre II 0,1 mol/L, e, em seguida, foram acrescentadas diferentes soluções de fluoreto de sódio P.A., iodeto de potássio 0,1 mol/L, ácido clorídrico 6 mol/L e nitrato de prata 0,1 mol/L. Os reagentes utilizados foram reduzidos em 50%, ou seja, foram adicionados 1 mL das soluções de cloreto de ferro III e sulfato de cobre II.

**Figura 2:** Prática - Reatividade dos Compostos de Coordenação



Fonte: Autores, 2018

Essas reduções de reagentes e de custos estão apresentadas na Tabela 2, onde, “antes” refere-se aos valores utilizados anteriormente às orientações feitas pelos autores e o “depois” após as orientações.

**Tabela 2:** Quantidades e valores de reagentes gastos num semestre de aula.

Reagente	Quantidade por Semestre*		Preço por Semestre*	
	Antes	Depois	Antes	Depois
<b>Cloreto de Ferro III - 0,1 mol/L</b>	240 mL	120 mL	R\$ 0,33	R\$ 0,16
<b>Fluoreto de sódio - PA</b>	24 g	12 g	R\$ 10,00	R\$ 5,00
<b>Cloreto de Cobalto II - 1 mol/L</b>	96 mL	48mL	R\$ 7,40	R\$ 3,70
<b>Tiocianato de Amônio - PA</b>	48 mL	24 mL	R\$ 5,70	R\$ 2,90
<b>Sulfato de Cobre II - 0,1 mol/L</b>	48 mL	24 mL	R\$ 0,036	R\$ 0,02
<b>Iodeto de Potássio - 0,1 mol/L</b>	96 mL	48 mL	R\$ 0,80	R\$ 0,40
<b>Nitrato de Prata - 0,1 mol/L</b>	9,6 mL	4,8 mL	R\$ 0,50	R\$ 0,25
<b>Ácido Clorídrico - 6 mol/L</b>	0,48 mL	0,24 mL	R\$ 0,002	R\$ 0,001
<b>Hidróxido de Amônio - 6 mol/L</b>	0,48 mL	0,24 mL	R\$ 0,001	R\$ 0,0006

Fonte: Autores, 2018

Da análise da Tabela 2 pode-se depreender que a prática experimental de Estudos de Oxidação e Coloração do Manganês, apresentou redução de 80% no consumo de reagentes e conseqüentemente nos gastos com os mesmos. E, na prática experimental “Reatividade dos Compostos de Coordenação” houve redução de 50% no consumo de reagentes, e conseqüentemente, nos custos com os mesmos. Com isso, as ações de redução irão reduzir os gastos com as compras de novos reagentes, assim como a redução de emissão de agentes poluentes e conseqüentemente a minimização de efeitos ambientais impactantes. Trazendo para a instituição uma economia de custo onde esses reagentes deverão ser comprados em menor quantidades.

#### 4.3. Ações de redução e reuso em aulas práticas de Química Geral

Prática de transformações físico-químicas que podem produzir ou consumir energia elétrica – Eletroquímica. A prática em questão já gera poucos resíduos, pois para fazer a pilha são utilizadas soluções de sulfato de cobre, iodeto de potássio, sulfato de zinco e sulfato de sódio. Após a utilização, as soluções são devolvidas aos frascos e reutilizadas nas próximas práticas. Porém, muitas vezes ocorrem erros e as soluções se misturam necessitando ser descartadas. Para essas soluções não são realizados tratamentos no laboratório e sim descarte onde deixa-se acumular uma quantidade maior de várias aulas até o dia de recolhimento pela empresa, sendo assim feito o tratamento adequado, conforme a classificação do resíduo ou enviado para o aterro.

No início dessa prática, eram utilizados béqueres de 50 mL das soluções de sulfato de cobre e sulfato de zinco; após, reduzidos à metade, utilizando-se hoje béqueres de 25 mL de cada solução. Portanto, as quantidades de resíduos gerados serão 50% menores.

#### Ações de redução e reuso em aulas práticas de química orgânica

No procedimento é realizado síntese da Acetanilida, sendo este o único resíduo gerado. Nova prática foi elaborada, a nitração da Acetanilida, utilizando-se a Acetanilida gerada na prática anterior, reduzindo-se a quantidade de resíduos. Além disso, estes podem ser utilizados futuramente para uma nova prática, e os ácidos na nitração são neutralizados e descartados para incineração ou aterro. Essas reduções de reagentes e de custos estão apresentadas na Tabela 3.

**Tabela 3:** Quantidades e valores de reagentes gastos num semestre de aula.

Reagente	Quantidade por Semestre		Preço por Semestre	
	Antes	Depois	Antes	Depois
<b>Acetanilida</b>	12g	12g	R\$ 9,50	R\$ 0,00*

Fonte: Autores, 2018

\* Toda a acetanilida usada na prática provem da prática anterior Síntese e Purificação da Acetanilida, cujo o único resíduo gerado é a Acetanilida.

A Figura 3 indica a síntese da Dibenzalacetona. Eram utilizados previamente à análise desta pesquisa 10 g de hidróxido de sódio, 80 mL de etanol, 11 mL de benzaldeído e 6,3 mL de acetona, para formar a dibenzalacetona, que era armazenada no laboratório até juntar um volume adequado para ser descartada para incineração ou aterro industrial. Após a proposta, a síntese passou a ser realizada com a metade dos reagentes e o produto final não será descartado, sendo reutilizado uma vez em uma nova prática de ensino, onde ambas as práticas são realizadas duas vezes ao ano. Essas reduções de reagentes e de custos estão apresentadas na Tabela 4.

**Figura 3:** Síntese da Dibenzalacetona



Fonte: Autores, 2018

**Tabela 4:** Quantidades e valores de reagentes gastos em um semestre de aula.

Reagente	Quantidade por Semestre*		Preço por Semestre*	
	Antes	Depois	Antes	Depois
Hidróxido de Sódio - PA	40 g	20 g	R\$ 0,80	R\$ 0,40
Etanol - PA	320 mL	160 mL	R\$ 4,80	R\$ 2,40
Benzaldéido - PA	44 mL	22 mL	R\$ 0,45	R\$ 0,23
Acetona - PA	25,2 mL	12,6 mL	R\$ 0,45	R\$ 0,23

Fonte: Autores, 2018

Após a análise desses resultados, pode-se observar que na prática experimental Nitração da Acetanilida houve redução de 100% no consumo de reagentes, e conseqüentemente, nos gastos associados. E, na prática experimental Síntese da Dibenzalacetona, houve redução de 50% no consumo de reagentes e, conseqüentemente dos gastos associados, além do reaproveitamento de 100% dos resíduos gerados, para a utilização de uma próxima aula prática.

#### 4.4 Ações de redução e reuso em aulas práticas de química analítica

A volumetria de precipitação na determinação de cloretos pelo Método de Mohr é uma prática em que ocorre padronização da solução de nitrato de prata. Para isso, é preparada solução de nitrato de prata com concentração de 0,1 mol/L. Essa solução era armazenada no laboratório de origem até se ter um volume significativo para ser descartada, destinando-se para incineração ou aterro industrial. Após a análise crítica, esta não é mais descartada, sendo apenas refeita a padronização com a mesma solução, o que reduziu em quase 100% o resíduo gerado.

Esse procedimento foi proposto por uma estagiária, após assistir a uma das palestras ministradas. O mesmo procedimento foi utilizado para o experimento de volumetria de neutralização - Ácido Forte e Base Forte - prática na qual ocorre a padronização de uma solução hidróxido de sódio, que também era descartada e passou a ser reutilizada.

Na determinação gravimétrica de níquel são utilizados 10 g/L de dimetilglioxima, o resíduo gerado era descartado. Após a análise crítica, a estagiária passou a reutilizar a solução, purificando e padronizando, e o resíduo gerado foi reduzido a 10% da porcentagem anterior.

Da análise global dos resultados, entende-se que a análise crítica realizada possibilitou minimizar os resíduos químicos gerados nas aulas práticas do departamento e respectivos ambientes laboratoriais.

## 5. CONCLUSÃO

Ao propor medidas de racionalização e conscientização de usuários dos laboratórios e responsáveis, obtiveram-se avanços e melhoria de desempenho nos aspectos de geração de resíduos.

No que se diz respeito aos princípios da Química Verde, foram propostas melhorias nas rotinas de aulas, com repercussão sobre a geração de resíduos, tendo-se diminuído as quantidades geradas em algumas práticas citadas anteriormente, por exemplo: Oxidação e Coloração do Manganês.

Por meio de discussão com os responsáveis por aulas e laboratórios, a pesquisa pôde identificar estratégias para redução da quantidade de resíduos gerados nos laboratórios. Atingiram-se resultados expressivos nas aulas práticas com reduções que chegaram a 100 % dos reagentes consumidos nas práticas laboratoriais, como o exemplo da Síntese da Dibenzalacetona.

Quanto ao impacto de palestras e orientações a responsáveis por laboratórios e usuários, verificou-se que a comunidade universitária se revelou sensível às ações realizadas, tendo sido evidenciados ajustes de procedimentos gerenciais de resíduos aos princípios da Química Verde. Corroborou para tanto o engajamento dos responsáveis pelos laboratórios. Por exemplo, de uma das palestras/orientações surgiram ideias para a racionalização das práticas de ensino, com a substituição de procedimentos, por outros menos geradores de resíduos (não-geração e minimização na fonte) e/ou com reaproveitamento dos resíduos gerados.

Notou-se maior conscientização por parte de usuários e responsáveis pelos laboratórios e puderam ser implementadas novas práticas, que se revelaram efetivas para a racionalização do processo de gerenciamento de resíduos sólidos laboratoriais.

## REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14725-4 – **Produtos químicos – Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente**. Parte 4: Ficha de informações de segurança de produtos químicos (FISPQ). Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. NBR 10.004 **Classificação de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004.

AMARAL, Luís Pedro; MARTINS, Nelson; GOUVEIA, Joaquim Borges. Quest for a Sustainable University: a review. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, v. 16, n. 2, 2015.

ANTONIASSI, B; ARAÚJO V; CHAVES, M; TELASCREA, M, KEMPA, M; BERSANETTI, B. Analysis of the Economic Viability in the Implementation of the Chemical Waste Management System in Teaching and Research Laboratories. Published by Canadian Center of Science and Education. *Journal of Sustainable Development*, vol. 10, nº 1; 2017.

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE QUÍMICA E BIOLOGIA – DAQBI (Universidade Tecnológica Federal do Paraná). **[Formulário utilizado para documentação dos resíduos produzidos nos laboratórios do DAQBI]**. Curitiba, 2018.

DI VITTA, P.B., et al. **Manuseio de produtos químicos e descarte de seus resíduos**. In: HIRATA, M.H., HIRATA, R.D.C., FILHO, J.M., (Ed(s)). Manual de Biossegurança. Barueri: Manole, 2012. p.67-106.

MOREIRA, Maria S. **Estratégia e implementação do sistema de gestão ambiental**( Modelo ISO 14001: 2004). Nova Lima: Editora FALCONI, 2013.

NRC. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 2011. ***Prudent Practices in the Laboratory***: Handling and Management of Chemical Hazards, Updated Version. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/12654>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK55885/table/ch8.t3/?report=objectonly>. Acesso 08 de julho de 2018.

SOTILES, A. R.; SILVA, L. D.; LOSS, E. M. S.; FERRI, E. A V.; SARI, R. **Determinação da pureza de sulfato de cobre recuperado das aulas práticas de química**. Synergismusscientifica, v. 10, n. 1, 2015.