

Guilherme Isquibola<sup>1</sup>, Emanuel Carlos Rodrigues<sup>2</sup><sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista - Campus Araraquara, <sup>2</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - Câmpus Barretos

## Quantificação dos metais pesados chumbo e mercúrio em pilhas do tipo comum (Zn/C).

Quantification heavy metals lead and mercury in common type cells (Zn/C).

**Resumo.** As pilhas do tipo comum, em especial as de Leclanché, empregam em sua constituição diversos metais que são utilizados para diversos fins, inclusive para aumentar sua durabilidade. Dentre esses, cabe destacar a presença de chumbo e mercúrio, cujo potencial de toxico é relativamente elevado. Neste sentido, como maneira de controlar o seu uso, a legislação vigente determina os limites máximos de concentração, sendo 0,1% da massa da pilha em chumbo e 0,0005% em mercúrio. A mesma legislação também incentiva os fabricantes e importadores a buscar alternativas que possam substituir a utilização direta dos metais pesados, como maneira de contribuir com a garantia da qualidade ambiental. O atual trabalho objetiva a determinação e a quantificação desses metais em pilhas do tipo comum que já foram utilizadas e estavam próprias para o descarte. A técnica utilizada para tal feito é a espectrofotometria UV/Vis, onde os analitos são associados a reagentes cromóforos, como por exemplo a difenilcarbazona, que produz complexos [M-Ligante] que absorvem comprimentos de onda específicos de fácil detecção. A metodologia proposta apresentou eficácia na determinação, e os as concentrações encontradas se apresentaram inferiores às permitidas, demonstrando uma adequação por parte dos fabricantes. **Palavras-chave:** Difenilcarbazona, Pilhas comuns, Metais pesados, Espectrofotometria UV/Vis, Pilha de Leclanché.

**Abstract.** The batteries of the common type, especially those of Leclanché, use in their constitution diverse metals that are used for diverse ends, including to increase its durability. Among these, it is worth mentioning the presence of lead and mercury, whose toxic potential is relatively high. In this sense, as a way of controlling its use, the current legislation determines the maximum concentration limits, being 0.1% of the battery mass in lead and 0.0005% in mercury. The same legislation also encourages manufacturers and importers to seek alternatives that can replace the direct use of heavy metals, as a way of contributing to the guarantee of environmental quality. The current work aims to determine and quantify these metals in batteries of the common type that have already been used and were suitable for disposal. The technique used for this purpose is UV / Vis spectrophotometry, where the analytes are associated with chromophoric reagents, such as diphenylcarbazone, which produces complexes [M-Ligand] that absorb specific wavelengths that are easy to detect. The proposed methodology was effective in determining, and the concentrations found were lower than those allowed, demonstrating an adequacy on the part of the manufacturers. **Keywords:** Diphenylcarbazone, Battery, Heavy metal, UV / Vis spectrophotometry, Leclanché cell.

### Introdução

As pilhas são dispositivos elétricos portáteis, capazes de fornecer energia elétrica por meio de diversas reações químicas de oxidação e redução. Elas podem ser primárias, isto implica que as reações que descrevem seu funcionamento são do tipo irreversíveis e o seu uso está limitado a apenas um ciclo, ou então podem ser secundárias, possibilitando o seu recarregamento por reações reversíveis (McMICHAEL; HENDERSON, 1998). O primeiro protótipo de pilha primária foi desenvolvido em 1866, pelo então engenheiro Georges-Lionel Leclanché, material este desenvolvido a base de zinco e carbono (Zn/C), sendo que esta foi aprimorada e é utilizada até os dias atuais. Elas eram as únicas utilizadas até meados de 1940, quando, as pressões sociais relacionadas à segunda guerra mundial, favoreceram o aperfeiçoamento de

modelos portáteis, criando materiais com um maior tempo de vida, maior potência e melhor funcionamento em baixas temperaturas (LIDEN; REDDY, 2001).

No modelo atual desta pilha, seu ânodo é feito à base de zinco enquanto seu cátodo de uma mistura de dióxido de manganês e Carbon Black, composto feito à base de carbono obtido por meio da combustão incompleta de hidrocarbonetos que possui características físico-químicas que auxiliam no melhor funcionamento das pilhas, cabendo destacar a sua boa condutibilidade. O cátodo por sua vez, é envolto por uma pasta eletrolítica, feita a base de cloreto amônio e/ou cloreto de zinco, onde são adicionados alguns compostos que visam aumentar a durabilidade do material e a sua potência (LIDEN, REDDY, 2001; DONNET, BANSAL, WANG, 1993).

Neste sentido, alguns metais passaram a ser empregados na constituição de pilhas do tipo comum, tais como o cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobalto (Co), cromo (Cr), lítio (Li), manganês (Mn), mercúrio (Hg), níquel (Ni), prata (Ag) e zinco (Zn). Dentre eles, cabe destacar os metais pesados chumbo e o mercúrio; objetos de estudo do trabalho (INMETRO, 2012).

O mercúrio é um metal extremamente tóxico, cuja exposição direta, mesmo em doses pequenas e por um longo período de tempo, pode causar sérios problemas de saúde. Quando na forma de vapor, ele é facilmente absorvido pelo sistema respiratório e solubilizado no sangue, sendo transportado até aos rins e cérebro. Apresenta efeito citotóxico no sistema nervoso central e nas células tronco, resultando em danos aos pulmões, náuseas, vômitos, diarreia, alterações na frequência cardíaca, erupções cutâneas, além de irritação nos olhos. Pode acarretar também em transtornos psicológicos, como irritabilidade, perda de memória e timidez, além de outros problemas físicos, como alterações na visão ou na audição e espasmos (SALL et al., 2020; MARTIN; GRISWOLD, 2009).

O chumbo e seus compostos, por sua vez, apresentam elevada toxicidade, afetando todos os órgãos do corpo humano, em especial o sistema nervoso central, com efeito severo em crianças, devido à maior maciez de seus tecidos, tanto internos quanto externos. Sua periculosidade aumenta com o fator de exposição, podendo causar anemia, aumento da pressão sanguínea, produz fraquezas, pode gerar aborto espontâneo e até mesmo causar a morte (MARTIN; GRISWOLD, 2009, WANI; ARA; USMANI, 2015).

Os metais em seus estados bivalentes ( $Pb^{2+}$  e  $Hg^{2+}$ ) possuem certa afinidade com proteínas, interagindo com elas via grupos tiol e amino, substituindo outros que poderiam ser essenciais para diversas funções no organismo (RIGUETTI et al., 2015).

Além dos problemas que acometem a saúde humana, os metais pesados também interferem negativamente no meio ambiente, uma vez que a maioria dos tratamentos de efluente não são capazes de eliminá-los. No solo, tais metais passam por diversos processos que poderão formar precipitados insolúveis ou complexos com compostos orgânicos ou então ser adsorvidos a outros elementos (RIGUETTI et al., 2015; AGUIAR; NOVAES, 2002; MUNIZ; OLIVEIRA-FILHO, 2006).

Normalmente, as pilhas são descartadas no lixo comum, que por sua vez, em sua grande maioria, tem por disposição final os aterros não controlados. Quando expostas às condições ambientais, seus componentes internos passam por diversos processos de oxidação, resultando no rompimento de seu invólucro externo de zinco, favorecendo o vazamento gradativo dos metais que a constitui, favorecendo processos de lixiviação destes, contaminando águas subterrâneas, córregos e riachos e podem até serem transportados para as raízes das plantas,

aumentando a sua fração biodisponível (BRUM, 2010; AGOURAKIS et al., 2006; CÂMARA et al., 2012).

Um outro possível destino das pilhas e seus constituintes presentes no lixo doméstico é a compostagem, com trituração junto com os outros rejeitos, gerando adubos contaminados com metais que podem afetar plantas e animais (BRUM, 2010).

A NBR 10004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004) estabelece o grau de periculosidade de diversos resíduos sólidos, dentre eles, as pilhas e seus constituintes. Segundo a normativa, as pilhas em geral apresentam uma alta toxicidade devido à presença de diversos metais pesados (como Pb, Cd e Hg), além de ser um dispositivo que, quando misturado com água produz uma solução cujo potencial hidrogeniônico (pH) é inferior a 2 caracterizando o material como corrosivo. As pilhas também apresentam relativa reatividade, uma vez serem capaz de produzir reações explosivas em determinadas condições. Sendo assim, esses materiais fazem parte dos resíduos classe I, os perigosos, cujo destino final deve ser controlado.

Diante deste contexto, a legislação vigente estabelece os limites dos metais presentes nas pilhas de diversas fontes, de maneira a estabelecer uma concentração máxima permitida que garanta condições vida no meio ambiente. Neste sentido, a resolução nº401 de 2008, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), determina as concentrações máximas de chumbo, mercúrio e cádmio em pilhas do tipo comum: até 0,0005% da sua massa em Hg; 0,1% em Pb e 0,002% em Cd. O órgão também delimita as entidades responsáveis pela fiscalização do cumprimento da resolução, sendo eles o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e a própria Administração Pública. Também confere aos fabricantes e/ou importadores a responsabilidade de conduzir estudos e experimentos para redução do teor dos metais ou sua substituição, bem como a aplicação da logística reversa das pilhas, com sua coleta e destinação ambientalmente correta (CONAMA, 2008; VIEIRA; SOARES; SOARES, 2009).

A literatura apresenta métodos utilizados na determinação de metais em pilhas. Schuh (2012) em sua dissertação apresenta um método para a determinação de Pb, Cd e Hg em pilhas do tipo alcalinas, utilizando um espectrômetro de emissão ótica com plasma acoplado. Dentre as 193 amostras estudadas, todas seguiam a legislação para o limite de cádmio, mas, dez delas a concentração de mercúrio estava acima do indicado e oito excediam a concentração de chumbo. Pereira (2019) também determinou por espectrometria a concentração de diversos metais em pilhas do tipo Zn/C.

A espectrofotometria UV/Vis também é uma técnica capaz de detectar metais nas concentrações permitidas pela legislação. O seu funcionamento é baseado na quantificação da radiação eletromagnética, em determinado comprimento de onda, que é absorvida pelo analito devido às suas características, resultando em valores de absorbância. Os resultados da análise são expressos a por meio da relação entre a absorbância e a concentração do analito na amostra (SKOOG et. al, 2006). A figura 1 apresenta a exemplificação do processo de absorção da radiação eletromagnética em um espectrofotômetro.

Conforme observado na figura, o raio incidente (simbolizado por P0) possui intensidade diferente do raio que atravessou a solução (representado por P). O processo de absorção é descrito pela lei de Beer-Lambert, que elucida como a atenuação depende de diversos fatores, tais como a concentração do analito e o caminho óptico. Esta lei também descreve a transmitância como a fração da radiação incidente que é transmitida pela solução. A

absorbância, por sua vez, relaciona-se com o logaritmo da transmitância, conforme a equação 1 (SKOOG et al., 2006):

$$\text{Abs} = -\log T = -\log \frac{P_0}{P} \quad 1)$$

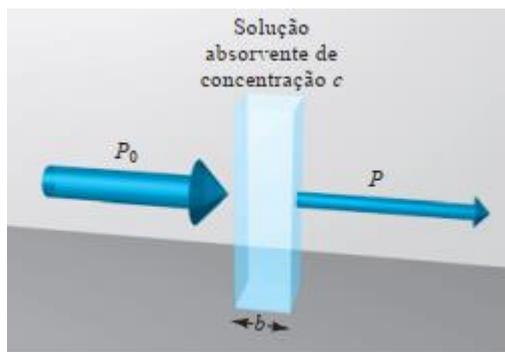


Figura 1 - Processo de absorção que ocorre em um espectrofotômetro UV/Vis. Fonte: SKOOG et al., 2006.

As análises espectrofotométricas em geral envolvem medições com comprimentos de onda específicos que abrangem a região da área visível e do ultravioleta (UV/Vis). Os pontos positivos de tais técnicas são a sua velocidade para a obtenção dos dados, além da precisão e exatidão (LOBIŃSKI, MARCZENKO, 1992).

No entanto, alguns analitos possuem baixa absorvidade molar, fazendo-se necessário o uso de outros reagentes que visam aumentar a sensibilidade e a capacidade de absorção. Neste sentido, são utilizados os chamados reagentes cromóforos que formam complexos com os metais, favorecendo a quantificação dos analitos (ROCHA, TEIXEIRA, 2004; PRENESTI, DANIELE, TOSO, 2002; SKOOG et al., 2006).

Um exemplo de reagente cromóforo é a defenilcarbazona (DPCO), cuja estrutura está apresentada na figura 2. Ela é amplamente utilizada devido à sua alta sensibilidade a diversos cátions metálicos, formando rapidamente complexos quelatos coloridos. Cabe destacar que a DPCO possui baixa solubilidade em água, sendo solúvel em diversos compostos orgânicos, como o benzeno, etanol, metanol, propanona, tolueno e o xileno (BALT, DALEN, 1962a; BALT, DALEN, 1962b; BLATON, et al. 1979; GERLACH; FRAZIER, 1958; MALAKHOVA et. al, 1991; THAKUR; DEB, 1999; TRINDER, 1966; YOUNG, 1966).

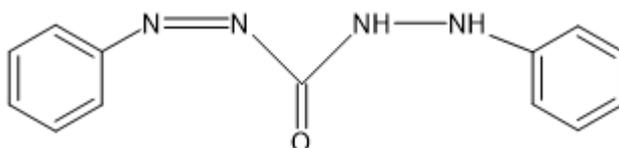


Figura 2 - Estrutura molecular da difenilcarbazona. Fonte: Adaptado de NCBI, 2020.

Outro ponto a ser destacado é a relação da coloração da difenilcarbazona e o pH. Em soluções cujo pH está entre 5,8 e 10,7; a coloração predominante do ligante livre é a amarela; a adição de um metal (como o chumbo), alterará a sua coloração para rosa (em pH de 5.8) e vermelho, caso o pH da solução seja superior a 7 (YOUNG, 1966), sendo assim necessário o controle do pH das amostras.

Sendo assim, pensando na determinação dos metais chumbo e mercúrio presentes em amostras de pilhas usadas do tipo Zn/C, e nas dificuldades de se analisar tais metais em baixas concentrações, propõe-se a sua identificação e posterior quantificação utilizando técnicas de baixo custo e fácil manuseio, com enfoque nos métodos clássicos de separação e na espectrofotometria de absorção UV/Vis.

### Material e Métodos

As amostras foram obtidas por meio de coleta seletiva de pilhas usadas realizada no Instituto Federal de São Paulo, Câmpus Barretos. Foram utilizadas 63 pilhas de zinco e carbono de diferentes marcas (nacionais e importadas) e tamanhos. As pilhas foram então abertas utilizando os devidos equipamentos de segurança e os seus constituintes devidamente separados. A figura 3 apresenta os componentes internos da pilha após o processo de desmonte.

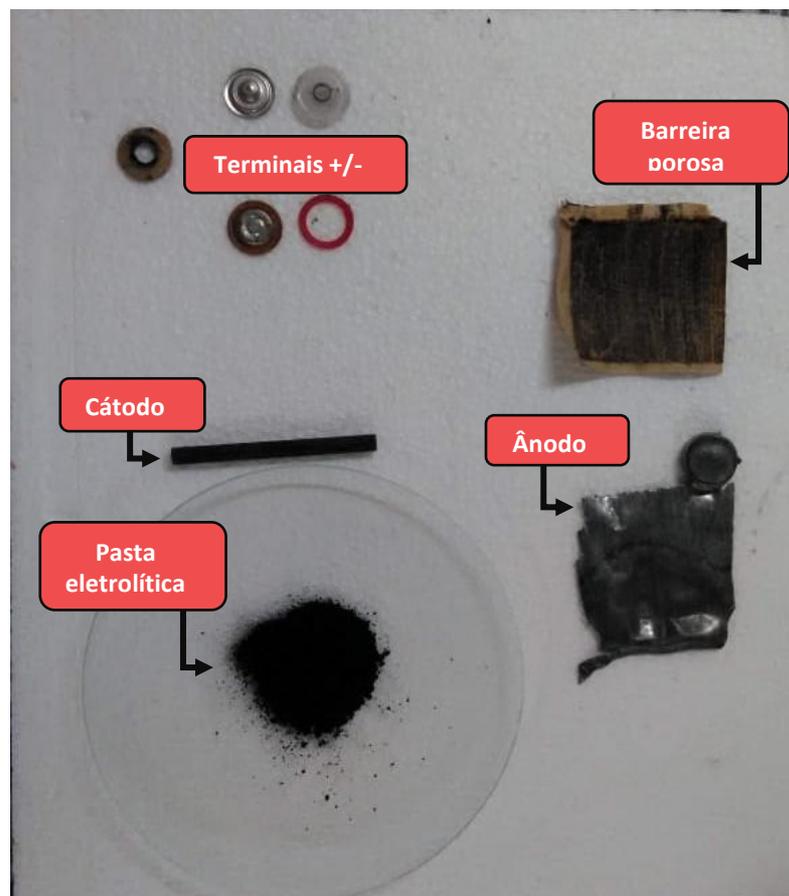


Figura 3 - Componentes internos da pilha. Fonte: Dados obtidos pelos autores.

Foram maceradas as pastas eletrolíticas, o envoltório de papel com eletrólitos e os bastões de grafite, em almofariz de porcelana sendo os mesmos misturados e pesados (massa = 83,5018 g). A extração dos metais foi feita utilizando lixiviação ácida, dissolvendo a massa em 100 mL de uma solução de água régia (concentrações 3:1 de HCl e HNO<sub>3</sub>) conforme adaptação da metodologia proposta por Vieira e colaboradores (2013). Após a dissolução, as amostras foram filtradas para separar os analitos do restante dos resíduos insolúveis. A solução resultante da filtração foi lentamente evaporada em temperatura controlada (70°C), visando reduzir o volume e evitar a volatilização do mercúrio.

Em seguida, foi adicionada solução de HCl 6 mol.L<sup>-1</sup>, visando à formação dos precipitados de cloreto de mercúrio (I), Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> e cloreto de chumbo (II), PbCl<sub>2</sub>, que foram separados por filtração. O filtrado foi lavado e saturado com cloreto de sódio, solubilizando assim o PbCl<sub>2</sub> com a formação do complexo [PbCl<sub>4</sub>]<sup>2-</sup>, que pôde então ser separado do Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> por filtração. O precipitado contendo o mercúrio foi transferido para um béquer e solubilizado pela adição de água régia, formando HgCl<sub>2</sub> não dissociado, porém solubilizado (VOGEL, 1981).

Foi realizado o ajuste do pH na solução contendo chumbo utilizando solução tampão de NH<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub>OH até se obter um pH em torno de 5,5. Nas soluções de mercúrio, foi utilizada solução de hidróxido de sódio 0,1 mol.L<sup>-1</sup> até pH=8 (YOUNG, 1966; OKUTANI, 1967).

A preparação do cromóforo foi realizada pesando 0,3003 g de difenilcarbazona (DPCO), com dissolução em 49 mL de propanona e a adição de 1 mL de ácido etanóico, conforme metodologia de Ayres e Jhonson (1960). A concentração obtida foi de 0,01000 mol.L<sup>-1</sup> e, partindo desta, foi feita uma diluição em etanol, obtendo concentração final de 4x10<sup>-4</sup> mol.L<sup>-1</sup> (OKUTANI, 1968).

As amostras contendo os analitos foram transferidas para balões volumétricos de 25 mL contendo 1 mL da solução de difenilcarbazona.

Foi construída a curva de calibração dos padrões (acetato de chumbo II e acetato de mercúrio II) com difenilcarbazona em espectrofotômetro (UV/Vis), com valores de concentração baseados na massa de mercúrio e chumbo possivelmente presentes na amostra inicial dentro dos limites indicados na legislação, sendo 0,0005% (m/m) de Hg e 0,1% (m/m) para o Pb (CONAMA, 2008). A concentração teórica dos metais obtidas foi de 6,4358 mg.L<sup>-1</sup> de Hg e 1,5 g.L<sup>-1</sup> de Pb, sendo armazenadas como soluções estoque. A partir delas, foram realizadas diluições apropriadas. Foram utilizados os seguintes comprimentos de onda 562 nm (mercúrio) e 525 nm (chumbo), conforme Okutani (1968) e Thakur e Deb (1999). Os complexos de chumbo formados apresentaram coloração vermelho claro (TRINDER, 1966), enquanto que nos complexos de mercúrio a coloração foi violeta (KAWAMOTO, YOKOYAMA, IKEDA, 1980).

A figura 4 apresenta um fluxograma que resume os processos realizados na abertura e preparação das amostras.

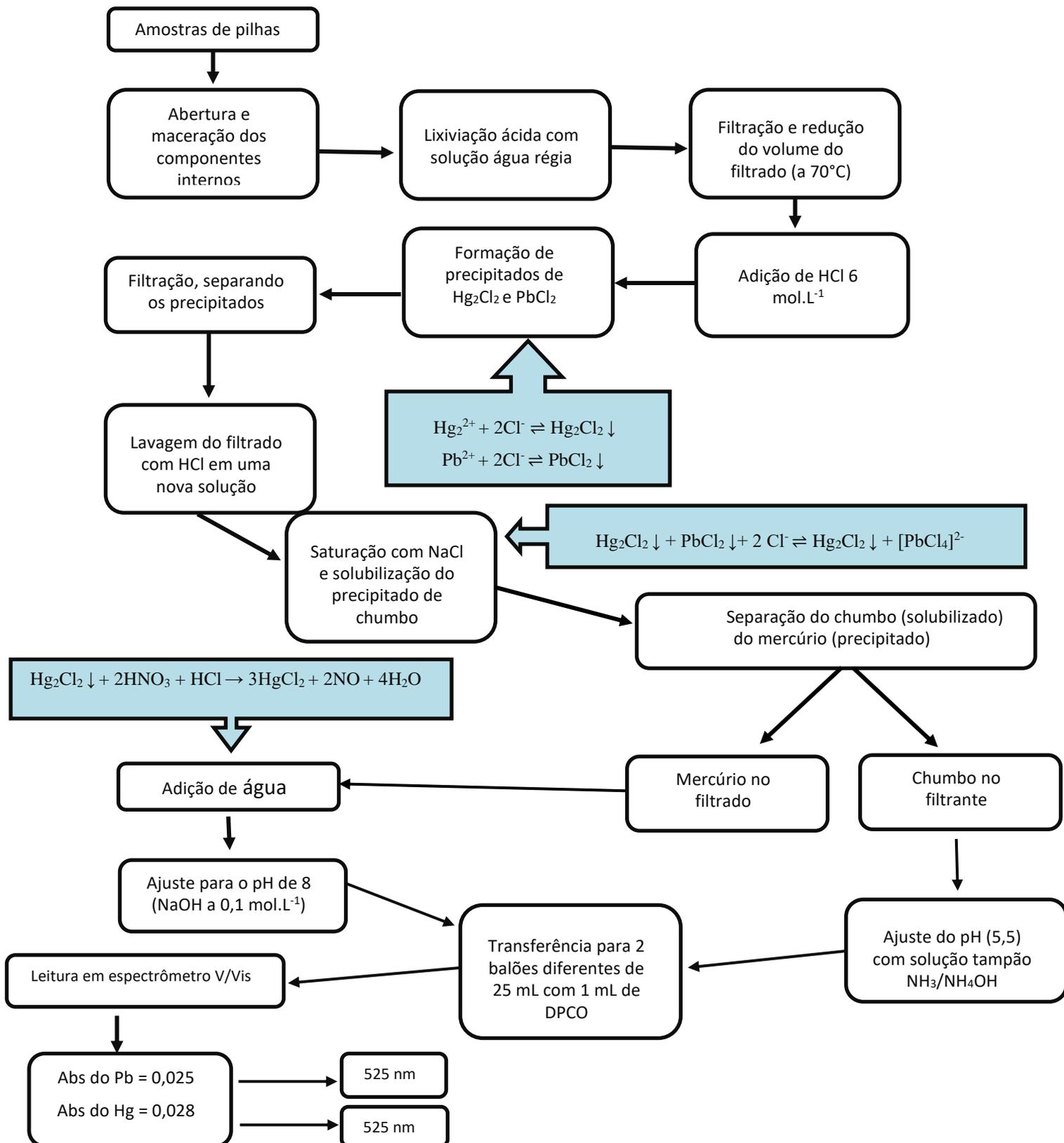
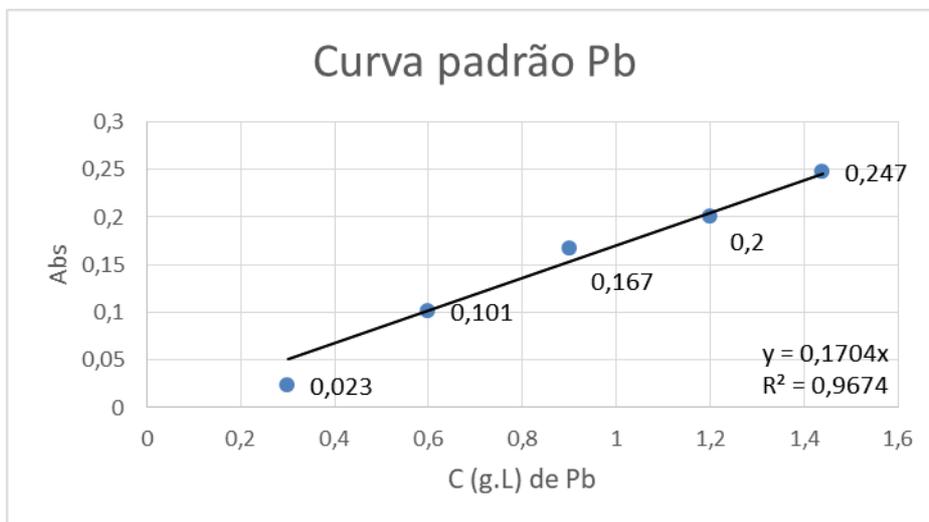


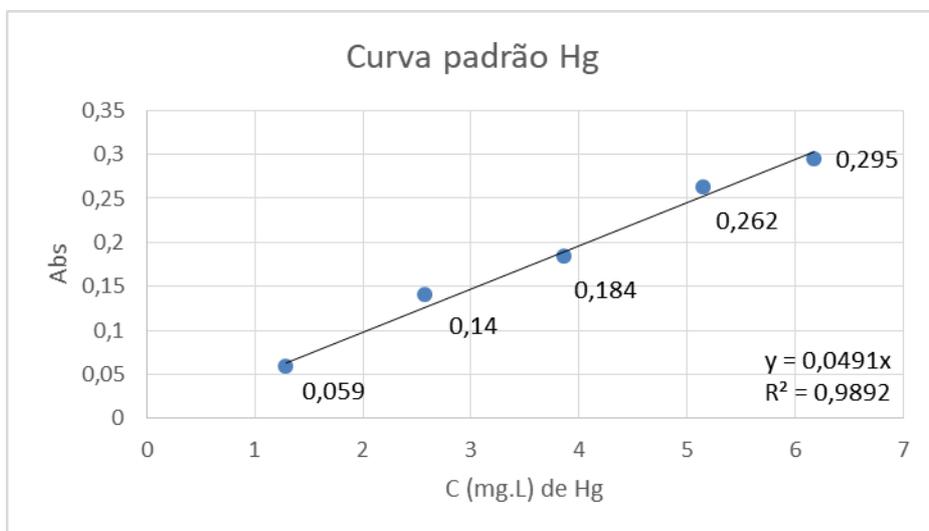
Figura 4 - Fluxograma de abertura e preparo das amostras. Fonte: Dados obtidos pelos autores.

**Resultados e Discussão**

As curvas de calibração das soluções padrão de chumbo (acetato de chumbo II) e mercúrio (acetato de mercúrio II) são apresentadas nas figuras 5 e 6, respectivamente.



**Figura 5** - Curva de calibração das amostras de chumbo (Abs x C). Fonte: dados obtidos pelos autores.



**Figura 6** - Curva de calibração das amostras de mercúrio (Abs x C). Fonte: dados obtidos pelos autores.

Por meio da equação 2, que descreve a curva de calibração, é possível calcular a concentração de chumbo nas amostras.

$$C = \frac{ABS}{0,1704} \tag{2)}$$

A análise da absorbância das amostras resultou em 0,025, que aplicado à equação 2, corresponde a 153,1 mg.L<sup>-1</sup> de chumbo (II). Este valor é inferior ao máximo permitido pela legislação para a massa de amostra analisada (167 mg.L<sup>-1</sup>).

A análise da amostra contendo mercúrio apresentou absorbância de 0,028. A equação da curva de calibração (equação 3), permitiu calcular a concentração de mercúrio na amostra, que foi de 0,5941 mg.L<sup>-1</sup>. A concentração de mercúrio obtida apresenta um valor ligeiramente inferior ao limite estabelecido pela legislação brasileira (1,67 mg.L<sup>-1</sup>) (CONAMA, 2008).

$$C = \frac{ABS}{0,0491} \quad 3)$$

Os resultados de concentração obtidos para ambos metais determinam que seu emprego em pilhas do tipo comum ainda é recorrente. Entretanto, vale ressaltar que, mesmo em baixas concentrações, tanto o chumbo quanto o mercúrio podem causar severos danos à saúde humana (NEEDLEMAN; BELLINGER, 1991; ZAHIR et al., 2008). Nessas circunstâncias o emprego desses metais deveria ser contornado a partir da busca de novos materiais e de alternativas que possibilitem sua substituição.

## Conclusão

Com a metodologia proposta, foi possível determinar e quantificar os teores de mercúrio e chumbo na amostra de pilhas usadas do tipo comum. As concentrações obtidas foram significantes, porém, inferiores aos limites permitidos pela legislação vigente, indicando que muitas empresas ainda empregam esses metais na produção das pilhas.

## Referências bibliográficas

AGOURAKIS, D. C.; CAMARGO, I. M. C.; COTRIM, M. B.; FLUES, M. Comportamento de zinco e manganês de pilhas alcalinas em uma coluna de solo. *Química Nova*, v. 29, 2006.

AGUIAR, M. R. M. P.; NOVAES, A. C. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. *Química Nova*, v. 25, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 10004 – Resíduos Sólidos – Classificação*. Rio de Janeiro, 2004.

AYRES, G. H.; JHONSON, F. L. Spectrophotometric determination of Rhodium with sym-diphenylcarbazone. *Analytica Chimica ACTA*, n. 23, p. 446-448, 1960.

BALT, S.; DALEN, E. V. The reactions of diphenylcarbazide and diphenylcarbazone with cátions part III. Nature and properties of the mercury complexes. *Analytica Chimica ACTA*, v. 27, p. 416-421, 1962a.

BALT, S.; DALEN, V. The reactions of diphenylcarbazide and diphenylcarbazone with cátions part II. Extraction behaviour and spectra of the reagentes. *Analytica Chimica ACTA*, v. 27, p. 188-193, 1962b.

BLATON, N. M.; PEETERS, O. M.; RANTER, C. J.; WILLEMS, G. J. The Crystal and Molecular Structure of 1,5-Diphenylcarbazone. *Acta Crystallographica*, v. 35, p. 2629-2634, 1979.

BRUM, Z. R. *Educação Ambiental no uso e descarte de pilhas e baterias*. Monografia (Especialização em Educação Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, São Vicente do Sul, 2010.

CÂMARA, S. C.; AFONSO, J. C.; SILVA, L. I. D.; DOMINGUES, N. N.; NETO, A. A. Simulação do intemperismo natural de pilhas Zinco-Carbono e alcalinas. *Química Nova*, v. 35, 2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA (Brasil). *Resolução Nº 401, de 4 de novembro de 2008*. Diário Oficial da União, 5 nov. 2008. Seção 1, p. 108-109, 2008.

DONNET, J. B.; BANSAL, R. C.; WANG, M. J. *Carbon Black: Science and Technology*. Marcel Dekker, 2 ed., 1993.

GERLACH, J. L.; FAZIER, R. G. Spectrophotometric determination of chloride in sweat and serum with diphenylcarbazone. *Analytical Chemistry*, v. 30, 1958.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO. Informações ao consumidor – Pilhas Alcalinas e Zinco – Manganês, 2012. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/pilha.asp#>>. Acesso em: 28 de out. 2020.

KAWAMOTO, S.; YOKOYAMA, Y.; IKEDA, S. Photoacoustic Spectrometry of Solid Samples. III. Microdetermination of Mercury as Hg Diphenylcarbazone Complex. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, n. 53, p. 391-394, 1980.

LIDEN, D.; REDDY, T. B. *Handbook of Batteries*. McGraw-Hill Professional, 3 ed, 2001.

LOBIŃSKI, R.; MARCZENKO, Z. Recent Advances in Ultraviolet-Visible Spectrophotometry. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, v. 23, p. 55-111, 1992.

MALAKHOVA, N. A.; CHERNYSHEVA, A. V.; BRAININA, K. Z. Adsorption and Electrochemical Transformations of Diphenylcarbazide and Diphenylcarbazone on Graphite Electrodes. *Electroanalysis*, v.3, 1991.

MARTIN, S.; GRISWOLD, W. Human health effects of heavy metals. *Environmental Science and Technology briefs for citizens*, v. 15, p. 1-6, 2009.

McMICHAEL, F. C.; HENDERSON, C. Recycling batteries. *IEEE Spectrum*, v. 35, 1998.

MUNIZ, D. H. F.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. *Universitas: Ciências da saúde*, v. 4, 2006.

National Center for Biotechnology Information (NCBI). *PubChem Compound Summary for CID 10860, 1,5-Diphenylcarbazone*. Disponível em: [https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1\\_5-Diphenylcarbazone](https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1_5-Diphenylcarbazone). Acesso em: 17 dez. 2020.

NEEDLEMAN, H. L.; BELLINGER, D. The health effects of low level exposure to lead. *Annual Review of Public Health*, v. 12, 1991.

OKUTANI, T. Spectrophotometric Study of the Complex of Hg(II)-X-Diphenylcarbazone [X: I, Br]. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, n. 7, p. 1728-1730, 1968.

PEREIRA, L. F. *Avaliação da Disponibilidade de metais em resíduos de pilha de Zn-C alcalina utilizando esquema de extração sequencial*. Monografia (Graduação em Química) – Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2019.

PRENESTI, E.; DANIELE, P. G.; TOSO, S. Visible spectrophotometry determination of metal ions: the influence of structure on molar absorptivity value of copper(II) complexes in aqueous solution. *Analytica Chimica Acta*, v. 459, p. 323-336, 2002.

RIGUETTI, P. F.; CARDOSO, C. A. L.; CAVALHEIRO, A. A.; LENZI, E.; FIORUCCI, A. R.; SILVA, M. S. Manganês, zinco, cádmio, chumbo, mercúrio e crômio no chorume de aterro sanitário em Dourados, MS, Brasil. *Revista Ambiente e Água*, v. 10, 2015.

ROCHA, F. R. P.; TEIXEIRA, L. S. G. Estratégias para aumento de sensibilidade em espectrofotometria UV-Vis. *Química Nova*, v. 27, n. 5, p. 807-812, 2004.

SALL, M. L.; DIAW, A. K. D.; GNINGUE-SALL, D.; AARON, S. E.; AARON, J. Toxic heavy metals: impact on the environment and human health, and treatment with conducting organic polymers, a review. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 27, 2020.

SCHUH, A. J. *Validação de um método analítico para a determinação de chumbo, cádmio e mercúrio em pilhas alcalinas*. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

SKOOG, D.; WEST, D.; HOLLER, J.; CROUCH, S. *Fundamentos de Química Analítica*. Editora Thomson, 8 ed, 2006.

THAKUR, M.; DEB, M. K. Spectrophotometric determination of lead with N-hydroxy-N,N'-diphenylbenzamide and diphenylcarbazone in airborne dust particulates and soil. *Analyst*, v. 124, p. 1331–1335, 1999.

TRINDER, N. The Use of Diphenylcarbazone for the Determination of Microgram Amounts of Lead. *Analyst*, v. 91, p. 587-590, 1966.

VIEIRA, K. N.; SOARES, T. O. R.; SOARES, L. R. A logística reversa do lixo tecnológico: um estudo sobre o projeto de coleta de lâmpadas, pilhas e baterias da Braskem. *Revista de Gestão Social e Ambiental (RGSA)*, n. 3, p. 120-136, 2009.

VOGEL, A. I. *Química Analítica Quantitativa*. Mestre Jou, 5 ed. 1981.

WANI, A. L.; ARA, A.; USMANI, J. A. Lead toxicity: a review. *Interdisciplinary Toxicology*, v. 8, p. 55-64, 2015.

YOUNG, P. *Determination of trace elements*. Tese (Doutorado em filosofia) – Imperial College of Science and Technology, University of London, 1966.

ZAHIR, F.; RIZWI, S. J.; HAQ, S. K.; KHAN, R. H. Low dose mercury toxicity and human health. *Environment Toxicology and Pharmacology*, v. 20, 2005.

<sup>1</sup>Guilherme Isquibola. Mestrando em Química. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Química, Campus Araraquara. Rua Professor Francisco Degni, 55, Quitandinha - Araraquara - SP. guilherme\_isquibola@hotmail.com;

<sup>2</sup>Emanuel Carlos Rodrigues. Professor Doutor. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Câmpus Barretos. Avenida C-1, 250, Ide Daher - Barretos - SP. emanuelbarretos@ifsp.edu.br.

Este artigo:  
Recebido em: 12/2020  
Aceito em: 04/2021

Como citar este artigo:

ISQUIBOLA, Guilherme; RODRIGUES Emanuel Carlos. Quantificação dos metais pesados chumbo e mercúrio em pilhas do tipo comum (Zn/C). *Scientia Vitae*, v.11, n.33, ano 8, p. 18-29, abr./maio/jun. 2021.