

Obtenção de gesso a partir da água da lavagem de gás do negro de fumo

Transformation in aqueous calcium sulfate from waste water of gas scrubbing

Ana Luiza Costa PEREIRA [1](#); Luciana Barbosa de ABREU [2](#); Nara Silveira VELLOSO [3](#); Daniela Seda Salgado de BRITO [4](#); Mariana Carla de Sousa e SILVA [5](#); Giovanni Francisco RABELO [6](#)

Recebido: 21/12/2017 • Aprovado: 20/01/2018

Conteúdo

- [1. Introdução](#)
- [2. Metodologia](#)
- [3. Resultados](#)
- [4. Conclusões](#)

[Referências bibliográficas](#)

RESUMO:

As questões referentes a responsabilidade ambiental tem se tornado prioridade nas pesquisas diante das mudanças recentes no planeta. A incineração de pneus inservíveis é considerada ainda uma alternativa viável de descarte de pneus automobilísticos, no entanto, pode causar poluições no ar, no solo e na água, além de provocar problemas de saúde à população. Filtros de lavagem de gases permitem que essa queima seja realizada sem causar danos ao meio ambiente e as águas residuárias resultantes desse processo podem ser transformadas em gesso sintético, pela adição de carbonato de cálcio. Diante desta possibilidade, este trabalho avaliou o efeito da neutralização da água residuária resultante do processo de queima de pneus e formação do sulfato de cálcio aquoso. Os resultados constataram a eficiência na remoção dos compostos de sulfato (SOx) presentes nas águas residuárias e consequente formação do sulfato de cálcio aquoso $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}(\text{aq})$, eliminando a acidez da mesma. Foram encontrados traços de metais pesados tais como cádmio, chumbo, cromo e arsênio, que, em princípio não fazem parte da composição do pneumático de veículos, tampouco estavam presentes na água utilizada na lavagem dos gases.

Palavras-Chave: Pneumáticos Descartados; Contaminantes de Águas Residuárias; Transformação em Sulfato de Cálcio.

ABSTRACT:

Due to recent changes on the planet, environmental issues have become a priority in recent researches. The incineration of waste tires is still considered a viable alternative to discarding automobile tires, however, it can cause pollution in the air, soil and water, as well as causing health problems to the population. Flushing filters allow this flaring to be carried out without causing damage to the environment and wastewater resulting from this process can be converted into synthetic gypsum by the addition of calcium carbonate. Aiming this possibility, this work evaluated the effect of the neutralization of wastewater resulting from the process of tire burning and the formation of the transformation of sulfate into aqueous calcium sulfate. The results showed the efficiency of the removal of the sulphate compounds (SOx) present in the wastewater and consequent formation of the aqueous calcium sulfate $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}(\text{aq})$, eliminating the acidity of the water. Some traces of Heavy metals as lead, cadmium, chrome and arsenic were found, but, they were neither present in the tire composition, nor present in the water used to gas scrubbing.

Keywords: Discarded tires; Wastewater Contaminants; Transformation in Calcium Sulfate.

1. Introdução

A indústria automobilística é extremamente dependente da borracha natural e sintética utilizada na fabricação de rodados de automóveis e máquinas agrícolas. Os pneus inservíveis são um problema ambiental grave, pois sua decomposição é lenta (SIDDIQUI, 2009) e o armazenamento a céu aberto favorece a proliferação dos vetores de doenças, tais como a febre amarela, dengue, [chikungunya](#), entre outras (Dourado, 2011).

De acordo com a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos - ANIP (2017), em 2016, foram produzidos no Brasil, aproximadamente 68 milhões de unidades de pneus. No primeiro trimestre de 2017 foram tirados de circulação cerca de 115 mil toneladas de pneus inservíveis, quantidade equivalente a 22,9 milhões de unidades de pneus de carros de passeio (ANIP,2017; FAZZAN, 2017).

Um grande percentual da constituição da borracha do pneu é o enxofre, que é utilizado no processo de vulcanização. Tal processo constitui-se da adição de moléculas de enxofre, sob aquecimento e, na presença de catalisadores, a moléculas de poli-isopropenos da borracha, a partir da quebra das ligações duplas (Costa et al., 2003) .

A incineração de pneus é considerada uma forma de descarte definitivo desse passivo ambiental, no entanto, as emissões provocadas por essa prática são elevadas e alteram a qualidade do ar. Uma alternativa para mitigar o impacto gerado pelas emissões de poluentes é a utilização de lavadores de gases, que removem os compostos de enxofre (SOx) e particulados presentes nos gases provenientes da queima (Goulart, 2003).

O SOx tem boa solubilidade em água, comparado a outros gases presentes na atmosfera, o que resulta em um enriquecimento de enxofre quatro (S(IV)) em águas de chuva, nuvens e neblina (MARTINS et al., 2002). Esse fenômeno ocorre pela rápida associação do enxofre ao oxigênio. O dióxido de enxofre (SO₂), por vias de reação em fase aquosa, resulta na produção de sulfato (CHENG, 2016). Assim, a utilização de um filtro lavador de gás permite que a incineração do pneu seja realizada de forma menos poluente, pois os compostos presentes no negro de fumo reagem facilmente com a molécula de água e são precipitados.

A água residuária dessa queima pode apresentar acidez e compostos nocivos ao homem, entre eles o SO₂. A recuperação do SO₂ pode ser realizada pela adição de carbonato de cálcio (CaCO₃), resultando na formação de gesso, material útil na construção civil e na agricultura (Peres et. al., 2008) .

O gesso é um dos minerais aglomerantes produzidos a partir da gipsita, sendo utilizado desde a antiguidade pelo homem, com ampla aplicabilidade na construção civil devido a propriedades como maleabilidade, resistência mecânica, rapidez na finalização de acabamentos pós-aplicação, isolamento térmico e acústico e resistência à propagação de chamas, entre outras, porém não sendo viável sua utilização em áreas úmidas (Alves, 1987).

Sabe-se que, na agricultura, o gesso é uma fonte importante de cálcio e enxofre e melhora a qualidade de solos ácidos e argilosos, assim como possibilita avaliar a perfilometria do solo submetido ao tráfego de equipamentos, apresentando, também, grande destaque na área civil (Borkert).

Por se tratar de um recurso não renovável, e considerando-se as estimativas de que as reservas não suportarão atender às demandas futuras, torna-se necessário encontrar formas alternativas para a sua produção.

Com base na composição da água residuária resultante do processo de queima de pneus inservíveis, é abordado neste trabalho estudos do processo de transformação do gesso pela adição de carbonato de cálcio (CaCO₃) a águas residuárias. É uma importante contribuição para a redução dos impactos ambientais provocados pelas práticas de descarte e queima de pneus inservíveis, pois possibilita a transformação de parte dos contaminantes, presentes na água residuária proveniente do processo de lavagem de gases, em gesso.

2. Metodologia

O trabalho foi realizado utilizando raspas de borracha proveniente da indústria de

recauchutagem de pneus automobilísticos. A borracha foi separada em peneira de malha de 50 Mesh, selecionando-se o material passante.

A borracha de pneu foi queimada em proporções preestabelecidas em um reator pirolítico e a fumaça resultante (negro de fumo) foi passada por um lavador de gases. A água da lavagem foi analisada e quantidades de carbonato de cálcio foram adicionadas em proporções crescentes até ser atingida a neutralização do pH, em torno do valor 7, promovendo-se, em seguida, a análise química da água.

Para a realização das análises foram considerados sete tratamentos, com quatro amostras de 2000 ml e uma repetição por amostra. Um tratamento foi adotado como controle, composto por amostras da água antes de ser utilizada no processo de lavagem dos gases e adequada para o consumo humano. Os demais tratamentos foram compostos por amostras da água residuária resultante do processo de lavagem dos gases e apresentam como principal diferença a quantidade de borracha peneirada de pneus, utilizada durante a etapa de queima, variando entre os tratamentos de 500g (T500) a 3000g (T3000), com variação de 500g entre tratamentos.

Para análise estatística dos dados obtidos neste experimento foi adotada a análise de variância e teste de média Tukey, a 5% de significância, com delineamento do tipo bloco casualizado, com auxílio do aplicativo computacional Sisvar (Ferreira, 2014).

A adição do CaCO₃ produz o sulfato de cálcio aquoso (CaSO₄.2H₂O(aq)) segundo a reação:
$$\text{H}_2\text{SO}_4(\text{l}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{CaCO}_3(\text{s}) \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{aq}) + \text{CO}_2(\text{g}) \quad (1)$$

Para a adição do CaCO₃ à água residuária, foi utilizado um béquer de 1000 ml. O pH para todos os tratamentos foi ajustado e as amostras foram encaminhadas para as respectivas análises físico-químicas.

2.1 Análises Físico-químicas

As amostras de água residuária coletadas foram conduzidas ao Laboratório de Análises de Água, determinado-se os valores de acidez e pH, pelo método *Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater* (BAIRD et. Al., 2017).

As concentrações de enxofre, cálcio e magnésio foram determinadas em um Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, com a utilização espectrofotômetro de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado, marca Spectro, modelo Blue .

A concentração de metais pesados Cobre (Cu), Chumbo (Pb), Arsênio (As), e Cádmio (Cd) foi determinada com um espectrofotômetro de absorção atômica, simultânea em forno de grafite, modelo Marca Perkin Elmer Precisely, Aanalyst 800.

3. Resultados

A Tabela 1 apresenta os valores de acidez, Ph e concentração de compostos de enxofre.

Tabela 1
Acidez, pH e concentração de compostos de enxofre (SO_x) nas águas residuárias.

Tratamento	Acidez	pH	SO _x (mg/l)
T(Controle)	10.00g	7.46a	0.13g
T2	44.75f	6.60b	40.75f
T3	82.25e	4.21c	1383.38e
T4	129.00d	3.18d	1749.22d

T5	278.25c	3.12d	1784.17c
T6	400.75b	2.17e	1815.18b
T7	577.25a	1.63f	3928.10a
CV(%)	3.66	3.21	0.01

*Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Como se observa na Tabela 1, a análise da água residuária demonstra o aumento da concentração de enxofre na forma de sulfato, conforme a quantidade de borracha queimada vai aumentando. Isso demonstra certa eficiência na captura do enxofre que iria para a atmosfera. Adicionando-se o carbonato de cálcio em concentrações pré-definidas, promove-se a redução da acidez e, por consequência, eleva-se o pH, como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2

Acidez, pH e concentração de compostos de enxofre (SOx) nas águas residuárias neutralizadas.

Tratamento	Acidez	pH	SOx(mg/l)	%
T(Controle)	10.00g	7.46a	0.13g	0
T2N	9.25a	7.73a	23.41f	57,45
T3N	9.25a	7.64a	530.90e	38,38
T4N	9.50a	7.44a	540.02d	30,87
T5N	8.75a	7.85a	554.87c	31,10
T6N	8.75a	7.39a	581.15b	32,02
T7N	9.25a	7.92a	619.23a	15,76
CV(%)	12.20	4.36	0.46	

*Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Comparando-se as duas tabelas, percebe-se a eficiência do processo de neutralização da água residuária e captura dos compostos de enxofre (SOx) em todos os tratamentos.

No que se refere a esses compostos de enxofre, o processo de adição de carbonato de cálcio à água foi capaz de reduzir a concentração daqueles compostos em até 15,76%, no tratamento T7N e 57,45% para T2N.

É importante destacar que as quantidades de carbonato de cálcio não foram as mesmas, pois tomou-se como referência a acidez e o pH para a sua adição. Todavia, a concentração dos compostos de enxofre (SOx) apresentaram-se bastante reduzidas após a neutralização (T1N e T7N). Esse resultado já era esperado, pois o enxofre livre tende a diminuir quando recombina com o cálcio para formar sulfato de cálcio (CaSO₄), em uma reação de simples troca.

Embora essa redução tenha sido significativa, o comportamento entre os tratamentos é semelhante ao da água residuária sem neutralização, ou seja, os valores médios de todos os

tratamentos são estatisticamente diferentes entre si uma vez que as quantidades de CaCO₃, em cada tratamento, não foi suficiente para a captura de todo o enxofre disponível na água, na forma de sulfato.

No que concerne à concentração de cálcio e magnésio, esta foi afetada pelo processo de neutralização da água residuária, ou seja, há um perceptível aumento de Ca livre e também de Mg, como se observa nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3
Concentração de Cálcio e Magnésio nas águas residuárias

Tratamento	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)
T(Controle)	0.17f	0.01c
T2	6.68e	0.02c
T3	6.71e	0.03c
T4	9.50d	0.03c
T5	9.88c	0.05c
T6	10.19b	0.14b
T7	10.95a	0.38a
CV(%)	1.54	32.03

*Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 4
Concentração de Ca e Mg nas águas residuárias neutralizadas.

Tratamento	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)
T(Controle)	0.16f	0.01f
T2N	1630,21e	2.92e
T3N	1684.84d	3.28d
T4N	1723.41cd	3.28d
T5N	1748.71bc	3.37c
T6N	1783.18b	3.51b
T7N	2068.24a	5.01a
CV(%)	1.18	0.22

*Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente

O magnésio provavelmente estava presente nas rochas que foram utilizadas para a obtenção do carbonato de cálcio utilizado neste trabalho.

A Tabela 5 apresenta as concentrações de metais pesados para os seis tratamentos. Analisando a presença de metais pesados, observou-se que a água residuária da lavagem dos gases apresentou uma concentração de cádmio, chumbo, cromo e arsênio, que não se alterou com a neutralização, ou seja, as diferenças entre tratamentos não foram significativas (T2 a T7). Após a adição de carbonato de cálcio, como apresentado na Tabela 6, observa-se que não houve aumento significativo dos metais pesados. Pode-se inferir que os metais pesados vêm da própria composição da borracha de pneus e são precipitados durante o processo de lavagem dos gases.

Tabela 5
Concentração de metais pesados nas águas residuárias.

Tratamento	Cd (mg/l)	Pb (mg/l)	Cr (mg/l)	As (mg/l)
T(Controle)	0.020c	0.010b	0.010b	0.500c
T2	0.083b	1.065a	1.370a	2.13b
T3	0.090ab	1.085a	1.383a	2.818ab
T4	0.090ab	1.05a	1.383a	2.818ab
T5	0.100ab	1.100a	1.393a	2.835a
T6	0.100ab	1.100a	1.393a	2.835a
T7	0.105a	1.095a	1.395a	2.823ab
CV(%)	9.64	2.24	1.07	0.38

*Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 6
Concentração de metais pesados nas águas residuárias neutralizadas.

Tratamento	Cd (mg/l)	Pb (mg/l)	Cr (mg/l)	As (mg/l)
T(Controle)	0.020c	0.010d	0.010c	0.500d
T2N	0.079b	0.969c	1.362b	2.817b
T3N	0.098a	1.117a	1.362b	2.821ab
T4N	0.098a	1.177a	1.362b	2.821ab
T5N	0.084b	1.116a	1.397a	2.803c
T6N	0.084b	1.116a	1.397a	2.803c

T7N	0.098a	1.063a	1.401a	2.834a
CV(%)	5.98	1.48	0.35	0.23

*Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No que se refere ao elemento cádmio, especificamente, percebe-se que a concentração média máxima de 0.098 mg/l permanece abaixo do valor limite estabelecido pela Resolução 397 do CONAMA que é de 0.2 mg/l. Entre os tratamentos há três grupos de valores diferentes estatisticamente, sendo o primeiro composto pelos tratamentos T3N, T4N e T7N, todos com concentração igual a 0.098 mg/L, o segundo pelos tratamentos T2N (0.079 mg/l), T5N (0.084 mg/L) e T6N (0.084 mg/L), e o terceiro composto unicamente pelo tratamento controle T1 (0,020 mg/L).

De outra forma, a concentração média máxima dos demais elementos, As - 1.117 mg/l, Pb - 1.401 mg/l e Cr - 2.834 mg/l permaneceram superiores aos valores da Resolução 397 do CONAMA, que são: 1mg/l, 0.5 mg/l e 1 mg/l, respectivamente, assim como já havia sido identificado para as águas residuárias sem neutralização.

Embora as análises estatísticas também tenham apresentado três grupos de valores diferentes entre si, as variações quando comparadas aos tratamentos sem neutralização são pequenas. Percebe-se que os metais pesados não reagiram com cálcio e magnésio no processo de neutralização. É possível que, por meio da introdução de eletricidade no processo, ou adição de outros compostos, consiga-se uma maneira de catalisar as reações e possibilitar a captura desses metais pesados.

4. Conclusões

A adição de carbonato de cálcio à água residuária da lavagem de gás permitiu a captura do enxofre, formado o sulfato de cálcio.

A água residuária permaneceu imprópria para o consumo, apresentando ainda uma quantidade considerável de enxofre.

A água residuária apresentou uma quantidade de metal pesado que não era esperado e o processo de neutralização da água residuária não foi eficaz para a captura desse metal pesado.

Referências bibliográficas

- ALVES, J D Materiais de construção. 6ª. ed. Goiânia, Editora da Universidade Federal de Goiás, 1987. 363p.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS - ANIP. Reciclanip apresenta balanço do primeiro trimestre de 2015. São Paulo: ANIP, 2015. Disponível em: < <http://www.anip.com.br> >. Acesso em: 13 jul. 2016.
- BAIRD, ROGER B. STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTERWATER, 23Ed – Farmabooks Ed. 2017.
- Borkert, Clovis M., Marcos A. Pavan, and Áureo F. Lantmann. Considerações sobre o uso de gesso na agricultura. EMBRAPA-CNPSO, 1987.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 397, de 3 de abril de 2008. Altera o inciso II do § 4o e a Tabela X do § 5o, ambos do art. 34 da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA nº 357, de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial [da] União, Brasília, DF, n. 66, p. 68-69, 7 abr. 2008. Seção 1.
- CHENG, Yafang et al. Reactive nitrogen chemistry in aerosol water as a source of sulfate during haze events in China. Science Advances, v. 2, n. 12, p. e1601530, 2016.

COSTA, Helson M. et al. Aspectos históricos da vulcanização. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v.13, n.2, p.125-129, 2003.

DOURADO David Cardoso. Poder calorífico e análise elementar de pneus automobilísticos inservíveis e de frutos da macaubeira. 2011. 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

FAZZAN, João Victor; PEREIRA, Adriana Maria; AKASAKI, Jorge Luís. Estudo da viabilidade de utilização do Resíduo de Borracha de Pneu em Concretos Estruturais. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v. 12, n. 6, 2016.

FERREIRA, Daniel Furtado. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciênc. agrotec.* [online]. 2014, vol.38, n.2 [citado 2015-10-17], pp. 109-112 . Disponível em: ISSN 1413-7054. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>.

GOULART, E. A. A utilização da gaseificação de pneus usados em leito fluidizado para a produção de energéticos. *Polímeros, São Carlos*, v. 9, n. 4, p. 123-128, out./dez. 2003.

LAGARINHOS, C. A. F. et al. Tecnologias utilizadas para a reutilização, reciclagem e valorização energética de pneus no Brasil. *Polímeros: Ciência e Tecnologia, São Carlos*, v. 18, n. 2, p. 106-118, 2008.

LUNA, Danta Bruno Barreto et al. Efeito dos agentes de compatibilização SBS e SEBS-MA no desempenho de misturas de poliestireno/resíduo de borracha de SBR. *Revista Matéria*, v. 21, n. 3, p. 632-646, 2017.

MARTINS, Cláudia Rocha; DE ANDRADE, Jailson Bittencourt. Química atmosférica do enxofre (IV): emissões, reações em fase aquosa e impacto ambiental. *Química Nova*, v. 25, n. 2, p. 259-272, 2002.

PERES, L. S.; BENACHOUR, M.; SANTOS, V. A. "Gesso: Produção e Utilização na Construção Civil.", 2. Ed. Recife: SEBRAE, vol. 1, p.119, 2008.

SIDDIQUI, M. N., REDHWI, H. H. "Pyrolysis of mixed plastics for the recovery of useful products", *Fuel Processing Technology*, v. 90, n. 4, pp. 545-552, 2009.

SPINACÉ, M. A. S., DE PAOLI, M. A. "A tecnologia da reciclagem de polímeros", *Química Nova*, v. 28, n. 1, pp. 65-72, 2005.

WU, C., SU, X., Guo, J., 2011. Multivariate statistical analysis of hydrogeochemical evolution of groundwater in cretaceous aquifer ordos desert plateau. *Glob. Geol.* 30 (2), 244e253.

YANG, Qingchun et al. Hydrochemical characterization and pollution sources identification of groundwater in Salawusu aquifer system of Ordos Basin, China. *Environmental Pollution*, v. 216, p. 340-349, 2016.

1. Doutoranda em Eng. Agrícola - Universidade Federal de Lavras – UFLA

2. Luciana Barbosa de ABREU – Docente da Universidade Federal de Lavras - UFLA

3. Nara Silveira VELLOSO - Doutoranda em Eng. Agrícola - Universidade Federal de Lavras – UFLA

4. Daniela Seda Salgado de BRITO – Eng^a Civil – Diretora de Projetos da Prefeitura Municipal de Lavras, MG

5. Mariana Carla de Sousa e SILVA - Eng^a Civil - Projetista Autônoma

6. Docente da Universidade Federal de Lavras – UFLA, DEG - Caixa Postal 3037 – 37200-000 – Lavras – MG – Brasil – rabelo@deg.ufla.br

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015
Vol. 39 (Nº 16) Ano 2018

[Índice]

[No caso de você encontrar quaisquer erros neste site, por favor envie e-mail para webmaster]

©2018. revistaESPACIOS.com • ®Derechos Reservados