OTIMIZAÇÃO DE PROCESSO DE ADSORÇÃO DE METAIS TÓXICOS EM EFLUENTES GERADOS EM LABORATÓRIO ATRAVÉS DE CAULINITA E DERIVADOS**OPTIMIZATION OF PROCESS OF ADSORTION OF TOXIC METALS IN LABORATORY GENERATED EFFLUENTS THROUGH CAULINITE AND DERIVATIVES**

HORA, Paulo Henrique Almeida da^{1*}; SOUSA, Antonio Cícero de²; SERRA, Reynaldo Borges Galvão³; RODRIGUES, Kamilla Karoline Pereira⁴; FIGUÊIREDO, Gesivaldo Jesus Alves de⁵

¹Universidade Estadual de Alagoas, Campus III, Núcleo de Monitoramento de Águas

^{2,3,4,5}Instituto Federal da Paraíba, Campus João Pessoa, Laboratório de Tecnologia em Química Ambiental

** Autor correspondente
e-mail: pauloalmeidaeng@gmail.com*

Received 31 January 2019; received in revised form 10 March 2019; accepted 13 March 2019

RESUMO

Os resíduos gerados em laboratórios de química empregados em atividades de ensino, pesquisa e extensão, têm sido uma preocupação moderna, que em outros tempos era desprezada, porém, a conscientização da geração atual pela problemática ambiental, fez com que essa questão fosse repensada e práticas com caráter mais sustentável, adotadas. É inquestionável o fato de que reagente e soluções descartados por laboratórios se apresentam em concentrações inadequadas para serem lançados em ambientes convencionais. Nesse sentido, faz-se necessário o desenvolvimento de técnicas e métodos que proporcionem o tratamento e possibilite a emissão desses efluentes sem que causem danos à sociedade e natureza. Neste trabalho foi efetuada a aplicação da caulinita bruta e suas respectivas modificações comuns na literatura (ativada em meio ácido e metacaulinita) no tratamento de solução efluente de laboratório oriunda de método clássico de análise de qualidade de água. Tais materiais (caulinita bruta, ativada em meio ácido e metacaulinita) foram comparados através de planejamento fatorial entre si em intervalos de tempo e massa determinados a fim de verificar quais condições a caulinita apresenta melhor resultado na remoção dos íons na solução do efluente de laboratório. Os dados mostraram que a espécie bruta apresentou maior potencial de adsorção em relação às modificações efetuadas, embora tais alterações nas propriedades sejam comuns.

Palavras-chave: tratamento de efluente, adsorção de metais tóxicos, planejamento fatorial

ABSTRACT

The waste generated in chemistry laboratories used in teaching, research and extension activities has been a modern concern, which in the past was neglected, but the current generation's awareness of the environmental problem has caused this issue to be rethought and practices with a more sustainable character, adopted. There is no question that reagents and solutions discarded by laboratories present themselves in concentrations inadequate to be released in conventional environments. In this sense, it is necessary to develop techniques and methods that provide the treatment and enable the emission of these effluents without causing damage to society and nature. In this work the application of crude kaolinite and its respective modifications in the literature (activated in acid and metacaulinite) in the treatment of laboratory effluent solution from a classical method of water quality analysis is carried out. These materials (crude kaolinite, acid activated and metacaulinite) were compared by factorial planning at determined intervals of time and mass in order to verify which conditions kaolinite has the best results in removing the ions in the laboratory effluent solution. The data showed that the crude species presents greater adsorption potential in relation to the modifications made, although such changes in properties are common in the specialized literature.

Keywords: effluent treatment, adsorption of toxic metals, factorial planning

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos químicos originários de laboratório de química e afins, gerados por atividades de pesquisa e/ou ensino em Instituições de Ensino Técnico e Superior tem sido motivo de preocupação para os gestores de todo Brasil, tendo em vista a ausência de um plano gerenciamento adequado para esse tipo de resíduo. Essa temática tem despertado por parte dos gestores não apenas à implementação de práticas que visem à minimização e rotas de tratamento de resíduos produzidos nas atividades laboratoriais, mas também a conscientização e treinamento dos atores (professores, técnicos estudantes, dentre outros) envolvidos no processo. Contudo, a execução do plano perpassa pelo descarte correto e/ou tratamento dos resíduos, propósito desse trabalho (GIOLI-LIMA, LIMA, 2003 e SILVA et al., 2015).

Práticas de descarte de grandes quantidades resíduos de forma incorreta ou armazenamento inadequado foram recorrentes ao longo de décadas (BECK, 1992). No entanto, o aumento e a diversificação das discussões relativas a problemas e impactos ambientais decorrentes dessas atividades humanas não são mais toleráveis, frente a falta de compromisso com a gestão dos resíduos químicos gerados dessas instituições de ensino, pesquisa e extensão, locais por excelência de formação de novos recursos humanos (ARVANITI, 2015). Outra característica dessas instituições é que elas não eram vistas como unidades poluidoras. Culturalmente sempre se buscou apenas focar o ensino e a instrução técnica dos estudantes. Esse foi o modelo que perdurou por muito tempo, sem que se preocupasse com as questões ambientais e as práticas de desenvolvimento sustentável (KRESGE, 1992; AUVRAY, 1989).

Diversos trabalhos foram usados envolvendo a temática resíduos químicos de laboratório (Jardim, 1998; Amaral et al., 2001; Lenyat et al., 2003; Imbroisiet et al., 2006; Marinho et al. 2011; Silva et al., 2015; Anacleto, 2018; Nova, 2018; Lopes, 2018). Nesta direção, apontam os que se enquadram em duas vertentes básicas: o estabelecimento de rotas de gestão que trata do tratamento dos efluentes residuais, dentre os quais encontram-se os tratamentos alternativos, para um descarte final adequado e/ou a recuperação de elementos, como no caso dos metais pesados de elevado valor agregado (UNE, 2009; ARVANITI, 2015; ZHAO et al. 1998), e a avaliação do impacto desses

programas de gestão sobre os atores envolvidos nos mesmos, com ênfase na percepção e assimilação de uma nova cultura comprometida com a proteção do meio ambiente e saúde da população (UNE, 2009; ARVANITI, 2015; ZHAO et al. 1998). Entretanto, na prática, há apenas o armazenamento dos efluentes em locais específicos no laboratório e o acúmulo por tempo indeterminado.

No caso específico de análises químicas, a evolução tecnológica trouxe à área a facilidade de que tais análises possam ser realizadas através mecanismos automatizados que reduziram bruscamente a quantidade de soluções e reagentes empregados para determinação dos mesmos analitos em relação à métodos clássicos de análise como, por exemplo, a volumetria, consequentemente, a diminuição no teor de resíduos gerados. Entretanto, a falta de investimento adequado em ensino, pesquisa e extensão, faz com que uma quantidade restritíssima de Instituições de Ensino Superior possa usufruir de estrutura tecnológica adequada. Alternativamente à falta de estrutura, métodos clássicos são empregados, acarretando uma geração de resíduos que apresenta alta nocividade tanto para o ser humano, animais, solo, água, dentre outros (GONÇALVES, 2011).

Pode ser citado o caso da volumetria de precipitação. Os processos de precipitação mais importantes na análise volumétrica utilizam o nitrato de prata como reagente nos chamados processos argentimétricos ou argentometria (MEDHAM et al., 2002). A argentometria é amplamente empregada em pesquisas envolvendo a temática referente a qualidade e tratamento de águas, visto que através de um método de volumetria de precipitação é possível determinar a concentração de íons cloreto (um importante indicador da qualidade da água) em amostras aquosas, no chamado método de Mohr (FUNASA, 2013). O método de Mohr emprega como titulante, dos íons cloreto e brometo o nitrato de prata, tendo como indicador o cromato de potássio. Como resíduos gerados através desse método temos o cloreto de prata(I), cromato de prata(I) e excessos de íons cromato e prata (MEDHAM et al., 2002). Entretanto, os resíduos gerados após a execução desse método são muito danosos ao meio ambiente. Ainda mais se considerando reagentes para determinação analítica clássica, ou seja, que estão em concentrações acima da de traços, para que o método apresente sensibilidade satisfatória (Silva et al., 2015).

Sendo assim, o investimento em materiais

e técnicas para tratamento de resíduos de laboratório de química provenientes de atividades de ensino, pesquisa e extensão se torna algo notório.

Muitos processos estão disponíveis na literatura no que diz respeito a remoção de espécies tóxicas do meio aquoso: oxidação, osmose reversa, troca iônica, eletrólise, etc. Contudo, esses processos apresentam custo médio entre 10 e 450 dólares por metro cúbico de água tratada. O uso de processos adsorptivos, porém, apresenta custo médio estimado em cerca de 5 a 200 dólares por metro cúbico de água tratada (ALI et al., 2012), além de oferecer a possibilidade de reutilização da mesma matriz adsorvente em processos posteriores após dessorção.

Neste estudo, o silicato caulinita foi submetido a processos de adsorção a partir de efluente gerado por meio do emprego do método de Mohr, em amostras de águas oriundas de pesquisas e aulas práticas, pelo Laboratório de Físico-Química da Água (LFQA) do Instituto Federal da Paraíba – Campus João Pessoa. Nesses ensaios adsorptivos, além da fase bruta da caulinita, foram sintetizados outros materiais a partir dela: metacaulinita e caulinita ativada em meio ácido, onde tais materiais adsorventes foram submetidos a um planejamento fatorial para elucidação de qual matriz apresenta maior sucesso na remoção de íons gerados no método de volumetria de precipitação citado.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Efluente

O efluente empregado nos processos de adsorção foi obtido a partir de reservatório de descarte de resíduos do método de Mohr do Laboratório de Físico-Química da Água (LFQA) do Instituto Federal da Paraíba (IFPB) – Campus João Pessoa (Figura 1). Tendo em vista que no processo reacional há a formação de produtos insolúveis (que após lavagem podem ser reutilizados), a solução de efluente foi filtrada e somente a parte aquosa (contendo íons Ag (I) e Cr (III)) foi usada nos ensaios de adsorção.

Figura 1. Efluente gerado do LFQA do IFPB, Campus João Pessoa

A determinação da concentração de íons Ag(I) para a solução efluente inicial e após os ensaios de adsorção foi realizada através do método de Volhard (MEDHAM, 2002). A determinação da concentração de íons Cr(III) foi feita através do método Difenilcarbazida (RICE et al., 2012).

2.2. Obtenção dos Adsorventes

A caulinita bruta utilizada foi cedida pela MF RURAL localizada na cidade de Equador-RN, já completamente processada e com classificação granulométrica #200.

Para a obtenção da metacaulinita, a caulinita foi submetida a aquecimento em 600°C por duas horas (AZEVEDO, 2017). Na síntese da caulinita ativada em meio ácido, uma proporção 4:1 v/m de ácido fosfórico 6,0 mol.L⁻¹ e caulinita bruta foram colocados sob agitação por 24 horas (AYODELE, 2013) e, em seguida, filtrada e lavada até pH 7,0 para a água de lavagem.

2.3. Ensaios de Adsorção

A fim de verificar qual material adsorvente apresenta maior capacidade adsorptiva, os materiais sintetizados foram submetidos a ensaios de adsorção regidos por uma matriz de planejamento fatorial (Box et al., 2005), para que os efeitos provocados pela modificação do material adsorvente (transformação em metacaulinita e ativação em meio ácido) fossem estatisticamente quantificados. A eficiência da amostra de caulinita bruta foi comparada com as suas respectivas modificações individualmente. Além da modificação do adsorvente, as outras variáveis estudadas foram tempo de contato e a massa de adsorvente empregada, portanto, dois planejamentos fatorial 2³.

As matrizes de planejamento fatorial empregadas em cada estudo foram geradas randomicamente através de software específico.

A Tabela 1 ilustra os níveis das variáveis empregadas nesse estudo através de planejamento fatorial.

Tabela 1. Variáveis empregadas no estudo fatorial

Planejamento 1: caulinita versus metacaulinita		
Variável	(-)	(+)
Amostra	caulinita	metacaulinita
Tempo	5 min.	45 min.
Massa de Adsorvente	200 mg	800 mg
Planejamento 2: caulinita versus caulinita ativada em meio ácido		
Variável	(-)	(+)
Amostra	caulinita	caulinita ativada
Tempo	5 min.	45 min.
Massa de Adsorvente	200 mg	800 mg

As Tabelas 2 e 3 mostram as matrizes formuladas pelo software.

As leituras para todos os ensaios de adsorção foram efetuadas na forma de duplicada. Além disso, vale salientar, tanto no “planejamento fatorial 1” quanto o “planejamento fatorial 2” as adsorções dos íons Ag(I) e Cr (III) foram simultâneas, pois ambos perfaziam o mesmo efluente, mas os resultados foram analisados separadamente.

Tabela 2. Matrizes Aleatórias geradas por Software para o “planejamento fatorial 1 – caulinita versus metacaulinita” para os ensaios de remoção de íons Ag (I) e Cr (III).

Ensaios de Remoção de Ag(I)		
Amostra	Tempo	Massa
+	-	+
-	+	-
-	+	+
+	+	-
+	+	+
+	-	-
-	-	+
-	-	-
Ensaios de Remoção de Cr (III)		
Amostra	Tempo	Massa
-	-	-
+	-	-
-	+	-
+	+	-
-	-	+
+	-	+
-	+	+
+	+	+

onde, (-) nível mínimo para tempo e massa e (+) nível máximo para tempo e massa.

Tabela 3. Matrizes Aleatórias geradas por Software para o “planejamento fatorial 2 – caulinita versus metacaulinita” para os ensaios de remoção de íons Ag (I) e Cr (III).

Ensaios de Remoção de Ag (I)		
Amostra	Tempo	Massa
-	+	-
-	-	+
-	-	-
+	+	-
+	+	+
-	+	+
+	-	+
+	-	-
Ensaios de Remoção de Cr(III)		
Amostra	Tempo	Massa
-	-	-
+	-	-
-	+	-
+	+	-
-	-	+
+	-	+
-	+	+
+	+	+

onde, (-) nível mínimo para tempo e massa, (+) nível máximo para tempo e massa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A análise para determinação da concentração de íons prata(I) e cromo (III) na solução do efluente de laboratório antes dos ensaios de adsorção é mostrada na Tabela 4.

Tabela 4. Concentração das espécies no Efluente de Laboratório

Íon	Concentração em mg.L ⁻¹
Ag ⁺	0,125
Cr ³⁺	0,410

A Figura 2 mostra os efeitos estatísticos através de superfícies de resposta para “Planejamento Fatorial 1” nos ensaios de remoção de íons Ag (I). Tais dados apresentou coeficiente de regressão lineal igual a 0,90776, para um limite de confiança de 95%. Os dados da Figura 2a mostram que, considerando o ensaio contendo o nível mínimo de massa de adsorvente, a transformação da caulinita em metacaulinita faz com que o material perca potencial adsorvente, ou seja, a concentração final de prata seja superior se comparado ao material

bruto. Além disso, o potencial máximo de remoção de íons Ag^+ é obtido no intervalo mínimo de tempo, em decorrência do fato de uma massa pequena saturar rapidamente. A Figura 2b mostra que, para um nível máximo de massa, a transformação da fase do adsorvente também se mostra como variável que dificulta uma menor quantidade de íons prata após a adsorção. Quanto ao tempo, em se tratando de um nível maior de massa empregado nos ensaios de adsorção, a capacidade máxima de diminuição da concentração de íons Ag^+ ocorre em um tempo maior. A Figura 2c corrobora os dados da Figura 2a, visto que, para o nível mínimo de tempo, a capacidade máxima de redução de íons Ag^+ foi atingida com a menor massa, indicando rápida saturação em baixas concentrações de adsorvente. Da mesma forma, a Figura 2d confirma os dados da Figura 2b, pois, para o nível máximo de tempo, foi necessária uma concentração alta de adsorvente para atingir o máximo de diminuição de íons Ag^+ . A diminuição do potencial adsorptivo da metaculinita em relação a caulinita pode ser explicada devido ao fato de que quando se muda a fase caulinita para metacaulinita, promove-se a amorfização quase que completa do material (LIMA E TOLEDO FILHO, 2008), desfazendo-se sítios adsorptivos e havendo pouca interação com um íon de baixa reatividade como o $\text{Ag}(\text{I})$.

a

b

c

d

Figura 2. Superfície de Reposta do “Planejamento Fatorial 1” para a Remoção de Íons Prata(I) de Efluente de Laboratório. (a) massa -, (b) massa +, (c) tempo -, (d) tempo +.

A Tabela 5 mostra as “condições ótimas” do processo de diminuição da concentração de íons prata(I) mediante a execução do “Planejamento Fatorial 1”.

Tabela 5. Concentração das espécies no Efluente de Laboratório

Variável	Amostra	Tempo	Massa
Nível "Ótimo"	-	-	-

A Figura 3 mostra os efeitos estatísticos através de superfícies de resposta para "Planejamento Fatorial 1" nos ensaios de remoção de íons Cr (III). Tais dados apresentou coeficiente de regressão linear igual a 0,97225, para um limite de confiança de 95%. A Figura 3a mostra que, para o nível mínimo da variável tempo, ambos os adsorventes apresentam potencial semelhante de remoção de íons Cromo (III) para o nível mínimo de massa de material. Como o íon Cr (III) é bem mais reativo que Ag(I) ($E^{\circ}_{redCr} \rightarrow Cr(II) = -0,74 \text{ V}$ e $E^{\circ}_{redAg} \rightarrow Ag(I) = +0,80 \text{ V}$), o caráter amorfo da metacaulinita não foi barreira para que esse o íon se concentrasse em sua superfície. Para o nível máximo da variável tempo, novamente os dois materiais apresentaram novamente potencial semelhante na remoção de íons Cr (III), mas sob condições diferentes. A Figura 3b mostra que o máximo de capacidade de remoção de íons a partir da solução efluente ocorreu para o nível mínimo de massa para a caulinita e nível máximo de massa para a metacaulinita. As condições de otimização do processo para a remoção de Cr^{3+} , se apresentaram idênticas as encontradas para a remoção de íons Ag^{+} , conforme disposto na Tabela 5.

Figura 3. Superfícies de Resposta do "Planejamento Fatorial 1" para a Remoção de Íons Cromo (III) de Efluente de Laboratório. (a) tempo -, (b) tempo +.

O "Planejamento Fatorial 2" foi analisado nos mesmos moldes, apresentando apenas, conforme Tabela 1, alteração na modificação realizada na caulinita, que nesse ensaio foi ativada em meio ácido. A Figura 4 mostra que tal modificação também não somou potencial adsorptivo a caulinita. Porém, em determinadas condições, consegue igualar o máximo de redução de Ag (I) em relação ao material bruto, fato que não ocorre com a metacaulinita. A Figura 4a mostra que, empregando o nível mínimo de massa, a máxima capacidade de redução de Ag^{+} ocorre no intervalo de tempo de menor nível por meio da caulinita. Considerando o nível máximo de massa (Figura 4b), o material bruto novamente atinge a capacidade máxima de remoção de íons prata no intervalo de tempo referente ao menor nível, porém, o material ativado também consegue igual similar potencial, para esse caso, mas no intervalo de tempo relativo ao nível máximo. Assim, as condições de otimização do processo de remoção de íons prata(I) para o "Planejamento Fatorial 2" são idênticas as encontradas para o "Planejamento Fatorial 1", conforme disposto na Tabela 5. Tais ensaios apresentaram coeficiente de regressão linear igual a 0,96292 para um limite de confiança igual a 95%.

a

b

Figura 4. Superfície de Reposta do “Planejamento Fatorial 2” para a Remoção de Íons Prata(I) de Efluente de Laboratório. (a) massa -, (b) massa +.

Na avaliação da adsorção de íons Cr (III) por meio do “planejamento fatorial 2”, era de se esperar que o material ativado apresentasse algum mérito frente ao bruto, em se tratando de uma espécie mais reativa como o Cr (III). A Figura 5 mostra que tal fato ocorre apenas considerando o nível máximo da variável tempo (Figura 5b), no mais, a ativação não promoveu nenhum potencial de adsorção extra ao material bruto para a remoção desse íon. A Figura 5a mostra que, para o nível mínimo da variável tempo, o material bruto consegue reduzir a concentração de íons Cr (III) de forma mais acentuada.

a

b

Figura 5. Superfície de Reposta do “Planejamento Fatorial 2” para a Remoção de Íons Cromo(III) de Efluente de Laboratório. (a) tempo -, (b) tempo +

4. CONCLUSÕES:

Os dados observados nesse estudo mostraram que a caulinita possui um grande potencial adsorvente no que diz respeito ao tratamento de efluentes oriundos de reagentes e soluções de atividades de pesquisa e extensão em laboratórios de química e áreas correlatas. Outro aspecto relevante está no fato de que, embora determinado material apresente a possibilidade de inúmeras modificações físicas ou químicas em sua estrutura, a comparação de determinado potencial que esse material apresenta deve sempre ser comparada com o material bruto, visto que nem sempre determinadas modificações inserem no material o potencial desejado em determinado fim.

No caso da caulinita, seu grande potencial, na forma bruta, faz com que determinadas modificações possam ser repensadas, visto que o emprego de matéria bruta acaba por minimizar gastos energéticos

(por exemplo, na síntese da caulinita) ou o concomitante de energia e reagentes químicos (por exemplo, na síntese da caulinita ativa em meio ácido).

5. AGRADECIMENTOS:

Os autores agradecem ao Programa Interconecta/IFPB pelo Fomento e Bolsa Concedidos e ao LANANO/IFPB pelo apoio técnico.

6. REFERÊNCIAS:

1. Ali, I., Asim, M., & Khan, T. A. Journal of environmental management, 2012,113, 170.
2. Arvaniti, E. C., Juenger, M. C., Bernal, S. A., Duchesne, J., Courard, L., Leroy, S., ... & De Belie, N. Materials and Structures, 2015, 48(11), 3687.
3. Auvray, X., Petipas, C., Anthore, R., Rico, I., & Lattes, A. The Journal of Physical Chemistry, 1989, 93(21), 7458.
4. Azevedo, A. M. Síntese e caracterização química, física e mecânica de geopolímero utilizando Caulim da Amazônia Desidroxilizado. 2017.
5. Box, G. E., Hunter, J. S., & Hunter, W. G. Statistics for experimenters: design, innovation, and discovery.1st ed., v.2, Wiley-Interscience: New York, 2005.
6. Reck, J. S. et al. Journal of the American Chemical Society, 1992, 114(27), 10834.
7. Campos, V. M. J. S., Bertolino, L. C., & Alves, O. C. Cerâmica, 2017, 63(367), 369.
8. FUNASA. Manual Prático de Análise de Água. 4 Ed., FUNASA: Brasília, 2013.
9. Kresge, C. T., Leonowicz, M. E., Roth, W. J., Vartuli, J. C., & Beck, J. S. Nature, 1992, 359(6397), 710.
10. Lima, P. R. L., & Toledo Filho, R. D.. CEP, 2008, 460, 44031.
11. Medham, J.; Denney, R.C.; Barnes, J.D.; Thomas, M.J.K. Análise Química Quantitativa. 6ª Ed, LTC: Rio de Janeiro, 2002.
12. Rice, E. W., Baird, R. B., Eaton, A. D., & Clesceri, L. S. Standard methods for the examination of Water and

wastewater. APHA, WPCR, AWWA: Washington, 2012.

13. UNE-ISO, US pat. 9277-2009, 2009
14. Zhao, D., Huo, Q., Feng, J., Chmelka, B. F., & Stucky, G. D. Journal of the American Chemical Society, 1998, 120(24), 6024.
15. Gioli-Lima, P. C.; Lima, V. A. Química Nova, 2008, 31(6), 1595.
16. Silva, J. M., Theophilo, P. H. M., Torres, G. R., Borges, S. S. S.; Exacta, 2015, 8 (2), 73.
17. Gonçalves, F. P. e Marques, C. A. Química Nova, 2011, 34(5), 899.
18. Jardim, W. F. Química Nova, 1998, 21(5), 671.
19. Leny, A. B., Alberguini, L. C. S., Rezende, M. O. O. Quim. Nova, 26(2), 291, 2003.
20. Marinho, C. C.; Bozelli, R. L., Esteves, F. A., Gonçalves, A. C. B., Rocha, V. A., Silva, W. H., Eclética Química, 2011, 36(2), 85.
21. Amaral, S. T.; Machado, P. F. L.; Peralba, M. C. R.; Camara, M. R.; Santos, T.; Berleze, A. L.; Falcão, H. L.; Martinelli, M. Gonçalves, R. S., Oliveira, E. R.; Brasil, J. L.; Araújo, M. A. e Borges, A. C. A., Quim. Nova, 2001, 24 (3), 419.
22. Imbroisi, D.; Guaritá-Santos, A. J. M.; Barbosa, S. S.; Shintaku, S. F.; Monteiro, H.J.; Ponce, G. A. E.; Furtado, J. G.; Tinoco, C. J.; Mello, D. C.; Machado, P.F. L. Química. Nova, 2006, 29(2), 404.
23. Anacleto, A. C. B. C. Trabalho de Conclusão de Curso, Licenciatura em química, da Faculdade de Educação e Meio Ambiente, Vale do Jamari, Ariquemes-RO, Brasil, 2018.
24. Nova, G. P. C.; Souza, E. H. S.; Soares, L. R..Anais do 10º Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão– SIEPE, , Santana do Livramento, Brasil, 2018.
25. Lopes, M. S., Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul-RS, Brasil, 2018.