



I - 191 - USO DO CACTO (*OPUNTIA FICUS-INDICA*) NO TRATAMENTO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA: RESULTADOS PRELIMINARES

Ana Lara Araújo Santos⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Sergipe. Mestranda em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe.

Tamires Santos Rosa⁽²⁾

Licenciatura em Química pela Universidade Federal de Sergipe. Pesquisadora e Técnica em Química da Universidade Federal de Sergipe.

Denise Conceição de Gois Santos Michelan⁽³⁾

Engenharia Civil pela Universidade Federal de Sergipe. Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo. Doutorado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Professora da Universidade Federal de Sergipe, no curso de Graduação e Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal de Sergipe, Avenida Marechal Rondon, s/n - Jardim Rosa Elze - São Cristóvão - SE - CEP: 49100-000 - e-mail: analarah.santos@gmail.com

RESUMO

No Brasil, milhões de pessoas ainda não possuem acesso a água potável, sendo necessário a busca por soluções que buscam dirimir este cenário, como o uso de coagulantes e floculantes naturais no tratamento de água. Deste modo, se faz presente o uso do cacto palma como coagulante/floculante natural, sendo esta planta abundante no semiárido brasileiro. Assim, este estudo teve como objetivo verificar a eficiência do tratamento da água utilizando cacto (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante/floculante natural, além de comparar os resultados obtidos com os limites de potabilidade preconizados na legislação vigente. Para tal, o estudo foi dividido em quatro etapas, sendo estas, a preparação do coagulante/floculante com três soluções de extração (água destilada, NaCl e NaOH), ensaio de tratabilidade em *Jar Test*, comparação com os limites preconizados na legislação vigente e estudo estatístico ao nível de confiança de 95%. Dessa forma, foi verificado que, os tratamentos não ocasionaram oscilações relevantes no parâmetro pH, além de proporcionarem remoções significativas para os parâmetros turbidez e cor, em especial para a composição com água destilada, para as dosagens de 1 e 2 mL. Ademais, o teste estatístico realizado evidenciou que não houve diferenças estatísticas relevantes quanto as soluções e dosagens utilizadas, sendo possível, portanto, utilizar composições mais simplificadas, como com o uso de água destilada, com dosagens menos expressivas, para a obtenção de remoções significativas.

PALAVRAS-CHAVE: Remoção, Padrão de Potabilidade, Coagulação, Floculação, Soluções Extratoras.

INTRODUÇÃO

O saneamento básico tem como objetivo tornar o ambiente propício para a vida humana, através da coleta e tratamento de esgoto, disposição adequada de resíduos sólidos, drenagem urbana e abastecimento de água (Vasconcelos; Albuquerque, 2019). Entretanto, ao que tange o abastecimento de água potável, no Brasil, em 2021, ainda existiam cerca de 33 milhões de pessoas sem acesso à água potável (SNIS, 2022).

Normalmente, as pessoas sem acesso a água localizam-se em comunidades isoladas e/ou rurais, das quais poderiam ser supridas por meio de soluções alternativas de tratamento. Assim, ao que concerne o tratamento alternativo de água se faz presente os coagulantes e floculantes naturais. Como exemplo de uso dos coagulantes e floculantes naturais, tem-se o cacto (Goes *et al.*, 2017; Zara; Thomazini; Lenz, 2012), que conforme Altamirano, Lévano e Yapu (2020), são plantas compostas por polímeros complexos que possui caráter coagulante e floculante.

Dentre as variedades de cacto, se tem a palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*), que se caracteriza devido a alta produtividade e resistência à seca (SENAR, 2018). No semiárido brasileiro, o cacto palma é cultivado em



larga escala, sendo utilizada para diversos fins como a forragem animal (Frota *et al.*, 2015). Dada a versatilidade da planta, esta vem sendo avaliada por diversos pesquisadores em múltiplas áreas, como no tratamento de água.

Deste modo, Zara, Thomazini e Lenz (2012) constataram que a aplicação do polímero natural derivado do cacto mandacaru no tratamento de água promove a formação de flocos de dimensões superiores em comparação com o uso do coagulante químico sulfato de alumínio, o que resulta no aumento da velocidade no processo de decantação.

Ainda, no estudo de Goes *et al.* (2017), foi observado que o emprego do cacto como coagulante natural promoveu eficiência em torno de 90% na remoção dos parâmetros cor aparente e turbidez. O que corrobora as constatações de Altamirano, Lévano e Yapu (2020), que mencionam em seus estudos sobre o uso do cacto *Opuntia ficus-indica* a expressiva capacidade de remoção de partículas suspensas no tratamento de água, ocasionando a diminuição de turbidez e carga microbacteriana.

Assim, como qualquer outra proposta, a solução alternativa possui tanto aspectos positivos quanto negativos. No entanto, pesquisas com foco em sustentabilidade e custo reduzido têm potencial de oferecer opções para comunidades que enfrentam dificuldades no acesso ao fornecimento de água de qualidade, como as comunidades rurais.

OBJETIVOS

Verificar a eficiência do tratamento da água utilizando cacto (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante/floculante natural e comparar os resultados obtidos com os limites de potabilidade preconizados.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi dividida em quatro etapas: preparação do coagulante, ensaio de tratabilidade, comparação com os limites preconizados na legislação vigente e estudo estatístico, sendo estas etapas estão descritas nos tópicos a seguir.

PRIMEIRA ETAPA: PREPARAÇÃO DO COAGULANTE

Para a preparação do coagulante/floculante natural utilizou-se cactos *in natura*, sem espinhos, seguido de higienização com água potável, e posterior corte e trituração (Figura 1A). Devido à consistência do material, acrescentou-se água destilada para facilitar o processamento, na razão de 10 mL para cada 75 g de cacto (Zara; Thomazini; Lenz, 2012; Lima, 2020). Assim, a fim de verificar as eficiências do tratamento com cacto, aplicou-se três situações: cacto com água destilada (CAD), cacto com NaCl (CNC) e cacto com NaOH (CNO).

Para as soluções de extração foi utilizado NaCl a 1% e NaOH 0,1 mol L⁻¹, sendo empregada a relação de 1 g de cacto liquidificado para 2,5 mL da solução de extração. Essa mistura foi homogeneizada em agitador magnético por 30 minutos (Figura 1B), seguida de filtração em peneiras de plástico e armazenada em recipientes (Figura 1C) sob refrigeração, para posterior realização dos ensaios de tratabilidade (Figura 1D) (Zara; Thomazini; Lenz, 2012).

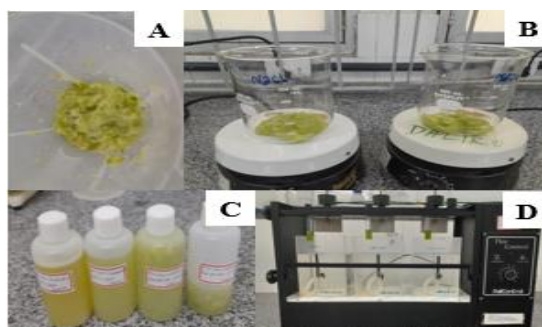


Figura 1: A) Cacto triturado em liquidificador; B) soluções extratoras com o cacto no agitador mecânico, C) soluções preparadas condicionadas em recipientes de plástico; D) ensaio de tratabilidade.

Frisa-se que para a composição CAD também foi utilizada a mesma dosagem, duração de tempo supracitados e agitação mecânica.

SEGUNDA ETAPA: ENSAIO DE TRATABILIDADE

Foi utilizado o *Jar Test* composto por três jarros (Figura 1D) com 2 L de água subterrânea bruta, para as dosagens de 1, 2 e 4 mL. Seguiu-se recomendações de Lima (2020) quanto às rotações do sistema: mistura rápida com 112,2 rpm por 2 minutos, mistura lenta 38 rpm por 15 minutos e decantação adotou-se o tempo de 30 minutos.

Após a decantação, retirou-se alíquota de água decantada de cada jarro para aferir turbidez, cor aparente, temperatura, condutividade e pH. Para a etapa de filtração, utilizou-se membrana com porosidade de 45 μm . Os parâmetros supracitados também foram aferidos para a água bruta. Os parâmetros foram processados com base na metodologia da *American Public Health Association* (APHA, 2012) e a temperatura foi aferida com termômetro digital.

TERCEIRA ETAPA: LEGISLAÇÃO VIGENTE E LIMITES COMPARATIVOS

As águas tratadas com os sistemas de coagulação/floculação natural, foram comparadas aos limites estabelecidos quanto à potabilidade de água, citados em Brasil (2021).

QUARTA ETAPA: ESTUDO ESTATÍSTICO

Foi utilizado o teste de *Kruskal-Wallis*, a fim de avaliar dentre as composições de coagulantes avaliadas se alguma apresentou maior efetividade no tratamento de água. Vale frisar que, o teste foi realizado ao nível de confiança de 95%.

RESULTADOS OBTIDOS PARA ÁGUA BRUTA

A Tabela 1 ilustra os resultados médios obtidos para a água bruta avaliada.

Tabela 1: Resultados obtidos para água bruta.

Parâmetros	Campanha 1	Campanha 2	Campanha 3
Cor Aparente (uC)	39,0	24,0	29,0
Turbidez - padrão organoléptico (uT)	2,0	2,0	2,0
pH	8,1	7,7	7,6
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	210,0	332,0	410,0
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	24,5	26,3	27,2



De acordo com Von Sperling (1996), o potencial hidrogeniônico (pH) faz referência ao grau acidez, neutralidade ou alcalinidade da água, já quanto a cor, esta pode ser verdadeira, sendo obtida com a remoção da turbidez por centrifugação, ou aparente devido à ausência deste processo, caracterizam-se pela presença de sólidos dissolvidos.

A turbidez indica a presença de substâncias coloidais ou em suspensão. A condutividade elétrica, indica existência do teor de sais dissolvido, e diz respeito a capacidade da água de transmitir corrente elétrica (Santos; Mohr, 2013).

Ademais, vale ressaltar que, o artigo 5º define a água potável de modo a atender ao padrão de potabilidade estabelecido em Brasil (2021), o qual define os limites de alguns parâmetros presentes na água.

RESULTADOS OBTIDOS PARA ÁGUA TRATADA

A Figura 2 ilustra os resultados obtidos dos parâmetros avaliados após os tratamentos com CAD, CNC e CNO, para as dosagens estudadas. Destaca-se que, quanto as temperaturas de operação, para a água tratada, estas oscilaram entre 27,1 e 23,4 °C.

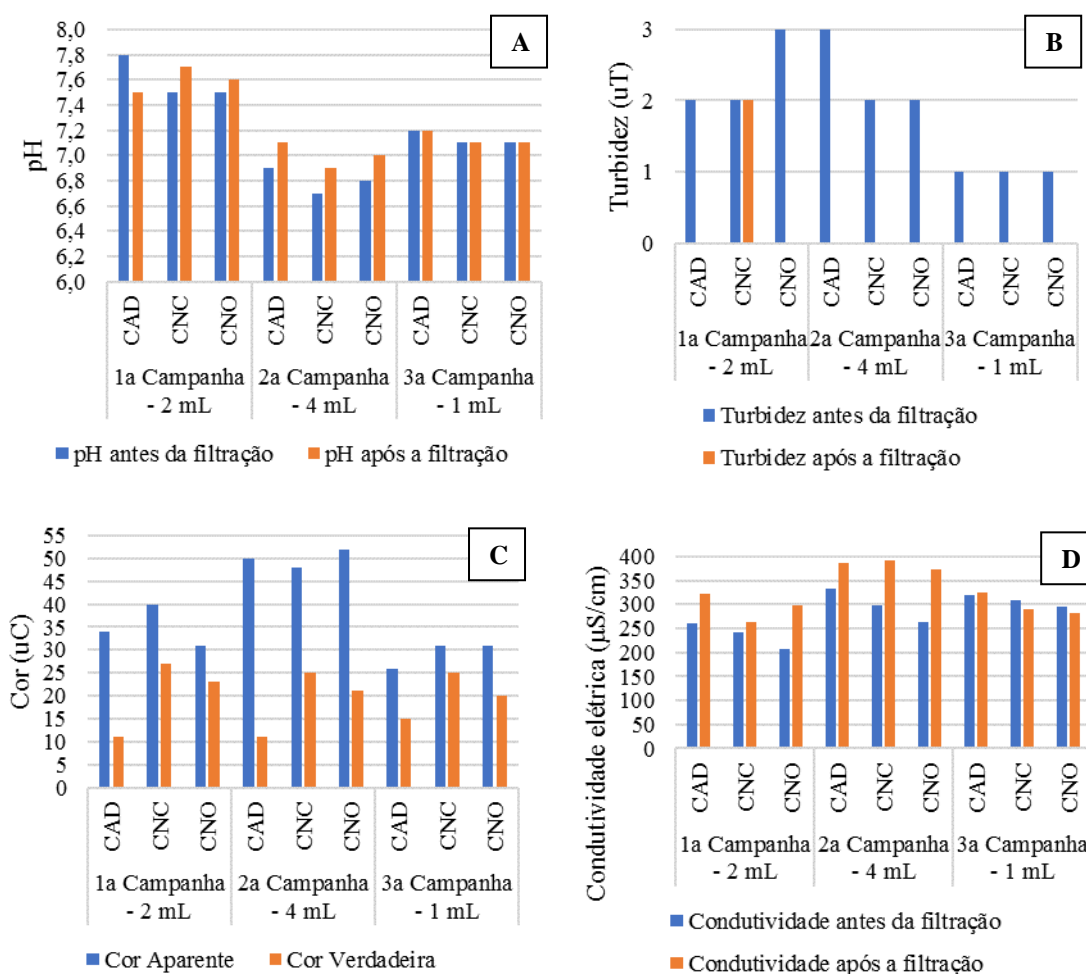


Figura 2: A) Resultados para pH; B) resultados para turbidez (uT); C) resultados para cor (uC); D) resultados para condutividade elétrica (µS/cm).

A Tabela 2 ilustra as eficiências de remoção obtidas nos tratamentos propostos quanto os parâmetros cor aparente e verdadeira, e ainda, turbidez antes e após a filtração. Desta maneira, de acordo com os resultados obtidos, tornou-se possível observar qual dosagem apresentou melhor eficiência, assim como a necessidade da etapa de filtração.

Tabela 2: Eficiências de remoção.

Parâmetros	1ª Campanha - 2 mL			2ª Campanha - 4 mL			3ª Campanha - 1 mL		
	CAD	CNC	CNO	CAD	CNC	CNO	CAD	CNC	CNO
Cor Aparente (%)	12,8	*	20,5	*	*	*	10,3	*	*
Cor Verdadeira (%)	71,8	30,8	41,0	54,2	*	12,5	48,3	13,8	31,0
Turbidez antes da filtração (%)	*	*	*	*	*	*	50,0	50,0	50,0
Turbidez após a filtração (%)	100,0	*	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Observação: *Ausência de remoção.									

RESULTADOS OBTIDOS NO ESTUDO ESTATÍSTICO

Os resultados obtidos do estudo estatístico, após a realização do teste de *Kruskal-Wallis*, partindo da hipótese nula de que não há diferença significativa entre os resultados dos experimentos utilizando diferentes composições de coagulantes/floculantes, foram ilustrados na Tabela 3.

Tabela 3: Resultados do teste de *Kruskal-Wallis*.

Cor verdadeira				Turbidez			
valor-p: 0,026				valor-p: 0,368			
FC	DO	DC	D	FC	DO	DC	D
CAD - CNC	6,0	5,35	Sim	CAD - CNC	1,5	5,35	Não
CAD - CNO	3,0	5,35	Não	CAD - CNO	0,0	5,35	Não
CNC - CNO	3,0	5,35	Não	CNC - CNO	1,5	5,35	Não
pH				Condutividade			
valor-p: 0,871				valor-p: 0,587			
FC	DO	DC	D	FC	DO	DC	D
CAD - CNC	1,0	5,35	Não	CAD - CNC	2,0	5,35	Não
CAD - CNO	1,0	5,35	Não	CAD - CNO	2,0	5,35	Não
CNC - CNO	0,0	5,35	Não	CNC - CNO	0,0	5,35	Não
Observações: FC = Fatores Comparados Diferença Observada = DO Diferença Crítica = DC Diferença = D							

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS PARA ÁGUA BRUTA

O CONAMA n° 396, se refere as diretrizes para águas subterrâneas, entretanto, este não estabelece limites para classificação da água bruta dos parâmetros analisados (Brasil, 2008), assim, considerando o padrão de potabilidade exigido por Brasil (2021), em todas as campanhas (Tabela 1), a cor aparente ficou acima do



permitido, enquanto, o pH e turbidez, enquadraram-se em todas as análises. Quanto a condutividade esta ficou acima do estabelecido (CETESB, 2013), sendo o valor máximo estabelecido de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com indicativo de despejo de efluentes.

Santos, Rosa e Michelan (2022), também utilizaram a água subterrânea avaliada no presente estudo e constataram que em todas as campanhas a água bruta indicou cor aparente superior a 15 uC, além de que, a turbidez se manteve acima de 5 uT em 50% das campanhas avaliadas. Almeida *et al.* (2021), ao avaliarem a água supracitada, observaram valores para a água bruta de cor aparente com médias de aproximadamente 70 uC, turbidez com médias variando de 0 a 20 uT, pH entre 6,0 e 8,3, indicando assim, alguns valores acima dos limites estabelecidos pela legislação vigente.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS PARA ÁGUA TRATADA

Observa-se que o pH (Figura 2), em todos os resultados enquadrou-se no limite citado por Brasil (2021), com destaque para a composição CAD, dosagem de 2 mL. Goes *et al.* (2017) em estudo com cactos associados a soluções também não observaram alteração do pH na água.

Para a turbidez antes da filtração (Figura 2B) todas se enquadraram abaixo de 5uT (Brasil, 2021). Lima (2020) ao avaliar a qualidade da água bruta utilizando cacto com soluções extratoras, obteve redução de turbidez, sem filtração, de 62,15% com NaOH (com 1,5 mL) e 60,27% com NaCl (com 0,5 mL), sendo superior às obtidas neste estudo (50% de remoção com 3 mL).

Quanto a turbidez após a filtração esta também se enquadrou com a legislação (Brasil, 2021), referente a 0,5 uT, em quase todas as análises, com remoção de 100% (Tabela 2), com exceção da análise da composição CNC para 2 mL (Figura 2B). Nas análises de Santos e Lima (2019), ao aplicarem extrato do cacto com soluções obtiveram reduções de turbidez com NaCl de 98,3%.

De acordo com a Figura 2C, a cor verdadeira enquadrou-se nos limites quando utilizada a composição CAD com remoção de 71,8%. A composição CNO apresentou remoção de 20,5%, para 2 mL. Goes *et al.* (2017) obtiveram remoção para cor verdadeira superior a 85%, enquanto para a cor aparente foi de aproximadamente 60%, evidenciando a importância do processo de filtração para a remoção de cor.

Quanto a condutividade elétrica, os resultados ficaram na faixa de 260 a 391 $\mu\text{S}/\text{cm}$, (Figura 2D), após tratamento, sendo obtida a maior remoção do parâmetro (cerca de 6,5%) para a dosagem de 1 mL com a composição CNC.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO ESTUDO ESTATÍSTICO

Conforme ilustrado na Tabela 3, se rejeitou hipótese nula apenas para o parâmetro cor verdadeira, em especial, para a combinação CAD – CNC, se podendo afirmar que não há diferença estatística significativa para as demais combinações e parâmetros dentro das dosagens avaliadas.

CONCLUSÕES

Os tratamentos não proferiram significativas oscilações quanto ao parâmetro pH, além de ofertarem remoções significativas para os parâmetros turbidez e cor, em especial pós filtração, o que evidenciou a importância desta etapa no tratamento proposto. Quanto a condutividade elétrica, se manteve sempre acima de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Além disso, a composição CAD se destacou com as melhores eficiências de remoção (dosagens de 2 e 1 mL).

Quanto ao teste estatístico realizado, foi possível observar que não houve disparidade e diferenças estatísticas relevantes quanto as soluções e dosagens utilizadas.

Assim, como a utilização do CAD apresentou valores de remoção significativos e sendo este o método mais simplificado dentre os adotados, sugere-se para estudos futuros a análise de outras dosagens desta composição,



tendo em vista que dentre os objetivos dos tratamentos alternativos se buscam propostas simplificadas que atendam àqueles mais aquém ao abastecimento seguro de água de maneiras mais simples.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, T. S. de *et al.* Filtração em múltiplas etapas (FiME) modificada por materiais não convencionais. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, [S. l.], v. 9, n. 3, p. 170–190, 2022. DOI: 10.9771/gesta.v9i3.45440
2. ALTAMIRANO, E. D. A.; Lévano, J. E. R. Y.; Yapu, M. A. C. Uso de la “Opuntia ficus indica”, como agente natural para el tratamiento de aguas, a nivel de laboratorio, UMA. Ñawparisun-Revista de Investigación Científica de Ingenierías, v. 2, n. 4, 2020.
3. APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation. 22thed. Washington: 2012.
4. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n° 888, de 04 de maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Gabinete do Ministério, 2021.
5. BRASIL. Resolução n° 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. 2008.
6. CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Apêndice D - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade, 46 p., 2013.
7. FROTA *et al.* Palma Forrageira na Alimentação Animal. Documentos Embrapa Meio-Norte, 47 p., 2015.
8. GOES, H. H. et al. Estudo da aplicação do cacto *opuntia cochenillifera* no tratamento de água. Enciclopedia Biosfera, v.14, n.25, 2017.
9. LIMA, C. B. Cacto mandacaru (*Cereus jamacaru*): coagulante como auxiliar no tratamento de água. Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica da Universidade Federal do Triângulo Mineiro. Uberaba, 2020.
10. SANTOS, A. L. A.; ROSA, T. S.; MICHELAN, D. C. de G. S. Eficiência do tratamento de água por meio dos coagulantes inorgânico sulfato de alumínio e orgânico *Abelmoschus esculentus* ou quiabo separadamente e associados. Gaia Scientia, v.16, n.3, p. 84–108, 2022.
11. SANTOS, C. E. M.; LIMA, M. B. Potencial uso de extrato do cacto *Pilosocereus Gounellei* como coagulante no tratamento de água turva no semiárido. Anais. 6° Encontro de Jovens Investigadores, 2019.
12. SANTOS, R. S.; MOHR, T. Saúde e qualidade da água: Análises microbiológicas e físico-químicas em águas subterrâneas. R. Contexto & Saúde, v.13, n.24-25, p. 46–53, 2014.
13. SENAR. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. Palma forrageira: cultivo de palma forrageira no semiárido brasileiro. 3. ed. Brasília: SENAR, 52 p., 2018.
14. SNIS. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto - 2021. 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel/ab>>. Acesso em 11 de abril de 2024.
15. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2. ed. BH: DESA/UFMG, v.1, 243 p., 1996.
16. ZARA, R. F.; THOMAZINI, M. H.; LENZ, G. F. Estudo da eficiência de polímero natural extraído do cacto Mandacaru (*Cereus jamacaru*) como auxiliar nos processos de coagulação e floculação no tratamento de água. R. de Estudos Ambientais (Online), v.14, n.2, p.75-83, 2012.