
RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO

**PROCESSOS DE COAGULAÇÃO E
FLOCULAÇÃO NO TRATAMENTO D'ÁGUA:
ESCOLHA DO CATALISADOR COM A MELHOR
RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO**

Vinycius Lima Brito – vinyciuslima00@gmail.com

Universidade do Estado do Pará - UEPA

Ana Beatriz Matos Rodrigues – anabrodriguesz@gmail.com

Universidade do Estado do Pará - UEPA

Nathália Melo Giuliatti – nathaliagiuliatti@hotmail.com

Universidade do Estado do Pará - UEPA

Iran Abib Valente da Silva - profuepa@yahoo.com.br

Universidade do Estado do Pará - UEPA

Antônio Pereira Junior – antonio.junior@uepa.br

Universidade do Estado do Pará - UEPA

1. RESUMO

Um dos problemas atuais em corpos hídricos é a perda da transparência da água que, em geral, compromete a qualidade da mesma. O presente trabalho tem como objetivo identificar o catalisador com a melhor relação custo-benefício na remoção de partículas que promovem a turbidez da água e obter maior índice de transparência desse recurso natural. Para o funcionamento eficiente desse processo, algumas medidas devem ser tomadas, como o uso do Policloreto de Alumínio - PAC (coagulante), cuja mensuração foi efetuada com aplicação do Hidróxido de Sódio (NaOH) e a Cal Hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). A metodologia de pesquisa aplicada foi observativa, sistemática, direta, experimental, associada a levantamento de dados documentais com recorte temporal no período de 2007 a 2017. Os dados obtidos foram tratados por meio da estatística descritiva (média, desvio padrão e coeficiente de variação). Eles indicaram que o Hidróxido de Sódio (NaOH) apresentou um maior desempenho no quesito velocidade da reação de coagulação (um minuto), enquanto a Cal Hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) mostrou ser mais eficiente no que se refere à morfologia dos flocos (nota 3) e à velocidade de decantação (nove minutos).

Palavras-chave: Cal Hidratada. Hidróxido de Sódio. Coagulador. Floculador. PAC.

2. INTRODUÇÃO E OBJETIVO

A água é um elemento fundamental para a manutenção da vida, porém apenas 0,5% é disponível para consumo humano (ALVARENGA *et al.*, 2012). Logo, é preciso que a água seja submetida a processos físicos (Ex.: Turbidez), químicos e biológicos com a finalidade de obter a qualidade necessária para destinação à ingestão, de modo que não ofereça risco à saúde e esteja dentro dos valores permitidos dos parâmetros de qualidade da água (BRASIL, 2011, **grifo nosso**). Todavia, são inúmeras as causas que ocasionam a turbidez, sendo a principal, a destruição das matas ciliares, que resulta na erosão do solo, levando à presença de materiais sólidos em suspensão. Esse fenômeno provoca, no período chuvoso, o transporte de uma quantidade considerável de material sólido para os corpos d'água (CETESB, 2009) e isso compromete a transparência desse corpo.

Nesse contexto, na clarificação da água, tem-se que a coagulação/floculação são processos de lenta duração, mas de extrema importância para o êxito e eficiência no tratamento de água. A velocidade é lenta para promover o melhor aproveitamento na

formação de flocos das partículas em suspensão e no estado coloidal, de modo a promover um bom contato entre as partículas sem que haja destruição daquelas já formadas.

Ademais, a utilização do Policloreto de Alumínio – PAC, como coagulante, faz com que os flocos se formem mais rapidamente e em tamanhos maiores e uniformes pois apresenta forte poder de coagulação (CACHEIRA *et al.*, 2012; CONSTANTINO & YAMAMURA, 2009). A eficiência do processo coagulação/floculação depende das características físico-químicas da água a ser tratada (ALARCON & ALCALA, 2011). Todas as etapas posteriores dependem do êxito da coagulação/floculação (TRUJULLI *et al.*, 2014).

Diante desses argumentos, o objetivo do trabalho é avaliar as funções aceleradoras dos catalisadores Hidróxido de Sódio (NaOH) e Cal Hidratada (Ca (OH)₂) e identificar qual deles possui a melhor relação de custo-benefício, por meio do teste da velocidade de formação, da morfologia e do tempo de decantação dos flocos, para mitigar a turbidez da água.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. FISIOGRAFIA DO MUNICÍPIO

O município de Paragominas (Figura 1), localizado na mesorregião sudeste do Pará a 320 quilômetros da capital Belém, tem população estimada em 108.547 habitantes (IBGE, 2016) e apresenta 14.823 ligações ativas de distribuição de água tratada (SANEPAR, 2013). O clima é caracterizado como quente e úmido, do tipo tropical úmido, com expressivo período de estiagem.



Figura 1 – Localização da Região de Paragominas, Pará.
Fonte: Imazon (2009)

A vegetação original era composta basicamente por florestas tropicais densas de terra firme e perenes, no entanto, “44% do município encontrava-se desmatado até 2010. Considerando a área de floresta em regeneração, reflorestamento e mata ciliar, esse valor diminui para 40%” (MARTINS *et al.*, 2013). Estima-se que as Áreas de Preservação Permanente (APPs) do município sejam compostas por 46,5% de floresta degradada antiga, 39,8% encontrem-se desmatadas e 8,7% apresentem matas ciliares, de acordo com estudo feito pelo Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia – Imazon (2009).

Quanto à hidrografia, o município é banhado por duas bacias principais: a do rio Capim, cujos afluentes se subdividem 54% ao longo da área do município, e a do rio Gurupi, que abrange os 46% restantes. A bacia do rio Capim agrupa 6 sub-bacias, onde frisam os rios Surubiju, Camapi, Cauaxi, Jacamim, Paraquequara e o Candiru-açu. O rio Gurupi também acomoda seis sub-bacias: Uraim, Maritaca, Piriá, Croatá e Poraci-Paraná (IMAZON, 2009).

3.2. ÁREA DE ESTUDO

O Rio Uraim, que é de extrema importância para o saneamento (abastecimento de água) no município, é constituinte da bacia do rio Uraim, que ocupa 21,75% da área total de Paragominas. Da sua nascente até a sua foz, o Rio Uraim possui 202 km de extensão pelo leito e tem vazão média anual de 268.423,35 m³/h (SANEPAR, 2014, **grifo nosso**). Conforme a Resolução n. 357:2005, do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, o Rio Uraim é água doce de Classe 2. O estudo foi realizado em dois pontos: (1) na captação de água da Estação de Tratamento de Água – ETA, com coordenadas 3°0’23’’S e 47°22’53’’O; (2) e na ETA de Paragominas – PA (Figura 2) especificamente no coagulador e floculador, com coordenadas 2°50’55’’S e 47°23’5’’O.

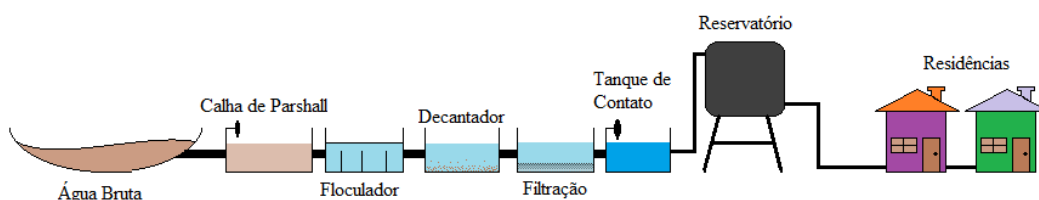


Figura 2 – Fluxograma da ETA de Paragominas – PA
Fonte: Autores (2017)

3.3. CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A metodologia de pesquisa aplicada foi observativa, sistemática, direta, experimental, associada a levantamento de dados documentais com recorte temporal no período de 2007 a 2017.

3.4. COLETA DA ÁGUA E ANÁLISES LABORATORIAIS

O período de coleta ocorreu no mês abril de 2017, período chuvoso (dezembro a maio), cuja pluviosidade média anual é de aproximadamente 1745,0 mm. Os dois pontos de coleta das amostras foram (1) a captação de água e o (2) coagulador/floculador da ETA. Em cada ponto foram coletadas seis amostras com volume igual a 1000 ml, o que totalizou doze amostras. Após as coletas, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Análises de Água da Agência de Saneamento de Paragominas-PA. As análises laboratoriais ocorrem em duas etapas: (1) Os testes físico-químicos - coagulação/floculação ocorreram com o uso do (a) *JAR TEST*, marca POLICONTROL, onde efetuou-se a homogeneização das amostras e verificaram-se as velocidades de coagulação e decantação, além da observação quanto ao tamanho dos flocos; (b) COLORÍMETRO, marca DEL LAB, para verificação da cor; (c) TURBIDIMETRO, marca TECNOPON, para determinar a turbidez e, finalmente (d) PHMETRO de bancada, marca ION, com o intuito de mostrar o potencial hidrogeniônico (pH); (2) Análise dos dados obtidos com o uso da Cal Hidratada (Ca(OH)_2) e do Hidróxido de Sódio (NaOH).

Na fase de testes com a Cal Hidratada (Ca(OH)_2) e do Hidróxido de Sódio (NaOH), as dosagens e concentrações das soluções envolvidas no processo apresentaram resultados diferentes em cada jarro. Esses dados foram coletados e analisados para uma comparação entre a mistura rápida e mistura lenta, com o objetivo de escolher qual apresentou a melhor eficiência, cujos critérios foram o tempo de reação, tempo de decantação e o tamanho dos flocos. Em relação ao tempo de reação e decantação (dado em minutos), quanto mais rápido for esse tempo melhor será o resultado da clarificação da água. Já no critério de tamanho dos flocos, quanto maior o tamanho, mais rápido será sua sedimentação, podendo obter as seguintes notas qualitativas nos testes: nota 1 (tamanho ruim), nota 2 (tamanho bom), nota 3 (tamanho ótimo) e nota 4 (tamanho excelente).

3.6. TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

Para dar maior ênfase aos resultados quanto ao catalisador que apresenta melhor custo-benefício, os dados foram coletados e tratados com o auxílio do *software* BioEstat 5.3 (AYRES *et al.*, 2007), por meio do qual empregou-se a estatística descritiva (média aritmética, desvio padrão e coeficiente de variação). Quanto à média, foi requerida para determinar um valor central para cada catalisador utilizado no experimento, como ponto de equilíbrio. O desvio padrão expressa a variação média, indicando que quanto mais próximo de zero mais homogêneos os valores se tornam. O coeficiente de variação, por sua vez, expressa o desvio em percentual.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. QUANTO AOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

A análise dos dados obtidos indicou que os parâmetros analisados da água do Rio Uraim não estão em conformidade com os limites estabelecidos pela Portaria n. 2914:2011, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) (Tabela 1).

Tabela 1- Características físico-químicas da água do Rio Uraim, no município de Paragominas – PA, durante o período de testes (abril de 2017).

Água Bruta do Rio Uraim			
Parâmetros	Abril de 2017		Limites da Portaria n. 2914:2011
	Resultados	Unidades	
Turbidez	19,7	UT	5,0 UT
Cor	110	uH	15n uH
pH	5,39	mg/l	6 < pH > 9
Sólidos Totais	640	mg/l	< 500
Ferro Total	2,0	mg/l	< 0,3

Fonte: Autores (2017)

Todos os parâmetros analisados estão acima dos limites estabelecidos pela Portaria n. 2914:2011 (BRASIL, 2011). Tal fato pode provocar o acometimento de doenças de veiculação hídrica (cólera, hepatite A e doenças diarreicas) se a população consumir água sem o tratamento adequado (PINHEIRO, 2017). Isso decorre da presença de partículas responsáveis pelas águas turvas que podem “proteger” determinados micro-organismos patogênicos à saúde. Sendo assim, essa água precisa passar por um tratamento convencional para se ajustar aos limites para consumo humano.

Quanto aos dados obtidos com o uso da Ca(OH)_2 a 14%, para o tempo de reação, o tamanho dos flocos, o tempo de decantação, o volume do catalisador e os valores iniciais de turbidez (Turb.) e pH, eles indicaram variações em função do volume de catalisador utilizado (Tabela 2).

Tabela 2- Dados obtidos durante o uso do *Jar Test* para avaliação do PAC a 23% na presença do composto Ca(OH)_2 a 14%. Paragominas – PA.

Jar Test	Vol. Jarros (ml)	Volume de Ca(OH)_2	Tempo de Reação	Tamanho de Flocos	Tempo de Decantação	Inicial		Final	
						Turb. (UT)	pH	Turb. (UT)	pH
1*	1000	1 ml	3,5min	2	17 min	19,7	5,39	3,50	6,4
2*	1000	1,5 ml	3min	2	14 min	19,7	5,39	3,00	7,2
3*	1000	2 ml	2min	3	9 min	19,7	5,39	1,26	7,9
1**	1000	2,5 ml	2,5min	4	12 min	19,7	5,39	0,90	8,2
2**	1000	3 ml	3min	2	17 min	19,7	5,39	2,00	9,4
3**	1000	3,5 ml	3,5min	1	32 min	19,7	5,39	2,90	11,7

* (Teste 1) Mistura Rápida: 80 rotações por minuto – rpm, em 120 segundos; ** (Teste 2) Mistura Lenta: 20 rpm, em 100 segundos. Legendas para tamanho dos flocos: ruim = 1; bom = 2; ótimo = 3; excelente = 4.

UT = Unidade de Turbidez.

Fonte: Autores (2017)

A análise dos dados obtidos para o jarro 3 (*Teste1), com 2 ml da solução, indicou os menores tempos de reação (dois minutos) e decantação (nove minutos). Houve também a indicação de mais eficiência no uso de Ca(OH)_2 nesse jarro, quando comparado com os demais. Em função do tamanho dos flocos, no jarro 1 (**Teste 2), com 2,5 ml, foi obtido nota 4, em função do tamanho, ou seja, conceito excelente.

Em função do uso do NaOH a 10%, os dados analisados para o tempo de reação, o tamanho dos flocos, o tempo de decantação, o volume do catalisador e os valores iniciais de turbidez (Turb.) e pH indicaram que houve variações diversas (Tabela 3).

Tabela 3 - Resultados obtidos no *Jar Test* para avaliação do PAC a 23% na presença do composto NaOH a 10%. Paragominas – PA.

Jar Test	Vol. Jarros (ml)	Volume de (NaOH)	Tempo de Reação	Tamanho de Flocos	Tempo de Decantação	Inicial		Final	
						Turb. (UT)	pH	Turb. (UT)	pH
1*	1000	1 ml	3,5 min	1	17 min	19,7	5,39	3,30	5,8
2*	1000	1,5 ml	2,0 min	1	14 min	19,7	5,39	3	6,7
3*	1000	2 ml	1,5 min	2	12 min	19,7	5,39	1,26	7,5
1**	1000	2,5 ml	1,0 min	2	11 min	19,7	5,39	1,7	8,1
2**	1000	3 ml	2,5 min	1	13 min	19,7	5,39	3,5	10,6
3**	1000	3,5 ml	2,5 min	1	16 min	19,7	5,39	3,7	12,5

* (Teste 1) Mistura Rápida: 80 rotações por minuto – rpm, em 120 segundos; ** (Teste 2) Mistura Lenta: 20rpm, em 100 segundos. Legendas para tamanho dos flocos: ruim = 1; bom = 2; ótimo = 3; excelente=4.

UT = Unidade de Turbidez.

Fonte: Autores (2017)

Para o NaOH a 10%, a análise dos dados para o jarro 1 (**Teste 2), com 2,5 ml da solução, indicou menor tempo de reação (um minuto) e decantação (onze minutos). Quanto ao tamanho dos flocos, houve indicação de similaridade entre os jarros 3 (Teste1) e 1 (Teste2), cujo padrão qualitativo foi classificado como “bom” (nota 2). Logo, em função da análise efetuado a partir dos dados obtidos, verificou-se maior eficiência no jarro 1, no teste 2.

Para verificação da eficácia entre os dois catalisadores aplicados nesse estudo, comparou-se os dados obtidos após as análises laboratoriais (Figura 3), para a escolha entre eles, quanto à relação custo-benefício.

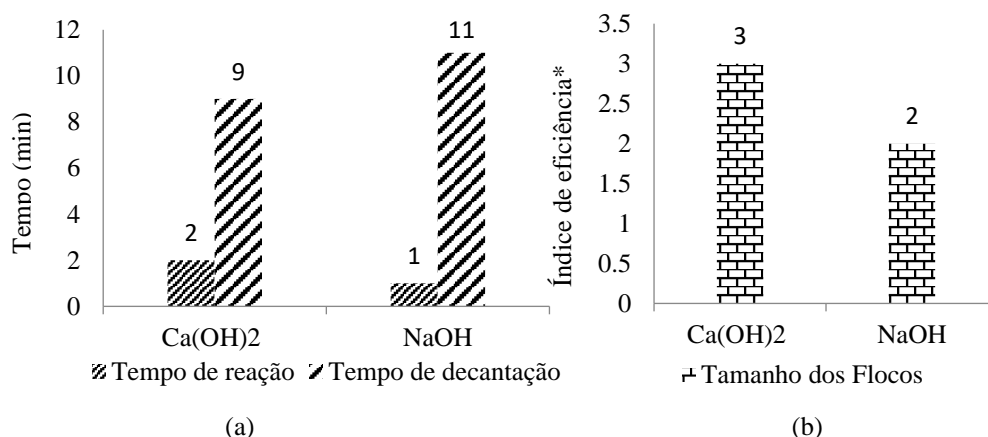


Figura 3 – (a) Comparativo dos resultados mais eficientes entre Cal Hidratada e Hidróxido de Sódio quanto aos tempos de reação e decantação; (b) Comparativo dos resultados mais eficientes entre Cal Hidratada e Hidróxido de Sódio quanto ao tamanho dos flocos.

* Índice de eficiência: Ruim (1); Bom (2); Ótimo (3); Excelente (4);

Fonte: Autores (2017).

Os dados obtidos indicaram que o uso da Cal Hidratada promove maior clarificação quanto ao tamanho do floco e ao tempo de decantação. Com o uso desse catalisador, a clarificação da água foi mais rápida, pois, segundo Cacheira *et al.* (2012), quanto maior o tamanho do floco e a densidade, mais rápido será o tempo de decantação, fazendo com que os flocos se separem adequadamente da fase líquida por ação da gravidade levando-os a uma mais fácil sedimentação.

O tempo de reação, por sua vez, foi mais rápido com o uso do Hidróxido de Sódio, o qual apresentou a mais rápida atração das partículas, o que levaria à formação

de flocos maiores e a rápida decantação. Entretanto, o tamanho dos flocos e o tempo de decantação não seguiram o ritmo da fase de coagulação.

Para melhor escolha entre os catalisadores, foram calculadas as médias de desempenho de cada um deles em função dos itens analisados (Tabela 4).

Tabela 4 – Estatística descritiva com auxílio do *software* BioEstat 5.3 para os resultados mais eficientes da Cal Hidratada e Hidróxido de Sódio.

Catalisador	Ca(OH) ₂	NaOH
Média Aritmética	4,6667	4,6667
Desvio Padrão	± 3,7859	± 5,5076
Coefficiente de Variação	81,13%	118,02%

Fonte: Autores (2017)

Apesar da Cal Hidratada apresentar os melhores resultados no quesito tempo de decantação e tamanho dos flocos e o Hidróxido de Sódio obter o melhor resultado no quesito tempo de reação, a média aritmética calculada foi a mesma para ambos os catalisadores (4,6667), logo, não foi possível distinguir qual o mais eficiente.

Diante disso, foi necessário calcular o desvio padrão seguido do coeficiente de variação para assim poder determinar qual o catalisador mais eficiente. A Cal Hidratada apresentou maior eficiência por ter melhor homogeneidade de ação dos três critérios (tempo de reação, decantação e tamanho dos flocos), indicada pelos menores valores de desvio padrão (3,7859) e coeficiente de variação (81,13%) em comparação com o Hidróxido de Sódio, que obteve os valores para desvio padrão de 5,5076 e coeficiente de variação 118,02%.

5. CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

A identificação do catalisador mais eficaz, ou seja, que ofereça o melhor custo-benefício, é a Cal Hidratada Ca(OH)₂. Sugere-se que, ao utilizar o catalisador para o processo de clarificação d'água, observem-se as características físico-químicas desta água e, com isso, seja atingido um melhor rendimento no processo para evitar custos desnecessários ao consumidor e aplicar tais recursos em outras ações que melhorem ainda mais a qualidade de vida nesse município.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AYRES, M *et al.* Programa BioEstat 5.3. **Aplicações Estatísticas nas Áreas das Ciências Biológicas e Biomédicas**. Belém/PA; Sociedade Civil Mamirauá, 2005.

ALARCON, F.E.P; ALCALA, K.L.C. **Tecnologias para el tratamiento de aguas servidas**. Zona Poza Rica, 77p., 2011. Dissertação (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidad Veracruzana

ALVARENGA, L. A. *et al.* Estudo da qualidade e quantidade da água em microbacia, afluente do rio Paraíba do Sul – São Paulo, após ações de preservação ambiental. **Ambi-Água**, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 228-240, 2012.

BARRETO, L. V. *et al.* Relação entre vazão e qualidade da água em uma seção de rio. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, p. 118-129, 2014.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria n. 2914 de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Seção I, nº 239, p.39-46.

_____. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005. 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, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. nº53, p. 58-63.

_____. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água**. 4ª ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2013.

CACHEIRA, C.S. *et al.* **Processo de COAGULAÇÃO – FLOCULAÇÃO**. Barcelos, 20., 2012. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto.

CETESB (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL). Relatório de Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. São Paulo: CETESB, p. 4, 2009.

CONSTANTINO, A.F; YAMAMURA, V.D. Redução do gasto operacional em estação de tratamento de água utilizando o PAC. In SIMPÓSIO DE PÓS – GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA, 10., 2009, Maringá. **Anais...** Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2009. p 10.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br.gov.br>. Acesso em 22 abr. 2017.

MARTINS, H.D. *et al.* Mapeamento da cobertura do solo de Paragominas-PA com imagens de satélite de alta resolução: aplicações para o Cadastro Ambiental Rural (CAR).

In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p 8.

PINHEIRO, P. **Doenças transmitidas pela água.** 2017. Disponível em: <<http://www.mdsauade.com/2012/01/doencas-da-agua.html>>. Acesso em: 25 Mai. 2017.

PINTO *et al.* Diagnóstico Socioeconômico e Florestal do Município de Paragominas. Relatório Técnico. Belém/PA: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia - Imazon. 2009. p 65.

SANEPAR. AGÊNCIA DE SANEAMENTO PARAGOMINAS. **Bacia do Uraim.** 2014. Disponível em: <<http://www.saneparagominas.com.br>>. Acesso em: 22 abr. 2017.

_____. **Números.** 2013. Disponível em: <<http://www.saneparagominas.com.br>>. Acesso em: 22 abr. 2017.

SANTOS, G.R. **Estudo de Clarificação de Água de Abastecimento Público e Otimização da Estação de Tratamento de Água.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia dos Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

TRUJILLO, D. *et al.* **Remoción de turbiedad em agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano.** Manizales, 2014, 18 p., Dissertação (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidad Católica de Manizales, 2014.