



## I-003 - ENSAIO DE TRATABILIDADE PARA DETERMINAÇÃO DA DOSAGEM ÓTIMA DE DIÓXIDO DE CLORO COMO PRÉ-OXIDANTE EM ÁGUAS EUTROFIZADAS - ESTUDO DE CASO NA ETA CASTELLO BRANCO/PE

### **Romero Correia Freire** <sup>(1)</sup>

Especialista em Elaboração e Gerenciamento de Projetos para a Gestão Municipal de Recursos hídricos pelo IFCE/ANA, Especialista em vigilância e saúde ambiental pela UFRJ. Especialista em Saúde Pública pela UPE, Especialista no Ensino de Biologia pela UPE, Químico pela UFPE. Biólogo pela UPE. Tecnólogo em Gestão Ambiental pelo IFPE. Técnico em Química da Companhia Pernambucana de Saneamento.

### **Joana Eliza de Santana**

Engenheira Química pela Universidade Federal de Pernambuco, com especialização em Engenharia Ambiental e Saneamento pela Estácio. Técnica em Química da Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA.

### **Mayra Angelina Quaresma Freire**

Graduanda em Engenharia Civil pela UFPE.

### **Mauricio Alves da Motta Sobrinho**

Engenheiro Químico pela Universidade Católica de Pernambuco, mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande e doutor em Engenharia de Processos pelo Institut National Polytechnique de Lorraine - França. Professor Associado do Departamento de Engenharia Química da UFPE, Coordenador do PPG em Eng. Química e professor do PPG em Eng. Civil da UFPE. Pesquisador 2 do CNPq.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Av. Cruz Cabugá, 1387, Santo Amaro – Recife/PE - CEP: 50040-905 - Brasil - Tel: (81) 34129728 - e-mail: [romerocorreia@compesa.com.br](mailto:romerocorreia@compesa.com.br)

## **RESUMO**

As atividades antrópicas têm provocado diversos impactos nos recursos hídricos, gerando um grande aporte de nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio. Quando esses nutrientes excedem o grau de autodepuração dos recursos hídricos ocorre a proliferação de algas e cianobactérias, fenômeno conhecido como eutrofização. A presença de algas no processo de tratamento dificulta a formação de coágulos e flocos nas etapas iniciais de tratamento. Tal problemática pode ser minimizada por meio da dosagem de agente pré-oxidante na água bruta, como por exemplo, o dióxido de cloro, que, ao reagir com a matéria orgânica, não produz THM. Sendo assim, o presente trabalho visou o estudo de otimização da dosagem de dióxido de cloro como pré-oxidante de águas eutrofizadas foi determinada visando a menor formação de THM e ao enquadramento de outros parâmetros requeridos pelas normativas para a aplicação na ETA Castello Branco em Pernambuco. Como resultado, observou-se que o dióxido de cloro reduziu a concentração de THM na água tratada de modo que ela se enquadrou dentro do recomendado pela Portaria referente a potabilidade da água.

**PALAVRAS-CHAVE:** Trihalometano, Dióxido de cloro, Pré-oxidação, ETA, Jar Test.

## **INTRODUÇÃO**

A Barragem de Tapacurá foi construída com a finalidade de contenção de enchentes e para o abastecimento da população residente na Região Metropolitana do Recife. Situada em São Lourenço da Mata/PE, ela vem sofrendo processo de eutrofização, afetando a qualidade de suas águas. Esse reservatório vem apresentando sucessivas e massivas florações de microalgas e cianobactérias, como já verificado há alguns anos em trabalhos como os de Bouvy *et al.* (2003) e Andrade *et al.* (2009), aumentando a carga orgânica da água. Combinada ao cloro utilizado nas estações de tratamento de água, essa matéria orgânica pode gerar trihalometanos (THM), que são prejudiciais à saúde humana, constituindo um problema de saúde pública. Na Figura 1 se encontra a entrada da água bruta na ETA Castello Branco (unidade de tratamento de ciclo completo), que utiliza, como um de seus mananciais, a Barragem de Tapacurá.



**Figura 1: Entrada de água bruta na ETA  
Castello Branco.**

Além da geração de THM, têm-se outros inconvenientes provocados pelo desenvolvimento exagerado de algas: a interferência na coagulação e na floculação, colmatção do leito filtrante e maior consumo na água de lavagem, transpasse pelo meio filtrante, aumento na demanda de cloro e sabor e odor na rede de distribuição (RICHTER, 2009).

Uma das soluções para evitar a formação de THM em concentrações acima da preconizada pela Portaria de Consolidação nº 05 – Anexo XX do Ministério da Saúde é a utilização do dióxido de cloro como pré-oxidante. O dióxido de cloro diminui a geração de THM, pois, ao reagir com a matéria orgânica, não produz cloro gasoso nem hipoclorito. Além disso, não reage com amônia, o que evita a formação de cloraminas potencialmente tóxicas (LAPOLLI, 2005).

## OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho é determinar a dosagem ótima de dióxido de cloro como pré-oxidante de águas eutrofizadas, especificamente da ETA Castello Branco, visando a menor formação de THM e ao enquadramento de outros parâmetros requeridos pelas normativas.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A água bruta utilizada foi proveniente da ETA Castello Branco, cuja vazão, no dia do estudo, estava em 2.572 L/s, sendo 1.882 L/s (73%) aduzidos da Barragem de Tapacurá e 690 L/s da Barragem Duas Unas. Na água desta última, ao contrário da Barragem de Tapacurá, não há excessos de algas. Medidas de turbidez (Turbidímetro Hach 2100Q), cor aparente (Colorímetro Digimed DM-COR), pH (pHmetro Analyser MP512A), manganês (Kit Colorimétrico da Merck) e ferro (Kit Colorimétrico da Hach modelo IR-18) foram realizadas para caracterizar a água em estudo.

As duas etapas de trabalho serão descritas a seguir:

## TESTE INICIAL

Para realização do estudo, primeiramente foram feitos ensaios em *Jar Test* (Ethik modelo 218-3), Figura 2, para determinar as características finais da água de acordo com várias concentrações do sulfato de alumínio (solução a 2% m/v); 70 mg/L era a aplicação do coagulante na ETA Castello Branco no dia do estudo. Com os resultados deste teste, foi escolhido o ponto com a pior qualidade da água final para a segunda etapa, o teste com o dióxido de cloro.

As condições dos ensaios foram as mesmas de funcionamento da Etapa 2 da ETA Castello Branco: a) mistura rápida: tempo de mistura de 10 s, rotação do agitador de 300 rpm e dosagem de sulfato de alumínio variando de 45 a 70 mg/L; c) floculação: rotação do agitador 80 rpm por 10 min, 50 rpm por 10 min, 30 rpm por 10 min; d) decantação: rotação do agitador de 10 rpm por 6 min, pois o decantador possui um fluxo contínuo.



**Figura 2: Jar Test com água bruta da ETA Castello Branco.**

### TESTE DE PRÉ-OXIDAÇÃO COM DIÓXIDO DE CLORO

A produção de dióxido de cloro ativo foi feita em laboratório através do *Sany Plus Powder*®, um blend de sais solúveis em água. Inicialmente, pesaram-se os reagentes: 3,8 g de Ativador e 2,4 g do Reagente Base. O Ativador pesado foi adicionado, sob agitação, a um béquer com 1 L da água bruta. Após a dissolução de todo o soluto anterior, foi adicionado o Reagente Base, também sob agitação, até dissolver-se totalmente. Desta solução formada, foi pipetado 1 mL e adicionado em um balão de 100 mL que, na sequência, foi completado com água bruta e feita a homogeneização (concentração final = 0,56 mg/L). A análise das concentrações de dióxido de cloro tanto na solução preparada anteriormente, quanto nas amostras finais de “água tratada”, foi feita com equipamento Palintest modelo ChlordioX Plus (Figura 3).



**Figura 3. Equipamento para análise da concentração de Dióxido de Cloro.**

As condições dos ensaios dos jarros de 1 a 5 foram: a) pré-oxidação: dosagem do oxidante, que variaram de 0,5 a 2,5 mg/L, tempo de contato de 10 segundos e rotação do agitador de 300 rpm; b) mistura rápida: tempo de mistura de 10 s, rotação do agitador de 300 rpm e dosagem de sulfato de alumínio determinada no teste anterior; c) floculação: rotação do agitador 80 rpm por 10 min, 50 rpm por 10 min, 30 rpm por 10 min; d) decantação: rotação do agitador de 10 rpm por 6 min, pois o decantador possui um fluxo contínuo; e) pós-cloração com 8 mg  $Cl_2/L$  e tempo de contato de 10 segundos. O jarro 6 foi o branco, em que todas as condições anteriores foram seguidas, com exceção da pré-oxidação.

Amostras foram retiradas dos jarros na profundidade de 7 cm, através dos bicos de coleta presentes em cada jarro, e parâmetros de cor, turbidez, ferro, manganês, alumínio (Kit Colorimétrico da Merck), cloro residual livre (Kit Colorimétrico da Hach modelo CN-66F) dióxido de cloro, THM (determinação: EPA 8260 C: 2006 / preparo: EPA 5021 A: 2014), ácidos haloacéticos (AHA) (EPA 552.3:2003) e clorito (EPA 300.0: 1993, 300.1: 1999, POP PA 032 - Rev. 13) foram avaliados.



## RESULTADOS OBTIDOS

A Tabela 1 contém as principais características da água bruta estudada.

**Tabela 1: Características da água bruta.**

<b>Cor (uC)</b>	80
<b>Turbidez (uT)</b>	6,15
<b>pH</b>	7,3
<b>Mn (mg/L)</b>	0,15
<b>Fe (mg/L)</b>	1,0

Os resultados obtidos da etapa inicial são descritos na Tabela 2.

**Tabela 2: Resultados do teste inicial com variação da dosagem de sulfato de alumínio.**

		Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Sulfato (mg/L)		45	50	55	60	65	70
<b>Água Decantada</b>	Turbidez (uT)	3,9	3,6	3,4	3,2	2,9	2,8
	Cor (uC)	20	19	17	17	14	12
	Fe (mg/L)	0,9	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4
	Mn (mg/L)	0,1	0,1	0,1	0,06	0,06	0,06
	Al residual (mg/L)	0,12	0,12	0,14	0,14	0,16	0,19

O pior resultado foi obtido no Jarro 1, então utilizou-se a dosagem de 45 mg/L de sulfato de alumínio para realizar os testes com dióxido de cloro. Foi obtido um resultado de 0,239 mg/L de THM no Branco, sem a utilização do pré-oxidante. Na Tabela 3 são apresentados os resultados do teste com dióxido de cloro como pré-oxidante.

**Tabela 3. Resultados do teste utilizando dióxido de cloro como pré-oxidante.**

		Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	VMP*
Dosagem	Dióxido de cloro (mg/L)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	
	Sulfato (mg/L)	45	45	45	45	45	
<b>Água Tratada</b>	Turbidez (uT)	1,4	1,2	0,8	0,6	0,4	5
	Cor (uC)	10	7	5	4	2	15
	Fe (mg/L)	0,6	0,3	0	0	0	0,3
	Mn (mg/L)	0	0	0	0	0	0,1
	Dióxido de cloro (mg/L)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	-----
	Cloro residual livre (mg/L)	2,1	2,7	2,9	3,1	3,3	5,0
	THM (mg/L)	0,0099	0,0108	0,0164	0,0202	0,0285	0,1
	AHA (mg/L)	0,072	0,076	0,086	0,084	0,106	0,08
	Clorito (mg/L)	0,28	0,30	0,32	0,32	0,31	1,0
	Al residual (mg/L)	0	0	0	0	0	0,2

\*Valor máximo permitido, recomendado pela Portaria de Consolidação nº 05 – Anexo XX de 28/09/2017 do Ministério da Saúde.

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Em todas as amostras em que foi utilizado o pré-oxidante, os níveis de THM estavam dentro dos limites recomendados pela Portaria da Consolidação nº 05 – Anexo XX do Ministério da Saúde, ao contrário da amostra em que não foi utilizado o dióxido de cloro. Sem o pré-oxidante, o nível de THM foi mais que o dobro do valor máximo permitido.

O melhor resultado quanto a menor geração de THM, foi obtido com dosagem de dióxido de cloro igual 0,5 mg/L, porém a concentração de ferro estava acima da permitida pela Portaria da Consolidação nº 05 – Anexo XX do Ministério da Saúde. Considerando todos os parâmetros estudados, a dosagem de dióxido que faz com que todos eles sejam enquadrados é a igual a 1,0 mg/L.

Com o dióxido conseguiu-se zerar a concentração de manganês e alumínio residual, situação que não foi obtida no teste inicial. Com o aumento da dosagem deste pré-oxidante, verificou-se o aumento do cloro residual livre, ou seja, com o dióxido de cloro há uma redução na demanda de cloro.

É importante destacar que, com o dióxido de cloro, conseguiu-se enquadrar os parâmetros utilizando uma dosagem bem menor de coagulante (45 mg/L) que a utilizada pela ETA Castello Branco no dia do estudo (70 mg/L), indicando uma grande economia de coagulante ministrado.

A grande preocupação com o uso do dióxido de cloro é a formação de cloritos, pois se suspeita que eles possam oxidar a hemoglobina e causar a metahemoglobinemia. Porém, pode-se perceber que em nenhum dos resultados, em que foi utilizado o pré-oxidante, a concentração de clorito ultrapassou os limites da supracitada portaria.

Os residuais de cianotoxinas não foram objetos desta pesquisa, porém, há indicativos de que o dióxido de cloro consiga oxidar uma porcentagem delas, dependendo da dosagem do oxidante, da concentração das toxinas e do tempo de contato (Kuroda *et al.*, 2007, *apud* Nascimento, 2011). Caso na utilização do produto seja verificada a presença de cianotoxinas na água tratada, é indicado o uso de carvão ativado granulado.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base no estudo realizado, pode-se concluir que o dióxido de cloro reduziu a quantidade de THM na “água tratada” a níveis dentro do recomendado pela Portaria referente a potabilidade da água, o que não foi possível com o tratamento convencional sem o pré-oxidante. Com a dosagem de 1 mg/L de dióxido de cloro foi possível enquadrar todos os parâmetros analisados, chegando a zerar alguns deles, e reduzir drasticamente a quantidade de coagulante aplicada, gerando uma economia considerável no uso deste produto. Como última etapa dos estudos, recomenda-se fazer uma avaliação em planta, para determinar o melhor ponto de aplicação do dióxido de cloro e ajuste final dos parâmetros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRADE C.M. de; GOMES T.S.; ARAGÃO N.K.C.V.; SILVA E.M.; LIRA G.A.S.T. de. Estrutura da comunidade fitoplanctônica com ênfase em Cyanobacteria no reservatório de Tapacurá-PE. Rev Inst Adolfo Lutz, São Paulo, v.68, n.1, p.109-117, 2009.
2. BOUVY, M.; NASCIMENTO, S.M.; MOLICA, R.J.R.; FERREIRA, A.; HUSZAR, V.; AZEVEDO, S.M.F.O. Limnological features in Tapacurá reservoir (northeast Brazil) during a severe drought. Hydrobiologia, v.493, p.115–130, 2003.
3. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria da Consolidação nº 05, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2017.
4. EPA – United States Environmental Protection Agency. Disponível em: <<https://www.epa.gov/ust>> Acessado em 20 set. 2018.
5. LAPOLLI, F.R.; HASSEMER, M.E.N.; CAMARGO, J.G.; DAMÁSIO, D.L.; LOBO-RECIO, M.A. Desinfecção de efluentes sanitários através de Dióxido de cloro. Eng. sanit. ambient., v.10, n.3, p. 200-208, 2005.



6. NASCIMENTO, M.M. Remoção de microcistinas por meio de oxidação química com hipoclorito de sódio e validação do método de análise por cromatografia líquida com detector de massas. Distrito Federal, 2011. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Tecnologia – Universidade de Brasília, 2011.
7. RICHTER, C.A. Água: métodos e tecnologia de tratamento. São Paulo: Editora Blucher, 2009.