

I-081 - ESTUDO DA REMOÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL NAS ÁGUAS DO RIBEIRÃO JOÃO LEITE COM APLICAÇÃO DO CLORETO FÉRRICO**Wilma Gomes da Silva Carmo⁽¹⁾**

Técnica em Saneamento pela Escola Técnica Federal de Goiás (ETFGO). Bióloga pela Universidade Católica de Goiás (UCG). Especialista em Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Goiás. Trabalha na Estação de Tratamento de Água Jaime Câmara da Saneamento de Goiás S.A. (SANEAGO). Mestranda em Engenharia do Meio Ambiente pela Universidade Federal de Goiás (UFG).

Luciana de Souza Melo Machado⁽²⁾

Técnica em Saneamento pela Escola Técnica Federal de Goiás (ETFGO). Bióloga pela Universidade Católica de Goiás (UCG). Especialista em Saúde Pública pela UNAERP. Especialista em Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Goiás. Trabalha na Estação de Tratamento de Água Jaime Câmara da Saneamento de Goiás S.A. (SANEAGO). Mestranda em Engenharia do Meio Ambiente pela Universidade Federal de Goiás (UFG).

Nora Katia Saavedra del Aguila⁽³⁾

Bióloga. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutora em Hidráulica e Saneamento na EESC/USP. Professora Efetiva da Universidade Federal de Goiás (UFG).

Paulo Sérgio Scalize⁽⁴⁾

Engenheiro Civil. Biomédico. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutor em Hidráulica e Saneamento na EESC/USP. Professor Efetivo da Universidade Federal de Goiás (UFG).

Endereço⁽¹⁾: Avenida São João, Qd. 09, lote 02 - Vila Alzira - Aparecida de Goiânia - GO - CEP: 74913-460 - Brasil - Tel: (62) 3202-4060 - e-mail: wilma@saneago.com.br.

RESUMO

Diante da escassez de mananciais, da constante deterioração dos cursos hídricos e a necessidade de adequação à evolução tecnológica dos padrões de qualidade da água cada vez mais exigentes, novos estudos que possibilitem a otimização do sistema de tratamento de água são requeridos. Considerando que neste processo, uma das fases mais importantes é a coagulação/floculação, sobretudo, no relacionado à remoção de cor, turbidez e compostos orgânicos naturais (CON), objeto desta pesquisa, faz-se necessário constantes avaliações das tecnologias do emprego de coagulantes e outros produtos químicos utilizados no tratamento, resultando em uma maior eficiência na tratabilidade, otimizando o sistema e reduzindo custos operacionais, além de erradicar os potenciais riscos sanitários do produto final. Os requisitos característicos da água bruta e a escolha correta da tratabilidade são passos imprescindíveis no alcance dessa eficiência. Nesse sentido, este trabalho foi realizado na cidade de Goiânia, estado de Goiás, na Estação de Tratamento de Água Jaime Câmara, do tipo de ciclo completo, responsável pelo abastecimento de água para 49% da população local, com captação de água a jusante do Reservatório da Barragem do Ribeirão João Leite e com produção média de 1,8 m³/s. O estudo foi realizado nos meses de julho e agosto de 2010, objetivando avaliar a eficiência da tratabilidade da água na ETA Jaime Câmara com utilização de Cloreto Férrico como coagulante na remoção de Carbono Orgânico Total (COT). Avaliou-se a concentração de COT na água bruta, água decantada e água tratada (reservatório e adutora na saída da ETA). A eficiência de remoção de COT esteve na faixa de 29,92 a 49,73%. Apresentou um grau de correlação acentuado entre COT e as variáveis cor ($r=0,93$) e turbidez ($r=0,90$).

PALAVRAS-CHAVE: Tratabilidade de água, Cloreto Férrico, Carbono Orgânico Total.

INTRODUÇÃO

Para o suprimento de água a uma população, quantidade e qualidade são requisitos indispensáveis. Porém, a escassez, os usos múltiplos e a deterioração dos cursos hídricos são algumas das problemáticas da atualidade.

É notório que a expansão demográfica aliada aos processos precários de urbanização, reflete diretamente na qualidade da água dos mananciais que abastecem as cidades, tornando suas águas mais poluídas e impróprias

para consumo, sendo necessário adotar medidas que possam minimizar essa problemática: como monitoramento da bacia hidrográfica (proteção e manutenção dos mananciais), represamento de rios e aprimoramento das técnicas de tratamento de água.

Com a escassez de água nas regiões metropolitanas, a alternativa são os reservatórios de acumulação que geralmente se encontram em estado de eutrofização, o que aumenta o desafio das Estações de Tratamento de Água (ETAs) em fornecer água dentro dos padrões de potabilidade. Levando-se em conta que para uma maior efetividade de uma ETA é necessário um bom desempenho das unidades constituintes, destacando-se a otimização dos processos de tratamento, sobretudo, coagulação/floculação na remoção de compostos orgânicos naturais (CON) e outros elementos. Reforçando que a concepção das ETAs vai além de remover cor, turbidez e microrganismos.

Frequentemente os coagulantes utilizados em tratamento de água são sais de ferro ou alumínio, ambos efetivos na desestabilização de partículas de origem coloidal e substâncias orgânicas dissolvidas. Conforme Ferreira Filho *et al* (2006), a maximização da remoção de CON pode ser obtida no processo de coagulação e os benefícios vão desde a minimização da formação de subprodutos à redução do consumo de desinfetante, além de evitar o crescimento de biofilmes no sistema de distribuição.

Geralmente, os mananciais de superfície apresentam grande quantidade de CON dissolvidos ou particulados, normalmente na forma de substâncias húmicas (SH) como ácidos húmicos (AH) e ácidos fúlvicos (AF), formados pela degradação biológica e química de restos vegetais e animais e da atividade de síntese dos microrganismos (TUNDISI, 2008). As (SH) são as principais responsáveis pela turbidez e cor na água, características que demandam um maior consumo de coagulantes e desinfetantes, às vezes o tratamento dessas águas requer o uso de pré-oxidantes, o que potencializa a formação de subprodutos como os trihalometanos.

As substâncias húmicas originam-se de turfa, solo ou da decomposição de vegetação submersa, denominando as substâncias húmicas aquáticas (SHA), porção não específica, amorfa, constituída de carbono orgânico dissolvido (COD), sendo 80% de ácidos fúlvicos (DI BERNARDO e SABOGAL PAZ, 2008).

As SHA estão classificadas de acordo com a solubilidade em diferentes condições de pH: ácidos fúlvicos (AF) - solúveis em todas as faixas de pH; ácidos húmicos (AH) - solúveis em $\text{pH} \geq 2$; e humina insolúvel em todas as faixas de pH. Embora apresentem estruturas semelhantes, possuem grande diferença com relação a pesos moleculares, grupos funcionais e proporção de carbono, nitrogênio e oxigênio (FERREIRA FILHO *et al*, 2006; SLOBODA *et al*, 2009).

Sob o ponto de vista de tratabilidade, a presença de CON na água bruta é indesejável por conferir alto teor de cor aparente, pelo aumento da quantidade de sítios de absorção de substâncias tóxicas e/ou mutagênicas na água, por conferir odor e sabor à água e ainda, estes compostos podem ser adsorvidos por partículas inorgânicas, reduzindo as características de sedimentabilidade. Dependendo da natureza e dos níveis dos constituintes dessa matéria orgânica, necessitará de dosagens maiores de coagulante para que as partículas se desestabilizem favorecendo os processos de coagulação, floculação, sedimentação e filtração (EPA, 1999 *apud* LAGE FILHO e ANDRADE JÚNIOR, 2007).

A presença de SH em mananciais de abastecimento e o uso inadequado de tecnologias de tratamento de água para remoção dessas, podem ocasionar alguns inconvenientes no tratamento como: baixa eficiência na desinfecção, apesar do aumento na demanda de cloro; complexação e dificuldade de remoção de alguns metais pesados como Fe, Pb e Mn; formação de subprodutos na etapa de pré-oxidação; além de servir de substrato para o crescimento de microrganismos na rede de distribuição e/ou reservação de água tratada (DI BERNARDO, 2005).

O Carbono Orgânico Total (COT) é a medida indireta da concentração de compostos orgânicos naturais presentes na água. A matéria orgânica, como COT, é um dos principais responsáveis pela demanda de cloro nos processos de desinfecção com utilização desse desinfetante, na água. Essa matéria orgânica possui em sua composição substâncias precursoras de subprodutos da desinfecção, os compostos orgânicos clorados (ácidos haloacéticos e trihalometanos), gerados pela reação com cloro (LAGE FILHO e ANDRADE JÚNIOR, 2007).

Segundo Sloboda *et al* (2009), durante o processo de coagulação, as substâncias húmicas de carga elétrica negativa, interagem com espécies hidrolisadas (de cargas elétricas positivas) dos metais formando complexos insolúveis através do mecanismo de neutralização de cargas (em pH ácido) ou são adsorvidas no precipitado de hidróxido através do mecanismo de varredura (pH em torno da neutralidade a alcalino).

Diversos pesquisadores observaram que em condições de coagulação em pH ácido (entre 4,8 e 6,0), obtêm-se uma otimização na remoção de COT, sem prejudicar a qualidade da água final (FERREIRA FILHO, 2001; CAMPOS *et al*, 2005; FERREIRA FILHO *et al*, 2006; SLOBODA *et al*, 2009). Vale salientar que a remoção de COT em ETAs está condicionada ao tipo de coagulante, pH de coagulação/floculação e outras características da água, particularmente, COT, COD e alcalinidade, ou seja, a otimização de tratabilidade é extremamente específica, porque está em função das características da água bruta e da concepção do processo de tratamento, peculiar a cada sistema.

Atualmente na cidade de Goiânia existem dois grandes sistemas de tratamento de águas captadas no rio Meia Ponte e no ribeirão João Leite, que juntos têm uma produção de aproximadamente, 4,3 m³/s, o que não está sendo suficiente para atender a demanda de Goiânia e região metropolitana. Em dezembro de 2009, deu-se início ao enchimento do Reservatório da Barragem do ribeirão João Leite (RBJL), com estimativa de produção de 6 m³/s para o sistema João Leite (SANEAGO, 2010).

A atual captação de água da ETA Jaime Câmara localiza-se à jusante do RBJL, sendo que a água que chega até a mesma, agora provém também do barramento do ribeirão João Leite. A evolução do RBJL durante o enchimento decorreu em mudanças das características da água bruta, tanto no curso natural quanto do barramento. A partir de Janeiro/2010, foram registradas reclamações sobre a qualidade da água pelo consumidor, principalmente no parâmetro cor.

Operacionalmente, durante a rotina de tratabilidade realizada na ETA Jaime Câmara, observou-se que quando o COT < 1,0 mg/L C na saída do tratamento, não ocorria amarelamento da água em pontos mais distantes (reservatórios e redes). Isto foi evidenciado pelas reclamações dos usuários quanto a presença de cor na água. Assim, iniciou-se um monitoramento nos sistemas de reservação da área de influência afetada (Sistema Produtor João Leite), nos quais evidenciou-se COT maior que 1,0 mg/L C e cor acima do que preconiza a portaria nº 518 do Ministério da Saúde de 2004 (15 uH) (SANEAGO, 2010a).

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficiência da tratabilidade da água na ETA Jaime Câmara com utilização de Cloreto Férrico como coagulante para remoção de Carbono Orgânico Total.

MATERIAL E MÉTODOS

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Ribeirão João Leite, Goiás

Manancial de captação da ETA Jaime Câmara: O Ribeirão João Leite é um dos principais tributários da bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte que nasce na Serra do Sapato Arcado, município de Ouro Verde. Seus principais tributários são o Córrego das Pedras, a noroeste e o Córrego Jurubatuba, a nordeste, que confluem formando o curso principal. Corta parte dos municípios de Goiânia, Anápolis, Ouro Verde, Nerópolis e Goianápolis, Estado de Goiás (RIZZO, 2004). É um recurso hídrico de 5ª ordem, com uma extensão de 130 km, possui uma bacia hidrográfica com uma área de 770 km² (CASSETI, 1990).

Estação de Tratamento de Água Jaime Câmara

Localizada na área urbana da cidade de Goiânia, Goiás. O tratamento é do tipo ciclo completo (coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção). O Sistema de Tratamento é constituído por: medidor de vazão com aparelho ultra-sônico instalado na calha parshall. As dosagens dos produtos químicos ocorrem de modo automático e/ou manual, mistura rápida, quatro floculadores hidráulicos e dois mecânicos, cinco decantadores convencionais, quatorze filtros rápidos de dupla camada e desinfecção com cloro, vazão média de 1,8 m³/s (Figura 1). Atualmente a água bruta captada é a somatória entre a contribuição de água a jusante do barramento do ribeirão João Leite e trecho normal do referido ribeirão que percorre 22 km de extensão em área urbana.



Figura 1. ETA Jaime Câmara – Sistema João Leite

Amostragem e frequência de coletas

Nos meses de julho a agosto de 2010, foram coletadas 64 amostras simples de 1000 mL cada, sendo 200 mL destinados para análise de COT, distribuídos nos seguintes pontos de coletas:

- a) *Água Bruta*: Ribeirão João Leite, manancial de captação da ETA Jaime Câmara, na cidade de Goiânia, Goiás;
- b) *Água Filtrada*: ponto de coleta: registro do dreno do filtro 1;
- c) *Água Tratada 1*: ponto de coleta: reservatório localizado na área da ETA Jaime Câmara;
- d) *Água Tratada 2*: ponto de coleta: adutora de água tratada - saída da ETA Jaime Câmara.

Análises Físico-químicas

Foram analisados os parâmetros: turbidez, cor, COT (metodologia de oxidação por persulfato de sódio), alcalinidade e pH da água bruta, filtrada, e tratada. Estes parâmetros foram selecionados, por serem indicadores imediatos da qualidade da água. Para efeito de comparação considera-se a chegada de água bruta e a saída do tratamento.

Todas as análises foram realizadas no laboratório de processo da ETA Jaime Câmara, de acordo com APHA (2005).

Na avaliação da correlação entre as variáveis determinadas foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson (SOUNIS, 1975).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

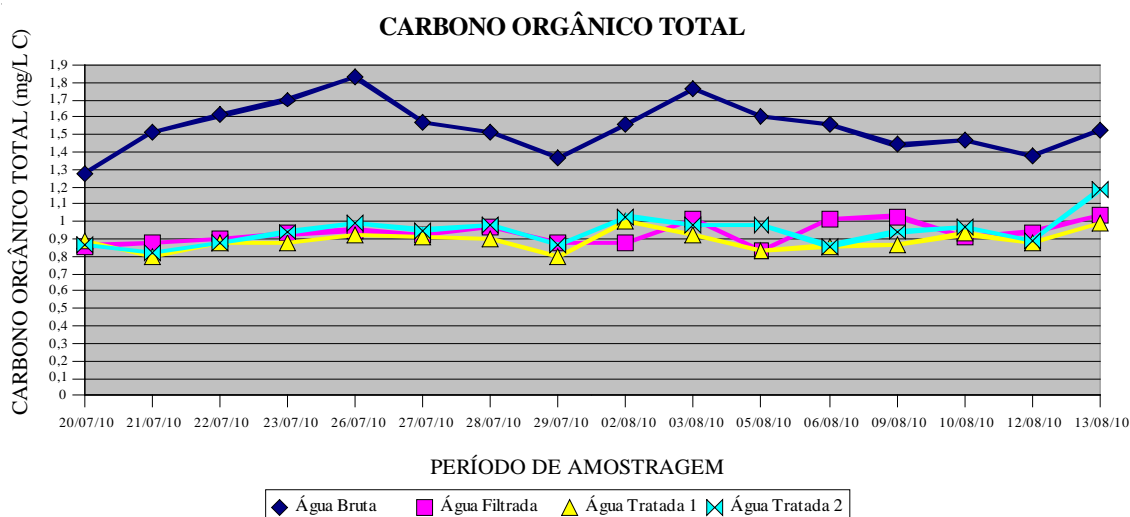
A Tabela 1 apresenta as características da água bruta captada do Ribeirão João Leite durante o período de estudo. Observou-se que as médias diárias de acordo com os relatórios operacionais da ETA Jaime Câmara, apresentaram os seguintes valores: vazão de água bruta (1.750 a 1.990 L/s), dosagens de cloreto férrico (7,15 a 9,13 mg/L). Os parâmetros cor e turbidez da água bruta são importantes para definição do tratamento, indicam a presença de matéria orgânica com materiais em suspensão e dissolvidos, desse modo, a turbidez variou entre (6,17 a 13,58 uT) e a cor (27,63 a 49,50 uH). O pH apresentou pouca variação, estando na faixa de (7,42 a 7,76), alcalinidade (51 a 57 mg/L de CaCO₃) e COT (1,27 a 1,83 mg/L C). Estes valores são reflexos do período de ausência de precipitação na região.

Tabela 1. Características da água bruta captada do ribeirão João Leite

Água Bruta						
Vazão (L/s)	Dosagem Cloreto Férrico (mg/L)	Turbidez (uT)	Cor (uH)	pH	Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	COT (mg/L C)
1903	8,00	9,63	40,13	7,56	56	1,27
1798	7,98	8,25	41,50	7,61	56	1,51
1783	8,00	7,96	40,75	7,62	55	1,61
1777	7,15	8,04	39,38	7,63	54	1,70
1553	7,86	6,17	44,00	7,61	57	1,83
1823	9,13	13,58	49,50	7,53	55	1,57
1890	9,00	11,08	43,75	7,51	55	1,51
1750	9,00	10,25	42,75	7,47	56	1,37
1924	8,21	10,08	39,00	7,43	54	1,56
1841	8,00	9,58	35,13	7,42	54	1,76
1875	7,77	8,83	37,38	7,48	57	1,60
1905	8,00	8,92	34,88	7,46	56	1,56
1967	7,68	8,96	30,75	7,76	51	1,44
1894	7,87	8,42	27,63	7,69	54	1,47
1990	8,74	8,54	31,63	7,57	54	1,38
1783	7,69	6,92	27,88	7,68	56	1,52
1841	8,13	9,08	37,88	-	55	1,54

Fonte: Saneago (2010).

Considerando o tipo de tratamento (ciclo completo), dosagens de cloreto férrico líquido na concentração de 39 a 41% e as amostras de águas estudadas, a Figura 2 representa graficamente a quantidade de COT nos diferentes pontos de coleta durante o período de estudo na ETA Jaime Câmara.

**Figura 2. Valores de Carbono Orgânico Total**

Nota: Água Tratada 1- Local de coleta: Reservatório localizado na área da ETA.
 Água Tratada 2 - Local de coleta: adutora de água tratada (saída da ETA).

Os resultados de remoção de COT em todas as etapas observadas variaram de 29,92 a 49,73%, obtendo valores menores que 1,0 mg/L C na saída da ETA, exceto nos dias 02 e 13 de agosto de 2010 para água tratada 2, com valores de 1,03 e 1,18 mg/L C, respectivamente. De forma global, os valores mantiveram abaixo de 1,0 mg/L C, evitando assim, o amarelamento da água distribuída, quando realizado o processo de cloração, reduzindo o número de reclamações por parte dos consumidores. A Figura 3 mostra os percentuais de remoção desta variável nos diferentes tipos de água analisados.

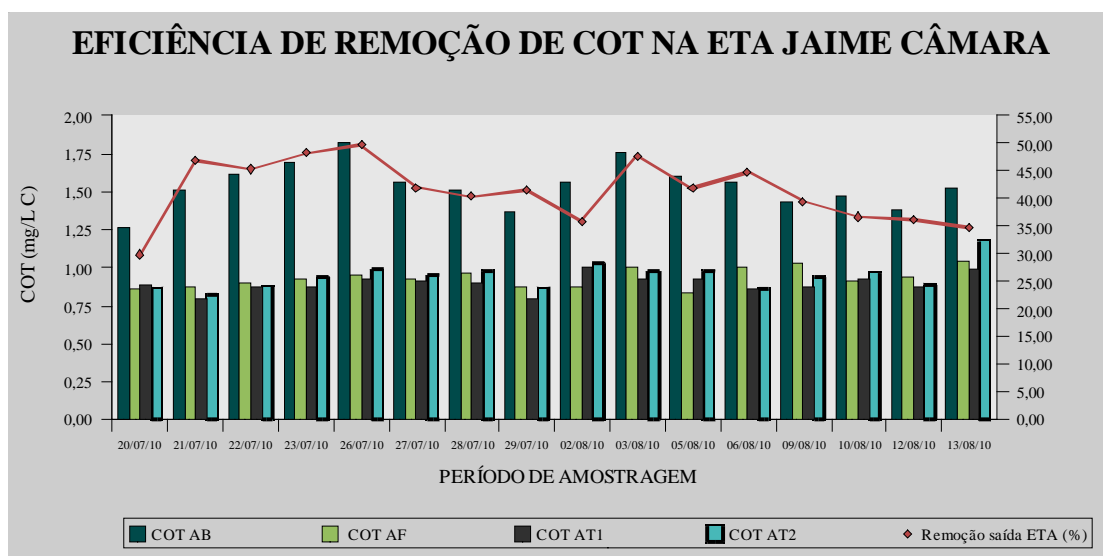


Figura 3. Eficiência de Remoção de COT na ETA Jaime Câmara.

Legenda: AB: água bruta, AF: água filtrada, AT1: água tratada reservatório; AT2: água tratada adutora saída.

O grau de correlação entre COT e variáveis físicas (cor e turbidez) foi acentuado conforme a tabela de Rugg, sendo que a cor apresentou melhor coeficiente de correlação $r = 0,93$ em relação a turbidez $r = 0,90$. Isso sugere que o material dissolvido está mais associado às concentrações de carbono orgânico total do que o material em suspensão. Figuras 4 e 5.

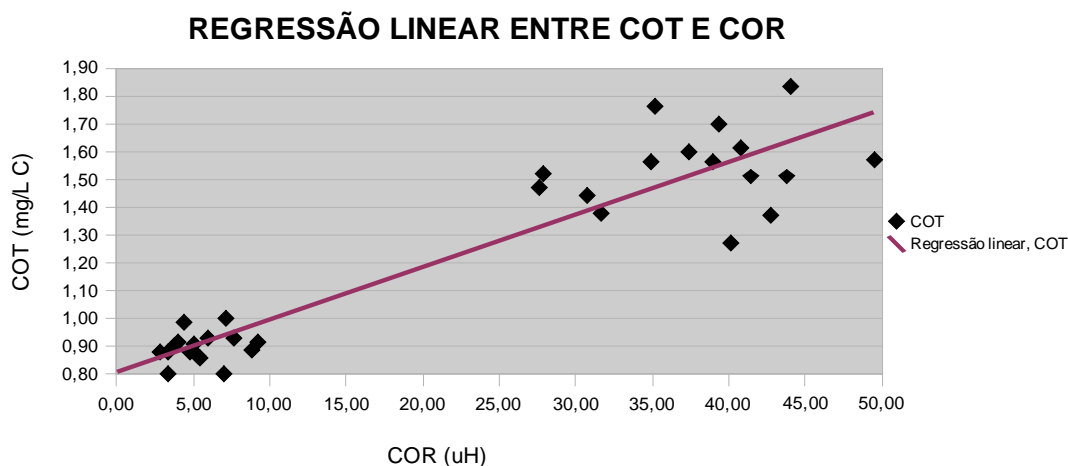


Figura 4. Regressão linear entre COT e cor.

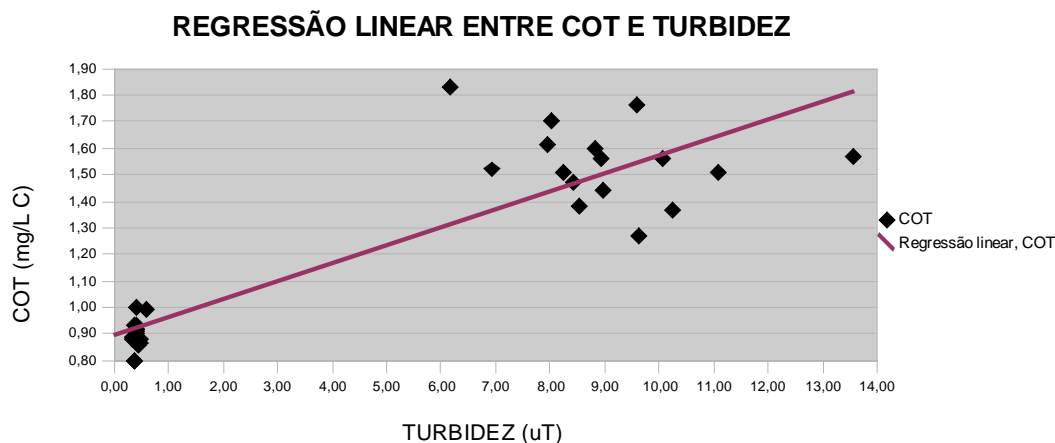


Figura 5. Regressão linear entre COT e turbidez.

CONCLUSÃO

A presente pesquisa permitiu obter as seguintes conclusões:

- Com a utilização do Cloreto Férrico, obteve-se dosagens menores, quando comparadas com a utilização de Sulfato de Alumínio Líquido, coagulante utilizado anteriormente ao Cloreto Férrico;
- Valores de COT superiores a 1,0 mg/L C, provocaram amarelamento na água no processo final de tratamento, gerando reclamações por parte do consumidor;
- Para as amostras estudadas, o sistema de tratamento removeu na faixa 29,92 a 49,73% do carbono orgânico total, com aplicação de cloreto férrico;
- O parâmetro cor, melhor se correlacionou com Carbono Orgânico Total, por representar em sua composição os materiais dissolvidos;
- A utilização do Cloreto Férrico requer uma maior atenção por parte dos operadores de estação de tratamento, devido a sua composição e solução apresentada;
- A Estação de Tratamento de Água Jaime Câmara, necessita de ajustes para que a operação possa ser otimizada, situação requerida pela qualidade da água bruta captada atualmente;
- Conhecendo-se que a água do RJL possui grandes quantidades de COT, ferro e manganês, a maior dificuldade que pode ser encontrada na otimização da tratabilidade é a incompatibilidade de tecnologias de tratamento. Sendo que a remoção de COT tem melhor eficiência em condições de pH ácido e a remoção de metais (Fe e Mn) em pH alcalino.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL Normas e Padrões de Potabilidade das Águas destinadas ao consumo humano. Normas Regulamentadoras Aprovadas pela Portaria nº 518GM – Diário Oficial (da República Federativa do Brasil) Brasília, 2004.
- CAMPOS, S. X.; DI BERNARDO, L.; VIEIRA, E.M. Influência das características das substâncias húmicas na eficiência da coagulação com sulfato de alumínio. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental Vol. 10, Nº 3. ABES: Rio de Janeiro, 2005, pág. 194-199.
- CASSETI, V. Concentração de Sedimentos em Suspensão no Baixo Ribeirão João Leite- Goiânia-Go. Boletim Goiano de Geografia. Goiânia, 1990. 9 e 10 (1-2): 71-97.
- DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A. D. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. 2ª edição. Vol I. RIMA: São Paulo, 2005, 792p.
- DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L.P. Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água. Vol I e Vol II. LDiBe: São Carlos, 2008, 1529p.

6. EATON, A.D., L.S. CLESCERI e A. E. GREENBERG. 2005. Standard Methods - for the Examination of Water and Wastewater. 21ª Edição. American Public Health Association - APHA.
7. FERREIRA FILHO, S. S. Remoção de compostos orgânicos precursores de subprodutos da desinfecção e seu impacto na formação de trihalometanos em águas de abastecimento. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental Vol. 6, Nº 2. ABES: Rio de Janeiro, 2001, pág. 53-60.
8. FERREIRA FILHO, S. S.; MARCHETTO, M. Otimização multi-objetivo de estações de tratamento de águas de abastecimento: remoção de turbidez, carbono orgânico total e gosto e odor. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental Vol. 11, Nº 1. ABES: Rio de Janeiro, 2006, pág. 7-15.
9. LAGE FILHO, F. A. e ANDRADE JÚNIOR, E. R. Tratabilidade da água do reservatório do Guarapiranga: efeitos da ozonização sobre algumas variáveis de qualidade das águas. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental Vol. 12 nº 2. ABES: Rio de Janeiro, 2007.
10. RIZZO, M. R. 2004. 1º Relatório dos Projetos Básicos Ambientais: Limnologia, Macrófitas Aquáticas, Comunidades Planctônicas e Perifíton. Goiânia, 25p.
11. SANEAGO. Relatório de Monitoramento Intensivo na Área do Reservatório João Leite. Goiânia, 2010.
12. SANEAGO. Relatórios de Controle Operacional da ETA Jaime Câmara. Goiânia, 2010a.
13. SLOBODA, E.; SANTOS, C.T.; DI BERNARDO, A. D.; VIEIRA, E.M.; DI BERNARDO, L. Eficiência de diferentes coagulantes na remoção de substâncias húmicas aquáticas e estudo comparativo de custos. 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Recife/PE, 2009.
14. SOUNIS, E. Bioestatística: princípios fundamentais, metodologia estatística, aplicação às ciências biológicas. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.
15. TUNDISI, J.G., TUNDISI, T.M. Limnologia. São Paulo: Oficina de Textos, 2008, 96-100p.