

I-295 - ESTUDO DA CLARIFICAÇÃO DA ÁGUA USADA PARA ABASTECIMENTO HUMANO, ATRAVÉS DE TESTES EM ESCALA DE BANCADA

Juliana Almeida de Lira⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

Solange Aparecida Goularte Dombroski

Engenheira Sanitarista pela UFMT. Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela EESC-USP. Doutora em Engenharia Civil, área de saneamento, pela Escola Politécnica da USP. Professora da UFERSA.

Endereço⁽¹⁾: Rua Passa Beltran Duarte, 31 – Belo Horizonte - Mossoró - RN - CEP: 59600-750 - Brasil - Tel: (84) 99674-9187 - e-mail: ju_lira@outlook.com

RESUMO

A água é de suma importância para a vida humana, tendo como um dos principais usos, o abastecimento humano. No Brasil, a água de abastecimento humano deve atender os requisitos de qualidade da água impostos pela portaria de nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, o que, na maioria das vezes, requer o tratamento da mesma por diferentes processos. O presente trabalho teve como objetivo geral, pesquisar a influência da coagulação com sulfato de alumínio e a coagulação utilizando o sulfato de alumínio combinado com auxiliar de coagulação, polieletrólito catiônico Floerger, na clarificação da água da barragem da cidade de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte. A pesquisa avaliou a remoção de turbidez e cor aparente a partir de ensaios em escala de laboratório, utilizando equipamento tipo jarreste. Os ensaios foram realizados em quatro etapas nas quais foram fixadas em todos os testes as condições de mistura rápida, de floculação e de sedimentação. Na primeira etapa dos testes, foi pesquisada a melhor dosagem de sulfato de alumínio, ficando este com valor fixo nos demais testes. A segunda etapa buscou a melhor condição de pH de coagulação, cuja variação foi obtida pela adição de soluções de ácido sulfúrico e de carbonato de sódio. Na terceira etapa, o polieletrólito catiônico Floerger teve sua dosagem variável em cada jarro, mantendo fixa a melhor condição observada na segunda etapa. Na última etapa, fixou-se uma dosagem de polieletrólito em cada uma de suas seis fases resultando em 36 jarros. Os resultados obtidos evidenciaram a importância da realização de testes em escala de bancada visando melhores resultados de remoção de cor aparente e turbidez em função de distintos valores de dosagem de coagulante e respectivo pH de coagulação, assim como auxiliar de coagulação. Para a água estudada e as condições testadas em escala de bancada, observou-se que a coagulação com dosagem de 45 mg/L de sulfato de alumínio combinada com polieletrólito catiônico Floerger em uma dosagem de 3 mg/L favoreceu a remoção de cor aparente e turbidez, em relação aos resultados obtidos sem o auxiliar de coagulação.

PALAVRAS-CHAVE: Coagulação, Auxiliar de coagulação, Remoção de cor aparente, Remoção de turbidez, Tratamento de água.

INTRODUÇÃO

Os serviços públicos de abastecimento devem sempre fornecer água de adequada qualidade e, no Brasil, atender ao disposto na portaria nº 2.914 de 2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011). Esta dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade para substâncias químicas, cianotoxinas, radioatividade, organoléptico entre outros.

Definem-se como padrões de potabilidade os limites de tolerância das substâncias presentes na água de modo a garantir-lhe as características de água potável, ou seja, inofensiva à saúde do homem, agradável aos sentidos e adequada aos usos domésticos. De forma geral, os padrões são físicos (cor, turbidez, odor e sabor), químicos (presença de substâncias químicas) e bacteriológicos (presença de microrganismos vivos). Normalmente as legislações específicas de cada região ou país, regem-se pelas recomendações da Organização Mundial de Saúde (MEDEIROS FILHO, 2009).

De acordo com Santos (2004), no Brasil, ainda é comum estações de tratamento de água (ETAs) serem construídas sem se fazer um estudo prévio da água bruta, o qual visa estabelecer a tecnologia de tratamento mais adequada. Estudos de tratabilidade podem proporcionar maior eficácia do tratamento, além de contribuir

para a redução dos custos de implantação e de operação de uma ETA, sem comprometer o atendimento ao padrão de potabilidade da água.

Ainda de acordo com Santos (2004), o ideal é que esses estudos sejam preliminares à construção da ETA, mas também podem contribuir para corrigir eventuais problemas existentes em ETAs já construídas. Tais estudos podem caracterizar a água por meio de parâmetros físicos, químicos e biológicos através de ensaios em bancada para seleção das dosagens e dos tipos de coagulantes mais adequados e definir o tipo de tratamento e os parâmetros hidráulicos adequados. A escolha da tecnologia de tratamento depende basicamente da qualidade da água bruta e da qualidade desejada para o efluente final (DI BERNARDO, 2003). O projeto de uma ETAS deve ter como base, dados de laboratório obtidos em reatores estáticos ou, de preferência, em instalações pilotos com escoamento contínuo (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008). Para estes autores, mesmo conhecendo a qualidade da água bruta, o projetista pode incorrer em erros graves quando seleciona a tecnologia de tratamento ou quando adota parâmetros de projeto.

Entre as características avaliadas em estudo de tratabilidade são a turbidez e a cor aparente. A turbidez representa o grau de interferência (maior ou menor) da passagem de luz através da água. Deve-se à presença de partículas em suspensão. Há uma relação entre a turbidez e o tratamento da água, quanto menor o valor de turbidez alcançado por meio do tratamento mais eficiente será sua desinfecção. A cor resulta principalmente da dissolução de sólidos na água, os quais podem ter origem antropogênica ou natural (decomposição da matéria orgânica animal e vegetal). A cor pode ser diferenciada entre aparente e real (ou verdadeira). Na cor aparente está inserida uma parcela devida à turbidez da água, enquanto na cor verdadeira, a turbidez é removida ficando os sólidos dissolvidos que propiciam a cor verdadeira (SANTOS, 2004). O padrão organoléptico especificado pela portaria nº 2.914 de 2011 do Ministério da Saúde apresenta 15 uH (unidades Hazen) como valor máximo aceitável de cor aparente e para a turbidez é de 5 uT.

Este trabalho objetivou estudar a influência do coagulante sulfato de alumínio em conjunto com o auxiliar de coagulação polieletrólito catiônico floerger na clarificação da água usada para abastecimento humano da cidade de Pau dos Ferros, RN, através da realização de ensaios em escala de laboratório, simulando parte da tecnologia de tratamento convencional.

METODOLOGIA

Local da coleta da água bruta

O município de Pau dos Ferros encontra-se totalmente inserido nos domínios da bacia hidrográfica Apodi-Mossoró, sendo banhado pela sub-bacia do Rio Apodi (CPRM, 2005). A barragem de Pau dos Ferros, cuja água foi estudada neste trabalho, é uma importante fonte de água para abastecimento do município.

Este trabalho foi desenvolvido no período de estiagem na região, entre os meses de outubro e dezembro de 2014, sendo que para o mesmo, foram realizadas duas coletas de água. O nível de água do açude estava bem baixo. De acordo com moradores locais, há muitos anos que não se via a barragem tão seca. Segundo dados do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS, 2015), no dia 20/10/2014 (primeira coleta), o açude estava com um volume total de 2.313.986 m³ correspondendo a 4,14% de sua capacidade. Em 08/12/2014 (segunda coleta), o açude contava com apenas 1.372.904 m³, ou seja, 2,46% de sua capacidade. No laboratório, a água foi transferida das bombonas, utilizadas na coleta, para um tambor de 200 litros onde ficou armazenada durante os testes no laboratório.

Planejamento e procedimento dos ensaios

Na primeira etapa dos testes foi utilizado apenas o sulfato de alumínio, variando a dosagem de 5 até 60 mg/L, ou seja, sem uso de soluções acidificante ou básica. A Tabela 1 apresenta um resumo das condições estudadas.

Na segunda fase da pesquisa (ver Tabela 2), com base na melhor remoção de cor aparente e turbidez observados na primeira etapa, fixou-se a dosagem do sulfato de alumínio (45 mg/L) e fez-se a variação dos valores de pH coagulação, utilizando solução de ácido sulfúrico (0 a 6,25 mL/L) e de carbonato de sódio (1,25 a 7,5 mL/L).

Na terceira etapa, fixou-se o valor de 1,25 mL/L de carbonato de sódio, cujo resultado verificado na segunda etapa resultou na melhor porcentagem da remoção de turbidez e cor aparente, mantendo-se fixa a dosagem de sulfato de alumínio (primeira etapa) e variando-se a dosagem do Polieletrólito Catiônico Floerger, utilizado como auxiliar de coagulação, de 0,5 até 5mg/L. Um resumo destes testes é apresentado na Tabela 3.

A quarta e última etapa consistiu na variação dos valores de pH de coagulação (adição de carbonato de sódio e ácido sulfúrico), com base nos melhores resultados de acordo com as dosagens utilizadas na segunda etapa, sendo fixadas uma dosagem de Polieletrólito Catiônico Floerger a cada remessa de testes (seis testes por remessa), totalizando seis remessas, conforme resumo apresentado na Tabela 4.

Com relação aos produtos químicos, foram utilizados os seguintes: (a) sulfato de alumínio comercial como coagulante, preparado em concentração de 0,5%. O produto foi obtido com a CAERN; (b) ácido sulfúrico P.A. e carbonato de sódio P.A., para variação do pH de coagulação. A solução de H₂SO₄ foi preparada com concentração de 0,1N e a solução de Na₂CO₃, foi preparada a 0,5% e (c) polieletrólito catiônico Floerger como auxiliar de coagulação: a solução foi preparada a 0,1%. Este produto também foi fornecido pela CAERN.

Tabela 1: Resumo da primeira etapa de testes

Mistura rápida (MR): T _{MR} = 60 s e G _{MR} = 800 s ⁻¹ Floculação: T _F = 30 min e G _F = 40 s ⁻¹ Sedimentação: T _S = 7 min				
Dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)	Dosagem de polieletrólito catiônico floerger (mg/L)	Na ₂ CO ₃ (mL/L)	H ₂ SO ₄ (mL/L)	Jarros
5 a 30	0	0	0	1, 2, 3, 4, 5, 6
35 a 60	0	0	0	1, 2, 3, 4, 5, 6
Total				12

Notas: T_{MR}: tempo de mistura rápida; G_{MR}: gradiente médio de velocidade de mistura rápida; T_F: tempo de floculação; G_F: gradiente médio de velocidade de floculação; T_S: tempo de sedimentação.

Tabela 2: Resumo da segunda etapa de testes

Mistura rápida (MR): T _{MR} = 60 s e G _{MR} = 800 s ⁻¹ Floculação: T _F = 30 min e G _F = 40 s ⁻¹ Sedimentação: T _S = 7 min				
Dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)	Dosagem de polieletrólito catiônico floerger (mg/L)	Na ₂ CO ₃ (mL/L)	H ₂ SO ₄ (mL/L)	Jarros
45	0	0	0 a 6,25	1, 2, 3, 4, 5, 6
45	0	1,25 a 7,5	0	1, 2, 3, 4, 5, 6
Total				12

Notas: idem à Tabela 1.

Tabela 3: Resumo da terceira etapa de testes

Mistura rápida (MR): T _{MR} = 60s e G _{MR} = 800 s ⁻¹ Floculação: T _F = 30 min e G _F = 40 s ⁻¹ Sedimentação: T _S = 7 min				
Dosagem de Sulfato de alumínio (mg/L)	Dosagem de polieletrólito catiônico floerger (mg/L)	Na ₂ CO ₃ (mL/L)	H ₂ SO ₄ (mL/L)	Jarros
45	0,5 a 5	1,25	0	1, 2, 3, 4, 5, 6
Total				6

Notas: idem à Tabela 1.

Tabela 4: Resumo da quarta etapa de testes

Mistura rápida (MR): $T_{MR} = 60$ s e $G_{MR} = 800$ s ⁻¹ Floculação: $T_F = 30$ min e $G_F = 40$ s ⁻¹ Sedimentação: $T_s = 7$ min				
Dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)	Dosagem de polieletrólito catiônico floerger (mg/L)	Na ₂ CO ₃ (mL/L)	H ₂ SO ₄ (mL/L)	Jarros
45	0,5	0; 1,25; 5; 6,25	1,25; 2,5	1, 2, 3, 4, 5, 6
45	1	0; 1,25; 5; 6,25	1,25; 2,5	1, 2, 3, 4, 5, 6
45	2	0; 1,25; 5; 6,25	1,25; 2,5	1, 2, 3, 4, 5, 6
45	3	0; 1,25; 5; 6,25	1,25; 2,5	1, 2, 3, 4, 5, 6
45	4	0; 1,25; 5; 6,25	1,25; 2,5	1, 2, 3, 4, 5, 6
45	5	0; 1,25; 5; 6,25	1,25; 2,5	1, 2, 3, 4, 5, 6
Total				36

Notas: idem à Tabela 1.

Procedimento usado na execução dos testes em laboratório

- Homogeneizar a água no tambor manualmente;
- Transferir a água do tambor para um balde de plástico, visando que jarros do jarteste apresentem as mesmas características, da água bruta utilizada;
- Com um béquer, encher todos os seis jarros do jarteste até a marca de 2 (dois) litros da água graduada no próprio equipamento;
- Ligar os agitadores do equipamento jarteste, ajustando a rotação de acordo com o gradiente de mistura rápida (G_{MR}) previamente definido;
- Se for o objetivo, adicionar determinado volume de solução de ácido sulfúrico e/ou de carbonato de sódio em cada remessa de testes para a variação do pH de coagulação;
- Medir os volumes da solução de coagulante, utilizando pipeta graduada, de modo a obter-se a dosagem de sulfato de alumínio determinada, e colocar os mesmos nos frascos dosadores do equipamento jarteste. Fazer o mesmo procedimento com a solução de Polieletrólito, pois os mesmos são adicionados juntos na mistura rápida;
- Com muito cuidado, adicionar sincronizadamente o conteúdo dos frascos dosadores nos jarros, cronometrando o tempo de mistura rápida (T_{MR}) desejado;
- Ao término do T_{MR} , descartar um pequeno conteúdo inicial de água, que passa pelas mangueiras nos pontos de coleta dos jarros do equipamento, evitando assim, qualquer tipo de contaminação no teste. Coletar as amostras de água para medir os valores do pH de coagulação, e rapidamente diminuir os gradientes de velocidade utilizado para o de floculação (G_F) previamente definido, cronometrando o tempo que corresponderá ao tempo de floculação (T_F);
- Ao término do T_F , desligar os agitadores e cronometrar o tempo correspondente ao tempo de sedimentação (T_s);
- Ao final do T_s , fazer outro descarte da água e coletar uma amostra com cerca para medição de cor aparente e turbidez.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização da água bruta

A coleta da água bruta, no açude do município de Pau dos Ferros, estado do Rio Grande do Norte, altitude 182 – 191m, coordenadas geográficas S 06°08'44,6'' e W 38°11'23,6'', ocorreu em duas datas, 20/10 e 20/11/2014. Alguns resultados da qualidade da água bruta são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5: Resultados da qualidade da água bruta estudada

Data	pH	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)
20/11/2014	7,7	193	27,3

Resultados da primeira etapa de testes

No primeiro dia, testou-se uma variação de 5 a 30mg/L de sulfato de alumínio e no segundo, de 35 a 60mg/L, cujos resultados são apresentados na Figura 1. Destes, a dosagem de 45 mg/L (pH de coagulação de 7,43) resultou em maior eficiência de remoção de cor aparente e turbidez com 50 e 66%, respectivamente. Tais eficiências corresponderam a valores remanescentes de 53 uC e 3,87 uT, respectivamente.

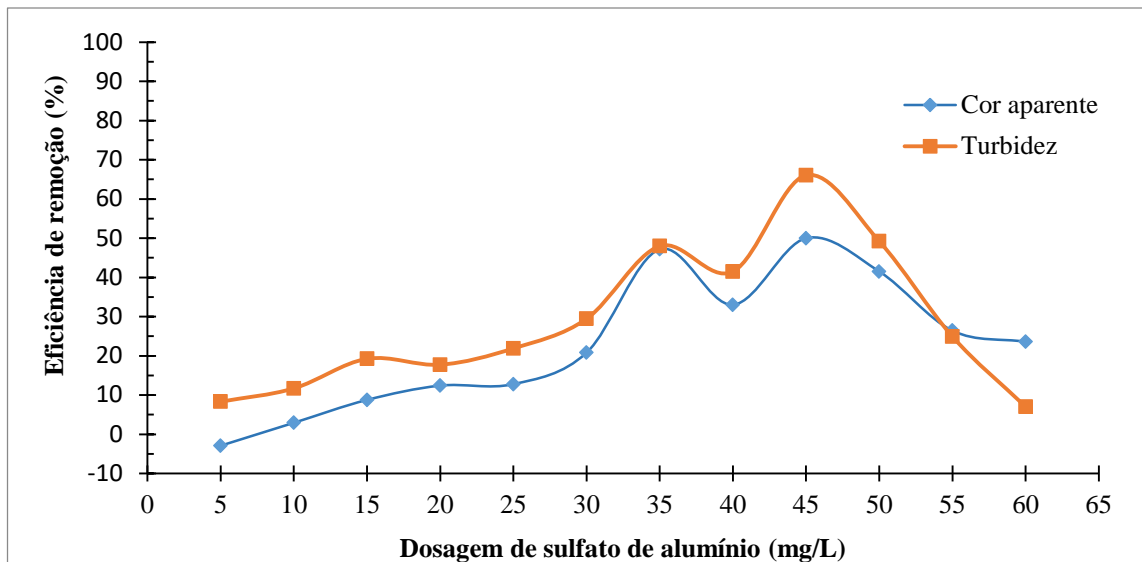


Figura 1: Eficiência de remoção de cor aparente e turbidez para diferentes dosagens de sulfato de alumínio. Água bruta no primeiro teste: pH = 7,7; cor aparente = 274 uC; turbidez = 26,5 uT. Água bruta no segundo teste: cor aparente = 106 uC; turbidez = 11,4 uT

Resultados da segunda etapa de testes

Como já mencionado, na segunda etapa, buscou-se observar a influência do pH de coagulação na remoção de cor aparente e turbidez. Os resultados apresentados (Figura 2) indicaram menores valores remanescentes de cor aparente e turbidez para maiores valores de pH, considerando a faixa estudada. Ressaltando que o valor de sulfato de alumínio foi fixo em 45 mg/L (primeira etapa).

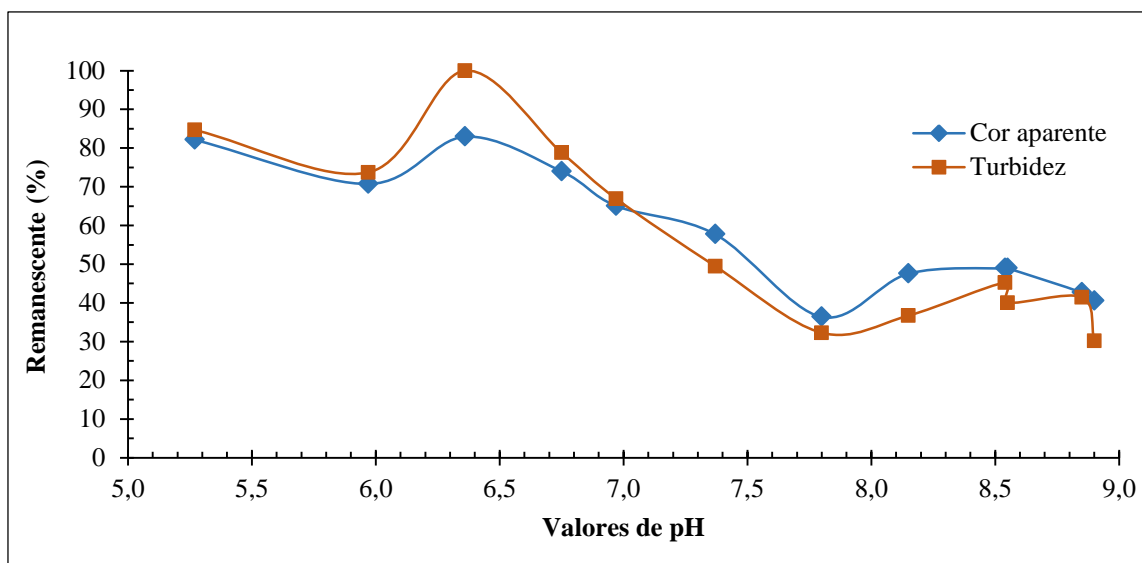


Figura 2: Porcentagens remanescentes de cor aparente e turbidez para dosagem de 45 mg/L de sulfato de alumínio, sem adição de polieletrólito. Água bruta no primeiro teste: cor aparente = 123 uC; turbidez = 13,7 uT. Água bruta no segundo teste: cor aparente = 143 uC; turbidez = 14,9 uT.

Essa etapa foi realizada em dois testes, totalizando 12 jarros. Na primeira remessa, onde foi adicionada solução de ácido sulfúrico, houve variação de pH de coagulação de 5,27 a 7,37, sendo observada a melhor eficiência de remoção de cor aparente e turbidez, no jarro com pH de 7,37. Na segunda remessa de teste, onde foi adicionada solução de carbonato de sódio, o pH de coagulação variou de 7,8 a 8,9 resultando em melhor valor para a remoção de turbidez no pH de 8,9 e no de 7,8 para a remoção de cor. No geral, concluiu-se que para o valor de pH de coagulação de 7,8 houve o resultado mais expressivo para ambas características, cujos valores remanescentes foram de 52 uC (36%) para cor aparente e 4,81 uT (32%) para turbidez.

Resultados da terceira etapa de testes

A terceira etapa contou com o valor fixo da dosagem de sulfato de alumínio (45mg/L) correspondente a etapa 1 e também dosagem fixa de 1,25 mL/L da solução de carbonato de sódio de acordo com os resultados obtidos na etapa 2. Neste teste houve adição e variação da dosagem de polieletrólito e os resultados são apresentados na Figura 3.

Nessa etapa, os valores de pH de coagulação variaram de 7,11 a 8,04, conforme apresentado na Tabela 6. Os valores remanescentes de cor aparente foram de 52 a 69 uC (33 a 43% remanescente). Quanto aos valores remanescentes de turbidez, estes variaram de 5,12 a 7,54 uT (27 a 40% remanescente). O melhor resultado foi observado para a dosagem de polieletrólito de 4 mg/L (pH de coagulação de 7,72) que resultou em valores remanescentes de 52 uC e 5,12 uT, respectivamente para cor aparente e turbidez.

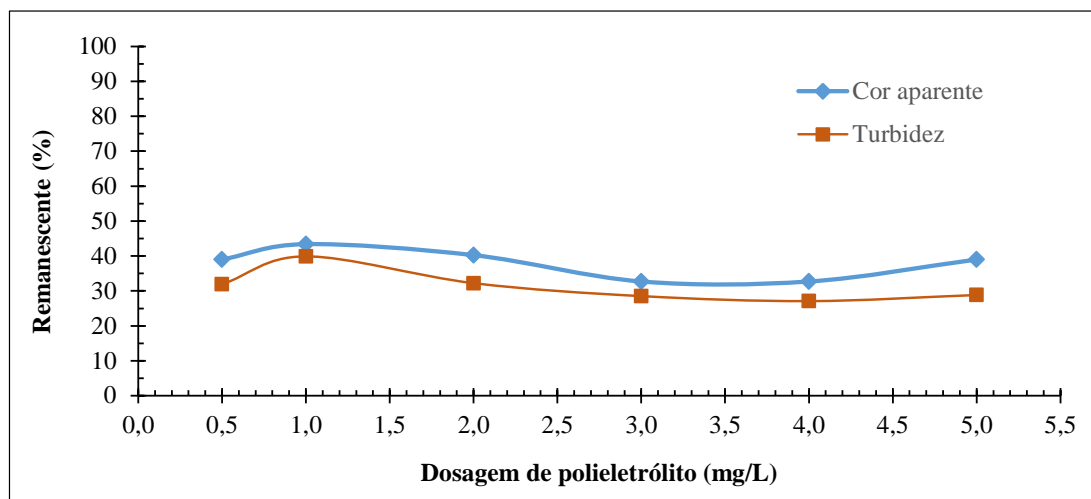


Figura 3: Porcentagens remanescentes de cor aparente e turbidez para dosagem de 45 mg/L de sulfato de alumínio e dosagem variada de polieletrólito. Água bruta: cor aparente = 159 uC; turbidez = 18,9 uT.

Tabela 6: Valores de pH de coagulação correspondente a dosagem de polieletrólito catiônico Floerger

Dosagem de Polieletrólito (mg/L)	pH de coagulação
0,5	7,11
1,0	7,62
2,0	7,76
3,0	8,04
4,0	7,72
5,0	7,94

Comparando-se com os resultados obtidos na segunda etapa, ou seja, coagulação apenas com sulfato de alumínio (dosagem de 45 mg/L), observa-se que a adição do polieletrólito (coagulação com dosagem de 45 mg/L de sulfato de alumínio combinada com 4 mg/L de polieletrólito) proporcionou uma menor remanescente em termos percentuais tanto de cor aparente (33%) como de turbidez (27%), já que, utilizando-se apenas sulfato de alumínio para a coagulação (etapa 2), os percentuais remanescentes foram de 36 e 32% para cor aparente e turbidez, respectivamente. Mas, em termos absolutos, os menores valores de cor aparente e turbidez que foram obtidos para a coagulação com sulfato de alumínio somente (52 uC e 4,81 uT), foram similares aqueles obtidos com coagulação com sulfato de alumínio combinada com polieletrólito (52 uC e 5,12 uT).

Resultados da quarta etapa de testes

Na Figura 4, observa-se variação do pH de coagulação de 5,17 a 7,71, sendo verificado o resultado mais satisfatório no pH de 7,42, onde não foi adicionado nenhuma solução que modificasse o pH inicial da água. Porém este resultado foi muito semelhante ao adquirido ao se adicionar 6,25 mL/L de solução de carbonato de sódio, resultando em pH de 7,71. Esses resultados foram medianamente satisfatórios, considerando que houve uma redução de 71% da cor aparente e 74% de turbidez da água bruta, resultando em 50uC e 5,3uT remanescentes.

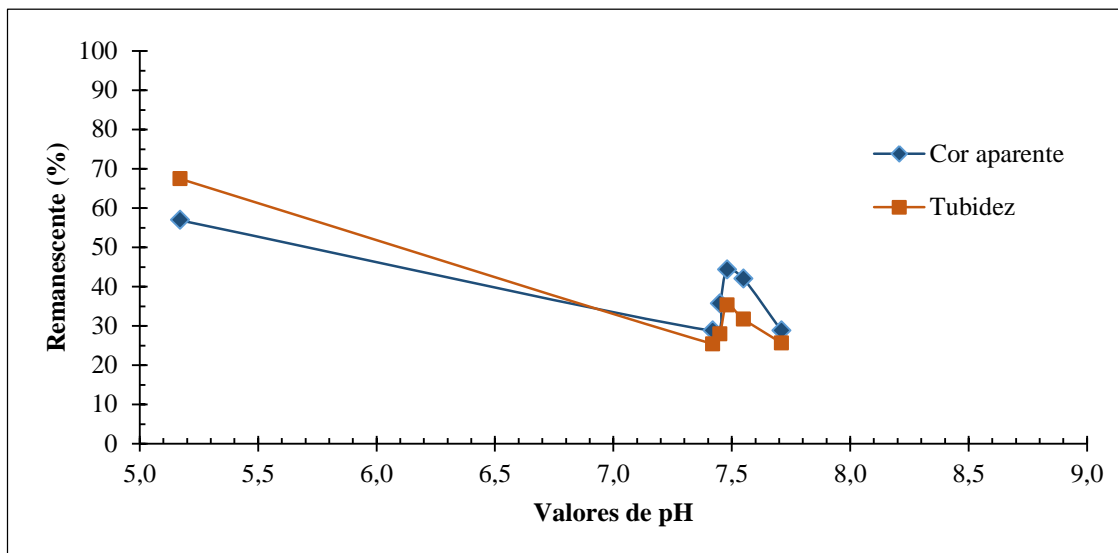


Figura 4: Porcentagens remanescentes de cor aparente e turbidez para dosagem de 45 mg/L de sulfato de alumínio e 0,5 mg/L de polieletrólito. Água bruta: cor aparente = 174 uC; turbidez = 20,9 uT.

A Figura 5 mostra os resultados de cor aparente e turbidez remanescentes em testes com dosagens de 45 mg/L de sulfato de alumínio e de 1 mg/L de polieletrólito. Os valores de pH variram de 5,48 até 7,69. Para pH de coagulação de 7,69, onde foi adicionado 6,25 mL/L de solução de carbonato de sódio, observaram-se valores de remoção de cor aparente e de turbidez de 61,4 e 80%, respectivamente, cujos valores absolutos foram de 66 uC e 5,7 uT, respectivamente.

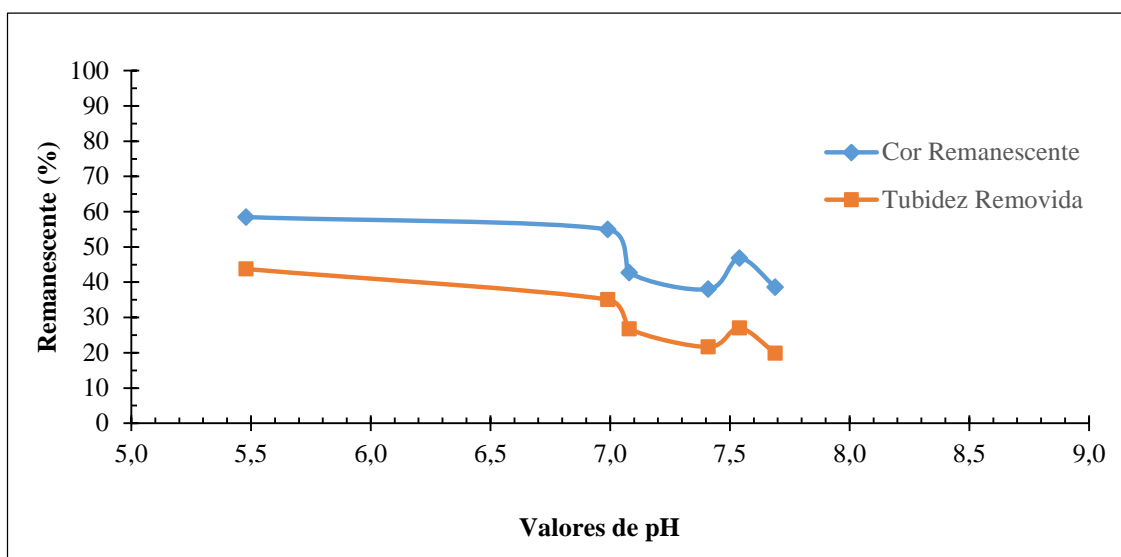


Figura 5: Porcentagens remanescentes de cor aparente e turbidez para dosagem de 45 mg/L de sulfato de alumínio e 1,0 mg/L de polieletrólito. Água bruta: cor aparente = 171 uC; turbidez = 28,8 uT.

Para as dosagens de 45 mg/L de sulfato de alumínio e de 2 mg/L de polieletrólito (Figura 6), os resultados verificados foram inferiores aos obtidos com 0,5 e 1,0 mg/L de polieletrólito. Os valores de pH de coagulação variaram de 5,69 a 7,68. Contraindicando os testes anteriores, o valor do pH que resultou em melhor remoção de cor e turbidez foi o 5,69 (menor dentre os resultados dessa etapa), onde foi adicionado 2,5 mL/L de solução de ácido sulfúrico. Nesta condição, foi observada redução de cor aparente e de turbidez de 57 e 68% respectivamente, correspondendo a 71 uC e 7,1uT remanescentes.

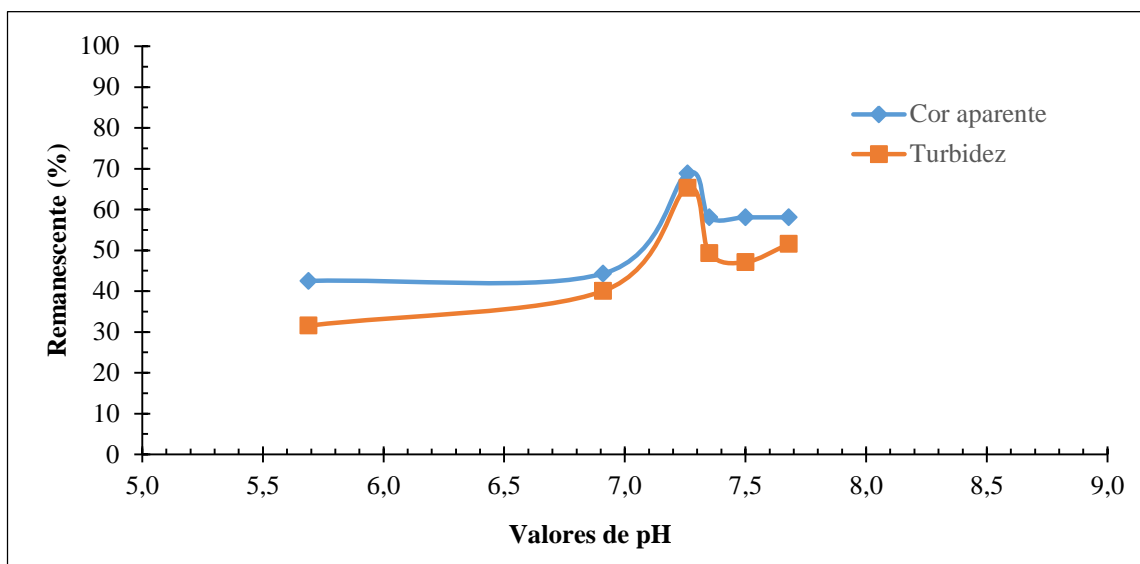


Figura 6: Porcentagens remanescentes de cor aparente e turbidez para dosagem de 45 mg/L de sulfato de alumínio e 2,0 mg/L de polieletrólito. Água bruta: cor aparente = 167 uC; turbidez = 22,5 uT.

Com dosagens de 45 mg/L de sulfato de alumínio e de 3 mg/L de polieletrólito (Figura 7), os valores de pH de coagulação variaram de 5,76 até 7,63. O melhor resultado foi verificado para pH de 7,29, onde não foi adicionado solução que modificasse de pH, resultando em cor aparente e turbidez remanescentes de 23% e 14%, respectivamente, correspondendo a 39 uC e 3,11 uT. Nesse teste foi obtido o melhor resultado.

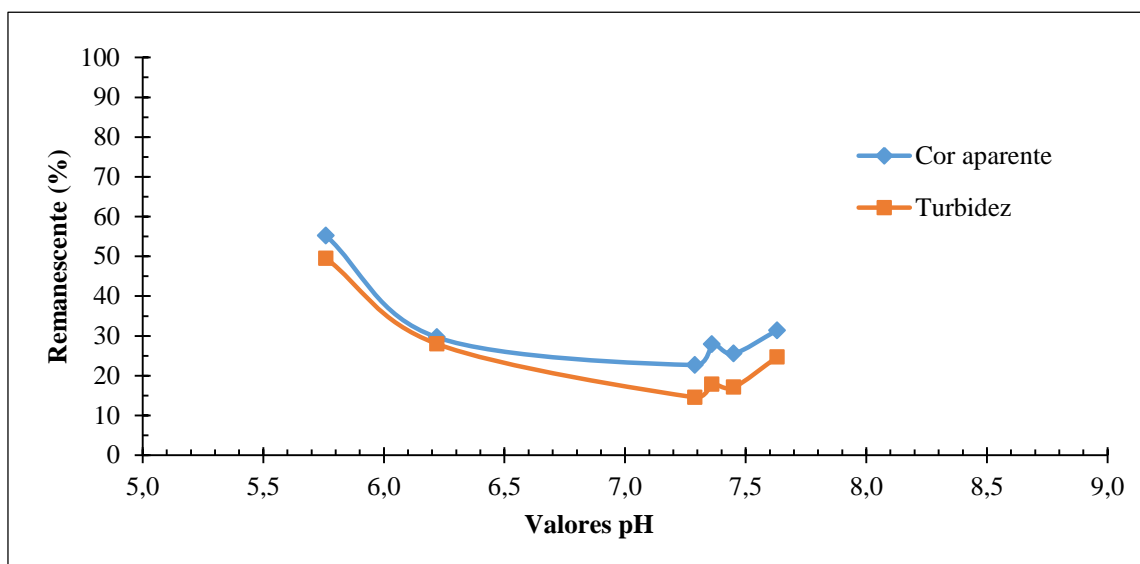


Figura 7: Porcentagens remanescentes de cor aparente e turbidez para dosagem de 45 mg/L de sulfato de alumínio e 3,0 mg/L de polieletrólito. Água bruta: cor aparente = 167 uC; turbidez = 22,5 uT.

Na dosagem de 45 mg/L de sulfato de alumínio e de 4 mg/L de polieletrólito (Figura 8), os valores de pH de coagulação apresentaram uma variação pequena, de 7,22 a 7,8, comparando com os anteriores. Os melhores resultados foram observados para o pH de coagulação de 7,8, em cujo jarro houve adição de 6,25 mL/L de

solução de carbonato de sódio. No geral, o resultado foi satisfatório principalmente com relação à eficiência de remoção turbidez que atingiu o valor máximo de 76% (com turbidez remanescente de 5,8 uT) e de cor aparente de 68% (cor aparente remanescente de 67 uC).

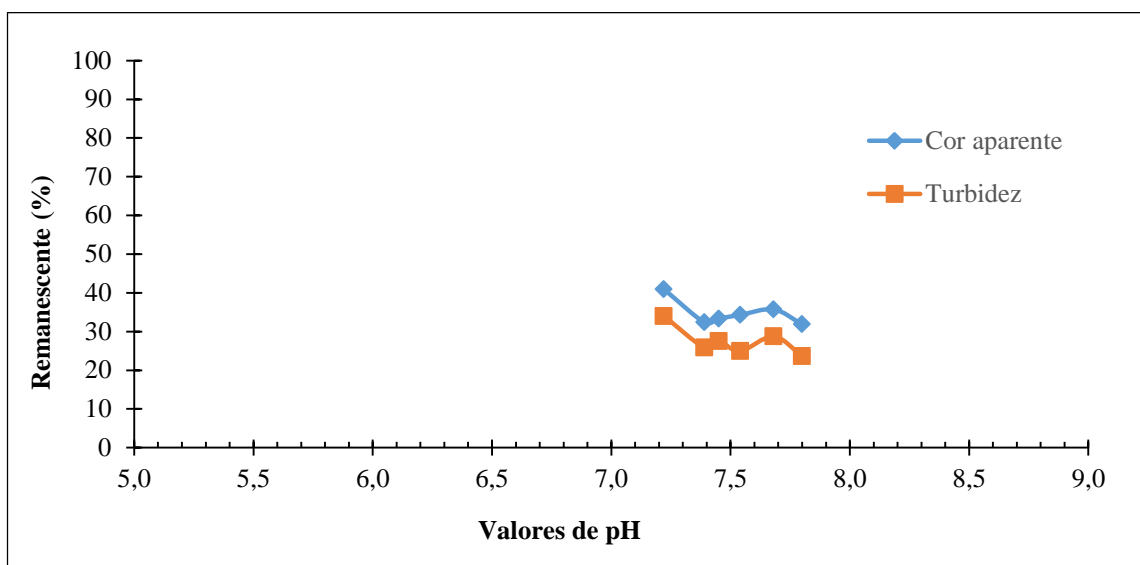


Figura 8: Porcentagens remanescentes de cor aparente e turbidez para dosagem de 45 mg/L de sulfato de alumínio e 4,0 mg/L de polieletrólito. Água bruta: cor aparente = 210 uC; turbidez = 24,6 uT.

Na quinta parte da quarta etapa alterou-se a dosagem do polieletrólito para 5 mg/L, cujos resultados são apresentados na Figura 9.

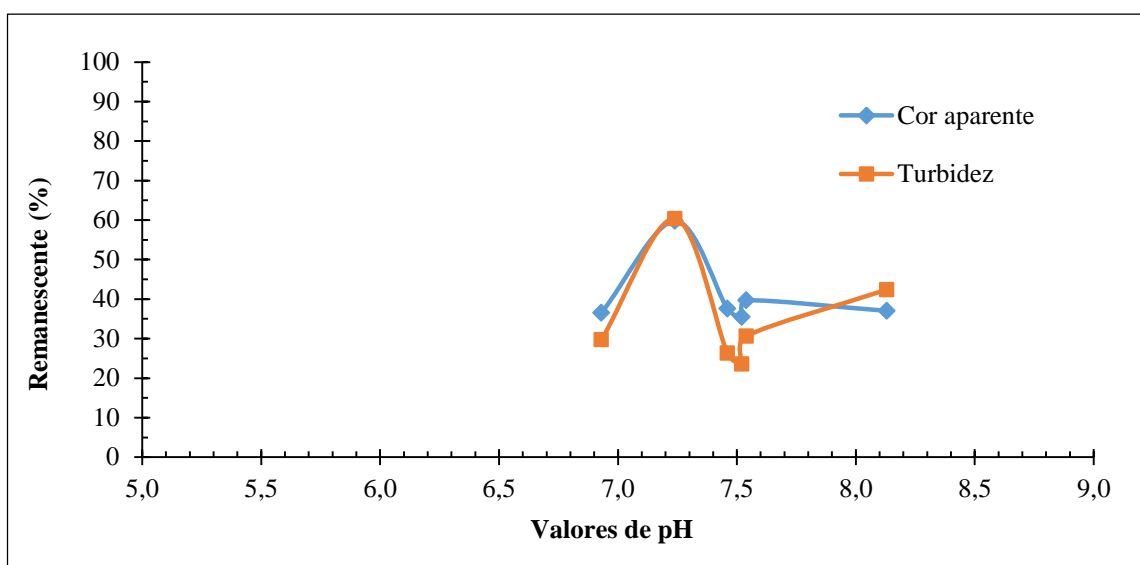


Figura 9: Porcentagens remanescentes de cor aparente e turbidez para dosagem de 45 mg/L de sulfato de alumínio e 5,0 mg/L de polieletrólito. Água bruta: cor aparente = 189 uC; turbidez = 21,2 uT.

Nesta etapa os valores de pH de coagulação variaram de 6,93 a 8,13. Os melhores resultados de remoção de cor aparente e turbidez foram para o valor de pH de 7,52, resultante da adição de 6,25 mL/L de solução de carbonato de sódio. Observaram-se eficiências de remoção de cor aparente e turbidez, respectivamente, de 64,65% (cor aparente remanescente de 67 uC) 76,46% (turbidez remanescente de 5 uT).

Observando-se os resultados da quarta etapa da pesquisa (Figuras 4 a 9), verificam-se melhores resultados para as dosagens de coagulante (sulfato de alumínio) de 45 mg/L combinada com 3 mg/L de polieletrólito, cujos resultados obtidos sem a adição de solução acidulante são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Resultados de eficiência de remoção de cor aparente e turbidez em testes com dosagens de coagulante (sulfato de alumínio) de 45 mg/L combinada com 3 mg/L de polieletrólito. Água bruta com 21,4 uT e 172 uC.

Na ₂ CO ₃ 0,5% (mL/L)	Sulfato de alumínio (mg/L)	Polieletrólito (mg/L)	pH após a coagulação	Cor aparente remanesc. (uC)	Turbidez remanesc. (uT)	Cor aparente removida (%)	Turbidez removida (%)
0	45	3	7,29	39	3,11	77,33	85,47
2,5	45	3	7,36	48	3,82	72,09	82,15
5	45	3	7,45	44	3,66	74,42	82,90
6,25	45	3	7,63	54	5,28	68,60	75,33

Na Tabela 8 são apresentados os resultados obtidos sem a adição de solução acidulante, na segunda etapa da pesquisa (testes executados para coagulação feita somente com sulfato de alumínio, sem acréscimo de polieletrólito).

Comparando-se os resultados apresentados nas Tabelas 7 e 8, observa-se que a adição do auxiliar de coagulação favoreceu a remoção de cor aparente e turbidez, cujos valores mais satisfatórios foram relativos ao jarro sem adição de Na₂CO₃, com 35% a mais de redução de cor aparente e turbidez.

Tabela 8: Resultados de eficiência de remoção de cor aparente e turbidez em testes com dosagens de coagulante (sulfato de alumínio) de 45 mg/L sem adição de polieletrólito. Água bruta com 14,9 uT e 143 uC.

Na ₂ CO ₃ 0,5% (mL/L)	Sulfato de alumínio (mg/L)	Polieletrólito (mg/L)	pH após a coagulação	Cor aparente remanesc. (uC)	Turbidez remanesc. (uT)	Cor aparente removida (%)	Turbidez removida (%)
0	45	0	7,37	71	6,78	42,28	50,51
2,5	45	0	8,15	68	5,47	52,45	63,29
5	45	0	8,85	61	6,18	57,34	58,52
6,25	45	0	8,9	58	4,50	59,44	69,80

De modo geral, ressalta-se a importância da realização de testes laboratoriais para definição de condições de tratamento da água que atenda a qualidade requerida. Para Di Bernardo (2003, p. 134), “em razão da grande gama de produtos químicos e da natureza distinta das águas brutas, é essencial a realização de experimentos em instalação-piloto ou em jarro teste para definir as condições adequadas de coagulação e mistura rápida”. Para Pádua e Ferreira (2006), quando a coagulação não é realizada de modo adequado, compromete-se o desempenho de todas as unidades de tratamento a jusante, aumentando os riscos sanitários da água produzida.

CONCLUSÕES

No geral, ficou evidente a importância da realização de testes em escala de bancada visando melhores resultados de remoção de cor aparente e turbidez em função de distintos valores de dosagem de coagulante e respectivo pH de coagulação, assim como auxiliar de coagulação.

Em testes utilizando sulfato de alumínio como coagulante, sem adição de polieletrólito, o melhor resultado (cor aparente remanescente de 52 uC, 36%; turbidez remanescente de 4,81 uT, 32%) foi obtido para dosagem de sulfato de alumínio de 45 mg/L e pH de coagulação de 7,8, considerando a água estudada e as condições pesquisadas. Já, para coagulação com sulfato de alumínio combinada com polieletrólito, o melhor resultado de remoção de cor aparente e de turbidez (cor aparente remanescente de 39 uC, 23%; turbidez remanescente de 3,11 uT, 14%) foi obtido para dosagem de sulfato de alumínio de 45 mg/L combinada com dosagem de polieletrólito de 3 mg/L e pH de coagulação de 7,29. Isso também, levando em conta a água estudada e as condições pesquisadas.

Para a água estudada e as condições testadas em escala de bancada, observou-se que a coagulação com sulfato de alumínio combinada com polieletrólito catiônico Floerger favoreceu a remoção de cor aparente e turbidez, em relação aos resultados obtidos sem o auxiliar de coagulação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. *Portaria n° 2.914*, 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.
2. DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA SECAS (DNOCS). Monitoramento de reservatórios. Seleção de registros: Ano=2014. Mês=12. Estado=RN. Disponível em: <http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/php/comunicacao/monitoramento_de_reservatorios.php> Acesso dia 13/02/2015.
3. DI BERNARDO, L. (Coord.). *Tratamento de água para abastecimento por filtração direta*. 2003. 498 f. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003.
4. DI BERNARDO, L. SABOGAL PAZ, L. P. *Seleção de tecnologias de tratamento de água*. São Carlos: Editora LDIBE LTDA, 2008. V.1, 878 p.
5. MEDEIROS FILHO, C. F. de. *Abastecimento de água*. Campina Grande, 2009. Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Abastece.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2014.
6. PÁDUA, V. L. de; FERREIRA, A. C. da S. Qualidade da água para consumo humano. In: HELLER, L.; PÁDUA, V. L. de (Org.). *Abastecimento de água para consumo humano*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. cap. 4.
7. SANTOS, E. *Tratamento de água: coagulação da água da represa Vargem das Flores visando tratamento por filtração direta*. 2004. 167 f. Dissertação (Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.
8. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. *Diagnóstico do município de Pau dos Ferros, estado do Rio Grande do Norte*. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/hidrologia/mapas_publicacoes/atlas_digital_rhs/rgnorte/relatorios/PD FE102.PDF>. Acesso em: 04 jan. 2017.