



19 a 21 de outubro - Ciência, tecnologia e inovação: ações sustentáveis para o desenvolvimento regional

Otimização do processo de coagulação da água do Açude Gavião, Ceará, utilizando planejamento por variável e planejamento composto central rotacional

Aline Maria Herculano Rocha, Carine Maria Ferreira Queiroga, Eric Malveira dos Santos, Demostenis Ramos Cassiano, Hugo Leonardo de Brito Buarque

Grupo de Pesquisas em Processos Químicos e Ambientais
Departamento de Química e Meio Ambiente – Campus Fortaleza
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
Av. Treze de maio, 2081, Benfica – Fortaleza/CE, CEP 60.040-531
E-mail: hbuarque@ifce.edu.br, alineherculano.ifce@gmail.com

Resumo: a otimização e a automatização de sistemas de tratamento de água para consumo humano é cada vez mais necessária, dada a crescente eutrofização e contaminação dos mananciais. O processo de coagulação é crítico e deve ser mais bem compreendido e otimizado nas estações de tratamento de água. Neste estudo investigou-se a influência e os valores ótimos do pH da água bruta do Açude Gavião (Pacatuba, Ceará), concentração de coagulante e de auxiliar de coagulação na turbidez e no pH final da água tratada, para os coagulantes sulfato de alumínio, cloreto férrico e policloreto de alumínio, utilizando as técnicas de planejamento por variável e DCCR, como também análise de superfícies de resposta. Amostras de água do açude foram coletadas e avaliadas em testes de jarros em diferentes condições. A análise estatística e de superfície de resposta mostraram que o policloreto de alumínio foi o coagulante testado de maior eficiência na redução da turbidez da água, assim como foi observado que mesmo para volumes relativamente baixos de auxiliar de coagulação, volumes de solução coagulante superiores a 2,0 mL são muito eficientes na redução da turbidez e manutenção da neutralidade da água.

Palavras-chave: coagulação, planejamento fatorial, otimização, tratamento de água.

1. INTRODUÇÃO

As águas dos mananciais de abastecimento estão cada vez mais eutrofizadas e contaminadas, exigindo que os sistemas de tratamento de água otimizem e automatizem seus processos, de modo a garantir a qualidade da água potável distribuída com uma boa relação de custo-eficiência.

Na Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará, a água tratada e distribuída é oriunda do Açude Gavião (Pacatuba, Ceará). A estação que trata e distribui a água deste açude utiliza sistema de filtração direta descendente (COMPANHIA..., 2011). Neste tipo de sistema, bem como na quase totalidade dos sistemas de tratamento de água para consumo humano, a etapa de coagulação (mistura rápida) é crítica e deve ser mais bem compreendida e automatizada de modo a garantir a eficiência permanente da qualidade da água distribuída para as populações.

Na coagulação são utilizados reagentes químicos (coagulantes e auxiliares de coagulação), em sua maioria sais de ferro ou alumínio e polímeros, que objetivam essencialmente a desestabilização das partículas coloidais e suspensas existentes na água a tratar (água bruta), por intermédio de uma combinação de reações físicas e químicas, permitindo sua agregação (floculação) e posterior remoção por sedimentação e filtração (LIBÂNIO, 2008; RICHTER, 2009).

Diversos fatores interferem no processo de coagulação, entre eles o pH da água bruta, a natureza e o tamanho das partículas, o tipo e a dosagem dos produtos químicos aplicados. Também podem influir a temperatura, o gradiente de velocidade e o tempo de agitação na unidade de mistura rápida (RICHTER, 2009; SANTOS et al., 2007).

No desenvolvimento e otimização de processos é indispensável levantar informações a respeito do comportamento e das características do sistema em estudo e como tais propriedades se correlacionam. Assim, um planejamento adequado e a consequente análise de experimentos realizados para tal finalidade, pode fornecer informações suficientes para a melhoria de tecnologias industriais a um custo aceitável. Neste contexto, técnicas de planejamento experimental, tais como o delineamento composto central rotacional (DCCR) podem ser eficientemente usadas na obtenção de informações, análise e otimização de processos industriais (RODRIGUES, EMMA, 2005; RODRIGUES, 2005).



Portanto, este estudo pretende investigar a influência e os valores ótimos do pH da água bruta, concentração de coagulante e de auxiliar de coagulação na turbidez e no pH final da água tratada, para três coagulantes distintos em temperatura, gradiente de mistura e tempo de agitação fixos, de acordo com os parâmetros operacionais da estação de tratamento do Açude Gavião, utilizando as técnicas de planejamento por variável e DCCR, como também análise de superfícies de resposta.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Coleta, transporte e armazenamento da água bruta

As amostras de águas mananciais para os experimentos de otimização foram coletadas nas proximidades do ponto de captação da estação de Tratamento de Água da Companhia de Água e Esgoto do Ceará, localizada no Açude Gavião (Pacatuba, Ceará). Foram realizadas duas campanhas de coletas: na primeira, foram coletados cerca de 100 litros de água bruta, em recipientes plásticos, posteriormente vedados; na segunda campanha, foram coletados aproximadamente 50 litros da água do açude, em condições idênticas àquelas da primeira campanha.

Imediatamente após as coletas, as amostras foram conduzidas ao Laboratório de Processos e Análises Químicas (LQA) do Campus Fortaleza do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, para armazenamento e posteriores testes de jarros (ensaios de coagulação). As amostras de água permaneceram refrigeradas (abaixo de 4°C) até o momento dos ensaios.

2.2 Planejamento experimental para otimização das condições de coagulação

Neste estudo, foi avaliada a influência, no processo de coagulação, dos seguintes fatores: pH da água bruta (pH inicial), concentração dos coagulantes e concentração do auxiliar de coagulação. Como variáveis de resposta foram definidas: a turbidez e o pH da água coagulada (pH final).

Preliminarmente, foi realizado um planejamento por variável (RODRIGUES, EMMA, 2005) para determinação do melhor coagulante, entre os seguintes: cloreto férrico, policloreto de alumínio e sulfato de alumínio. Tais coagulantes, como também o auxiliar de coagulação foram utilizados nos ensaios na forma de soluções aquosas de 1%.

Este planejamento foi desenvolvido em duas etapas: na primeira etapa, adicionavam-se 2 mL do coagulante e 2 mL do auxiliar, em três diferentes pH (6,0; 7,0 e 8,0), ajustados com soluções 0,1 mol/L de ácido sulfúrico e/ou de hidróxido de sódio; na segunda etapa, variou-se a concentração da solução 1% de cada coagulante na faixa de 1,0 mL a 3,5 mL, mantendo-se fixa a concentração de auxiliar, 2 mL, e o pH inicial da água nos valores que resultaram em menores turbidez na etapa anterior. Adicionalmente, para cada coagulante, também foram determinados os melhores volumes de solução 1% do auxiliar de coagulação, na faixa entre 1 e 3 mL, mantendo-se o pH inicial e a concentração do coagulante em seus melhores valores.

Posteriormente, procurou-se otimizar as condições de coagulação (fatores) para o coagulante que apresentou os menores valores de turbidez, utilizando um delineamento composto central rotacional (RODRIGUES, EMMA, 2005). Definiram-se, neste planejamento, 5 pontos centrais e 2 pontos axiais. Desta forma, foram previstos de forma aleatorizada 19 ensaios de coagulação (teste de jarros), em diferentes valores dos fatores.

2.3 Ensaios de Caracterização e de Coagulação

Na caracterização da água bruta foram determinadas as seguintes propriedades físico-químicas: turbidez, pH e alcalinidade total (método potenciométrico). Para a caracterização da água coagulada, foram determinadas as propriedades (variáveis resposta): pH e turbidez. Todos os ensaios usados nesta determinação seguiram APHA et al. (2005), usando os seguintes equipamentos: turbidímetro, marca Alfakit; e pHmetro, marca Bel, modelo W3B.

Os ensaios de coagulação foram realizados em equipamento de teste de jarros, marca Policontrol (modelo Floc control), com capacidade para três cubas de acrílico de 2 litros. Nestes ensaios, volumes pré-determinados de solução coagulante e solução auxiliar foram adicionados a 2 litros da água do açude. Após a adição do coagulante e auxiliar, o propulsor do equipamento promovia inicialmente uma rotação de 120 rpm, por três minutos, simulando o processo de mistura rápida, e em seguida, uma rotação de 20 rpm, por 15 minutos, simulando a mistura lenta. Finalmente, o propulsor era desligado, e após um intervalo de 3 minutos, simulando um processo de decantação, alíquotas da água coagulada eram retiradas para caracterização.

2.3 Tratamento estatístico dos dados de otimização

Os resultados obtidos nos ensaios de coagulação foram analisados por intermédio do programa computacional STATGRAPH v. 15. Foram determinados diagramas de Pareto para as variáveis de resposta, individualmente, e superfícies de resposta para ambas as variáveis alvo (desejabilidades) a partir de uma análise multivariada. Para a determinação das superfícies de resposta foram fixados os pH iniciais em 6,5, 7,0 e 7,5. Foram definidas como condições de otimização a minimização da turbidez da água coagulada e a obtenção do correspondente pH final, em três distintos valores: 6,5, 7,0 e 7,5.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos ensaios de coagulação, de acordo com o planejamento por variável, foram determinadas a turbidez (final) e o pH da água coagulada. A Figura 1 mostra um diagrama em colunas para a obtenção dos melhores valores de pH (na faixa considerada) para cada coagulando avaliado. A Figura 2 apresenta outro diagrama em colunas para a obtenção dos melhores valores de volume de solução coagulante 1% (na faixa avaliada) para cada coagulante. A Figura 3 mostra mais um diagrama em colunas para a obtenção dos melhores valores de volume de auxiliar de coagulação (na faixa estudada) para cada coagulante estudado.

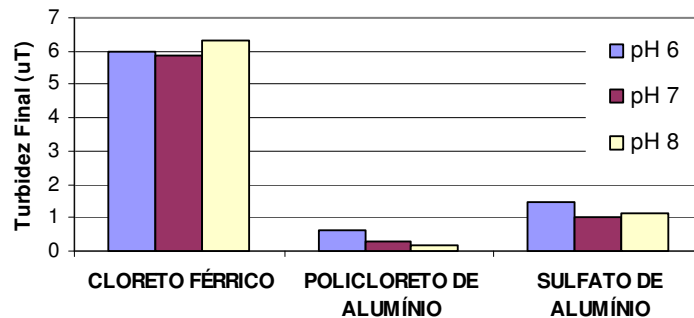


Figura 1 – Valores de turbidez da água coagulada para os três coagulantes avaliados nos pH 6, 7 e 8. Volumes de coagulante e auxiliar de coagulação iguais a 2 mL.

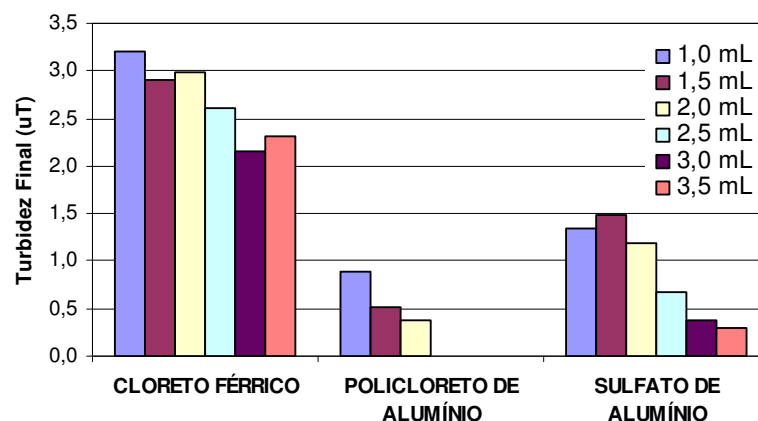


Figura 2 – Valores de turbidez da água coagulada para os três coagulantes avaliados nos volumes de solução coagulante de 1,0 a 3,5 mL e com volume de auxiliar igual a 2,0 mL. Os valores de pH para o cloreto férrico, policloreto de alumínio e sulfato de alumínio foram 7,0, 8,0 e 7,0, respectivamente.

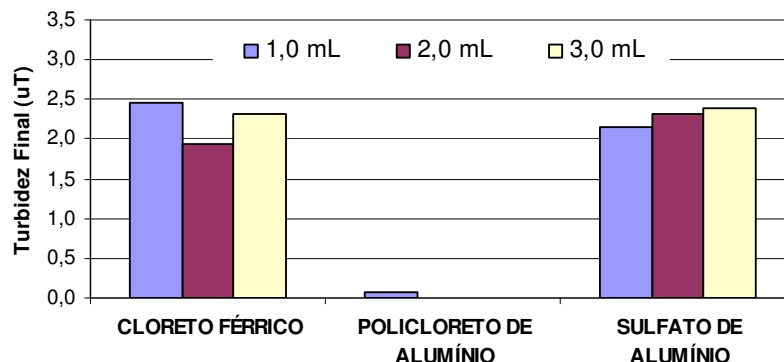


Figura 3 – Valores de turbidez da água coagulada para os três coagulantes avaliados nos volumes de solução auxiliar entre 1 e 2,0 mL. Os volumes de solução coagulante para cloreto férrico, policloreto de alumínio e sulfato de alumínio foram 3,0 mL, 2,5 mL e 3,5 mL, respectivamente. Os valores de pH para os coagulantes na ordem previamente dada foram 7,0, 8,0 e 7,0, respectivamente.

É notório nesta primeira etapa de ensaios de coagulação que o policloreto de alumínio é o agente coagulante mais eficiente, isto é, o que fornece os menores valores de turbidez final. Por este motivo, a segunda etapa de experimentos prosseguiu somente com esse coagulante, de modo a otimizar o pH inicial da água, os volumes da solução coagulante 1% e da solução de auxiliar 1%.

As superfícies de resposta obtidas, a partir dos experimentos realizados, objetivando um pH final igual a 7,0 e minimizando a turbidez são apresentadas nas figuras 4 a 6.

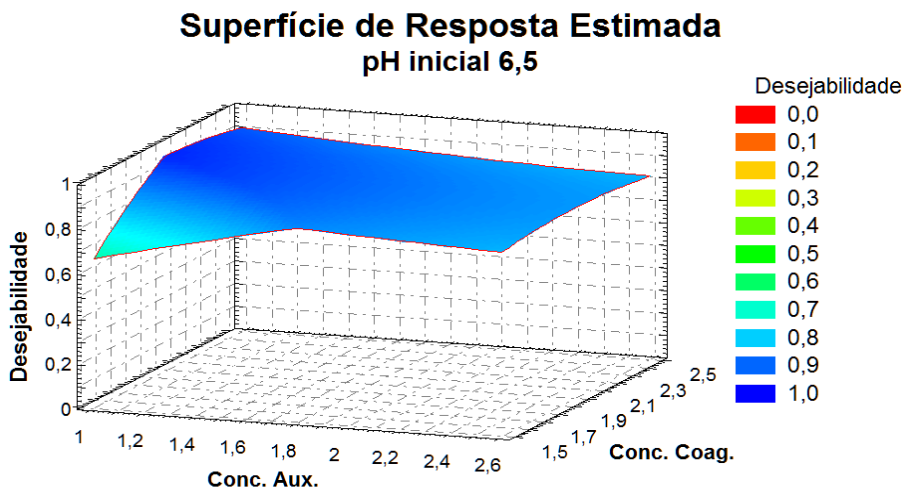


Figura 4 – Superfície de resposta para pH inicial igual a 6,5, a partir dos experimentos realizados segundo o planejamento composto central rotacional, minimizando a turbidez final e com pH final desejado igual a 7,0.

Superfície de Resposta Estimada pH inicial 7,0

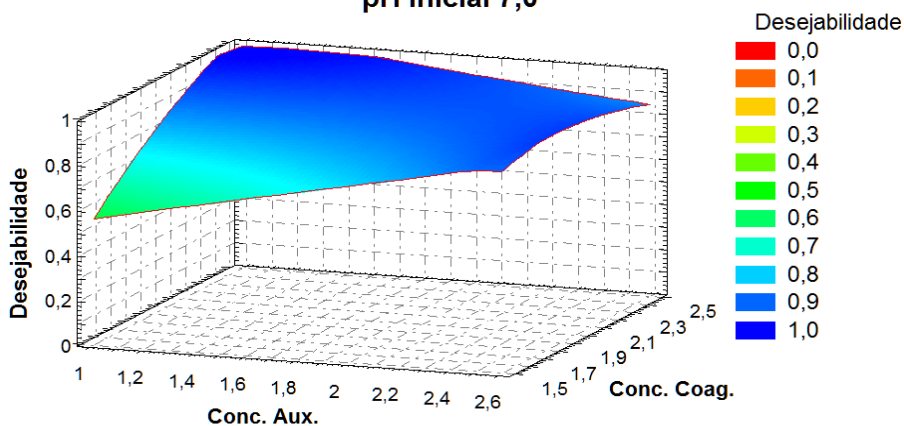


Figura 5 – Superfície de resposta para pH inicial igual a 7,0, a partir dos experimentos realizados segundo o planejamento composto central rotacional, minimizando a turbidez final e com pH final desejado igual a 7,0.

Superfície de Resposta Estimada pH inicial 7,5

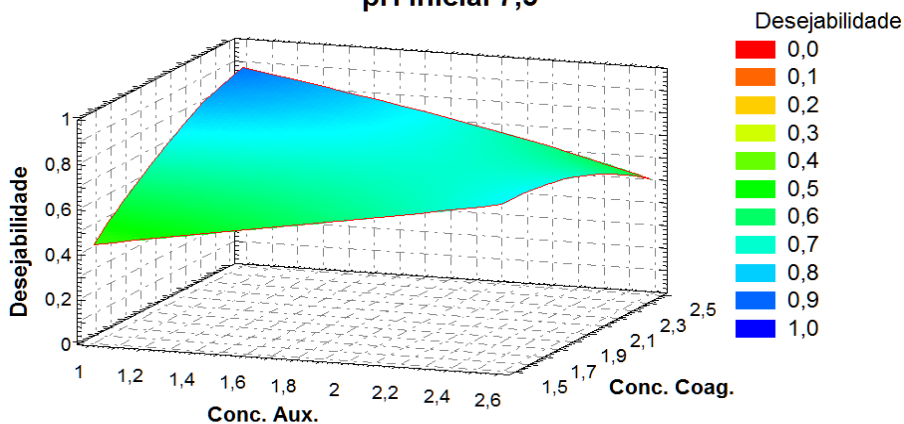


Figura 6 – Superfície de resposta para pH inicial igual a 7,5, a partir dos experimentos realizados segundo o planejamento composto central rotacional, minimizando a turbidez final e com pH final desejado igual a 7,0.

Pode-se observar que mesmo para volumes relativamente baixos de solução 1% de auxiliar de coagulação, na faixa de pH de 6,5 a 7,0, as desejabilidades totais são próximas da unidade para volumes de solução coagulante superiores a 2,0 mL. A partir da análise estatística os valores ótimos obtidos para a coagulação foram: pH inicial 7,0, volume de auxiliar igual a 1,0 mL e volume de coagulante igual a 2,4 mL.



6. CONCLUSÕES

O policloreto de alumínio, entre os coagulantes testados, foi o que apresentou maior eficiência na redução da turbidez da água do Açude Gavião. Também foi observado que mesmo para volumes relativamente baixos de auxiliar de coagulação, cerca de 1 mL, volumes de solução coagulante superiores a 2,0 mL são muito eficientes na redução da turbidez e manutenção da neutralidade da água, numa faixa de pH inicial entre 6,5 e 7,0.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC/CNPq/IFCE e o Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica Junior – PIBIC-Jr/CNPq/IFCE pelo apoio acadêmico ao projeto.

REFERÊNCIAS

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO CEARÁ. **Tratamento da água – CAGECE**. Disponível em: <<http://www.cagece.com.br/pesquisa-escolar/tratamento-da-agua>>. Acessado em 23/05/2011.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos da Qualidade e Tratamento de Água**. 2ª ed. Campinas: Átomo, 2008.

RICHTER, CARLOS A. **Água: Método e tecnologia de tratamento**, São Paulo: Editora Blucher, 2009.

RODRIGUES, L. O. **Análise e otimização de parâmetros na soldagem com arame tubular**. 2005. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Itajubá, 2005.

RODRIGUES, M. I.; EMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**. 1ª ed. Campinas: Casa do Pão Editora, 2005.

SANTOS, E. P. C. C.; TEIXEIRA, A. R.; ALMEIDA, C. P.; LIBÂNIO, M.; DE PÁDUA, V. L. Estudo da coagulação aplicada à filtração direta descendente. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 12, p. 361-370, 2007.