

I-069 - ANÁLISE DA APLICABILIDADE DA NBR 12216/1992 NO DIMENSIONAMENTO DE FLOCULADORES TUBULARES HELICOIDAIS

Danieli Soares de Oliveira^(1,2)

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo. Mestre e Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo. Professora do curso de Engenharia de Produção - Campus Cariacica - do Instituto Federal do Espírito Santo.

Maurício Sartori⁽²⁾

Engenheiro de Minas pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo. Doutorando em Engenharia Ambiental na Universidade Federal do Espírito Santo. Professor do curso técnico em Mineração e do Curso de Engenharia de Minas - Campus Cachoeiro de Itapemirim - do Instituto Federal do Espírito Santo.

Edmilson Costa Teixeira⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal da Bahia. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutor em Recursos Hídricos pela University of Bradford, Inglaterra. Professor do Programa de pós graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo

Endereço⁽¹⁾: Rodovia Governador José Sette, S/N, Itacibá, Cariacica, ES. CEP: 29145440 - Brasil - Tel: (27) 32461600 - e-mail: danieli@ifes.edu.br

Endereço⁽²⁾: Avenida Fernando Ferrari, S/N, Goiabeiras, Vitória, ES. CEP: 29060970 - Brasil - Tel: (27) 40092675

RESUMO

O objetivo deste trabalho é discutir as diretrizes descritas na NBR 12216/1992, referente ao projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público, de forma a avaliar se a mesma considera a utilização de Floculadores Tubulares Helicoidais (FTHs) como uma unidade de floculação factível para a composição de uma Estação de Tratamento de Água (ETA), dadas as suas características hidráulicas, hidrodinâmicas e geométricas. Atualmente este tipo de unidade tem sido utilizados com sucesso em projetos-piloto, protótipos e modelos reduzidos, demonstrando elevada eficiência com reduzidos tempos de detenção hidráulica; no entanto, não se verifica na literatura especializada a utilização deste tipo de unidade no tratamento de água para abastecimento público. Além disso, os valores indicados pela norma dos parâmetros balizadores do projeto de unidades de floculação (gradiente médio de velocidade e tempo de detenção hidráulico) diferem significativamente dos valores verificados em FTHs de alta eficiência, sugerindo que tais valores devem ser avaliados com cautela.

PALAVRAS-CHAVE: NBR 12216/1992, floculação, gradiente médio de velocidade, floculadores tubulares helicoidais, tempo de detenção hidráulico.

INTRODUÇÃO

Diversas estações de tratamento de água brasileiras encontram-se em situações de funcionamento onde o processo de clarificação é ineficiente, o que torna os processos posteriores onerosos, podendo inclusive influenciar negativamente na qualidade e na quantidade final de água potável produzida. A partir de tal constatação, faz-se necessária a proposição de novas tecnologias que permitam a obtenção de água em quantidade e qualidade necessárias e a custos baixos.

Uma nova metodologia de coagulação-floculação tem sido empregada em alguns laboratórios de pesquisa brasileiros visando a formação de flocos para posterior separação sólido-líquido utilizando tubos com enrolamento helicoidal. Essa metodologia, conhecida por Reator Gerador de Flocos [1,2] e Floculador Tubular Helicoidal (FTH) [3-6] tem sido empregada tanto para separação de fases via flotação como para sedimentação.

O presente trabalho contém estudos realizados no Laboratório de Hidráulica da Universidade Federal do Espírito Santo visando a clarificação de água produzida em laboratório com turbidez média de 50 uT utilizando Floculadores Tubulares Helicoidais acoplados a um sistema de decantação tradicional. Parâmetros

hidráulicos, geométricos e hidrodinâmicos foram avaliados visando comparar os valores de parâmetros de projeto descritos na NBR 12216/1992 [7]. Em especial, foram avaliados os parâmetros gradiente médio de velocidade (G) e tempo de detenção (t), considerado como parâmetros balizadores no projeto de flocluladores [8].

Desta forma, o objetivo geral deste trabalho é discutir as diretrizes descritas na NBR 12216/1992 para o projeto de unidades de floclulação visando à utilização de Flocluladores Tubulares Helicoidais em estações de tratamento de água para abastecimento público, com base em resultados de laboratório obtidos para 6 configurações de unidade.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a execução desta pesquisa foram utilizadas duas metodologias de obtenção de dados: Modelagem Física, para a obtenção da perda de carga (h_f) das unidades, para subsequente obtenção dos valores de Gradiente Médio de Velocidade, e Modelagem Fluidodinâmica Computacional, para a obtenção dos perfis de velocidade no interior das unidades.

Foram utilizados 6 Flocluladores Tubulares Helicoidais na análise, cujas características geométricas estão descritas na Tabela 1. Já a representação esquemática do circuito hidráulico utilizado e de um FTH genérico são apresentados na Figura 1 e Figura 2, respectivamente. As vazões de alimentação testadas foram 0,5 L.min⁻¹ (FTH2, FTH3), 1,0 L.min⁻¹ (FTH4 e FTH5) e 2L.min⁻¹ (FTH1 e FTH6).

Tabela 1 - Características geométricas dos Flocluladores Tubulares Helicoidais avaliados neste trabalho

FTH	Diâmetro do tubo que compõe o reator (d)	Diâmetro de enrolamento do tubo (D)	Distância entre voltas (h)	Comprimento da unidade (L)
1	5/8"	10 cm	2 cm	7,58 m
2	3/8"	5 cm	1,35 cm	21,07 m
3	1/2"	30 cm	10 cm	11,84 m
4	3/8"	10 cm	1,35 cm	10,53 m
5	5/8"	10 cm	2 cm	9,47 m
6	1/2"	5 cm	2 cm	11,84 m

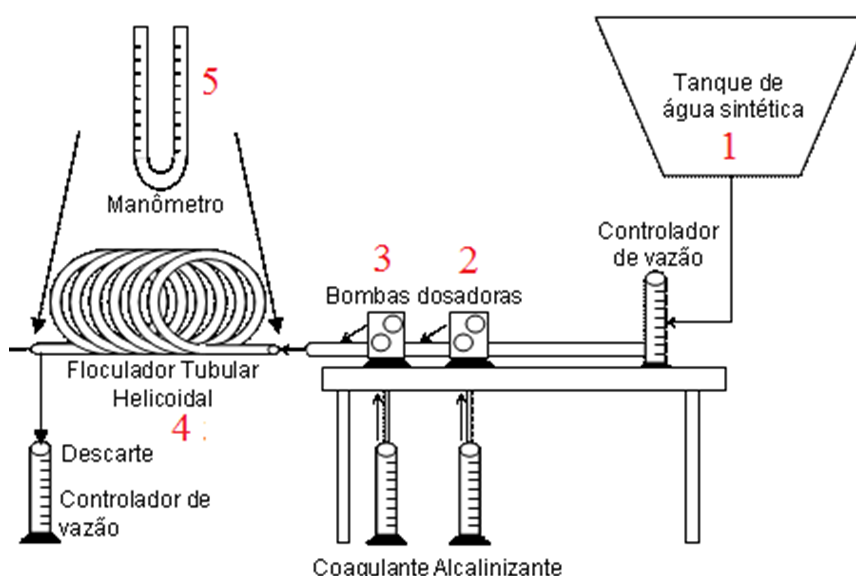


Figura 1 - Representação esquemática do circuito hidráulico utilizado.

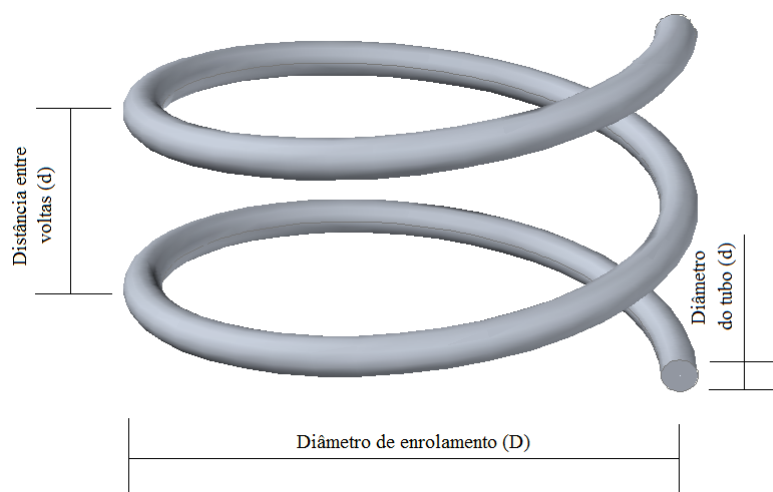


Figura 2 - Representação esquemática de um Floculador Tubular Helicoidal com a descrição de suas principais características geométricas

Nos seis FTHs descritos na Tabela 1 foram avaliados parâmetros de projetos descritos na NBR 12216/1992 para o projeto de floculadores, tais como gradiente médio de velocidade (G), tempo teórico de detenção (t) e velocidade do escoamento (V_E).

O tempo teórico de detenção (Equação 1) foi obtido por meio da razão entre o volume do FTH avaliado e a vazão de alimentação. O volume de cada reator (Equação 2) foi obtido pelo produto entre a área da seção transversal e o comprimento da respectiva unidade.

$$t = \frac{V}{Q}$$

Equação 1

$$V = \left(\pi \cdot \frac{d^2}{4} \right) \cdot L$$

Equação 2

O gradiente médio de velocidade foi obtido por meio da Equação 3, que utiliza parâmetros intrínsecos ao fluido avaliado (peso específico - γ e viscosidade - μ) e parâmetros hidráulicos das unidades (tempo teórico de detenção e perda de carga). Destaca-se que a perda de carga foi medida utilizando um manômetro acoplado às seções de entrada e saída da unidade de floculação.

$$G = \sqrt{\frac{\gamma \cdot h_f}{\mu \cdot t}}$$

Equação 3

A velocidade do escoamento foi obtida por meio de Modelagem Fluidodinâmica Computacional, de forma a se obter um perfil de velocidade na seção transversal do tubo e assim verificar se estes valores de velocidade estão de acordo com o preconizado pela NBR 12216/1992. Esta modelagem foi realizada como o *software* comercial CFX, empregando os parâmetros apresentados em [9], que realizaram a calibração e validação do referido modelo.

Destaca-se que os Floculadores Tubulares Helicoidais avaliados neste trabalho foram estudados em [5,6], que apresentaram resultados de eficiência de remoção de turbidez bastante satisfatórios (superiores a 85%) quando acoplado a um sistema de decantação. Estes resultados indicam que estas unidades são uma opção interessante para a floculação.

RESULTADOS

Uma análise preliminar dos resultados obtidos para o FTH1 e FTH2 mostra que os valores de velocidade da água no interior das unidades, obtidos por meio de Modelagem Fluidodinâmica Computacional, estão em sua maioria dentro da faixa estabelecida pela NBR 12216/1992. No item 5.9.6.1 da referida norma é definida a faixa de velocidade da água ao longo dos canais: entre 10 cm.s^{-1} e 30 cm.s^{-1} ; nos perfis de velocidade obtidos numa seção transversal representativa do escoamento verifica-se uma pequena porção da seção transversal, próxima a parte interna do enrolamento do tubo (parte inferior da figura), com velocidades inferiores a 10 cm.s^{-1} . Este resultado pode ser verificado por meio dos perfis de velocidade dos reatores FTH1 e FTH2, apresentada na Figura 3.

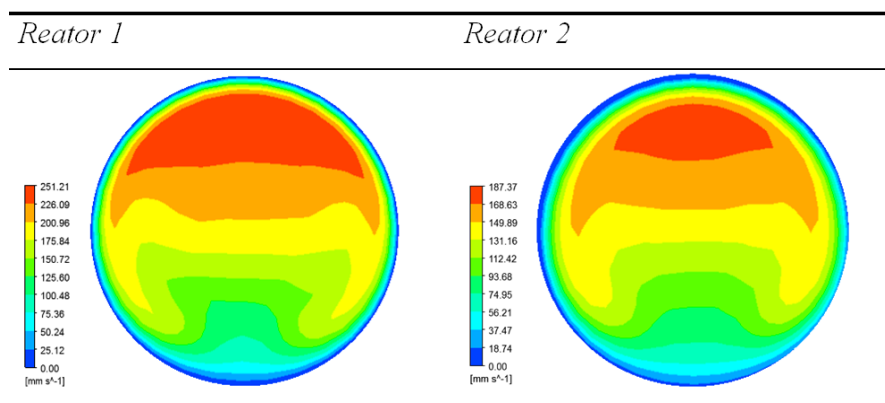


Figura 3 - Perfis de velocidade na seção transversal das unidades. Reatores FTH1 e FTH2.

Mesmo com os valores de velocidade sendo compatíveis em sua maioria com o indicado pela NBR 12216/1992, os valores dos parâmetros hidráulicos gradiente médio de velocidade e tempo teórico de detenção, considerados como balizadores no projeto de floculadores não são compatíveis com o que é descrito na referida norma: os valores de gradiente médio de velocidade obtidos para estas duas unidades são significativamente superiores aos indicados na referida norma; além disso, os tempos teóricos de detenção verificados são até uma ordem de grandeza inferiores aos descritos na NBR 12216/1992, indicando uma incompatibilidade entre os resultados verificados em FTHs de alto desempenho e os valores típicos descritos na norma.

No entanto, a norma descreve, no item 5.9.6 que "Nos floculadores hidráulicos, a agitação deve ser obtida por meio de chicanas ou outros dispositivos direcionais de fluxo que confirmem à água movimento horizontal, vertical ou helicoidal". Ou seja, teoricamente, a norma prevê o uso de modificadores de escoamento que garantam um escoamento helicoidal, tais como os Floculadores Tubulares Helicoidais. No entanto, uma análise na magnitude dos principais parâmetros hidráulicos intervenientes na floculação dos FTHs avaliados, mostra que estes não se enquadram na referida norma, mesmo sendo todos de excelente desempenho na separação sólido-líquido.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A NBR 12216/1992 não contempla as características hidráulicas verificadas em Floculadores Tubulares Helicoidais de alto desempenho. Nestas unidades, o Gradiente Médio de Velocidade é significativamente superior ao indicado e os tempos teóricos de detenção são até uma ordem de grandeza inferiores aos preconizados na referida norma.

Sugere-se uma avaliação cautelosa dos valores típicos de parâmetros hidráulicos e hidrodinâmicos para unidade de floculação de escoamento helicoidal, visto que os mesmos não condizem com as características verificadas em FTHs de alto desempenho, sendo inviável a utilização dos mesmos para o projeto destas unidades de floculação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CARISSIMI, E. Reator Gerador de Flocos – RGF: Concepção e Desenvolvimento Básico. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
2. CARISSIMI, E. Desenvolvimento do Reator Gerador de Flocos (RGF): aspectos teóricos e aplicações no tratamento e reúso de águas e efluentes. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.
3. PELISSARI, L.M.T. Influência de parâmetros de projeto no desempenho do floculador tubular helicoidal aplicado ao tratamento de água de abastecimento. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.
4. SARTORI, M. Caracterização Hidrodinâmica de Floculadores Tubulares Helicoidais por Meio de Simulação Numérica Tridimensional. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.
5. SILVA, R.C.D. Avaliação da Influência da geometria e Dinâmica do escoamento de Floculadores Tubulares Helicoidais na Redução de Turbidez, utilizando Modelagem Física. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2007.
6. OLIVEIRA, D.S.D. Avaliação da Eficiência de Remoção de Turbidez em função de variações no comprimento de Floculadores Tubulares Helicoidais. UFES, Vitória, 2008.
7. BRASIL. NBR 12216 - Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, p 18, 1992.
8. LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. Editora átomo: Campinas, São Paulo, Vol. 3º Edição, 2010.
9. SARTORI, M.; OLIVEIRA, D.S.; TEIXEIRA, E.C.; RAUEN, W.B.; REIS, N.C. CFD Modelling of helically coiled tubes for velocity gradient assessment. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering Vol. 37, 187-198, 2015.