

INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE PARTÍCULAS PRIMÁRIAS NAS CONSTANTES DE AGREGAÇÃO E RUPTURA

KATIA MARIA HIPOLITO HESPANHOL^{1*}, SIDNEY SECKLER FERREIRA FILHO²

¹ Doutoranda em Engenharia Civil, PHA/USP, São Paulo-SP, katiannah@usp.br

² Doutor em Engenharia Civil, Prof. Associado da Escola Politécnica, USP, São Paulo-SP, ssfilho@usp.br

RESUMO. Esta pesquisa propõe-se a investigar a influência da concentração de partículas primárias presentes na água bruta na eficiência do processo de floculação e nas constantes cinéticas de agregação (K_A) e ruptura (K_B). Para isso foi utilizado o modelo de Argaman e Kaufman para a cinética de floculação de um reator em batelada. A água bruta sintética foi feita com a adição de caulinita, de tal forma a obter os valores de turbidez pré-determinados de 15 UNT, 50 UNT e 100 UNT, representando águas de baixa, média e alta turbidez, e o coagulante utilizado foi o sulfato de alumínio. Para todas as dosagens de coagulante empregadas, com o aumento da concentração de partículas primárias houve uma diminuição significativa da constante de ruptura, o que resulta uma melhora na eficiência do processo, comprovando assim a importância deste parâmetro na cinética de floculação.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de água, floculação, cinética.

INFLUENCE OF PRIMARY PARTICLES CONCENTRATION ON AGGREGATION AND RUPTURE CONSTANTS

ABSTRACT. This research proposes to investigate the influence of primary particle concentration present in raw water on the efficiency of the flocculation process and in the kinetics constants of aggregation (K_A) and rupture (K_B). Argaman and Kaufman's model for the kinetics of flocculation of a batch reactor was used to this purpose. With the adding of kaolinite, raw water was synthesized, in such a way to obtain the predetermined turbidity values of 15 UNT, 50 UNT and 100 UNT, representing waters of low, medium and high turbidity, and the coagulant used was aluminum sulfate. For all coagulant dosages employed, with the increase of primary particles concentration, a significant decrease in the rupture constant occurred, resulting in an efficiency improvement of the process, proving so, the importance in this parameter in kinetic of flocculation.

KEYWORDS: Water treatment, flocculation, kinetic.

INTRODUÇÃO

O estudo da cinética de floculação é de grande importância na correta compreensão dos mecanismos de floculação, que tem sua eficiência influenciada por diversos parâmetros como velocidade de sedimentação dos flocos, dosagem de coagulante, gradiente de velocidade e concentração de partículas primárias.

O uso da modelação matemática relativa à cinética da floculação visa estimar o desempenho da mesma considerando os fenômenos de agregação e ruptura. Embora o conhecimento científico do processo tenha avançado de forma significativa a partir dos trabalhos experimentais efetuados por Argaman & Kaufman (1970), alguns aspectos que dizem respeito à modelação matemática do processo ainda permanecem obscuros.

Uma comparação de modelos matemáticos que descrevem a cinética de floculação de uma suspensão foi feita por Berlin & Kislenco (1995). Tais modelos proporcionam a possibilidade de calcular as relações do número de flocos no sistema e do número de partículas primárias do floco com o tempo e com a superfície das partículas cobertas com floculante. Sekiou & Kellil (2009) estudaram o efeito da natureza da partícula dispersa na força do floco e a evolução das constantes cinéticas K_A e K_B utilizando várias partículas suspensas minerais e sintéticas. Uma das conclusões foi que com a adição de matéria orgânica, a constante de ruptura diminui. Yang et al. (2013), utilizaram um novo método

para estudar a cinética de floculação de suspensões coloidais para diferentes tipos de flocculantes, combinando o modelo de Smoluchowski com a teoria fractal e concluíram que este método de cálculo é universal e mais simples de se operar.

Devido a importância do assunto, o objetivo do presente trabalho é investigar a influência da concentração de partículas primárias presentes na água bruta na eficiência do processo de floculação e nas constantes cinéticas de agregação (K_A) e ruptura (K_B).

MATERIAL E MÉTODOS

A água bruta sintética foi feita com a adição de caulinita, de tal forma a obter os valores de turbidez pré-determinados de 15 UNT, 50 UNT e 100 UNT, representando águas de baixa, média e alta turbidez, respectivamente. O modelo proposto para o estudo da cinética de floculação baseia-se em experimentos conduzidos em modo de batelada (ensaios de “jar-test”) e os parâmetros obtidos, a partir desses ensaios podem ser extrapolados para projetos de sistemas contínuos. Foram realizados ensaios de “jar test” tendo a dosagem de coagulante e o gradiente médio de velocidade constantes, variando a concentração de partículas primárias. Durante a condução do ensaio foi variado o tempo de floculação em cada jarro.

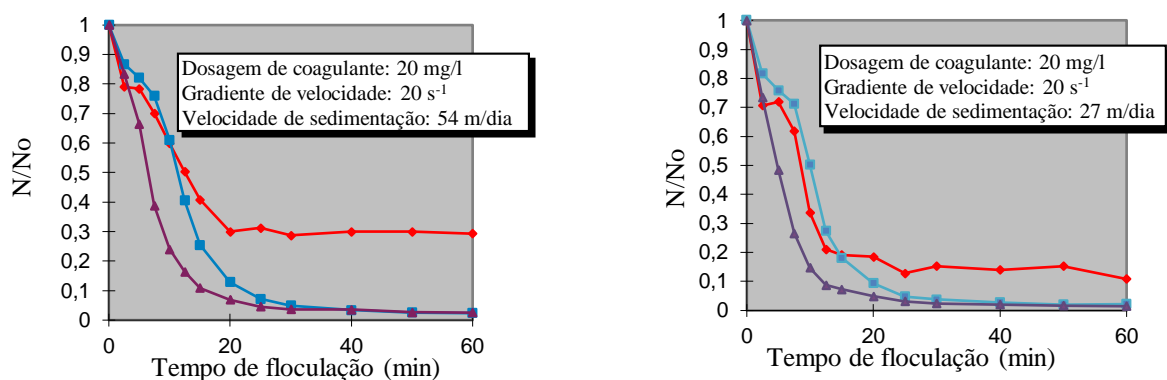
O coagulante utilizado foi o sulfato de alumínio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$. O pH em todos os ensaios de coagulação-floculação foi ajustado para valores situados entre 6,0 e 6,5. Para cada água bruta característica (baixa, média e alta turbidez) foram executados ensaios de coagulação-floculação com dosagens de coagulante de 20, 30, 40 60 e 80 mg/L e com gradientes de velocidade de 20, 30, 40 e 60 s^{-1} . Uma vez encerrada a floculação em cada jarro as amostras foram coletadas após tempos de sedimentação iguais a 2 minutos e 4 minutos, de modo a representar taxas de escoamento superficial aproximadamente iguais a 27 $m^3/m^2.dia$ e 54 $m^3/m^2.dia$.

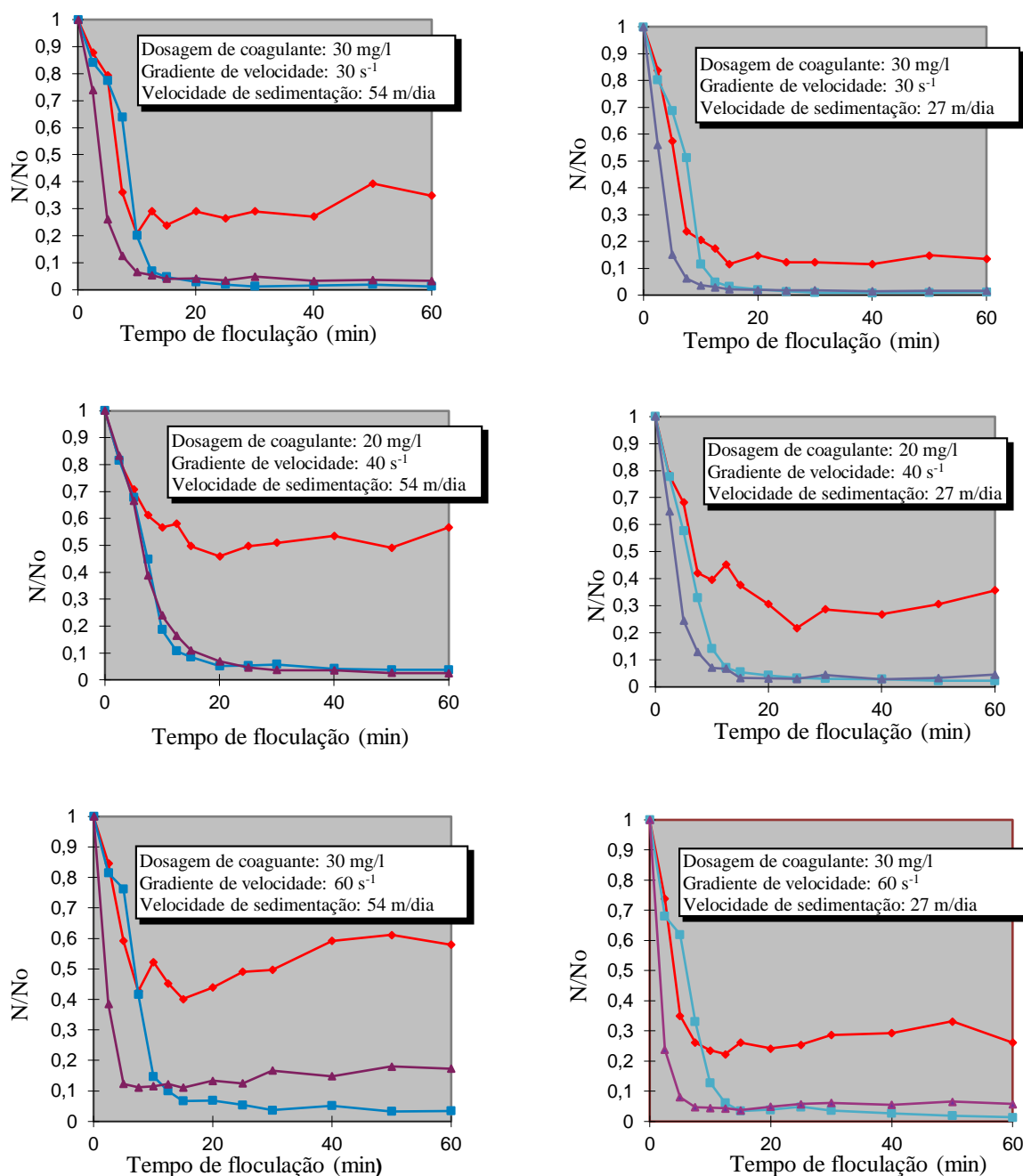
O cálculo das constantes de agregação e ruptura foi realizado através da utilização de modelo de otimização numérica, onde o princípio é a confrontação dos resultados experimentais com os resultados calculados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta os resultados da relação entre a turbidez da água decantada e a turbidez da água bruta pelo tempo de floculação nos ensaios de “jar-test” para as águas de baixa, média e alta turbidez inicial.

Figura 1. Relação entre a turbidez da água decantada e água bruta pelo tempo de floculação.





(♦: Turbidez da água bruta=15UNT; ■: Turbidez da água bruta= 50UNT; ▲: Turbidez da água bruta = 100UNT)

Analisando-se a Figura 1, pode-se observar que quanto maior a turbidez inicial da água bruta, mais eficiente será o processo de floculação, dado que a dosagem de coagulante e o gradiente médio de velocidade permanecem constantes. Para que seja possível efetuar esta análise da eficiência do processo de floculação para águas com diferentes valores de turbidez inicial, o que está comparando-se são os valores de n_p/n_0 , que nada mais é do que um valor normalizado.

Do ponto de vista operacional, é mais objetivo que a análise seja feita em termos de turbidez da água decantada e, neste caso, em muitos resultados obtidos, os valores de turbidez da água decantada para ensaios executados com água de baixa turbidez resultariam menores do que quando comparados com resultados de “jar-test” obtidos para águas de média e alta turbidez.

O efeito da concentração de partículas primárias na eficiência do processo de floculação também pôde ser evidenciado nos resultados de turbidez da água decantada obtidos para velocidades

de sedimentação igual a 27 m/dia. Como era de se esperar, o efeito do valor de n_0 na cinética de agregação de partículas coloidais é mais significativo quanto maior for a velocidade de sedimentação.

Com base nos resultados típicos apresentados na Figura 1, também foi notado que para tempo de floculação superior a 30 minutos, não houve uma diferença significativa na eficiência de floculação para a água de média turbidez quando comparada com a água de alta turbidez. Evidentemente, quando se compara os resultados destes com os apresentados pela água de baixa turbidez, a eficiência foi significativa e, muito maior quanto maior for a concentração de partículas primárias na água bruta.

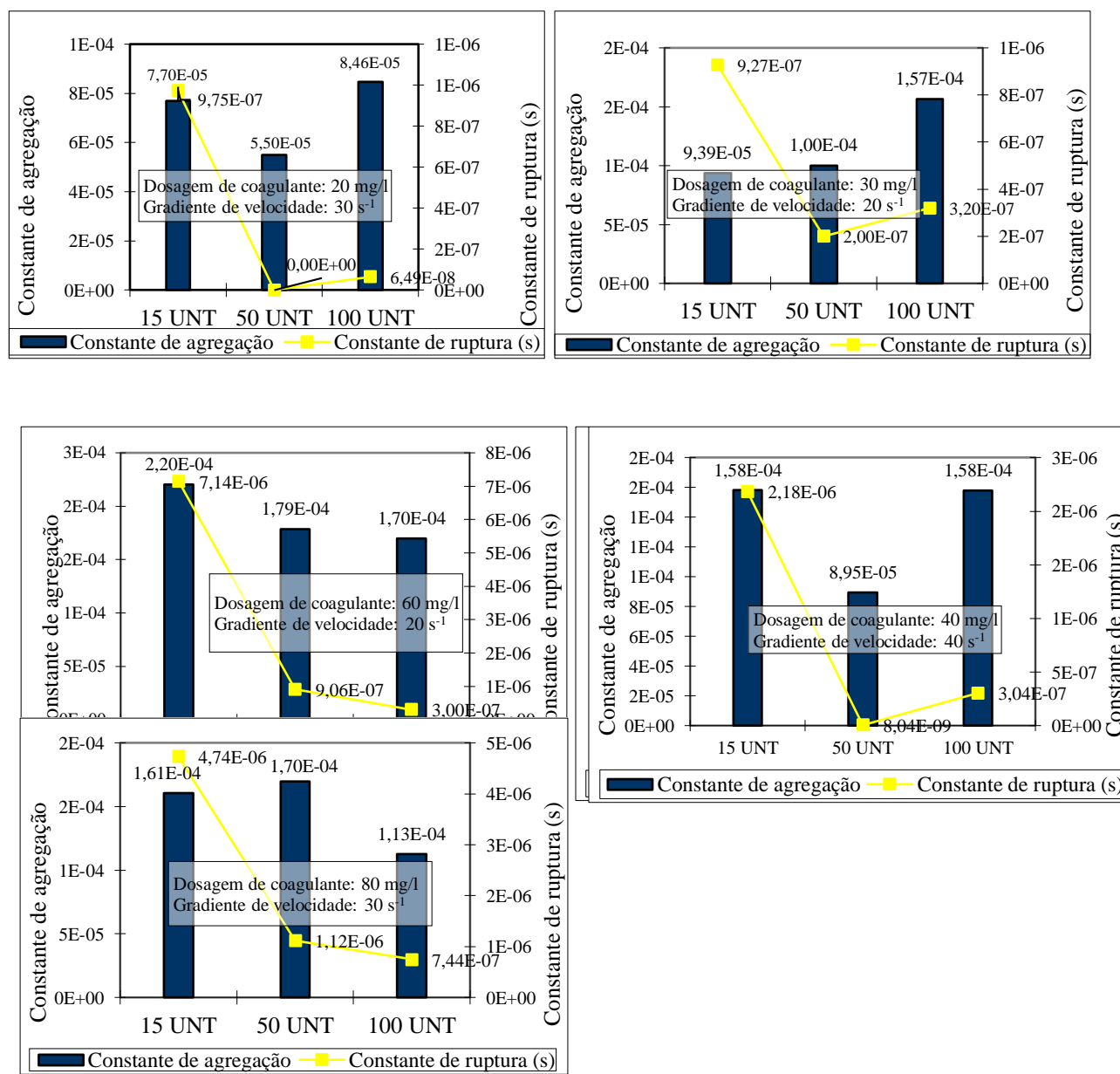
No entanto, para tempo de floculação inferior a 30 minutos, pode ser observada a grande influência da concentração de sólidos em suspensão totais na eficiência da cinética de agregação de partículas coloidais, especialmente quando comparados os valores obtidos para águas de média e alta turbidez.

Após estas considerações, fica evidente a importância da concentração de partículas primárias na eficiência do processo de floculação, não apenas na agregação como também na ruptura dos flocos, portanto este parâmetro deve ser considerado na formulação do equacionamento da cinética do processo de floculação.

Apresentação e análise das constantes de agregação e ruptura

A Figura 2 apresenta alguns valores típicos de constantes de agregação e ruptura em função da turbidez da água bruta para ensaios de coagulação-floculação conduzidos com iguais dosagens de coagulante, gradiente médio de velocidade e velocidade de sedimentação. Para cada ensaio de floculação foram determinadas as constantes de agregação e ruptura para águas de baixa, média e alta turbidez e para velocidade de sedimentação igual a 3,5 cm/min.

Figura 2. Constantes de agregação e ruptura em função da turbidez da água bruta.



Conforme pode ser observado na Figura 2, para todas as dosagens de coagulante empregadas, com o aumento da turbidez da água bruta houve uma diminuição significativa da constante de ruptura. Embora também tenha sido observada uma variação na constante de agregação, esta foi muito pequena quando comparada numericamente com as variações na constante de ruptura.

É interessante observar que a variação na constante de ruptura não ocorreu linearmente com o aumento da turbidez da água bruta. A maior redução na constante de ruptura foi observada da água bruta de baixa turbidez para a água bruta de média turbidez.

As implicações práticas de tais conclusões são extremamente importantes na operação de ETA's pois explica, em parte, a maior dificuldade na operação do processo de floculação em ETA's que tratam águas de baixa turbidez, cujos mananciais são reservatórios com alto tempo de detenção hidráulico, muitas vezes com elevado grau de eutrofização. Muitas vezes, a correta definição e escolha dos gradientes de velocidade nas câmaras de floculação torna-se uma tarefa extremamente difícil dada a fragilidade dos flocos previamente formados, o que acaba exigindo muitos cuidados por parte do corpo operacional da ETA.

Esta fragilidade está justamente associada ao baixo valor da massa específica do floco que é formado por partículas originalmente presente na água bruta e pelo hidróxido metálico formado quando da introdução do coagulante. Caso estas partículas coloidais originárias da água bruta sejam de origem inorgânica (siltes, argilas, etc.), mantido constante a dosagem de coagulante, a massa específica do floco formado tenderá a ser maior quando comparada com partículas que sejam formadas principalmente por algas.

CONCLUSÃO

Com o aumento da turbidez da água bruta de 50 UNT para 100 UNT, a variação da constante de ruptura ocorreu apenas de forma marginal, o que significa dizer que, embora esta seja função da turbidez da água bruta, a sua relação não deve ser simplesmente linear, conforme sugerido por ARGAMAN et al. (1970).

Pelo fato da variação da constante de agregação em função da turbidez da água bruta ter sido muito pequena, pode-se dizer que não há uma dependência direta entre ambos os parâmetros, o que está de acordo com o preconizado por ARGAMAN et al. (1970).

Para todas as dosagens de coagulante empregadas, com o aumento da turbidez da água bruta houve uma diminuição significativa da constante de ruptura, o que resulta em um aumento na eficiência do processo de floculação. Isto comprova a importância da concentração de partículas primárias na eficiência do processo de floculação, portanto este parâmetro deve ser considerado na formulação do equacionamento da cinética do processo de floculação.

REFERÊNCIAS

- Argaman, Y.A., & Kaufman, W.J. Turbulence and flocculation. *Journal of Environmental Engineering*, p.223-241, 1970.
- Berlin, Ad.A., Kislenko, V.N. Kinetic models of suspension flocculation by polymers. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v.104, p.67-72, 1995.
- Harris, H.S., Kaufmann, W.J., & Krone, R.B. Orthokinetic flocculation in water purification. *Journal of Environmental Engineering*, p. 95-111, 1966.
- Hudson, H.E. Physical aspects of flocculation. *Journal of American Water Works Association*, p. 885-892, 1965.
- Sekiou, F.; Kellil, A. Effect of organic and mineral matters on kinetic and performance of flocculation. *Desalination*, v 249, p.891–894, 2009.
- Yang, Z.; Hu Yan; Ziwen Jiang; Xin Huang; Haibo Li; Aimin Li; Rongshi Cheng. A new method for calculation of flocculation kinetics combining Smoluchowski model with fractal theory. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects*, v.423, p.11– 19, 2013.