**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**

ELOÁ CRISTINA FIGUEIRINHA PELEGRINO

**EMPREGO DE COAGULANTE À BASE DE TANINO EM
SISTEMA DE PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE DE REATOR
UASB POR FLOTAÇÃO.**

São Carlos – SP

2011

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM HIDRÁULICA E
SANEAMENTO

EMPREGO DE COAGULANTE À BASE DE TANINO EM SISTEMA DE
PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE DE REATOR UASB POR
FLOTAÇÃO

ELOÁ CRISTINA FIGUEIRINHA PELEGRINO

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Hidráulica e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Marco Antônio P. Reali

SÃO CARLOS
2011

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

P381e

Pelegrino, Eloá Cristina Figueirinha

Emprego de coagulante à base de tanino em sistema de pós-tratamento de efluente de reator UASB por flotação / Eloá Cristina Figueirinha Pelegrino ; orientador Marco Antonio Penalva Reali. -- São Carlos, 2011.

Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.

1. Tratamento de esgoto sanitário. 2. Pós-tratamento de efluente de reator USSB por flotação. 3. Coagulante à base de tanino. 4. Polímero. 5. Flotação. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): Bacharel **ELOÁ CRISTINA FIGUEIRINHA PELEGRINO**.

Dissertação defendida e julgada em 03/06/2011 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Dr. **MARCO ANTONIO PENALVA REALI - (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP) *Aprovado*

Prof.^a. Dr.^a. **MÁRCIA HELENA RISATTO ZAMARIOLLI DAMIANOVIC**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP) *Aprovada*

Prof. Dr. **CARLOS MAGNO DE SOUZA VIDAL**
(Universidade Estadual do Centro-Oeste/UNICENTRO) *APROVADA*

Prof. Titular **EDSON CEZAR WENDLAND**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Hidráulica e Saneamento.

Prof. Associado **PAULO CÉSAR LIMA SEGANTINE**
Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC

**Este trabalho é dedicado a minha
amada família, em especial aos
meus pais, irmãos e avós.**

AGRADECIMENTOS

À Deus por estar sempre presente em minha vida e me iluminar ao longo de mais essa importante etapa de minha vida.

Aos meus pais, Edimauro e Eliana, pelo amor incondicional e amizade, apoio a minha educação e formação e também realização de meus sonhos. Aos meus irmãos, Eloísa e Eduardo, “maninhos” amados, pelo amor, carinho e companheirismo. A eles todo o meu amor.

Ao meu orientador, Prof. Marco Antonio Penalva Reali pela confiança depositada, pela paciência e inúmeros ensinamentos.

Aos professores Carlos M. de S. Vidal e Márcia Helena R. Z. Damianovic por aceitarem participar da banca examinadora.

À banca de qualificação Dra. Leila J. Patrizzi e Prof. Eduardo C. Pires pelas sugestões e valiosas contribuições.

À Maria Teresa, técnica do LATAR, pelo auxílio na realização das análises químicas das incontáveis amostras, pela amizade e pelos animados momentos de descontração.

Aos amigos do Latar Gabriel, Davi, André, Irene e Lucas (Marcon), pela amizade e agradáveis momentos compartilhados. Em especial ao amigo, Marcon pela ajuda prestada nas análises químicas de algumas amostras.

À querida amiga Aline, pelo companheirismo e amizade sincera consolidada desde a graduação, também pelo auxílio durante a realização de meus ensaios e redação da dissertação. Às amigas Solange, Beatriz, Ludimila e Taís, pela ótima amizade e excelentes momentos de confraternização.

Aos entes queridos, Vó Maria e Vô Chico, Tio Edson, Tia Sandra, Tio Tico e Guilherme, pelo carinho, amor e incentivo.

Aos amigos de Pres. Venceslau, Kátia, Natália, Thiago, Manoela e Camila, pela amizade, inúmeras risadas e inesquecíveis momentos passados juntos.

Aos amigos/irmãos da Unicentro, em especial Lís Camila, Suelen, Heloísa, Vivian, Carol, Marlon, Rafael, Marcelo, Lucas (Corbs), Ricardo (Smigol) e Luís (Gralha), pelo companheirismo e pela amizade que levarei por toda a vida.

Aos professores da Engenharia Ambiental da Unicentro, em especial Jeanette, Adelenia, Cacá, Hélio, Waldir e Rafaello pelo incentivo, exemplo e amizade.

Aos Técnicos do Laboratório de Saneamento, Paulo e Júlio e a Técnica do Laboratório Biotace, Adriana pela colaboração na realização de análises.

Aos funcionários do SHS, em especial a Sá, Pavi e Rose pelo auxílio prestado e pela simpatia.

Aos funcionários da ETE Monjolinho pelo auxílio durante as inúmeras coletas do efluente, objeto desta pesquisa.

À AcquaQuímica, pelo fornecimento das amostras do coagulante tanino e à LabTAE pelo fornecimento dos polímeros utilizados nos ensaios.

Por fim, agradeço ao CNPq pela bolsa de estudos concedida.

***“Cada um de nós compõe a sua historia
Cada ser em si
Carrega o dom de ser capaz
De ser feliz”***

***(Tocando em frente – Almir
Sater e Renato Teixeira)***

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	11
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	13
1. INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVO	19
3. REVISÃO DA LITERATURA	20
3.1 COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO	20
3.2 FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO (FAD)	21
3.3 APLICAÇÃO DA FAD NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS COMO PÓS-TRATAMENTO DE REATORES ANAERÓBIOS	23
3.4 TANINOS VEGETAIS	30
3.5 COAGULANTE À BASE DE TANINO	32
4. MATERIAL E MÉTODOS	36
4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	36
4.2 ENSAIOS COM FLOTATESTES	39
4.3 REAGENTES UTILIZADOS	40
4.4 PARÂMETROS FIXADOS	42
4.5 ROTEIRO DOS ENSAIOS	42
4.5.1 DESCRIÇÃO FASE 1	43
4.5.2 DESCRIÇÃO DA FASE 2	46
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
5.1 RESULTADOS DA FASE 1	49
5.1.1 RESULTADOS FASE 1A (COLETA DE EFLUENTE ÀS 8:00 H)	50
5.1.1.1 Ensaio 1, 3 e 5 (Dosagens de coagulante de 0 a 25 mg.L ⁻¹)	50
5.1.1.1.1 Caracterização do efluente do reator UASB durante as baterias de ensaio 1, 3 e 5	50
5.1.1.1.2 Resultados das baterias de ensaios 1, 3 e 5 realizados com o floateste	51
5.1.1.1.2 Bateria de Ensaio 2, 4 e 6	55
5.1.1.1.2.1 Caracterização do efluente do reator UASB durante as baterias de ensaio 2, 4 e 6.	56
5.1.1.1.2.2 Resultados das baterias de ensaios 2, 4 e 6 realizadas com o floateste	57
5.1.1.1.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS ENCONTRADOS NAS BATERIAS DE ENSAIO 1, 2, 3, 4, 5 E 6.	61
5.1.2 RESULTADOS FASE 1B (COLETA DE EFLUENTE ÀS 14:00 H)	63
5.1.2.1 Bateria de Ensaio 7 (dosagens de coagulante de 0 a 25 mg.L ⁻¹ e polímero aniônico)	63

5.1.2.1.2 Resultados da bateria de ensaio 7 realizado com o Flotatest	65
5.1.2.2 Bateria de Ensaio 8 (dosagens de coagulante entre 40 e 170 mg.L ⁻¹ e polímero aniônico)	72
5.1.2.2.2 Resultados da bateria de ensaio 8 realizados com o Flotatest	73
5.1.2.3 Bateria de Ensaio 9 (dosagens de coagulante entre 0 e 25 mg.L ⁻¹ e polímero catiônico)	81
5.1.2.3.2 Resultado da bateria de Ensaio nº9 realizados com o Flotatest	83
5.1.2.4 Bateria de Ensaio 10 (dosagem de coagulante de 40 a 170 mg.L ⁻¹ e polímero catiônico)	91
5.1.2.4.2 Resultados da bateria de ensaio nº10 realizada com Flotatest	93
5.1.2.5 Bateria de Ensaio nº11 (dosagens de coagulante de 0 a 25 mg.L ⁻¹ e polímero não-iônico)	101
5.1.2.5.2 Resultados da bateria de ensaio nº11 realizada com Flotatest	102
5.1.2.6 Bateria de Ensaio 12 (dosagem de coagulante de 40 a 170 mg.L ⁻¹ e polímero não-iônico)	110
5.1.2.6.1 Caracterização do efluente do reator UASB referente a amostra utilizada para realização da bateria de ensaio nº12	110
5.1.2.6.2 Resultados da bateria de ensaio nº12 com o Flotatest	111
5.2 RESULTADOS DA FASE 2	119
5.2.1 BATERIA DE ENSAIO 13 (DOSAGEM DE COAGULANTE DE 65 A 105 MG.L ⁻¹ E POLÍMERO NÃO-IÔNICO)	120
5.1.2.2.1 Caracterização do efluente do reator UASB referente à amostra utilizada para realização da bateria de ensaio nº13	120
5.1.2.2.2 Resultados da bateria de Ensaio nº13 com o Flotatest	121
5.2.1 BATERIA DE ENSAIO 14 (DOSAGEM DE COAGULANTE DE 65 A 105 MG.L ⁻¹ E POLÍMERO ANIÔNICO)	128
5.1.2.2.1 Caracterização do efluente do reator UASB referente a amostra utilizada para realização da bateria de ensaio nº14	128
5.1.2.2.2 Resultados da bateria de ensaio nº14 com o Flotatest	129
5.2.1 BATERIA DE ENSAIO 15 (DOSAGEM DE COAGULANTE DE 55 A 105 MG.L ⁻¹ E POLÍMERO CATIÔNICO)	135
5.1.2.2.2 Resultados da bateria de ensaio nº 15 com o Flotatest	136
5.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS COM FLOTATEST PARA A BATERIA DE ENSAIOS 13, 14 E 15	142
 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	 146
 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 148
 ANEXO (REGISTRO FOTOGRÁFICO)	 153

RESUMO

PELEGRINO, E. C. F. (2011). Emprego de coagulante à base de tanino em sistema de pós-tratamento de efluente de reator UASB por flotação. 2011. p. Dissertação (Mestrado), Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 155 p. São Carlos, SP.

O presente trabalho teve como objetivo principal a avaliação da eficiência de remoção de carga orgânica, fósforo e sólidos em suspensão de sistema de flotação tratando esgoto sanitário pré-tratado em reatores UASB, da ETE Monjolinho da cidade de São Carlos/SP, e coagulado com tanino associado ou não a polímeros sintéticos. Os ensaios com variação de dosagem de coagulante Tanino e polímeros (polímero catiônico, polímero não-iônico e polímero aniônico) foram realizados em escala de laboratório, com o uso do equipamento flotatest. Em todos os ensaios foram fixados os valores de gradiente de velocidade na mistura rápida (800 s^{-1}) e na floculação (90 s^{-1}), ao tempos de detenção na mistura rápida (20 s) e na floculação (15 min) e, a pressão de saturação 5 Bar e a razão de recirculação (17%). Durante os ensaios com unidade de flotação em escala de bancada foram avaliados três valores de velocidades de flotação: $12,0\text{ cm.min}^{-1}$, $16,0\text{ cm.min}^{-1}$ e $20,0\text{ cm.min}^{-1}$. Os ensaios foram divididos em duas fases: a fase 1 teve como objetivo analisar a resposta do sistema de flotação com o emprego do coagulante Tanino no tratamento do efluente do reator UASB da ETE Monjolinho (fase 1A) e também determinar as duas dosagens do coagulante Tanino mais adequadas para o tratamento do efluente de UASB da ETE Monjolinho para cada polímero testado (fase 1B). As fases 1A e 1B foram realizadas com efluente coletado às 8:00 h e 14:00 h, respectivamente. A fase 2 teve como objetivo a busca da dosagem ótima de tanino dentro de uma faixa mais estreita de valores, assim como a verificação do melhor tipo e dosagem de polímero sintético (não-iônico, aniônico e catiônico) para ser associado ao coagulante tanino. Na fase 1A, verificou-se que a flotação foi efetiva para remoção de cor aparente mesmo para dosagem nula de coagulante Tanino. Quanto à turbidez, verificou-se efeito marcante da adição de dosagem crescente de coagulante no aumento da eficiência de remoção desse parâmetro. Após a obtenção dos resultados da fase 1B, foram escolhidas para a fase 2 as duas menores dosagens de coagulante capazes de promover redução da turbidez em pelo menos 85%. Além destas duas dosagens, foram avaliados na fase 2 outras 3 dosagens compreendidas entre elas. Sendo assim, na fase 2 foram estudadas as doses de 65, 75, 85, 95 e 105 mg.L^{-1} de coagulante, cada qual associada a seis dosagens de cada um dos polímeros estudados. Entre os tratamentos empregados, pôde-se verificar maior eficácia do polímero não-iônico e do polímero catiônico para o tratamento por flotação, associado ao coagulante tanino. O conjunto de dosagem de coagulante tanino e polímero mais vantajoso, ou seja, menor dosagem de tanino que, associada a polímero, apresentou remoção satisfatória dos parâmetros estudados, foi 65 mg.L^{-1} de Tanino e $2,0\text{ mg.L}^{-1}$ de polímero catiônico, atingindo remoções de 95,2% de turbidez (Residual de 3,65 NTU), 82,1% de cor aparente (Residual de 98 mgPT.L^{-1}), 49,2% de fósforo total (Residual de $3,2\text{ mg.L}^{-1}$), 80,7% de DQO (Residual de 25 mg.L^{-1}) e 87,9 % de SST (Residual de 13 mg.L^{-1}) nas condições encontradas na época dos ensaios, para o pós-tratamento por flotação de efluente de reator UASB da ETE Monjolinho, São Carlos/SP.

Palavras chave: Tratamento de esgoto sanitário, pós-tratamento de efluente de reator UASB por flotação, Coagulante à base de tanino, Polímero, Flotação.

ABSTRACT

PELEGRINO, E. C. F. (2011). Use of tannin-based coagulant in exhaust post-treatment of UASB reactor effluent by flotation. 2011. p. Dissertation (MSc), Department of Hydraulics and Sanitation, Engineering School of São Carlos, Universidade de São Paulo. 155 p. Sao Carlos, SP.

The main objective of this work is the evaluation of the efficiency of removal of organic load, phosphorus and suspended solids in the flotation system treating domestic wastewater pretreated in UASB reactors, of the Monjolinho Wastewater Treatment Plant (WWTP) of Sao Carlos, SP and clotted with tannin alone or combined with synthetic polymers. Tests varying tannin dosage of coagulant and polymer (cationic polymer, nonionic polymer and anionic polymer) were performed on a batch scale, using flotatest. In all the tests were fixed the values of rapid mix (800 s^{-1}) and flocculation (90 s^{-1}) velocity gradients, the rapid mix (20 s) and flocculation (15 min) times, saturation pressure (5 Bar) and recycle rate (17%). During the test in the flotation bench scale unity three values of flotation velocities were evaluated: 12.0 cm^{-1} , 16.0 cm.min^{-1} and 20.0 cm.min^{-1} . The tests were divided in two phases: The objective of phase 1 was to examine the response of the flotation system with the use of tannin coagulant in the treatment of Monjolinho WWTP UASB effluent (Phase 1A) and also determine the two most suitable dosages of tannin coagulant for the treatment of wastewater from the Monjolinho WWTP UASB tested for each polymer (phase 1B). Phases 1A and 1B were performed with wastewater collected at 8:00 h and 14:00 h, respectively. The objective of phase 2 was to find the optimum dosage of tannin within a narrower range of values, as well as verification of the optimal type and dosage of synthetic polymer (non-ionic, anionic and cationic) to be associated with the tannin coagulant. In phase 1A, it was found that flotation was effective for apparent color removal even to zero coagulant dosage tannin. As for turbidity, there is a marked effect when increasing the coagulant dose, which increased the removal efficiency of this parameter. After obtaining the results of Phase 1B, were chosen for phase 2 two low coagulant dosages which can promote reduction of turbidity by 85%. Besides the two dosages obtained in phase 1B, in phase 2 were evaluated other three between them. Thus, in phase 2 were studied coagulant doses of 65, 75, 85, 95 and 105 mg.L^{-1} , each one associated with six doses of each one of the studied polymers. Among the treatments employed, it could be seen that the non-ionic polymer and the cationic polymer were the most efficient for treatment by coagulation associated with tannin in flotation. The set of tannin coagulant dosage and polymer which showed satisfactory removal of parameters was 65 mg.L^{-1} of Tannin with 2.0 mg.L^{-1} of cationic polymer, reaching 95.2% removal of turbidity, 83% of color apparent, 49.2% of total phosphorus, COD 80.7% and 87.9% of TSS under the conditions found at the time of testing, for post-treatment of Monjolinho WWTP UASB effluent by flotation.

Key Words: Wastewater treatment, post treatment of UASB reactor effluent by flotation, tannin-based coagulant, Polymer, flotation.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 4.1: FLUXOGRAMA DA ETE MONJOLINHO SÃO CARLOS-SP	37
FIGURA 4.2: ESQUEMA GERAL DO FLOTATESTE	39
FIGURA 4.3: EQUIPAMENTO FLOTATESTE UTILIZADO NA PESQUISA.....	40
FIGURA 4.4: PROCEDIMENTOS DOS ENSAIOS COM FLOTATESTE FASE 1.....	43
FIGURA 4.5: ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS REALIZADAS NA FASE 1A (8:00 H).	45
FIGURA 4.6: ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS REALIZADAS NA FASE 1B (14:00 H).	45
FIGURA 4.7: PROCEDIMENTOS DOS ENSAIOS COM FLOTATESTE FASE 2 (14:00 H).....	47
FIGURA 4.8: ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS REALIZADAS NA FASE 2 (14:00 HS).....	47
FIGURA 5.1: ESQUEMA GERAL DOS ENSAIOS REALIZADOS NO PRESENTE ESTUDO.	49
FIGURA 5.2: FRAÇÃO RESIDUAL DE TURBIDEZ EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE FLOTAÇÃO, PARA DIFERENTES DOSAGENS DE COAGULANTE TANINO OBTIDOS NAS BATERIAS DE ENSAIO Nº1, Nº3 E Nº5 REALIZADAS COM EMPREGO DO FLOTATESTE	52
FIGURA 5.3: RESULTADO DE TURBIDEZ RESIDUAL MÉDIA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE FLOTAÇÃO NAS DIFERENTES DOSAGENS DO COAGULANTE TANINO, OBTIDAS NAS BATERIAS DE ENSAIO N.1, N.3 E N.5, REALIZADAS COM FLOTATESTE.	54
FIGURA 5.4: RESULTADO DE COR APARENTE RESIDUAL MÉDIA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE FLOTAÇÃO NAS DIFERENTES DOSAGENS DO COAGULANTE TANINO, OBTIDAS NAS BATERIAS DE ENSAIO N.1, N.3 E N.5, REALIZADAS COM FLOTATESTE.	55
FIGURA 5.5: FRAÇÃO RESIDUAL DE TURBIDEZ EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE FLOTAÇÃO, PARA DIFERENTES DOSAGENS DE COAGULANTE TANINO OBTIDOS NAS BATERIAS DE ENSAIO Nº2, Nº4 E Nº6 REALIZADAS COM EMPREGO DO FLOTATESTE	58
FIGURA 5.6: RESULTADO DE TURBIDEZ MÉDIA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE FLOTAÇÃO DOS TRÊS ENSAIOS PARA DIFERENTES DOSAGENS DO COAGULANTE TANINO, OBTIDAS NAS BATERIAS DE ENSAIO N.2, N.4 E N.6, REALIZADAS COM FLOTATESTE.	60
FIGURA 5.7: RESULTADO DE COR APARENTE MÉDIA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE FLOTAÇÃO DOS TRÊS ENSAIOS PARA DIFERENTES DOSAGENS DO COAGULANTE TANINO, OBTIDAS NAS BATERIAS DE ENSAIO N.2, N.4 E N.6 REALIZADAS COM FLOTATESTE.	60
FIGURA 5.8: FRAÇÕES RESIDUAIS MÉDIAS DE TURBIDEZ E COR APARENTE POR DOSAGEM DE COAGULANTE TANINO NAS BATERIAS DE ENSAIOS DE 1 A 6 PARA VELOCIDADE DE FLOTAÇÃO DE 12 CM.MIN ⁻¹	62
FIGURA 5.9: DOSAGENS DO COAGULANTE TANINO E POLÍMERO ANIÔNICO AVALIADOS NA BATERIA DE ENSAIO N.7 (EFLUENTE DOS REATORES UASB COLETADOS ÀS 14:00 H).	64
FIGURA 5.10: RESULTADO FRAÇÃO RESIDUAL DE TURBIDEZ PARA DOSAGEM DE TANINO DE 5 MG/L E 10 MG/L E DOSAGENS VARIADAS DE POLÍMERO ANIÔNICO (PA) PARA DIFERENTES VELOCIDADES DE FLOTAÇÃO (14:00 H).	66
FIGURA 5.11: RESULTADO FRAÇÃO RESIDUAL DE TURBIDEZ PARA DOSAGEM DE TANINO DE 15MG/L E 25MG/L E VARIADAS DOSAGENS DE POLÍMERO ANIÔNICO (PA) PARA DIFERENTES VELOCIDADES DE FLOTAÇÃO (14:00 H).	67
FIGURA 5.12: ENSAIO 7 - RESULTADO DAS ANÁLISES DE TURBIDEZ, COR APARENTE, P E DQO APÓS TRATAMENTO PRO FLOTAÇÃO COM TANINO E POLÍMERO ANIÔNICO COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹	70
FIGURA 5.13: DOSAGENS DO COAGULANTE TANINO E POLÍMERO ANIÔNICO AVALIADOS NA BATERIA DE ENSAIO N.8 (EFLUENTE DOS REATORES UASB COLETADOS ÀS 14:00 H).	72
FIGURA 5.14: BATERIA DE ENSAIO 8 – RESULTADO DA FRAÇÃO RESIDUAL DE TURBIDEZ EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE FLOTAÇÃO PARA DOSAGEM DE TANINO DE 40 MG/L E 65 MG/L E VARIADAS DOSAGENS DE POLÍMERO ANIÔNICO (PA) COM O FLOTATESTE.....	75
FIGURA 5.15: BATERIA DE ENSAIO 8 – RESULTADO DA FRAÇÃO RESIDUAL DE TURBIDEZ EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE FLOTAÇÃO PARA DOSAGEM DE TANINO DE 105 MG/L E 170 MG/L E VARIADAS DOSAGENS DE POLÍMERO ANIÔNICO (PA) COM O FLOTATESTE.....	76
FIGURA 5.16: BATERIA DE ENSAIO 8 - RESULTADOS RESIDUAIS DAS ANÁLISES DE TURBIDEZ, COR APARENTE, P E DQO APÓS TRATAMENTO PRO FLOTAÇÃO COM TANINO E POLÍMERO ANIÔNICO (PA) COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹	79
FIGURA 5.17: DOSAGENS DO COAGULANTE TANINO E POLÍMERO CATIÔNICO (PC) AVALIADOS NA BATERIA DE ENSAIO N.9 (EFLUENTE DO REATOR UASB COLETADO ÀS 14:00 H).	82

FIGURA 5.18: BATERIA DE ENSAIO 9 – FRAÇÃO RESIDUAL DE TURBIDEZ EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE FLOTAÇÃO PARA AS DOSAGENS DE TANINO DE 5 MG/L E 10 MG/L E VARIADAS DOSAGENS DE POLÍMERO CATIÔNICO (PC) OBTIDAS COM FLOTATESTES.	85
FIGURA 5.19: BATERIA DE ENSAIO 9 – FRAÇÃO RESIDUAL DE TURBIDEZ EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE FLOTAÇÃO PARA AS DOSAGENS DE TANINO DE 15 MG/L E 25 MG/L E VARIADAS DOSAGENS DE POLÍMERO CATIÔNICO (PC) OBTIDAS COM FLOTATESTES.	86
FIGURA 5.20: BATERIA DE ENSAIO 9 - RESULTADO RESIDUAIS DAS ANÁLISES DE TURBIDEZ, COR APARENTE, P E DQO APÓS TRATAMENTO POR FLOTAÇÃO COM TANINO (DC) E POLÍMERO CATIÔNICO (PC) COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹ .	88
FIGURA 5.21: DOSAGENS DO COAGULANTE TANINO E POLÍMERO CATIÔNICO (PC) DO ENSAIO 10 (14:00 H).....	91
FIGURA 5.22: BATERIA DE ENSAIO 10 - FRAÇÃO RESIDUAL DE TURBIDEZ EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE FLOTAÇÃO PARA AS DOSAGENS DE TANINO DE 40 MG/L E 65 MG/L E VARIADAS DOSAGENS DE POLÍMERO CATIÔNICO (PC) OBTIDAS COM FLOTATESTES.	95
FIGURA 5.23: BATERIA DE ENSAIO 10 - FRAÇÃO RESIDUAL DE TURBIDEZ EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE FLOTAÇÃO PARA AS DOSAGENS DE TANINO DE 105 MG/L E 170 MG/L E VARIADAS DOSAGENS DE POLÍMERO CATIÔNICO (PC) OBTIDAS COM FLOTATESTES.	96
FIGURA 5.24: BATERIA DE ENSAIO 10 - RESULTADO RESIDUAIS DAS ANÁLISES DE TURBIDEZ, COR APARENTE, P E DQO APÓS TRATAMENTO POR FLOTAÇÃO COM TANINO (DC) E POLÍMERO CATIÔNICO (PC) COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹ .	98
FIGURA 5.25: DOSAGENS DO COAGULANTE TANINO E POLÍMERO NÃO-IÔNICO AVALIADOS NA BATERIA DE ENSAIO N.11 (EFLUENTE DOS REATORES UASB COLETADOS ÀS 14:00 H).	101
FIGURA 5.26: BATERIA DE ENSAIO 11 - FRAÇÃO RESIDUAL DE TURBIDEZ EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE FLOTAÇÃO PARA AS DOSAGENS DE TANINO DE 5 MG/L E 10 MG/L E VARIADAS DOSAGENS DE POLÍMERO NÃO-IÔNICO (PNI) OBTIDAS COM FLOTATESTES.	104
FIGURA 5.27: BATERIA DE ENSAIO 11 - FRAÇÃO RESIDUAL DE TURBIDEZ EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE FLOTAÇÃO PARA AS DOSAGENS DE TANINO DE 15 MG/L E 25 MG/L E VARIADAS DOSAGENS DE POLÍMERO NÃO-IÔNICO (PNI) OBTIDAS COM FLOTATESTES.	105
FIGURA 5.28: BATERIA DE ENSAIO 11 – RESULTADO RESIDUAIS DAS ANÁLISES DE TURBIDEZ, COR APARENTE, P E DQO APÓS TRATAMENTO POR FLOTAÇÃO COM TANINO (DC) E POLÍMERO NÃO-IÔNICO (PNI) COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹ .	107
FIGURA 5.29: DOSAGENS DO COAGULANTE TANINO E POLÍMERO NÃO-IÔNICO AVALIADOS NA BATERIA DE ENSAIO N.12 (EFLUENTE DOS REATORES UASB COLETADOS ÀS 14:00 H).	110
FIGURA 5.30: BATERIA DE ENSAIO 12 - FRAÇÃO RESIDUAL DE TURBIDEZ EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE FLOTAÇÃO PARA AS DOSAGENS DE TANINO DE 40 MG/L E 65 MG/L E VARIADAS DOSAGENS DE POLÍMERO NÃO-IÔNICO (PNI) OBTIDAS COM FLOTATESTES.	113
FIGURA 5.31: BATERIA DE ENSAIO 12 - FRAÇÃO RESIDUAL DE TURBIDEZ EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE FLOTAÇÃO PARA AS DOSAGENS DE TANINO DE 105 MG/L E 170 MG/L E VARIADAS DOSAGENS DE POLÍMERO NÃO-IÔNICO (PNI) OBTIDAS COM FLOTATESTES.	114
FIGURA 5.32: BATERIA DE ENSAIO 12 – RESULTADO RESIDUAIS DAS ANÁLISES DE TURBIDEZ, COR APARENTE, P E DQO APÓS TRATAMENTO POR FLOTAÇÃO COM TANINO (DC) E POLÍMERO NÃO-IÔNICO (PNI) COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹ .	116
FIGURA 5.33: BATERIA DE ENSAIO 13 - RESULTADO DAS ANÁLISES DAS FRAÇÕES RESIDUAIS DE TURBIDEZ, COR APARENTE, P, DQO E SST APÓS TRATAMENTO POR FLOTAÇÃO COM TANINO E POLÍMERO NÃO-IÔNICO COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹ .	124
FIGURA 5.34: BATERIA DE ENSAIO 14 – FRAÇÕES RESIDUAIS DE TURBIDEZ, COR APARENTE, P, DQO E SST APÓS TRATAMENTO POR FLOTAÇÃO COM TANINO (DC) E POLÍMERO ANIÔNICO COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹ .	131
FIGURA 5.35: BATERIA DE ENSAIO 15 - RESULTADO DAS ANÁLISES DE TURBIDEZ RESIDUAL, COR APARENTE RESIDUAL, P RESIDUAL, DQO RESIDUAL E SST RESIDUAL APÓS TRATAMENTO POR FLOTAÇÃO COM TANINO E POLÍMERO CATIÔNICO COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹ .	138
FIGURA 5.36: FRAÇÕES RESIDUAIS MÉDIAS DE TURBIDEZ E COR APARENTE POR DOSAGEM DE COAGULANTE TANINO NAS BATERIAS DE ENSAIO 13, 14 E 15, PARA VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹ .	143
FIGURA 5.37: RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS NA FASE 1 E 2.	144
FIGURA 1: REGISTROS FOTOGRÁFICOS DA COLETA DE EFLUENTE E PROCESSO DE TRATAMENTO.	153
FIGURA 2: CONTINUAÇÃO DOS REGISTROS FOTOGRÁFICOS DO FLOTAÇÃO.	154

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 - LISTA DE TRABALHOS DE MESTRADO E DOUTORADO COM APLICAÇÃO DO TEMA FLOTAÇÃO NO PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE ANAERÓBIO REALIZADOS PELA SHS/EESC/USP.	25
TABELA 3.2: FASES DO TRABALHO DE ARIANO (2009).	30
TABELA 4.1: VARIÁVEIS A SEREM ANALISADAS E MÉTODO UTILIZADO	48
TABELA 5.1: CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE UASB DURANTE A REALIZAÇÃO DA BATERIA DE ENSAIO 1, 3 E 5.	51
TABELA 5.2: FRAÇÃO RESIDUAL DE TURBIDEZ APÓS FLOTAÇÃO COM COAGULANTE TANINO NAS BATERIAS DE ENSAIO 1, 3 E 5	53
TABELA 5.3: CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE UASB DURANTE A REALIZAÇÃO DA BATERIA DE ENSAIO 2, 4 E 6.	56
TABELA 5.4: FRAÇÃO RESIDUAL DE TURBIDEZ APÓS FLOTAÇÃO COM COAGULANTE TANINO NAS BATERIAS DE ENSAIO 2, 4 E 6	59
TABELA 5.5: CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE UASB DURANTE A REALIZAÇÃO DA BATERIA DE ENSAIO 7, COM USO DE POLÍMERO ANIÔNICO (01/12/10).	64
TABELA 5.6: BATERIA DE ENSAIO 7 – RESULTADO DAS ANÁLISES DE TURBIDEZ, COR APARENTE, P E DQO APÓS TRATAMENTO PRO FLOTAÇÃO COM TANINO E POLÍMERO ANIÔNICO COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹	69
TABELA 5.7: BATERIA DE ENSAIO 7 – RESULTADO DAS ANÁLISES DE TURBIDEZ RESIDUAL, COR APARENTE RESIDUAL, P RESIDUAL E DQO RESIDUAL APÓS TRATAMENTO PRO FLOTAÇÃO COM TANINO E POLÍMERO ANIÔNICO COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹	71
TABELA 5.8: BATERIA DE ENSAIO 8 – CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE UASB, ENSAIO COM POLÍMERO ANIÔNICO (07/12/10).	73
TABELA 5.9: BATERIA DE ENSAIO 8 – RESULTADO RESIDUAIS DAS ANÁLISES DE TURBIDEZ, COR APARENTE, P E DQO APÓS TRATAMENTO POR FLOTAÇÃO COM TANINO E POLÍMERO ANIÔNICO COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹	78
TABELA 5.10: BATERIA DE ENSAIO 8 – RESULTADO DAS FRAÇÕES RESIDUAIS DAS ANÁLISES DE RESIDUAL, COR APARENTE RESIDUAL, P RESIDUAL E DQO RESIDUAL APÓS TRATAMENTO PRO FLOTAÇÃO COM TANINO E POLÍMERO ANIÔNICO COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹	80
TABELA 5.11: BATERIA DE ENSAIO 9 – CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE UASB, ENSAIO COM POLÍMERO CATIÔNICO (09/12/10).	83
TABELA 5.12: BATERIA DE ENSAIO 9 – RESULTADO DAS ANÁLISES DE TURBIDEZ, COR APARENTE, P E DQO RESIDUAIS APÓS TRATAMENTO POR FLOTAÇÃO COM TANINO E POLÍMERO CATIÔNICO COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹	87
TABELA 5.13: BATERIA DE ENSAIO 9 – FRAÇÕES RESIDUAIS DAS ANÁLISES DE TURBIDEZ, COR APARENTE, P E DQO APÓS TRATAMENTO POR FLOTAÇÃO COM TANINO E POLÍMERO CATIÔNICO COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹	90
TABELA 5.14: BATERIA DE ENSAIO 10 – CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE UASB, ENSAIO COM POLÍMERO CATIÔNICO (14/12/10).	92
TABELA 5.15: BATERIA DE ENSAIO 10 – RESULTADO RESIDUAIS DAS ANÁLISES DE TURBIDEZ, COR APARENTE, P E DQO APÓS TRATAMENTO POR FLOTAÇÃO COM TANINO E POLÍMERO CATIÔNICO COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹	97
TABELA 5.16: BATERIA DE ENSAIO 10 – FRAÇÕES RESIDUAIS DAS ANÁLISES DE TURBIDEZ, COR APARENTE, P E DQO APÓS TRATAMENTO POR FLOTAÇÃO COM TANINO E POLÍMERO CATIÔNICO COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹	99
TABELA 5.17: BATERIA DE ENSAIO 11 – CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE UASB NA BATERIA DE ENSAIO COM POLÍMERO NÃO-IÔNICO (26/01/11).	102
TABELA 5.18: BATERIA DE ENSAIO 11 – RESULTADO RESIDUAIS DAS ANÁLISES DE TURBIDEZ, COR APARENTE, P E DQO APÓS TRATAMENTO POR FLOTAÇÃO COM TANINO E POLÍMERO NÃO-IÔNICO COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹	106
TABELA 5.19: BATERIA DE ENSAIO 11 – FRAÇÕES RESIDUAIS DAS ANÁLISES DE TURBIDEZ, COR APARENTE, P E DQO APÓS TRATAMENTO POR FLOTAÇÃO COM TANINO E POLÍMERO CATIÔNICO COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹	109
TABELA 5.20: BATERIA DE ENSAIO 12 – CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE UASB NA BATERIA DE ENSAIO 12 COM POLÍMERO NÃO-IÔNICO (31/01/11).	111

TABELA 5.21: BATERIA DE ENSAIO 12 – RESULTADO RESIDUAIS DAS ANÁLISES DE TURBIDEZ, COR APARENTE, P E DQO APÓS TRATAMENTO POR FLOTAÇÃO COM TANINO E POLÍMERO NÃO-IÔNICO COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹ .	115
TABELA 5.22: BATERIA DE ENSAIO 12 - FRAÇÕES RESIDUAIS DAS ANÁLISES DE TURBIDEZ, COR APARENTE, P E DQO APÓS TRATAMENTO POR FLOTAÇÃO COM TANINO E POLÍMERO NÃO-IÔNICO COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹ .	118
TABELA 5.23: BATERIA DE ENSAIO 13 – CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE UASB NA BATERIA DE ENSAIO 13 COM POLÍMERO NÃO-IÔNICO (08/02/11).	121
TABELA 5.24: BATERIA DE ENSAIO 13 – RESULTADO DAS ANÁLISES DE TURBIDEZ, COR APARENTE, P, DQO E SST APÓS TRATAMENTO POR FLOTAÇÃO COM TANINO E POLÍMERO NÃO-IÔNICO COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹ .	122
TABELA 5.25: BATERIA DE ENSAIO 13 – RESULTADO DAS ANÁLISES DE TURBIDEZ RESIDUAL, COR APARENTE RESIDUAL, P RESIDUAL, DQO RESIDUAL E SST RESIDUAL APÓS TRATAMENTO POR FLOTAÇÃO COM TANINO E POLÍMERO NÃO-IÔNICO COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹ .	126
TABELA 5.26: BATERIA DE ENSAIO 13 – ANÁLISE DOS MELHORES RESULTADO APÓS TRATAMENTO POR FLOTAÇÃO COM TANINO E POLÍMERO NÃO-IÔNICO COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹ .	127
TABELA 5.27: BATERIA DE ENSAIO 13 – ANÁLISE DA REMOÇÃO DOS PARÂMETROS ESTUDADOS DOS MELHORES RESULTADO APÓS TRATAMENTO POR FLOTAÇÃO COM TANINO E POLÍMERO NÃO-IÔNICO COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹ .	127
TABELA 5.28: BATERIA DE ENSAIO 14 – CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE UASB, ENSAIO COM POLÍMERO ANIÔNICO (15/02/11).	128
TABELA 5.29: BATERIA DE ENSAIO 14 – RESULTADO DAS ANÁLISES DE TURBIDEZ RESIDUAL, COR APARENTE RESIDUAL, P RESIDUAL, DQO RESIDUAL E SST RESIDUAL APÓS TRATAMENTO POR FLOTAÇÃO COM TANINO E POLÍMERO ANIÔNICO COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹ .	130
TABELA 5.30: BATERIA DE ENSAIO 14 – FRAÇÕES RESIDUAIS DE TURBIDEZ, COR APARENTE, P, DQO E SST APÓS TRATAMENTO POR FLOTAÇÃO COM TANINO (DC) E POLÍMERO ANIÔNICO COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹ .	133
TABELA 5.31: BATERIA DE ENSAIO 14 – ANÁLISE DOS MELHORES RESULTADO APÓS TRATAMENTO POR FLOTAÇÃO COM TANINO E POLÍMERO ANIÔNICO COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹ .	134
TABELA 5.32: BATERIA DE ENSAIO 14 – EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE TURBIDEZ, COR APARENTE, P, DQO E SST APÓS TRATAMENTO POR FLOTAÇÃO COM TANINO E POLÍMERO ANIÔNICO COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹ .	134
TABELA 5.33: ENSAIO 15 – CARACTERÍSTICAS EFLUENTE UASB, ENSAIO COM POLÍMERO CATIÔNICO (22/02/11).	135
TABELA 5.34: BATERIA DE ENSAIO 15 – RESULTADO DE TURBIDEZ RESIDUAL, COR APARENTE RESIDUAL, P RESIDUAL, DQO RESIDUAL E SST RESIDUAL APÓS TRATAMENTO POR FLOTAÇÃO COM TANINO E POLÍMERO CATIÔNICO COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹ .	137
TABELA 5.35: BATERIA DE ENSAIO 15 – RESULTADO DAS FRAÇÕES RESIDUAIS DAS ANÁLISES DE TURBIDEZ, COR APARENTE, P, DQO E SST APÓS TRATAMENTO POR FLOTAÇÃO COM TANINO E POLÍMERO CATIÔNICO COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹ .	140
TABELA 5.36: BATERIA DE ENSAIO 15 – RESULTADOS RESIDUAIS DE TURBIDEZ, COR APARENTE, P, DQO E SST DOS MELHORES DADOS ENCONTRADOS APÓS TRATAMENTO POR FLOTAÇÃO COM TANINO E POLÍMERO CATIÔNICO COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹ .	141
TABELA 5.37: BATERIA DE ENSAIO 15 – EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE TURBIDEZ, COR APARENTE, P, DQO E SST DOS MELHORES RESULTADOS ENCONTRADOS APÓS TRATAMENTO POR FLOTAÇÃO COM TANINO E POLÍMERO CATIÔNICO COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹ .	141
TABELA 5.38: ENSAIO 13, 14 E 15 – ANÁLISE RESIDUAL DOS MELHORES RESULTADO APÓS TRATAMENTO POR FLOTAÇÃO COM TANINO E POLÍMERO ANIÔNICO, NÃO-IÔNICO E CATIÔNICO COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹ ESCOLHIDOS NA FASE 2 .	144
TABELA 5.39: ENSAIO 13, 14 E 15 – EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DOS PARÂMETROS ESTUDADOS APÓS TRATAMENTO POR FLOTAÇÃO COM TANINO E OS POLÍMERO ANIÔNICO, NÃO-IÔNICO E CATIÔNICO COM VELOCIDADE DE 12 CM.MIN ⁻¹ ESCOLHIDOS NA FASE 2 .	145

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

°C: Grau Célsius, medida de temperatura;

µm: micrometro, medida de comprimento.

Abs 254: Absorbância medida em espectrofotômetro para comprimento de onda de 254 nm, representa a matéria orgânica presente em uma amostra;

Al₂(SO₄)₃: fórmula química do Sulfato de Alumínio ;

APHA: Associação “American Public Health Association”;

Bar: unidade de pressão, equivalente a 10⁵ Pa.

BIOTACE: Laboratório de Biotoxicologia em Águas Continentais e Efluentes

C: Cor Aparente;

cm.min⁻¹: centímetro por minuto, unidade de medida da velocidades de flotação;

Co: cor aparente inicial, no caso valor encontrado no reator USAB;

COT: Carbono Orgânico Total

DC: Dosage de Coagulante Tanino, mg.L-1.

DQO: Demanda Química de Oxigênio;

DQOo: Demanda Química de Oxigênio inicial, no caso valor encontrado no reator USAB;

EESC: Escola de Engenharia de São Carlos;

ETA: Estação de Tratamento de Água;

ETE: Estação de Tratamento de Esgoto;

FAD: Flotação por Ar Dissolvido;

FeCl₃: Fórmula Química do cloreto férrico;

g ar. m⁻³: Grama de ar por metros cúbicos;

g.cm⁻³: Grama por centímetros cúbicos, unidade de medida de densidade;

G: Gradiente;

Gf: Gradiente de floculação;

Gflo: Gradiente de Floculação;

h: hora ou horas, medida de tempo;

KPa: Quilo pascal, unidade de pressão;

L.s⁻¹: Litros por segundos, unidade de vazão;

LATAR: Laboratório de Tratamentos Avançados e Reúso de Águas;

m.d⁻¹: Metros por dia, unidade da taxa de aplicação superficial;

mg.L⁻¹: miligramas por litros, unidade de medida de dosagem de coagulante e polímero;

min: minuto ou minutos, unidade de medida;

N amoniacal: Nitrogênio em termo amoniacal (N-NH₃);

N_B: Número de bolhas;

NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl, compreende parcela não oxidada de nitrogênio presente em uma amostra (orgânico + amoniacal);

NTU: Unidade Nefelométrica de Turbidez, unidade de medida para turbidez;

P: fósforo total;

PA: Polímero Aniônico LABTAE 410;

PAC: Policloreto de Alumínio ou cloreto de polialumínio, coagulante;

PC: Polímero Catiônico LABTAE 415;

pH: Potencial Hidrogeniônico, escala compreendida entre 0 a 14 que permite inferência quanto a acidez ou alcalinidade de uma amostra;

PNI: Polímero Não-iônico LABTAE 413;

Po: Fósforo total inicial, no caso valor encontrado no reator USAB;

Psat: Pressão de Saturação;

Pt: Platina-cobalto, padrão para análise de cor aparente;

R: Fração de Recirculação, percentual de água saturada com mistura à amostra bruta, em termos de volume;

Ralex: Reator Anaeróbio de Leito Expandido;

S*: Quantidade de ar fornecido à flotação (g de ar por m³ de efluente);

s: segundo ou segundos, unidade de tempo;

SST: Sólidos Suspensos Totais;

SSTo: Sólidos Suspensos Totais iniciais;

ST: Sólidos Totais;

TAS: Taxa de Aplicação Superficial;

Tfloc: Tempo de floculação;

Tmr: Tempo de mistura rápida;

To: Turbidez inicial, no caso valor encontrado no reator USAB;

UASB: Do Ingles Upflow Anaerobic Sludge Blanket, reator biológico anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo;

USP: Universidade de São Paulo;

UV: Ultravioleta;

Vf1: Velocidade de flotação 1, representando valor de 12 cm.min^{-1} ;

Vf2: Velocidade de flotação 1, representando valor de 16 cm.min^{-1} ;

Vf3: Velocidade de flotação 1, representando valor de 20 cm.min^{-1} ;

Vflot: Velocidade de flotação ;

1. INTRODUÇÃO

Os processos anaeróbios têm se destacado no tratamento de esgoto sanitário nos últimos anos. Suas vantagens são significativas quando comparadas com processos aeróbios, como baixo consumo de energia, redução de carga orgânica com baixa produção de lodo, baixa demanda de área, tolerância a elevadas cargas orgânicas, entre outras. No entanto, os reatores são caracterizados pela baixa eficiência na remoção de carga orgânica, sólidos suspensos e de nitrogênio e fósforo, sendo necessário tratamento complementar (REALI et. al., 1998).

O tratamento complementar de efluente tratado com processo anaeróbio pode ser realizado por lagoas facultativas, lagoas de alta taxa, lagoas aeradas, reator de leito fluidificado, disposição no solo, lodos ativados, filtro biológico aeróbio, tratamento físico-químico, entre outros. No tratamento físico-químico, a técnica de flotação por ar dissolvido tem apresentado excelentes resultados na remoção de carga orgânica, sólidos em suspensão e concentração de fosfato total de efluentes de reatores anaeróbios, mediante a prévia coagulação e floculação (CAMPOS et. al., 1996).

A caracterização do efluente por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos e a realização de ensaios em bancada para seleção da dosagem e dos tipos de coagulantes mais adequados contribuem para obtenção de maior eficiência no tratamento. Os sais metálicos são convencionalmente empregados para desestabilização química dos efluentes, caracterizados como agentes inorgânicos não biodegradáveis. No entanto, acrescentam elementos químicos ao efluente final ou ao lodo, sendo ambientalmente menos desejáveis que os coagulantes naturais.

O emprego de coagulantes naturais, aplicados isoladamente ou associados a polímeros, tem se mostrado uma alternativa interessante ao tratamento de água e esgoto por serem compostos biodegradáveis e não tóxicos e ainda produzir lodo em menor quantidade e com menores teores de metais que os coagulantes metálicos (KONRADT-MORAES et. al., 2007).

O tanino vegetal é um coagulante natural, extraído da casca de vegetais, como da *Acacia mearnsi* De Willd (acácia negra), que vem sendo aplicado em

diversas áreas como indústria de curtimento, anticorrosivos, floculantes, bebidas e plásticos (MARTINEZ¹, 1996 apud SILVA, 1999). Uma importante característica desse coagulante para o tratamento de efluentes consiste na adsorção e precipitação de metais dissolvidos em água e na redução da toxicidade de águas com cianofíceas e bactérias clorofiladas (KONRADT-MORAES et. al., 2007).

Na presente pesquisa foi investigado o emprego do coagulante natural tanino no pós-tratamento físico-químico por coagulação e flotação do efluente de reator UASB da ETE Monjolinho de São Carlos/SP, com vista à se buscar o aperfeiçoamento desta etapa do sistema de esgoto do tipo UASB/Flotação.

¹ MARTINEZ, F. L.(1996). **Taninos vegetais e suas aplicações**. Universidade de Havana /Cuba. Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 1996.

2. OBJETIVO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de desempenho de um sistema de flotação tratando esgoto sanitário pré-tratado em reatores UASB da ETE Monjolinho da cidade de São Carlos/SP e submetido à coagulação com tanino associado ou não a polímeros sintéticos.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Coagulação e floculação

Os colóides são partículas sólidas com tamanho variando de 10^{-3} μm até 1 μm , caracterizados pela presença de cargas elétricas em sua superfícies que atraem uma dupla camada de íons com cargas opostas e grande potencial elétrico na superfície de cisalhamento (potencial zeta), o qual torna o sistema estável impedindo a aproximação e agregação entre os colóides.

A coagulação é o processo de desestabilização das forças elétricas de repulsão e atração que interagem entre as partículas da solução, permitindo sua agregação (CARDOSO, 2003). A desestabilização pode ocorrer pela adsorção na superfície dos colóides de espécies hidrolisadas do coagulante (com cargas opostas às dos colóides).

Na coagulação, a etapa denominada mistura rápida tem por finalidade promover a dispersão do coagulante na água. Esta dispersão deve ser a mais homogênea e a mais rápida possível, visto que as quantidades de coagulantes utilizadas são muito pequenas comparadas com o volume de água a ser tratado (CARDOSO, 2003).

A floculação é processo posterior à mistura rápida e tem como objetivo agregar o maior número de partículas primárias desestabilizadas/precipitadas em flocos para que sejam separados por sedimentação ou flotação (CARVALHO, 2003).

Para a floculação, a agitação na água deve ser tal que crie gradientes de velocidade que causem turbulência capaz de provocar choques ou colisões entre as partículas coaguladas e as existentes em suspensão e no estado coloidal na água. Estes gradientes são limitados para que não ultrapassem a capacidade de resistência do cisalhamento destas partículas (LEME², 1979 *apud* CARDOSO, 2003).

Reali et. al. (1998), estudando a influência do gradiente médio de velocidade (Gf) e do tempo de floculação (Tf) na eficiência de uma unidade de flotação por ar dissolvido (FAD) em escala laboratorial alimentada com efluente

² LEME, F. P. (1979). **Teoria e Técnicas de Tratamento de Água**. São Paulo: CETESB, 1979.

de reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) tratando esgoto sanitário, concluíram que com a dosagem de coagulante de 65 mg.L^{-1} de FeCl_3 , o emprego dos valores de G_f em torno de 80 s^{-1} e de T_f entre 15 e 25 min forneceram excelentes resultados no sistema de FAD (Flotação por Ar Dissolvido), com remoção de até 91% de DQO, 96 % de fosfato total 98% de turbidez e 98% de sólidos suspensos.

Penetra (1998) investigou as condições de coagulação (dosagem de coagulante) e de floculação (tempo e gradiente médio de velocidade) no pós-tratamento físico-químico por flotação por ar dissolvido (FAD) de efluentes de reatores anaeróbios de manta de lodo (UASB), realizando ensaios em escala de laboratório, com equipamento de flotação em escala de laboratório (flotateste). Foram utilizados, separadamente, cloreto férrico e polímero catiônico como coagulantes. Os ensaios realizados em escala de laboratório demonstraram que os melhores resultados foram obtidos com dosagem de 65 mg/L de FeCl_3 , 15 min e 80 s^{-1} de tempo e de gradiente médio de velocidade de floculação, respectivamente. Para essas condições mais apropriadas, foram observadas remoções de 88% de DQO (residual de 22 mg.L^{-1} de DQO), 96% de fosfato total (residual de $0,6 \text{ mg.L}^{-1}$ de fosfato total), 94% de SST (residual de 4 mg.L^{-1} de SST), 97% de turbidez (residual de 2 uT de turbidez), 47% de NTK (residual de 18 mg.L^{-1} de NTK) e não foi detectada a presença de sulfetos no efluente final.

3.2 Flotação por ar dissolvido (FAD)

A flotação por ar dissolvido (FAD) é uma técnica que consiste na separação de partículas sólidas e/ou líquidas de uma fase líquida através do emprego de bolhas de gás, normalmente ar, que aderem à superfície das partículas, promovendo o aumento do empuxo e sua ascensão à superfície, onde são coletadas após atingirem concentração determinada (MARCHETTO e REALI, 2000). Essa técnica pode ser usada no campo de saneamento, com aplicações bem sucedidas no tratamento de águas residuárias industriais de papel e celulose, petrolífera, de tintas, de óleos vegetais e alimentos em geral, assim como na clarificação de águas de abastecimento, substituindo decantadores (REALI, 1991; CARVALHO, 2003).

Reali (1991) apresenta algumas vantagens da FAD sobre a sedimentação:

- Possibilidade de arraste de parcela de substâncias voláteis caso estejam presentes na água;
- Possibilidade de oxidação de íons metálicos dissolvidos na água, como por exemplo, o ferro;
- Produção de lodo com elevado teor de sólidos na superfície do flotador, atingindo até 6% (em peso), conforme o tipo de dispositivo de coleta utilizado e das características da dispersão;
- Constitui processo de alta taxa, resultando em unidades compactas e versáteis, que permitem bom nível de controle operacional através do monitoramento da quantidade de ar fornecido ao processo;
- Dosagens de coagulantes menores que as empregadas na sedimentação, com a obtenção de eficiência de remoção semelhante.

A flotação é resultado da combinação de diversos processos físicos e químicos. Esta técnica pode ser dividida em dois subprocessos: um pré-tratamento, que inclui coagulação e floculação e a flotação propriamente dita. O pré-tratamento é uma etapa fundamental para a eficiência global da técnica de FAD, as partículas são desestabilizadas e pequenos e fortes flocos são produzidos, possibilitando efetivas colisões e associações entre bolhas e flocos na unidade de flotação. A fase da flotação pode ser dividida em três partes interativas: geração de bolhas e concentração de bolhas de ar, interação bolha-partícula, incluindo contato e agregação, e ascensão e remoção dos aglomerados bolhas-partículas.

As bolhas de ar, que tipicamente apresentam diâmetro entre 10 e 120 μm , são geradas a partir da pressurização da parcela recirculada de efluente, através de tanque pressurizado denominado câmara de saturação, onde as pressões são mantidas entre 350 e 585 kPa. A vazão a ser saturada é chamada de vazão de recirculação. Esta, ao ser inserida no tanque de flotação por válvulas de agulha ou bocais projetados para estes fins sofre redução de pressão a níveis próximos da pressão atmosférica, permitindo o desprendimento do ar dissolvido na solução.

A quantidade de bolhas de ar produzidas pode ser expressa em termos de: (1) a fração de recirculação, R , definida como a razão entre a vazão de recirculação e a vazão afluyente ao sistema, (2) a concentração em massa do ar liberado (S^*), (3) a concentração volumétrica das bolhas (Φ_B), definida como a razão entre a concentração em massa do ar liberado e a densidade do ar saturado, e (4) a concentração numérica das bolhas (N_B), definida como a razão entre a concentração volumétrica de bolhas e o volume médio das bolhas (Edzwald, 2010).

As bolhas de ar fixam-se aos flocos e ascendem à superfície da câmara de flotação, formando o lodo flotado, retirado através de raspadores mecanizados ou pela operação de inundação. Portanto, o tratamento químico efetivo, a floculação, a quantidade de ar fornecido, os dispositivos injetores e a remoção do lodo flotado afetam a eficiência global da FAD (PENETRA, 2003).

A FAD tem sido objeto de estudos de diversos pesquisadores da área de saneamento, visando determinar e otimizar os parâmetros influentes no processo e descobrir novas aplicações nesta área. O Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (SHS/EESC/USP) estabeleceu uma linha de pesquisa sobre FAD desde 1982, em que vem estudando e aperfeiçoando o processo e desenvolvendo novas aplicações e novos sistemas de tratamento de águas de abastecimento e águas residuárias, nos quais a flotação efetivamente apresenta eficiência comprovada.

3.3 Aplicação da FAD no Tratamento de Águas Residuárias como Pós-tratamento de Reatores Anaeróbios

Segundo Reali et. al. (2001), nos últimos anos, pesquisadores vêm buscando mais vantagens no uso de reatores biológicos anaeróbios para tratar esgoto doméstico. Este tipo de reator tem mostrado a remoção de grande parte da matéria orgânica (65% a 80% na remoção de DQO) com menor consumo de energia e produção de lodo, menor quantidade de equipamentos e operação mais fácil do que os sistemas convencionais aeróbios. No entanto, o efluente anaeróbio ainda necessita de tratamento adicional para atender os padrões de

emissão, principalmente quanto à concentração residual de sólidos suspensos totais (SST), matéria orgânica (DQO), nitrogênio (NTK) e fósforo total (P). O uso de flotação por ar dissolvido (FAD) para o pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio oferece uma proposta atraente considerando algumas de suas características: é um processo de alta taxa, particularmente eficaz na remoção de partículas suspensas e flocos produzidos pela coagulação química de águas residuárias (BRATBY, 1982; ØDEGAARD, 1995).

A concentração de sólidos suspensos e coloidais no efluente de reator anaeróbio são relativamente elevadas, principalmente pelo arraste de material recalcitrante e biomassa do meio, que mantém a turbidez do efluente elevada. O tratamento químico seguido de flotação leva à coagulação do material suspenso e coloidal, com posterior incorporação aos flocos químicos, resultando em efluente com reduzida turbidez.

Os efluentes dos reatores anaeróbios são conhecidos pela presença de sulfeto, responsável pelo odor característico. A aplicação de coagulante, como cloreto férrico, resulta na formação de sulfeto de ferro II (FeS) e de sulfeto de ferro III (Fe_2S_3), que serão incorporados aos flocos e removidos no tanque de flotação, resultando num efluente isento de odores desagradáveis.

A remoção de fósforo em reatores anaeróbios é desprezível, pois tal nutriente é retido pela biomassa apenas para crescimento celular. A remoção é igualmente insignificante na sedimentação das partículas suspensas, devido à presença de 90 % a 95% do fósforo no esgoto sanitário sob a forma coloidal ou dissolvida. O tratamento químico com cloreto férrico promove a precipitação da parcela dissolvida e a coagulação/floculação da parcela precipitada, coloidal e suspensa, que serão removidos no tanque de flotação (PENETRA, 2003).

Na Tabela 3.1 são apresentados alguns estudos em nível de mestrado e doutorado realizados pela SHS/EESC/USP com aplicação do tema flotação por ar dissolvido como pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio.

Tabela 3.1 - Lista de trabalhos de Mestrado e Doutorado com aplicação do tema flotação no pós-tratamento de efluente anaeróbio realizados pela SHS/EESC/USP.

Autor (a)	Tipo	Título do Trabalho
PENETRA, R. G. (1998)	Mestrado	Pós-tratamento físico-químico de efluentes de reatores anaeróbios de manta de lodo.
MARCHIORETTO, M. M. (1999)	Mestrado	Ozonização seguida de coagulação e flotação como pós-tratamento de reator anaeróbio com chicanas tratando esgoto sanitário.
PORTO, T. G. (2001)	Mestrado	Tratamento avançado de esgoto sanitário em sistema seqüencial composto por processo biológico anaeróbio, flotação filtração em areia e em membranas
CARVALHO, M. E. (2003)	Mestrado	Flotação de alta taxa aplicada no pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios.
PENETRA, R. G. (2003)	Doutorado	Flotação aplicada ao pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio de leito expandido tratando esgoto sanitário
SANTOS, H. R. (2006)	Doutorado	Coagulação e precipitação de efluente de reator anaeróbio e de efluente de lodos ativados precedido de reator UASB, com separação por sedimentação ou FAD.
OLIVEIRA, A. L. (2007)	Doutorado	Floto-filtração como pós-tratamento do efluente de reator anaeróbio tratando esgoto sanitário.
SANTOS, E. R. D. (2008)	Mestrado	Emprego de polímeros em unidade piloto de floto-filtração como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios de leito expansível tratando esgoto sanitário
ARIANO, G. C. (2009)	Mestrado	Coagulação, floculação e flotação do efluente de reatores anaeróbios, tratando esgoto sanitário, com aplicação de diferentes dosagens de coagulante em função da variação da turbidez do esgoto afluente ao longo do dia.

Fonte: Adaptado de Ariano (2009)

A seguir são apresentados algumas pesquisas utilizadas como referência para este estudo, as quais contribuíram para a compreensão do sistema de flotação aplicado ao pós-tratamento de efluente de reatores anaeróbios.

Campos et. al. (1996) realizaram estudos preliminares em escala de laboratório, objetivando a avaliação da potencialidade do emprego de pós-tratamento de efluente de um reator anaeróbio alimentado com esgoto sanitários por coagulação/flotação, usando como coagulantes cloreto férrico, cal e sulfato de alumínio, visando complementação do tratamento na remoção de DBO, DQO,

fósforo, nitrogênio, sólidos suspensos e coliformes. O efluente estudado foi coletado na saída de um reator anaeróbio compartimentado, com volume de 11 m³ e tempo de detenção hidráulica de 12 h, localizado na Escola de Engenharia de São Carlos – USP. Durante todos os ensaios foram mantidos fixos os seguintes parâmetros: i) mistura rápida: 30 s com gradiente médio de velocidade (G) em torno de 600 s⁻¹; ii) floculação: 20 min com G em torno de 40 s⁻¹; iii) Flotação: amostras foram coletadas após 7 min, tendo sido empregada uma porcentagem de recirculação (fração volumétrica) de 20%, saturada à pressão de 450 kPa (22 °C). Os resultados obtidos com o sistema composto por reator anaeróbio de chicanas (11 m³), flotação por ar dissolvido (flotateste) e desinfecção por radiação ultravioleta (escala piloto) demonstraram potencialidade de remoção de DBO superior a 85% e de coliformes fecais superior a 99,999%. O uso de cal sem a aplicação de outro coagulante resultou em uma das maiores eficiências na remoção de SSV, fósforo, DQO, DBO e turbidez. Porém, a quantidade de cal para alcançar tais eficiências foi elevada, interferindo na alcalinidade do efluente, atingindo valores de pH ao redor de 9,3. O melhor resultado foi conseguido quando foram empregadas dosagens de cal e de cloreto férrico respectivamente iguais a 50 e 100 mg.L⁻¹, promovendo a remoção de DQO e de DBO de 73%, a remoção de fósforo em 84% e de nitrogênio (NTK) de 49%. A remoção de coliformes fecais foi de 98,5%, possibilitando a desinfecção do lodo flotado com cal (pH>12) podendo ser reaproveitado na agricultura, após período de repouso. Foi observado também que, além de se promover remoção de parcela considerável de DBO e de DQO, o uso de coagulantes adequados (cal ou cloreto férrico + cal) permite que se atinjam valores de remoção de fósforo que dificilmente seriam alcançados por processos biológicos.

Penetra (1998) estudou a técnica de flotação com escoamento contínuo recebendo efluente de reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) tratando esgoto sanitário em laboratório e instalação piloto, com volume de 18 m³. Em escala de laboratório foram realizados ensaios com diferentes dosagens do coagulante cloreto férrico (variando entre 30 e 110 mg.L⁻¹) ou de polímero catiônico (variando entre 1,0 e 16,0 mg.L⁻¹). Também foram estudadas as condições de floculação, com as variáveis tempo de floculação entre 15 e 25 min e gradiente médio de velocidade de floculação entre 30 e 100s⁻¹ e na flotação

foram estudados diferentes valores de S^* variando entre 14,8 a 29,5 g de ar por $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$. Os melhores resultados em escala de laboratório foram verificadas com o emprego de $65 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de cloreto férrico, tempo de 15 min e gradiente médio de velocidade de floculação de 80 s^{-1} e 19 g de ar por m^3 de efluente, resultando na remoção de 89% de DQO, 96% de fosfato total, 96% de sólidos suspensos totais, 98% de turbidez, 91% de cor aparente, índices de sulfetos não detectados e 47% de remoção de NTK. A eficiência global do sistema UASB e FAD nos testes laboratoriais foi constatada pelas remoções de 97,0% de DQO, de 98,0% de fosfato total, de 98,9% de SST, de 99,5% de turbidez, de 97,8% de cor aparente e 59,0% de NTK. Nos ensaios em escala piloto de FAD, o sistema promoveu a remoção de 93,6% de DQO, 87,1% de SST, de 90,0% de sulfetos e de 30,0% de NTK.

Reali et. al. (2001a) estudaram a unidade de flotação por ar dissolvido, em escala laboratorial, alimentada com efluente de reator UASB em escala piloto tratando esgoto doméstico, com prévia coagulação utilizando cloreto férrico e polímero catiônico. Foram estudadas as condições de coagulação/floculação (dosagem de coagulantes e polímeros, tempo de floculação e gradiente médio de floculação) e flotação (quantidade de ar requerida). Os ensaios foram divididos em três etapas, sendo a primeira realizada para determinar a dosagem ótima de polímero catiônico entre 1 a $16 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. Na segunda etapa foram estudadas as condições de floculação, com tempo de floculação entre 15 a 20 min e gradiente médio de floculação entre 30 e 100 s^{-1} . Na terceira etapa foi analisada a quantidade mínima de ar dissolvido requerida (variando entre 4,7 a $28,5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$), aplicando cloreto férrico e polímero catiônico, com pressão de saturação fixada em $450 \pm 10 \text{ KPa}$ e a temperatura entre 23 e $24 \text{ }^\circ\text{C}$. Os melhores resultados foram obtidos com a dosagem de $65 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de cloreto férrico, tempo de floculação de 15 min e gradiente médio de floculação de 80 s^{-1} e quantidade de ar requerida variando entre 9,5 e $19 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$, resultando na remoção de 85% de DQO, 95% de fosfato total e 95% de SST. Para os ensaios de polímeros, a dosagem em torno de $7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, tempo de floculação de 15 min e gradiente médio de floculação de 30 s^{-1} apresentaram os melhores resultados, removendo 75% de DQO, 47% de fosfato total e 74% de SST.

Penetra (2003) estudou alguns parâmetros de projeto e de operação de unidade de flotação por ar dissolvido utilizada no pós-tratamento físico-químico

de efluentes anaeróbios de leite expandido (Ralex) tratando esgoto sanitário. A pesquisa foi realizada com o uso combinado de cloreto férrico e polímero sintético, visando redução do volume de lodo gerado e elevada remoção de matéria orgânica, de fósforo, de turbidez e de sulfetos presentes nos efluentes anaeróbios. Inicialmente, os ensaios foram realizados em escala de laboratório (flotatestes) para identificar as melhores dosagens do coagulante cloreto férrico e o polímero mais adequado dentre os 26 estudados e sua dosagem, o pH de coagulação adequado, o tempo de floculação (Tfloc), o gradiente de velocidade de floculação (Gfloc) e a quantidade de ar (S^*) requerida. Para obtenção das condições operacionais apropriadas na instalação piloto, foram variados os valores de Tfloc de zero a 24 min e de Gfloc de 40 a 100 s^{-1} . O valor de S^* variou entre 2,85 e 28,5 $g\ ar.m^{-3}$ de efluente, as dosagens de cloreto férrico e polímero sintético variaram de 15 a 92 $mg\ de\ FeCl_3.L^{-1}$ e de 0,25 a 7,0 $mg.L^{-1}$, respectivamente e a taxa de aplicação superficial (TAS) na unidade flotação variou de 180 a 250 $m^3.m^{-2}.d^{-1}$. Excelentes resultados foram verificados na instalação piloto de flotação com a aplicação de 50 $mg.L^{-1}$ de cloreto férrico, Tfloc de 20 min e Gfloc de 80 s^{-1} , R igual a 18%, S^* de 19,7 $g\ de\ ar.m^{-3}$ de efluente e taxa de 180 $m^3.m^{-2}.d^{-1}$, removendo elevadas cargas de DQO (80,6%), de fósforo total (90,1%) e de sólidos suspensos totais (92,1%), apresentando turbidez entre 1,6 e 15,4 UNT e residuais de ferro de 0,5 $mg.L^{-1}$, com remoção estimada de 77g de SST por m^3 de efluente tratado, na forma de lodo. Quanto ao sistema Ralex e FAD, a eficiência global foi de 91,6% para DQO, 91,8% de fósforo, 96,6 de SST e 96,7% de turbidez. Também foi observada a remoção de 99,8% de coliformes fecais. Os resultados demonstraram que o sistema estudado constitui-se em alternativa bastante atraente, capaz de promover elevado grau de tratamento de esgoto sanitário.

Reali et. al. (2007) realizou estudo com o objetivo de investigar a dosagem crítica de coagulante no pós-tratamento do efluente de um reator anaeróbio (Ralex) alimentado com esgoto, usando a coagulação/flotação. Durante o experimento, duas maneiras diferentes de dosagem de cloreto férrico foram testadas. No primeiro, o coagulante foi dosado continuamente durante os ensaios com duração de 12 horas (8:00-20:00h), sendo realizados três ensaios com dosagens de 10,3 $mgFe^{+3}.L^{-1}$, 17,2 $mgFe^{+3}.L^{-1}$ e 24,1 $mgFe^{+3}.L^{-1}$ do coagulante. A segunda modalidade consistia em realizar ensaio com duração de

24 horas, durante o qual diferentes dosagens de coagulante foram fornecidas. Neste ensaio, as doses variaram no intervalo de 14,5-31,7 mgFe⁺³.L⁻¹, de acordo com as características (turbidez e DQO) do efluente Ralex em diferentes períodos do dia (oito períodos de três horas). Os valores da dosagem para este último ensaio foram escolhidos com base em testes preliminares de flotação (flotateste), cujos resultados foram mostrados no trabalho anterior (PENETRA, 2003). A solução de cloreto férrico comercial 39%, com densidade de 1,41 g.cm⁻³ e acidez em torno de 1,21% foi usado como coagulante. Durante os ensaios, alguns parâmetros foram fixados: tempo médio de floculação (Tf) de 20 minutos, gradientes médio de velocidade de floculação (Gf) de $80 \pm 5 \text{ s}^{-1}$, fluxo de recirculação de 18% da vazão afluente, pressão na câmara de saturação $450 \pm 10 \text{ kPa}$ e fornecido de ar de 17 g ar.m⁻³ de esgoto. Os resultados obtidos mostraram que a razão Fe⁺³/turbidez na faixa de 0.12-0.13 permitiu obter remoção de DQO superiores a 90%, remoção de SST acima de 95% e também fósforo de 70%. Para otimizar a remoção de fósforo, a razão Fe⁺³/turbidez deve estar na faixa 0.16-0.18, resultando na remoção de P acima de 95% (P residual variando 0,04-0,16 mg.L⁻¹).

Ariano (2009) estudou a técnica de dosagem variável de coagulante em função da variação da turbidez do esgoto afluente ao sistema de pós-tratamento por flotação, utilizando efluente de reatores UASB localizados em Campinas-SP. Para flotação em escala laboratorial foram fixados alguns parâmetros: Tmr=15 s, Gmr=800 s⁻¹, Tfloc=20 min, Gfloc=90 s⁻¹ e pressão de saturação (Psat) de 5,0 Bar, sendo estudadas quatro velocidades de flotação (Vf) entre 8 e 20 cm.min⁻¹. Os ensaios foram divididos em quatro fases, sendo a primeira caracterizada pela variação da dosagem dos coagulantes Al₂(SO₄)₃, PAC e FeCl₃, objetivando a determinação das melhores dosagens para o horário das 12:00 horas. Na segunda fase, foram fixadas as melhores dosagens de cada coagulante e associada dosagens variadas de polímeros catiônico, aniônico e não iônico. Posteriormente, na fase três, foi realizada avaliação temporal, com ensaios realizados em seis diferentes horários do dia, estabelecendo uma razão entre a variação de turbidez afluente com a dosagem de coagulante. Na quarta fase, foram aplicados quatro cenários de dosagem em doze horários diferentes ao longo das 24 horas. Os resultados de cada uma das quatro fases estão descritos na Tabela 3.2.

Tabela 3.2: fases do trabalho de Ariano (2009).

FASE 1: variação da dosagem dos coagulantes $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, PAC e FeCl_3 , objetivando a determinação das melhores dosagens para o horário das 12:00 horas. ($V_f=16 \text{ cm.min}^{-1}$)		
Coagulante	Dosagem	Remoção
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	$11,77 \text{ mgAl}_2\text{O}_3.\text{L}^{-1}$	SST= 76,5%; DQO= 67,6%; Fósforo= 63,9%
PAC	$8,45 \text{ mgAl}_2\text{O}_3.\text{L}^{-1}$	SST= 62,5%; DQO= 75,0%; Fósforo= 82,7%.
FeCl_3	$24,38 \text{ mgFe}.\text{L}^{-1}$	SST= 60,0%; DQO= 55,9%; Fósforo= 90,3%.
FASE 2: foram fixadas as melhores dosagens de cada coagulante e associada dosagens variadas de polímeros catiônico, aniônico e não iônico. Sendo o polímero catiônico (PC) considerado o melhor auxiliar para todas as melhores dosagens de coagulantes (fase 1).		
Coagulante e polímero	Dosagens	Remoção
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{PC}$	$11,77\text{mgAl}_2\text{O}_3.\text{L}^{-1} + 1,00 \text{ mgPC}.\text{L}^{-1}$	SST= 94,4%; DQO= 88,6%; Fósforo= 70,4%.
PAC + PC	$8,45\text{mgAl}_2\text{O}_3.\text{L}^{-1} + 1,00 \text{ mgPC}.\text{L}^{-1}$	SST= 94,7%; DQO= 62,3%; Fósforo= 88,8%.
$\text{FeCl}_3 + \text{PC}$	$24,38 \text{ mgFe}.\text{L}^{-1} + 1,00 \text{ mgPC}.\text{L}^{-1}$	SST= 77,3%; DQO= 61,6%; Fósforo= 91,6%.
FASE 3: foi realizada avaliação temporal, com ensaios realizados em seis diferentes horários, fixando a dosagem de polímero e variando a de coagulante e estabelecendo uma razão entre a variação de turbidez afluyente com a dosagem de coagulante. O cloreto férrico foi o coagulante escolhido para fase seguinte devido a sua capacidade de precipitação de sulfeto.		
Coagulante e polímero	Dosagens	Remoção
$\text{FeCl}_3 + \text{PC}$ ($V_f=16 \text{ cm.min}^{-1}$)	$12,07 \text{ a } 25,51 \text{ mgFe}.\text{L}^{-1} + 1,00 \text{ mgPC}.\text{L}^{-1}$	DQO<50 $\text{mg}.\text{L}^{-1}$; Fósforo<0,5 $\text{mg}.\text{L}^{-1}$.
FASE 4: foram aplicados quatro cenários de dosagem em doze horários diferentes ao longo das 24 horas.		
Razão Fe^{+3} e turbidez (RDmT)	Recomendação	Resultado
$0,463 \text{ mgFe}^{+3}.\text{L}^{-1}.$	turbidez <50 UNT	turbidez inferior a 15 UNT em todos os ensaios
$0,244 \text{ mgFe}^{+3}.\text{L}^{-1}.$	turbidez >50 UNT	

3.4 Taninos vegetais

O “Tanino” é um termo técnico que se refere a compostos orgânicos vegetais, formados por substâncias fenólicas que possuem uma estrutura

molecular complexa, constituídos por polifenóis simples, carboidratos, aminoácidos e gomas hidroxidolodais. Sua fórmula química é expressa por $C_6H_5COOC_6H_5$, onde o grupo carbonila é característico “tanígeno”.

Apresentam a propriedade de transformar a pele de animais em couro, produção de plásticos, anticorrosivos, cola, floclulantes, etc. Podendo ser usados nas indústrias de curtimento, anticorrosivos, floclulantes, bebidas e plásticos.

Os taninos são encontrados nas folhas, galhos e frutos de diversas plantas. As principais plantas encontradas em território brasileiro que podem ser utilizadas para extração de tanino são: acácia negra (*Acácia mearnsii*), barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*), barbatimão-de-folha-miúda (*Dimorphandra mollis benth*), aroeira (*Lithraea molleoides*), mangue-vermelho (*Rhizophora mangle*), quebracho (*Schinopsis lorentzii*), goiabeira (*Psidium guajava*), jatobá da mata (*Hymenaea stilbocarpa*), murici (*Byrsinima verbascifolia rich*), mangue-branco (*Laguncularia recemosa gaertn*), monjoleiro (*Acácia polyphylla*), angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa*), sucupira (*Bowdichia virgilioides Kunth*), óleo copaíba (*Copaifera langsdorffii Desf*), pau pereira (*Platycyamus regnellii Benth*), angico cangalha (*Peltophorum dubim.*), jacarandá-branco (*Platypodium elegans*), açoita cavalo (*Luchea sp*) (SILVA, 1999; TRUGUILHO et. al., 1997).

Segundo os mesmos autores, os taninos são classificados em:

- Taninos Hidrolizáveis: apresentam uma estrutura de poliéster que se hidrolizam facilmente;
- Galotaninos: possuem como núcleo a glicose;
- Elagitatinos: semelhante ao grupo galotanino, porém são formados com mais um grupo hexahidroxidofenol (ácido gálico) e glicose;
- Oligoméricos complexos: classificados conforme a estrutura e a forma de condensação entre os monômeros;
- Taninos Condensados: são constituídos por flavonóides, com diferentes graus de condensação (condensados por ligações C – C, difíceis de serem rompidas);
- Taninos Complexos: formado pelo grupo hidrolizáveis e condensados. Encontram-se neste grupo taninos condensados e flavonóides;

- Florotaninos: classe encontrada em vegetais inferiores, formados exclusivamente por floroglocinol ligados por C – C ou por C – O, por elementos oxidativos encontrados em até oito unidades.

A madeira é constituída de dois grandes grupos: responsáveis pela formação da estrutura celular e a dos materiais extraíveis. Os mais importantes são os açúcares simples, os polifenóis, os ácidos graxos e inorgânicos, onde estão presentes o cálcio, potássio, magnésio, sulfatos, fosfatos, carbonatos e silicatos entre outros íons.

Dentro das substâncias extraíveis, os polifenóis são o subgrupo mais importante e numeroso e dividem-se em taninos, ligninas e polifenóis simples (polifenóis menores, flavonóides e outros).

Os polímeros extraídos da madeira são derivados da lignina e taninos condensados, que se obtém pela destilação seca ou pirólise, gás metano e óxido de carbono. (MARTINEZ,1996 e FELTRE, 1996)

Conceitos modernos propõem que taninos são fenóis poliméricos de plantas (ligninas e taninos condensados) são oxidados por microrganismos, formando compostos fenólicos, ácidos fenólicos e flavonóides, que posteriormente serão convertidos a quinonas. E estas polimerizam formando compostos húmicos.

3.5 Coagulante à base de tanino

Segundo Costa (2008), o uso de sais de alumínio pode ser prejudicial aos seres humanos e aos organismos vivos, além do que, o excesso deste elemento nos recursos hídricos pode prejudicar o desenvolvimento de peixes e algas. Tal fato deve-se à toxicidade deste elemento para alguns organismos, podendo persistir na água tratada ou no lodo gerado pela estação de tratamento de água(DROSTE, 1997).

Nos últimos anos, vários estudos vêm sendo realizados sobre a utilização de coagulantes poliméricos alternativos aos coagulantes químicos para a produção de água para abastecimento, possibilitando a otimização do processo, com melhorias como a redução da geração e dos teores de metais do lodo (KONRADT-MORAES et. al., 2007). Quanto à aplicação dos biopolímeros de

origem vegetal no tratamento de águas residuárias e industriais nota-se ser uma área ainda pouco explorada, mostrando-se uma promissora área de estudos.

Os taninos são extraídos da casca de vegetais, como da *Acacia mearnsii* De Willd (acácia negra) e são definidos como moléculas fenólicas biodegradáveis com capacidade de formar complexos com proteínas e outras macromoléculas e minerais, podendo ser usadas no tratamento de águas residuárias e de abastecimento no processo de coagulação e floculação, responsáveis pela remoção de minerais, sólidos inertes e microrganismos (CASTRO-SILVA et. al., 2004).

Silva (1999) define os taninos como moléculas com propriedade coagulante, desestabilizando colóides com a eliminação da camada de solvatação, diminuindo o potencial zeta durante o processo de coagulação e assim permitindo a formação de flocos.

O tanino possui a propriedade de não alterar o pH da água tratada, uma vez que não consome alcalinidade do meio, além de ser efetivo na faixa de pH de 4,5 a 8 (KONRADT-MORAES et. al., 2007). Como é efetivo a uma ampla faixa de pH, normalmente elimina a necessidade do uso de alcalinizantes, como soda ou cal, reduzindo o volume de lodo a ser descartado. Outra característica dos taninos é sua capacidade de adsorver metais dissolvidos em água que, ao se aglutinarem, precipitam, podendo ser removidos.

Outro fator importante no emprego dos coagulantes biodegradáveis é a redução do odor desagradável das estações de tratamento de efluentes, originados pela ação dos microrganismos, associados aos sulfatos reduzidos a sulfetos no processo de coagulação/floculação (CRUZ, 2004).

Cruz (2004) estudou a aplicação e a eficiência do uso de coagulante vegetal no tratamento do efluente de uma lavanderia industrial, realizando a coagulação/floculação com os coagulantes: sulfato de alumínio associado à poliacrilamida catiônica e tanino catiônico associado à poliacrilamida aniônica. E também a adsorção/coagulação/floculação com uso de carvão ativado em pó, tanino catiônico e poliacrilamida aniônica. A dosagem de reagentes foi otimizada através do Jarteste e a eficiência de cada uma das alternativas foi avaliada em termos de remoção de sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos, cor, turbidez, DQO e surfactantes. O tratamento de coagulação/floculação usando o tanino catiônico com dosagens de 166 mg.L⁻¹ (em base seca) e de 2 mg.L⁻¹ de uma

poliacrilamida aniônica de alto peso molecular na faixa de pH entre 6,0 e 7,5 apresentou alto grau remoção das impurezas com a conseqüente clarificação da água. Nestas condições foi possível remover os sólidos suspensos e uma fração considerável de carga orgânica (DQO reduziu de 666,4 mg.L⁻¹ para 105,8 mg.L⁻¹) e de surfactantes (34,2 mg.L⁻¹ para 6,2 mg.L⁻¹), porém não atendendo ao padrão referente apenas ao lançamento de surfactantes.

Ainda os resultados mostraram que a qualidade dos efluentes com emprego de sulfato de alumínio e tanino catiônicos foi semelhante quanto aos parâmetros físico-químicos analisados. Porém, apenas o tratamento que associa carvão ativado (2 g.L⁻¹ de carvão ativado), tanino catiônico (166 mg.L⁻¹ tanino catiônico em base seca) e polímero floculante (2 mg.L⁻¹ de uma poliacrilamida aniônica de alto peso molecular) atendeu a todos os padrões de lançamentos exigidos para estes efluentes. E conclui que a menor concentração de sulfatos, menor geração de lodo e lodo biodegradável caracterizam a aplicação do coagulante tanino catiônico como sendo um processo de tratamento mais limpo.

Vanacôr (2005) estudou o uso do coagulante orgânico de origem vegetal a base de tanino para tratar água de abastecimento analisando a qualidade final da água, o custo do tratamento, o impacto ambiental gerado durante a potabilização da água e a operacionalidade da ETA de Novo Hamburgo/RS com o coagulante. Os resultados permitiram verificar a redução na concentração de alumínio da água tratada e nos resíduos oriundos do tratamento com o coagulante a base de tanino em relação ao tratamento com sulfato de alumínio. Além disso, foi constatada a redução no volume de lodo gerado nos decantadores. Entretanto, foi verificado o aumento dos custos do tratamento na ETA com o uso de coagulante a base de tanino.

Máximo e Castilhos Jr. (2007) estudaram o processo de tratamento físico-químico por coagulação-floculação para o lixiviado gerado no Aterro Metropolitano de Grande Florianópolis, situado em Biguaçu – SC, utilizando cloreto férrico, sulfato de alumínio e tanino como coagulantes. O estudo foi desenvolvido em duas etapas, a primeira com o objetivo da otimização dos parâmetros operacionais através dos ensaios de bancada utilizando o Agitador Mecânico, a segunda etapa já com os parâmetros ótimos conhecidos (gradientes de velocidade de mistura rápida e floculação, bem como os tempos da mistura

rápida, floculação e sedimentação) foi avaliado através de análises físicas e químicas as eficiências de remoção dos materiais recalcitrantes e metais pesados para o lixiviado bruto e tratado. Observou-se que o tratamento primário utilizando o tanino foi mais eficiente alcançando remoções de 38% de DQO, 50% de COT e 28% de fósforo total. Cabe ainda ressaltar, que o tanino apresentou melhores remoções, no entanto o cloreto férrico alcançou melhor eficiência na remoção de fósforo total (62%).

Costa (2008) investigou a influência de fatores biológicos e físico-químicos na remoção de cor e turbidez em tratamento de efluentes de lavanderia e tinturaria industriais. Foram estudadas variáveis como consórcio microbiano, aeração, agitação, concentração de tanino e do polímero auxiliar de floculação (POLICAP – 32), utilizando como variáveis resposta a cor e turbidez. As maiores remoções de cor e turbidez foram obtidas com concentração de tanino de 0,3 mg.L⁻¹, polímero auxiliar de floculação a 15 ppm em pH 7,5. Nessas condições, foram obtidas as eficiências remoção de cor de 96% (residual de 50 mgPt/L) e turbidez de 79% (residual de 4 NTU).

Posteriormente, Coral et. al. (2009) estudaram a viabilidade técnica da utilização de um polímero natural a base de tanino em substituição ao sulfato de alumínio como agente coagulante e floculante no tratamento de água de abastecimento. Visando a comparação entre as eficiências dos processos utilizando os diferentes agentes coagulantes e floculantes, foram analisados parâmetros físico-químicos como pH, turbidez, alcalinidade, sólidos sedimentáveis e matéria orgânica, com concentrações de coagulantes pré-estabelecidos entre 10 e 60 mg.L⁻¹, em intervalos de 10 mg. Os resultados obtidos indicaram que o coagulante natural demonstrou maior eficiência quanto aos parâmetros pH e alcalinidade; para os demais parâmetros analisados, os resultados obtidos foram bastante próximos para ambos os coagulantes. É possível concluir que o polímero natural utilizado mostrou-se um potencial substituto ao sulfato de alumínio para o tratamento de água de abastecimento, sendo necessários mais estudos para a completa caracterização deste coagulante e sua eficiência no tratamento de águas para consumo humano.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição da área de estudo

A ETE Monjolinho foi inaugurada em dezembro de 2008. Atualmente, a coleta do esgoto é feita em 85% da cidade, faltando apenas o bairro Cidade Aracy, que futuramente também irá coletar e transportar todo o esgoto produzido, levando-o em sua totalidade para a ETE/Monjolinho. O projeto foi dividido em três etapas, sendo que a primeira abrangerá o tratamento de 100% do esgoto gerado no município, com uma vazão de 600 L.s^{-1} . A segunda etapa deverá ser implantada em 2015, prevendo-se o tratamento da vazão de 1.000 L.s^{-1} . Estimando-se uma população de 500 mil habitantes, a terceira etapa deverá ser implementada a partir de 2055, com capacidade para o tratamento de 1.270 L.s^{-1} (SAAE/SÃO CARLOS, 2009).

A tecnologia empregada na ETE Monjolinho associa o tratamento biológico (anaeróbio) ao físico-químico. A Figura 4.1 apresenta o fluxograma básico do tratamento da primeira fase. Na configuração atual, o esgoto chega por gravidade à estação, onde passa pelo gradeamento. O tratamento preliminar localiza-se em cota elevada, garantindo carga hidráulica no processo de tratamento.

Figura 4.1: Fluxograma da ETE Monjolinho São Carlos-SP
 Fonte: Fagundes (2010).

Além das peneiras mecanizadas e grades, o tratamento preliminar é constituído por medidor de vazão e caixa de areia e gordura. O material retido é armazenado em caçambas, sendo posteriormente levado ao aterro sanitário. Após o tratamento preliminar, segue-se o tratamento biológico, realizado em dois módulos de reatores UASB. Os gases produzidos são recolhidos e encaminhados para queimadores. O efluente dos reatores segue para etapa físico-química posterior ao tratamento.

O tratamento físico-químico inicia com chegada do efluente dos reatores UASB até o canal de medição de vazão e mistura rápida na unidade de coagulação. Nesta etapa, é realizada a aplicação de cloreto férrico no canal de entrada. Após a coagulação, o efluente é encaminhado ao sistema de floculação.

O efluente floculado segue para a etapa final de tratamento onde ocorrerá a clarificação através de flotadores por ar dissolvido circulares seguido de desinfecção com UV. A introdução do ar dissolvido nos flotadores vem de unidades de saturação de ar que, por meio de bombas de recirculação, levam parte do efluente tratado que será utilizado para a saturação de ar. Essa saturação é feita por meio de compressores de ar que elevam a pressão de saturação do meio; depois de pressurizado, o efluente saturado é encaminhado para zona de contato de cada flotador, despressurizando-se e arrastando parte significativa do material coloidal afluente do sistema FAD. As partículas aderidas às bolhas ficam acumuladas na superfície do tanque de flotação, permitindo a sua remoção com raspadores superficiais, sendo o lodo removido encaminhado à desidratação mecânica e depois levado para o aterro sanitário. Após esta etapa, o efluente clarificado segue para desinfecção por UV, ocorrendo a remoção de coliformes fecais e desta para uma escada hidráulica para a pós-aeração do efluente e o efluente final é encaminhado ao Córrego do Monjolinho.

A ETE Monjolinho está projetada para receber, na segunda fase de implantação, unidade de tratamento aeróbio (lodos ativados) entre as etapas de tratamento anaeróbio (UASB) e coagulação, floculação e flotação.

4.2 Ensaios com Flotateste

Os ensaios de variação de dosagem de coagulante e polímero foram realizados em escala de laboratório, com o uso dos equipamentos Agitador Mecânico e Flotateste. A mistura rápida foi realizada em sistema de agitação mecânica, compostos por 6 jarros em acrílico transparente com capacidade de 2,3L cada e controlador de rotações para ajuste do gradiente médio de velocidade (Foto em anexo).

O equipamento Flotateste é composto por conjunto de vasos cilíndricos, independentes entre si e interligados à câmara de saturação. Para a floculação, cada vaso possui agitador mecânico e, para a flotação, a câmara de saturação possui entrada de ar comprimido, que provém de compressor de ar e de água da rede de abastecimento público.

Figura 4.2: Esquema Geral do Flotateste

Fonte: REALI (1991)

Figura 4.3: Equipamento Flotateste utilizado na pesquisa.

4.3 Reagentes utilizados

Nos ensaios com flotatestes foi utilizado o coagulante tanino Acquapol OF 18 e como auxiliar de flotação foram estudados três tipos de polímeros sintéticos, sendo: polímero catiônico de alto peso molecular e alta carga, polímero aniônico de alto peso molecular e média carga e polímero não iônico.

- Tanino Acquapol OF18

O Acquapol OF 18 é um polímero natural de caráter catiônico derivado da modificação do extrato aquoso vegetal da casca da Acácia negra (*Acácia mearnsii de wild*). Apresenta ação fortemente coagulante que atua em sistemas de partículas coloidais, neutralizando as cargas e formando pontes entre elas. Este processo é responsável pela formação dos flocos e conseqüentemente a sua decantação/flotação.

Por atração iônica e interação superficial, as diversas impurezas presentes são eliminadas rapidamente por coagulação e rápida

precipitação/flotação. Através de sua ação complexante remove total ou parcialmente metais em solução. Ainda, sua aplicação não altera o pH do sistema, pois não consome a alcalinidade do meio para sua ação, sendo efetivo na faixa de pH de 4,5 a 8,0.

É usado na forma líquida, ou sob forma de solução diluída, sozinha ou combinada com sulfato de alumínio, polímeros, etc. Apresenta características não corrosivas, não tóxicas e essencialmente orgânicas.

Fornecimento: Líquido

Fornecedor: Acquaquímica Ltda.

Peso específico (g.cm^{-3}): 1,08

Caráter iônico: catiônico

- Polímero Catiônico

Fornecimento: em pó

Fornecedor: Lab Química

Tipo: LABTAE 415

- Polímero Aniônico

Fornecimento: em pó

Fornecedor: Lab Química

Tipo: LABTAE 410

- Polímero Não Iônico

Fornecimento: em pó

Fornecedor: Lab Química

Tipo: LABTAE 413

4.4 Parâmetros fixados

Nos ensaios com flotatestes, foram fixados alguns parâmetros, como: $G_{mr}=800 \text{ s}^{-1}$; $T_{mr}=20 \text{ s}$; $G_{floc}=90 \text{ s}^{-1}$; $T_{floc}=15 \text{ min}$; $P_{sat}=5 \text{ Bar}$ e $R=17\%$.

Esses parâmetros foram fixados com base nos trabalhos de Penetra (1998), Reali et. al. (2007) e Ariano (2009), sendo que algumas parâmetros utilizados se aproximaram das condições operacionais da ETE Monjolinho.

O gradiente de mistura rápida proposto tomou como base o tipo de mistura rápida presente na ETE Monjolinho, formado por ressalto hidráulico através do medidor de vazão do tipo Parshall. Esse tipo de configuração gera um gradiente entre 800 e 1000 s^{-1} , sendo dessa forma fixado para os ensaios o valor de $G_{mr}=800 \text{ s}^{-1}$. A pressão saturação utilizada nesta pesquisa (P_{sat}) foi de 5 Bar .

. Durante os ensaios com unidade de flotação em escala de bancada foram avaliados três valores de velocidades de flotação (V_f): $V_{f1}=12,0 \text{ cm.min}^{-1}$, $V_{f2}=16,0 \text{ cm.min}^{-1}$ e $V_{f3}=20,0 \text{ cm.min}^{-1}$. As amostras obtidas em diferentes valores de V_f nos ensaios estáticos de flotação podem ser correlacionados, mesmo que de forma apenas aproximada, aos resultados que poderiam ser obtidos em diferentes valores de taxa de aplicação superficial em flotadores com escoamento contínuo. A semelhança entre esses conceitos fazem com que diversos valores de V_f venham sendo estudados, objetivando o melhor desempenho da FAD para diversas TAS, em escala de laboratório.

4.5 Roteiro dos ensaios

Na presente pesquisa foram aplicadas diferentes dosagens de coagulante ao efluente do reator UASB da ETE Monjolinho/São Carlos, coletado em dois horários (8 h e 14 h). Tal horário para coleta foi escolhido com base no fato de que o afluente à ETE por volta das 8 h ainda apresenta composição caracterizada por baixas concentrações de carga orgânica (DQO) e sólidos suspensos, comparados com características do esgoto afluente por volta de 14 h. Embora os reatores UASB promovam certo grau de equalização ou amortecimento das variações de qualidade em seu efluente face às variações

em seu afluente, ainda assim verifica-se qualidades diferentes do esgoto nesses dois horário (8 h e 14 h).

Os ensaios foram divididos em duas fases, a fase 1 teve como objetivo determinar duas dosagens do coagulante Tanino mais adequadas para o tratamento do efluente de UASB da ETE Monjolinho para cada polímero testado. Já a segunda fase teve como objetivo aprofundar o estudo entre as duas dosagens do coagulante Tanino selecionadas na fase anterior, verificando qual dos polímeros utilizados é o mais apropriado para o tratamento do efluente em estudo e também definir o conjunto de dosagens de coagulante e polímero com maior eficiência encontrado nas baterias de ensaio realizadas para cada polímero.

4.5.1 Descrição Fase 1

O roteiro dos ensaios com flotatestes na fase 1 estão representados na Figura 4.4.

Figura 4.4: Procedimentos dos ensaios com flotatestes fase 1.

O roteiro de ensaios apresentados anteriormente mostra os procedimentos dos ensaios de variação de coagulante e polímero na fase 1. A faixa de dosagem do coagulante utilizada nesta fase foi ampla, uma vez que não se tinha conhecimento da resposta que o coagulante à base de tanino teria ao tratar, por flotação, o efluente da ETE Monjolinho. Para isso, foi utilizado o princípio do método de Fibonacci, que pode ser expresso pela equação 1, para determinar os valores de dosagens do coagulante tanino a serem testados nesta fase.

$$a_n = a_{n-2} + a_{n-1} \quad (1)$$

Adotando $a_0=5$, tem-se:

$$a_1 = a_0 + 0 = 5 + 0 = 5$$

$$a_2 = a_1 + a_0 = 5 + 5 = 10$$

$$a_3 = a_2 + a_1 = 5 + 10 = 15$$

Em que, o primeiro termo (a_{n-2}) somado ao segundo termo (a_{n-1}) resulta no terceiro termo (a_n).

Sendo definido o $a_0 = 5$, obteve-se como dosagens a sequência 5 mg.L⁻¹, 10 mg.L⁻¹, 15 mg.L⁻¹, 25 mg.L⁻¹, 40 mg.L⁻¹, 65 mg.L⁻¹, 105 mg.L⁻¹ e 170 mg.L⁻¹. A dosagem foi expressa em miligrama da solução comercial concentrada por litro de esgoto.

A representação do desenvolvimento da primeira fase, quanto às análises físico-químicas realizadas com cada efluente de UASB, estão apresentados na Figura 4.5 para o horário das 8:00 h e na Figura 4.6 para horário das 14:00 h.

Para todos os ensaios realizados foram coletadas amostras do efluente do sistema de tratamento UASB coletados na ETE Monjolinho e amostras do efluente após a flotação (flotateste). Todas as amostras coletadas foram submetidas a monitoramento simplificado para determinação de cor aparente e turbidez.

Figura 4.5: Análises físico-químicas realizadas na fase 1A (8:00 h).

Os ensaios realizados na fase 1A no horário das 8:00 h, representaram uma etapa preliminar do trabalho, sendo que seus resultados foram analisados conforme a Figura 4.5. O objetivo desta primeira etapa da fase 1A foi analisar a resposta do sistema de flotação com o emprego do coagulante Tanino no tratamento do efluente do reator UASB da ETE Monjolinho, através da avaliação da fração residual de turbidez e cor.

Figura 4.6: Análises físico-químicas realizadas na fase 1B (14:00 h).

Os ensaios da fase 1B no horário das 14:00 h, representaram parte fundamental para a realização da segunda fase da pesquisa. No segundo horário estudado na fase 1B foram aplicadas as dosagens de coagulante tanino e também dosagens de polímero aplicada com variação de $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ cada.

Todas as amostras após flotação foram avaliadas quanto ao valor de turbidez residual.

Considerando que grande parte dos flotadores em escala real para este tipo de aplicação são projetados para operações com taxa de aplicação superficial de 170 a 220 m.d^{-1} (representando 11,8 a 15,3 cm.min^{-1}), foi escolhida a velocidade de flotação de 12 cm.min^{-1} para realização das análises físico-químicas adicionais (Figura 4.6).

Com base nos resultados das análises físico-químicas adicionais, foram escolhidas duas dosagens do coagulante Tanino para cada um dos polímeros testados, estas foram utilizadas para estudo das dosagens intermediárias na fase 2. Para esta fase, os critérios utilizados para escolha das duas dosagens for remoção de turbidez maior que 85% com emprego de menores dosagens do coagulante tanino.

4.5.2 Descrição da Fase 2

O roteiro dos ensaios com flotatestes na fase 2 está representado na Figura 4.7. Nesta fase, as coletas de amostras do efluente UASB ocorreram as 14:00 h, sendo que a variação da dosagem de coagulante foi determinada com base nos dois melhores resultados da fase anterior, com estudos das dosagens intermediárias a eles, utilizando a velocidade de flotação de 12 cm.min^{-1} . Esta fase foi realizada visando a obtenção do conjunto de dosagens do coagulante Tanino e polímero, com melhores remoções de turbidez (superior a 90% de remoção) e redução DQO (maior que 80%) para o efluente da ETE Monjolinho tratado por flotação. Depois de selecionada a dosagem mais eficiente para cada um dos polímeros estudados, foi escolhido dentre os três resultados, o polímero que apresentou melhores remoções de turbidez (superior a 95%) com aplicação de menores dosagens de Tanino, sendo o conjunto tanino e polímero definido como a dosagem ótima para os eventos estudado.

Figura 4.7: Procedimentos dos ensaios com flotatestes fase 2 (14:00 h).

A representação do desenvolvimento da segunda fase, quanto às análises físico-químicas realizadas com cada efluente, estão apresentadas na Figura 4.8 e mostram que nesta fase todas as amostras após a flotação foram analisados detalhadamente.

Figura 4.8: Análises físico-químicas realizadas na fase 2 (14:00 hs)

As análises foram realizadas utilizando o Laboratório de Tratamento Avançado e Reuso de Águas (LATAR), Laboratório de Saneamento e Laboratório de Biotoxicologia em Águas Continentais e Efluentes (BIOTACE) do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (SHS-EESC-USP) e Laboratório de Saneamento da ETE Monjolinho de acordo com o *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (2005).

Tabela 4.1: Variáveis a serem analisadas e método utilizado

Variáveis	Unidade	Método	nº Método	Referência
pH		Potenciômetro	4500 – H ⁺ B	APHA, 2005
Temperatura	° C	Termométrico	2550 B	APHA, 2005
Alcalinidade	mgCaCO ₃ L ⁻¹	Titulométrico		Dilallo e Albertson, 1961 modificado por Ripley et. al., 1986
DQO	mgO ₂ L ⁻¹	Espectrofotométrico	5220 D	APHA, 2005
ST	mgL ⁻¹	Gravimétrico	2540 B	APHA, 2005
SST	mgL ⁻¹	Gravimétrico	2540 D	APHA, 2005
N _{NTK}	mgNL ⁻¹	Kjeldahl	4500 B N _{NTK}	APHA, 2005
N _{AMON}	NH ₃ ⁺ -NL ⁻¹	Titulométrico	4500 BC NH ₃	APHA, 2005
Sulfato	mgL ⁻¹	KIT Hach Sulfate		
Sulfeto	mgL ⁻¹	Azul de metileno		
Fósforo	mg P-PO ₄ ³⁻ L ⁻¹	Espectrofotométrico	4500-P	APHA, 2005

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentados os resultados para as duas fases da pesquisa, e suas respectivas discussões e comentários. A Figura 5.1 ilustra o esquema geral das fases e suas características.

Figura 5.1: Esquema geral dos ensaios realizados no presente estudo.

A apresentação dos dados obtidos em cada fase foi feita na forma de gráficos e tabelas no decorrer do presente item.

5.1 Resultados da fase 1

Durante a fase 1 desta pesquisa, foi estudado o tratamento de efluente de reator UASB com coagulante tanino. As dosagens foram variadas objetivando estabelecer a melhor faixa de dosagem do coagulante Tanino para o pós-tratamento do efluente dos reatores UASB da ETE Monjolinho. As bateladas de ensaio de 1 a 6 foram realizadas com amostra de efluente de UASB coletado no horário das 8:00 h apenas com a variação do coagulante tanino e as bateladas de ensaios de 7 a 12 foram realizadas com emprego de amostras de efluente de

UASB coletado no horário das 14:00 h com variação do coagulante tanino e dos três auxiliares de flotação estudados.

5.1.1 Resultados Fase 1A (Coleta de efluente às 8:00 h)

Os resultados da avaliação da dosagem de coagulante tanino realizados na fase 1A com efluente coletados às 8:00 h, cujo objetivo foi analisar a resposta do tratamento por flotação do coagulante Tanino, foram divididos em dois itens: caracterização do efluente do reator UASB, e ensaios com *flotatestes*.

Na bateria de ensaios constituída pelos ensaios 1, 3 e 5 foram testadas dosagens de 5, 10, 15 e 25 mg.L⁻¹ do coagulante tanino, e, na bateria de ensaios formada pelos ensaios 2, 4 e 6, foram avaliadas as dosagens de 40, 65, 105 e 170 mg.L⁻¹ do mesmo coagulante.

5.1.1.1 Ensaio 1, 3 e 5 (Dosagens de coagulante de 0 a 25 mg.L⁻¹)

Conforme comentado nos ensaios 1, 3 e 5 foi realizada a avaliação do coagulante tanino no tratamento do efluente de reator UASB coletado às 8:00 h. Nestes ensaios foram testadas quatro dosagens de coagulante tanino, sendo elas: 5 mg.L⁻¹, 10 mg.L⁻¹, 15 mg.L⁻¹, 25 mg.L⁻¹.

5.1.1.1.1 Caracterização do efluente do reator UASB durante as baterias de ensaio 1, 3 e 5

No decorrer da bateria de ensaio 1, 3 e 5, o efluente do reator UASB apresentaram as características mostradas na Tabela 5.1

Tabela 5.1: Características do efluente UASB durante a realização da bateria de ensaio 1, 3 e 5.

Análise	Unidade	Campos et. al. (2007)	Ensaio 1 (21/09/10)	Ensaio 3 (06/10/10)	Ensaio 5 (22/11/10)
		UASB	UASB	UASB	UASB
Temp.	°C	25 ± 2	24,8	24,9	26,5
pH	UpH	7,3 – 7,8	6,92	6,7	6,66
Cor	mg Pt/L	541	396	1010	1220
Cond.	µS/cm	-	890	856	723
Turbidez	NTU	189	85,3	93,2	78,8
DQO	mg/L	184	162,7	197,95	268,49
Fósforo	mg/L	4,84	9,3	7,4	7,07
Alcal.	mg/L	271	255,77	267,07	220,85
ST	mg/L	-	574	565,5	569
SST	mg/L	78	56,53	61,73	63,2
Sulfeto	mg/L	3,34	12,40	6,11	7,19
Abs 254	cm ⁻¹	-	0,345	0,281	0,207

Conforme Tabela 5.1, nota-se que nos ensaios 3 e 5 os resultados das análises de vários parâmetros de qualidade do reator UASB apresentam-se elevados quando comparados ao ensaio 1 e ao trabalho de Campos et. al. (2007), isso deve-se a problemas na ETE Monjolinho na data da coleta, cuja unidade desaguadora de lodo estava parada e o lodo resultante dos tratamentos estava retornando para a entrada dos reatores UASB.

5.1.1.1.2 Resultados das baterias de ensaios 1, 3 e 5 realizados com o floateste

A seguir são apresentados os resultados obtidos com a aplicação de diferentes dosagens de coagulante tanino para três velocidades de flotação nas baterias 1, 3 e 5.

Na Figura 5.2, são apresentados os resultados de fração residual de turbidez da bateria de ensaios 1, 3 e 5 realizadas variando a dosagem de coagulante Tanino em: 5 mg.L⁻¹, 10 mg.L⁻¹, 15 mg.L⁻¹ e 25 mg.L⁻¹.

A Tabela 5.2 mostra os valores de fração residual de turbidez calculados para a construção dos gráficos mostrados na Figura 5.2, juntamente com os valores de pH de coagulação em cada dosagem nos ensaios descritos.

Figura 5.2: Fração residual de turbidez em função da velocidade de flotação, para diferentes dosagens de coagulante tanino obtidos nas baterias de ensaio nº1, nº3 e nº5 realizadas com emprego do Flotatest

Tabela 5.2: Fração Residual de Turbidez após flotação com coagulante tanino nas baterias de ensaio 1, 3 e 5

	Dosagem Tanino	Fração Residual de Turbidez (T/T0)			
		Velocidade de flotação (cm/min)			pH Coagulação
		12	16	20	
Bateria de Ensaio 1	5	0,907	0,924	0,949	7,00
	10	0,902	0,909	0,902	7,11
	15	0,850	0,871	0,878	7,17
	25	0,805	0,805	0,738	7,12
Bateria de Ensaio 3	5	0,718	0,723	0,726	7,17
	10	0,648	0,722	0,708	7,08
	15	0,616	0,648	0,719	7,07
	25	0,610	0,644	0,717	7,13
Bateria de Ensaio 5	5	0,717	0,694	0,733	7,40
	10	0,664	0,671	0,703	7,12
	15	0,654	0,664	0,693	6,90
	25	0,602	0,627	0,672	6,95

Conforme apresentado na Figura 5.2, nota-se que a eficiência de remoção de turbidez foi semelhante nas dosagem de coagulante Tanino. Embora os valores de turbidez residual ainda sejam altos, verificou-se a remoção de turbidez, mesmo com aplicação de baixas dosagens de coagulante. Quanto as velocidades de flotação, pode-se notar que as frações residuais de turbidez foram muito próximas, demonstrando que o sistema de flotação com efluente de reator anaeróbio coagulado com tanino é passível a trabalhar com elevadas velocidades de flotação.

A Figura 5.3 representa os resultados de turbidez obtidos nos três ensaios, através da média da turbidez para cada dosagem de coagulante aplicada nas velocidade de flotação 12 cm.min⁻¹, 16 cm.min⁻¹ e 20 cm.min⁻¹. Os resultados apresentados na Figura 5.3 permitem inferir que a velocidade de flotação de 12 cm.min⁻¹ apresentou melhores resultados para a remoção de turbidez, chegando a atingir eficiência de 24,72% para a dosagem de 25 mg.L⁻¹.

Na Figura 5.4 estão apresentados os resultados de cor aparente obtidos pela média dos três ensaios para cada dosagem nas velocidade de flotação de 12 cm.min⁻¹, 16 cm.min⁻¹ e 20 cm.min⁻¹. Os resultados apresentados na Figura 5.4 permitem verificar que a velocidade de flotação de 12 cm.min⁻¹ apresentou

os melhores resultados de remoção de cor aparente, atingindo até 73,42% na dosagem de 25 mg.L⁻¹.

Destaca-se o fato de que nessa etapa de ensaio, o coagulante tanino mesmo quando aplicado em dosagens baixas, como 5 mg/L proporcionou remoção de cor aparente (70,5%), consideradas maiores quando comparadas a remoção de turbidez (20,4%).

Figura 5.3: Resultado de turbidez residual média em função da velocidade de flotação nas diferentes dosagens do coagulante tanino, obtidas nas baterias de ensaio n.1, n.3 e n.5, realizadas com flotatestes.

Figura 5.4: Resultado de cor aparente residual média em função da velocidade de flotação nas diferentes dosagens do coagulante tanino, obtidas nas baterias de ensaio n.1, n.3 e n.5, realizadas com flotatestes.

5.1.1.2 Bateria de Ensaio 2, 4 e 6

As baterias de ensaios 2, 4 e 6 foram caracterizadas pela avaliação do coagulante tanino tratando efluente de reator UASB coletado às 8:00 h. Nestas baterias de ensaios foram testadas quatro dosagens de coagulante tanino, sendo elas: 40 mg.L⁻¹, 65 mg.L⁻¹, 105 mg.L⁻¹, 170 mg.L⁻¹.

5.1.1.2.1 Caracterização do efluente do reator UASB durante as baterias de ensaio 2, 4 e 6.

Durante a realização da bateria de ensaio 2, 4 e 6, o efluente do reator UASB apresentaram as características mostradas na Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Características do efluente UASB durante a realização da bateria de ensaio 2, 4 e 6.

Análise	Unidade	Campos et. al. (2007)	Ensaio 2 (16/09/10)	Ensaio 4 (22/10/10)	Ensaio 6 (29/11/10)
		UASB	UASB	UASB	UASB
Temp.	°C	25 ± 2	25,1	27,4	27,5
pH	UpH	7,3 – 7,8	6,88	6,77	6,82
Cor	mg Pt/L	541	486	814	448
Cond.	µS/cm	-	853	1066	829
Turbidez	NTU	189	86	144	52
DQO	mg/L	184	230,4	260,34	159,53
Fósforo	mg/L	4,84	8,12	13,53	8,26
Alcal.	mg/L	271	277,344	288,1296	251,66
ST	mg/L	-	483,33	677,33	569
SST	mg/L	78	73,6	84	63,2
Sulfeto	mg/L	3,34	8,79	16,1625	8,875
Abs 254	cm ⁻¹	-	0,284	0,291	0,205

De acordo com a Tabela 5.3, nota-se que no ensaio 4 o resultado das análises de vários parâmetros de qualidade do reator UASB apresentaram-se elevados quando comparados aos ensaios 2 e 6 e também ao trabalho de Campos et. al. (2007), isso pode ser justificado por problemas na ETE Monjolinho na data da coleta, cuja unidade desaguadora de lodo estava parada e o lodo resultante dos tratamentos estava sendo retornado para a entrada dos reatores UASB.

5.1.1.2.2 Resultados das baterias de ensaios 2,4 e 6 realizadas com o flotateste

Os resultados obtidos com a aplicação de diferentes dosagens de coagulante tanino para as três velocidades de flotação nas baterias de ensaios 2, 4 e 6 são apresentados a seguir, para análise de remoção da turbidez e da cor das amostras após flotação.

Na Figura 5.5, são apresentados os resultados de turbidez residual da bateria de ensaios realizados variando a dosagem de coagulante Tanino em: 40 mg.L⁻¹, 65 mg.L⁻¹, 105 mg.L⁻¹ e 170 mg.L⁻¹. A Tabela 5.4 mostra os valores de turbidez residual usados para a construção dos gráficos mostrados na Figura 5.5, juntamente com os valores de pH de coagulação em cada dosagem nas baterias de ensaios descritas.

Figura 5.5: Fração residual de turbidez em função da velocidade de flotação, para diferentes dosagens de coagulante tanino obtidos nas baterias de ensaio nº2, nº4 e nº6 realizadas com emprego do Flotatest

Tabela 5.4: Fração Residual de Turbidez após flotação com coagulante tanino nas baterias de ensaio 2, 4 e 6

	Dosagem Tanino	Fração Residual de Turbidez (T/T0)			
		Velocidade de flotação (cm/min)			pH Coagulação
		12	16	20	
Bateria de Ensaio 2	40	0,566	0,569	0,593	6,96
	65	0,421	0,436	0,486	6,99
	105	0,193	0,207	0,214	6,96
	170	0,073	0,083	0,083	7,08
Bateria de Ensaio 4	40	0,554	0,566	0,578	7,19
	65	0,364	0,380	0,380	7,18
	105	0,199	0,205	0,223	6,93
	170	0,058	0,061	0,109	7,06
Bateria de Ensaio 6	40	0,433	0,359	0,380	7,02
	65	0,249	0,256	0,253	7,09
	105	0,095	0,125	0,130	7,19
	170	0,069	0,062	0,083	7,01

A Tabela 5.4 apresenta a turbidez residual para cada ensaio, nota-se que a eficiência de remoção de turbidez fica superior com o aumento das dosagens de coagulante. Nestes ensaios, os valores de fração residual de turbidez foram menores que os resultados das baterias de ensaios 1, 3 e 5 (dosagens 5 a 25 mg.L⁻¹), como esperado. Pode-se observar também que as dosagens de 105 mg.L⁻¹ e 170mg.L⁻¹ apresentaram excelentes resultados de frações residuais de turbidez, em especial os ensaios com velocidade de flotação de 12 cm.min⁻¹, onde a fração residual foi sempre inferior a 0,2, representando remoções superiores a 80% da turbidez.

Quanto as velocidades de flotação, pode-se notar que as frações residuais de turbidez foram muito próximas, demonstrando que o sistema de flotação com efluente de reator anaeróbio coagulado com tanino é passível a trabalhar com elevadas velocidades de flotação.

Os resultados apresentados na Figura 5.6, referem-se aos valores de turbidez residual obtidos nas três baterias de ensaios, através da média da turbidez residual em cada dosagem nas velocidade de flotação 12, 16 e 20 cm.min⁻¹. Os resultados apresentados na Figura 5.6 permitem inferir que a velocidade de flotação de 12 cm.min⁻¹ apresentou melhores resultados para a remoção de turbidez, chegando a atingir eficiência de 95,56% para a dosagem de 170 mg.L⁻¹.

Figura 5.6: Resultado de turbidez média em função da velocidade de flotação dos três ensaios para diferentes dosagens do coagulante tanino, obtidas nas baterias de ensaio n.2, n.4 e n.6, realizadas com flotatestes.

Figura 5.7: Resultado de cor aparente média em função da velocidade de flotação dos três ensaios para diferentes dosagens do coagulante tanino, obtidas nas baterias de ensaio n.2, n.4 e n.6 realizadas com flotatestes.

Na Figura 5.7 estão apresentados os resultados de cor aparente obtidos pela média dos três ensaios para cada velocidade de flotação. Os resultados apresentados permitem verificar que a velocidade de flotação de 12 cm.min⁻¹ apresentou excelentes resultados de remoção de cor, atingindo até 88,28% na dosagem de 170 mg.L⁻¹.

5.1.1.3 Análise dos resultados encontrados nas baterias de ensaio 1, 2, 3, 4, 5 e 6.

Com base nos resultados apresentados nas baterias de ensaio de 1 a 6, foi construído um gráfico (Figura 5.8) com as frações residuais de turbidez e de cor aparente para análise comparativa entre as remoções desses dois parâmetros no tratamento por flotação com coagulante tanino, utilizando os dados obtidos na velocidade de flotação de 12 cm.min⁻¹.

Observando os resultados de C/Co indicados na Figura 5.8, verifica-se que mesmo para dosagem nula de coagulante a flotação foi capaz de promover a remoção da maior parte das partículas causadoras de cor aparente. Porém, no que se refere à turbidez, verifica-se efeito marcante da adição de dosagem crescente de coagulante no aumento da eficiência de remoção desse parâmetro. Ou seja, os resultados indicam que para esse tipo de efluente, a flotação foi efetiva, mesmo sem aplicação de coagulante, na remoção de cerca de 40% das partículas causadoras de cor aparente.

Figura 5.8: Frações Residuais Médias de Turbidez e Cor Aparente por dosagem de coagulante tanino nas baterias de ensaios de 1 a 6 para velocidade de flotação de 12 cm.min^{-1} .

5.1.2 Resultados Fase 1B (Coleta de efluente às 14:00 h)

Os resultados da avaliação da dosagem de coagulante tanino associados à diferentes dosagens de polímeros realizados na fase 1B com efluente coletados às 14:00 h, cujo objetivo foi determinar duas dosagens do coagulante Tanino mais adequadas para o tratamento do efluente de UASB da ETE Monjolinho. Esses resultados foram divididos em dois itens: caracterização do efluente do reator UASB, e bateria de ensaios realizados com *flotateste*.

5.1.2.1 Bateria de Ensaio 7 (dosagens de coagulante de 0 a 25 mg.L⁻¹ e polímero aniônico)

A bateria de ensaio 7 foi caracterizada pela avaliação do coagulante tanino juntamente com o polímero aniônico LABTAE 410 tratando efluente de reator UASB coletado as 14:00 h. Neste ensaio foram testadas quatro dosagens de coagulante tanino, sendo elas: 5 mg.L⁻¹, 10 mg.L⁻¹, 15 mg.L⁻¹, 25 mg.L⁻¹. Associado a cada dosagem de Tanino, foram avaliadas seis dosagens de polímero aniônico. As dosagens de polímero foram: 0, 0,5 mg.L⁻¹, 1,0 mg.L⁻¹, 1,5 mg.L⁻¹, 2,0 mg.L⁻¹ e 2,5 mg.L⁻¹ (Figura 5.9).

Figura 5.9: Dosagens do coagulante Tanino e polímero aniônico avaliados na bateria de ensaio n.º7 (efluente dos reatores UASB coletados às 14:00 h).

5.1.2.1.1 Caracterização do efluente do reator UASB referente a amostra utilizada para realização da bateria de ensaio n.º7

Durante a realização da grade de ensaio 7, o efluente do reator UASB apresentou as características conforme Tabela 5.5.

Tabela 5.5: Características do efluente UASB durante a realização da bateria de ensaio 7, com uso de polímero aniônico (01/12/10).

Análise	Unidade	Campos et. al. (2007) - UASB	UASB
Temperatura	°C	25 ± 2	28,6
pH	UpH	7,3 – 7,8	6,87
Cor	mg Pt/L	541	1310
Condutividade	µS/cm	-	750
Turbidez	NTU	189	161
DQO	mg/L	184	267,58
Fósforo	mg/L	4,84	11,5
Alcalinidade	mg/L	271	267,8
ST	mg/L	-	513,33
SST	mg/L	78	102,93
Sulfeto	mg/L	3,34	8,79
Abs 254	cm ⁻¹	-	0,284

Conforme apresentado, nota-se que na amostra coletada para realização da bateria de ensaio nº7, os resultados referentes a vários parâmetros de qualidade do efluente dos reatores UASB apresentaram valores elevados quando comparado aos resultados apresentados por Campos et. al. (2007). Isso pode ser justificado por problemas ocorridos na ETE Monjolinho na data da coleta, cuja unidade desaguadora de lodo (centrífuga) estava em manutenção e o lodo resultante dos tratamentos estava sendo retornado para a entrada dos reatores UASB.

5.1.2.1.2 Resultados da bateria de ensaio 7 realizado com o Flotateste

Após a apresentação dos dados para caracterização qualitativa do efluente dos reatores UASB, a seguir são apresentados os resultados obtidos com a aplicação em amostra desse efluente de diferentes dosagens de coagulante tanino e polímero aniônico para três velocidades de flotação.

Na Figura 5.10 estão apresentados os gráficos de frações residuais de turbidez para as dosagens de tanino de 5 mg.L⁻¹ e 10 mg.L⁻¹ com dosagens variadas de polímero aniônico e para as três velocidades de flotação. Com base em tais gráficos, pode-se observar que os ensaios que apresentaram menores frações residuais de turbidez são aqueles com aplicação de maiores dosagens do polímero aniônico. Tal fato deveu-se, muito provavelmente, à pequena dosagem de coagulante aplicada que fez com que as dosagens maiores de polímero nesta bateria de ensaio causassem maior efeito no sentido de aumentar a eficiência da flotação. Dessa forma, nota-se que os melhores resultados de turbidez residual para as dosagens citadas ocorreram com aplicação conjunta de dosagens de polímero aniônico na faixa de 2,0 mg.L⁻¹ e 2,5 mg.L⁻¹.

Dosagem de tanino = 5 mg/L

Dosagem de tanino = 10 mg/L

Dosagem		Fração Residual de Turbidez(T/T0)			pH coagulação
		Velocidade de flotação (cm/min)			
Tanino	Polímero	12	16	20	
5	0,0	0,422	0,447	0,453	7,35
5	0,5	0,373	0,422	0,441	7,26
5	1,0	0,391	0,416	0,435	7,27
5	1,5	0,354	0,360	0,379	7,28
5	2,0	0,323	0,354	0,366	6,98
5	2,5	0,329	0,335	0,366	6,95

Dosagem		Fração Residual de Turbidez (T/T0)			pH coagulação
		Velocidade de flotação (cm/min)			
Tanino	Polímero	12	16	20	
10	0,0	0,329	0,335	0,342	6,99
10	0,5	0,317	0,323	0,342	7,00
10	1,0	0,286	0,304	0,304	7,10
10	1,5	0,280	0,286	0,311	7,10
10	2,0	0,267	0,273	0,286	7,10
10	2,5	0,261	0,280	0,304	7,11

Figura 5.10: Resultado fração residual de turbidez para dosagem de Tanino de 5 mg/L e 10 mg/L e dosagens variadas de polímero aniônico (PA) para diferentes velocidades de flotação (14:00 h).

Dosagem de tanino = 15 mg/L

Dosagem de tanino = 25 mg/L

Dosagem		Fração Residual de Turbidez (T/T0)			pH coagulação
		Velocidade de flotação (cm/min)			
Tanino	Polímero	12	16	20	
15	0,0	0,280	0,298	0,311	6,96
15	0,5	0,261	0,242	0,280	6,91
15	1,0	0,236	0,242	0,242	7,04
15	1,5	0,211	0,224	0,273	7,04
15	2,0	0,242	0,242	0,267	7,05
15	2,5	0,217	0,248	0,261	7,00

Dosagem		Fração Residual de Turbidez (T/T0)			pH coagulação
		Velocidade de flotação (cm/min)			
Tanino	Polímero	12	16	20	
25	0,0	0,230	0,230	0,248	7,08
25	0,5	0,236	0,242	0,261	7,10
25	1,0	0,224	0,248	0,255	7,07
25	1,5	0,205	0,230	0,248	7,16
25	2,0	0,211	0,224	0,242	7,37
25	2,5	0,211	0,217	0,236	7,38

Figura 5.11: Resultado fração residual de turbidez para dosagem de Tanino de 15mg/L e 25mg/L e variadas dosagens de polímero aniônico (PA) para diferentes velocidades de flotação (14:00 h).

Na Figura 5.11 mostra os gráficos de fração residual de turbidez para as dosagens de tanino de 15 mg.L⁻¹ e 25 mg.L⁻¹ para variadas dosagens de polímero aniônico nas três velocidades de flotação estudadas. Através da análise dos resultados, verifica-se que na dosagem de 15 mg.L⁻¹ a menor turbidez residual foi obtida quando foi aplicada conjuntamente dosagem de 1,5 mg.L⁻¹ de polímero aniônico. O gráfico da dosagem de 25 mg.L⁻¹ obteve melhores resultados de turbidez residual nas dosagens de 1,5 mg.L⁻¹ e 2,5 mg.L⁻¹.

Conforme descrito no item 4.5.1, a Tabela 5.6 apresenta os valores residuais das análises adicionais de turbidez, cor aparente, fósforo e DQO das amostras coletadas com velocidade de 12 cm.min⁻¹. A Figura 5.12 mostra em gráficos os valores apresentados na Tabela 5.6.

Tabela 5.6: Bateria de Ensaio 7 – Resultado das análises de turbidez, cor aparente, P e DQO após tratamento pro flotação com tanino e polímero aniônico com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Dosagem		Turbidez Residual (NTU)	Cor Aparente Residual (mg PT/L)	P Residual (mg/L)	DQO Residual (mg/L)
Tanino (mg/L)	Polímero (mg/L)				
5	0,0	68	367	3,98	171
5	0,5	60	359	3,99	166
5	1,0	63	365	3,95	169
5	1,5	57	386	3,93	164
5	2,0	52	333	3,90	161
5	2,5	53	331	3,93	159
10	0,0	53	310	3,9	163
10	0,5	51	281	3,87	157
10	1,0	46	313	3,94	153
10	1,5	45	284	3,9	153
10	2,0	43	317	3,8	150
10	2,5	42	330	3,84	152
15	0,0	45	248	3,87	147
15	0,5	42	312	3,88	142
15	1,0	38	334	3,9	139
15	1,5	34	343	3,85	132
15	2,0	39	332	3,84	137
15	2,5	35	348	3,83	134
25	0,0	37	322	3,77	136
25	0,5	38	329	3,76	131
25	1,0	36	322	3,78	128
25	1,5	33	340	3,82	120
25	2,0	34	390	3,85	124
25	2,5	34	383	3,84	118
0	0	87	346	3,99	211
UASB		161	1310	11,5	267,58

Figura 5.12: Ensaio 7 - Resultado das análises de turbidez, cor aparente, P e DQO após tratamento pro flotação com tanino e polímero aniônico com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Na Figura 5.12, pode-se notar que os valores residuais de turbidez, DQO, P e cor aparente tendem a diminuir com o aumento da dosagem de polímero em cada dosagem do coagulante tanino investigada. Por sua vez, verifica-se que o aumento de dosagem de coagulante de 5 a 25 mg.L⁻¹ para todas as dosagens de polímero, resultam em aumento da eficiência de remoção dos parâmetros citados. A tabela 5.7 mostra os valores das frações residuais dos parâmetros analisados na bateria de ensaio 7, com a velocidade de flotação de 12 cm.min⁻¹.

Tabela 5.7: Bateria de Ensaio 7 – Resultado das análises de turbidez residual, cor aparente residual, P residual e DQO residual após tratamento pro flotação com tanino e polímero aniônico com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Dosagem		Fração Residual Turbidez	Fração Residual Cor Aparente	Fração Residual P	Fração Residual DQO
Tanino (mg/L)	Polímero (mg/L)				
5	0,0	0,422	0,280	0,346	0,640
5	0,5	0,373	0,274	0,347	0,620
5	1,0	0,391	0,279	0,343	0,630
5	1,5	0,354	0,295	0,342	0,613
5	2,0	0,323	0,254	0,339	0,602
5	2,5	0,329	0,253	0,342	0,594
10	0,0	0,329	0,237	0,339	0,610
10	0,5	0,317	0,215	0,337	0,587
10	1,0	0,286	0,239	0,338	0,570
10	1,5	0,280	0,217	0,339	0,570
10	2,0	0,267	0,242	0,335	0,561
10	2,5	0,261	0,252	0,334	0,568
15	0,0	0,280	0,189	0,337	0,550
15	0,5	0,261	0,238	0,337	0,530
15	1,0	0,236	0,255	0,339	0,520
15	1,5	0,211	0,262	0,335	0,493
15	2,0	0,242	0,253	0,334	0,512
15	2,5	0,217	0,266	0,333	0,500
25	0,0	0,230	0,246	0,328	0,510
25	0,5	0,236	0,251	0,327	0,490
25	1,0	0,224	0,246	0,329	0,478
25	1,5	0,205	0,260	0,325	0,450
25	2,0	0,211	0,298	0,326	0,463
25	2,5	0,211	0,292	0,325	0,440
0	0	0,540	0,310	0,366	0,790
UASB		161	1310	11,5	267,58

A análise da Tabela 5.7, permite inferir que os valores residuais vão diminuindo com o aumento da dosagem de polímero aniônico e também com o aumento de aplicação do coagulante tanino, representando assim, aumento da eficiência de remoção nos parâmetros citados. Porém, faz-se necessário o estudo de dosagens maiores do coagulante tanino para a escolha das duas dosagens para estudo em faixa intermediário conforme definido como objetivo da fase 1B, o qual será apresentado no Ensaio 8.

5.1.2.2 Bateria de Ensaio 8 (dosagens de coagulante entre 40 e 170 mg.L⁻¹ e polímero aniônico)

A bateria de ensaio 8 foi caracterizada pela avaliação do coagulante tanino juntamente com o polímero aniônico LABTAE 410 tratando efluente de reator UASB coletado as 14:00 h. Neste ensaio foram testadas quatro dosagens de coagulante tanino, sendo elas: 40 mg.L⁻¹, 65 mg.L⁻¹, 105 mg.L⁻¹, 170 mg.L⁻¹. Associado a cada dosagem de tanino, foram variadas seis dosagens de polímero aniônico: 0, 0,5 mg.L⁻¹, 1,0 mg.L⁻¹, 1,5 mg.L⁻¹, 2,0 mg.L⁻¹ e 2,5 mg.L⁻¹ (Figura 5.13).

Figura 5.13: Dosagens do coagulante Tanino e polímero aniônico avaliados na bateria de ensaio n.8 (efluente dos reatores UASB coletados às 14:00 h).

5.1.2.2.1 Caracterização do efluente do reator UASB referente à amostra utilizada para realização da bateria de ensaio nº8

As características do efluente do reator UASB, no evento dos ensaios com o coagulante Tanino e polímero aniônico na bateria de ensaio 8, estão apresentados na Tabela 5.11.

Tabela 5.8: Bateria de Ensaio 8 – Características do efluente UASB, ensaio com polímero aniônico (07/12/10).

Análise	Unidade	Campos et. al. (2007) – UASB	UASB
Temperatura	°C	25 ± 2	29,0
pH	UpH	7,3 – 7,8	7,24
Cor	mg Pt/L	541	2730
Condutividade	µS/cm	-	768
Turbidez	NTU	189	293
DQO	mg/L	184	381
Fósforo	mg/L	4,84	10,36
Alcalinidade	mg/L	271	273,75
ST	mg/L	-	485
SST	mg/L	78	82,13
Sulfeto	mg/L	3,34	9,49
Abs 254	cm-1	-	0,253

Conforme apresentado, nota-se que na amostra coletada para realização da bateria de ensaio 8, os resultados referentes aos vários parâmetros de qualidade do efluente dos reatores UASB apresentam valores elevados quando comparado aos resultados apresentados por Campos et. al. (2007). Isso pode ser justificado por problemas na ETE Monjolinho na data da coleta, cuja unidade desaguadora de lodo (centrífuga) estava em manutenção e o lodo resultante dos tratamentos estava retornando para a entrada dos reatores UASB.

5.1.2.2.2 Resultados da bateria de ensaio 8 realizados com o Flotateste

Após a apresentação dos dados para a caracterização qualitativa do efluente dos reatores UASB, são apresentados a seguir os resultados obtidos

com a aplicação de diferentes dosagens de coagulante tanino e polímero aniônico para três velocidades de flotação.

Na Figura 5.14 estão apresentados os gráficos da fração residual de turbidez para as dosagens de tanino de 40 mg.L⁻¹ e 65 mg.L⁻¹ para dosagens variadas de polímero aniônico e para as três velocidades de flotação. A análise dos dados apresentados em tais gráficos mostram que para a dosagem do coagulante tanino de 40 mg.L⁻¹ e 65 mg.L⁻¹, os menores valores da fração residual de turbidez foram aqueles com aplicação de 1,0 mg.L⁻¹ e 1,5 mg.L⁻¹ de polímero aniônico. Já as maiores dosagens de polímero, refletiram no aumento da fração residual de turbidez, não apresentando resultados satisfatórios.

Na dosagem do coagulante Tanino de 40 mg.L⁻¹, a fração residual de turbidez variou de 0,307 a 0,246, representando uma remoção de 69,3% a 75,4% da turbidez do efluente do reator UASB, respectivamente. Para a dosagem de 65 mg.L⁻¹, a fração residual de turbidez variou de 0,140 a 0,065, representando remoção de 86% a 93,5% da turbidez do efluente do reator UASB, respectivamente.

Dosagem		Fração Residual de Turbidez (T/T0)			pH coagulação
		Velocidade de flotação (cm/min)			
Tanino	Polímero	12	16	20	
40	0,0	0,280	0,283	0,290	7,19
40	0,5	0,253	0,273	0,290	7,24
40	1,0	0,246	0,283	0,280	7,24
40	1,5	0,246	0,270	0,283	7,22
40	2,0	0,280	0,283	0,307	7,13
40	2,5	0,256	0,266	0,273	6,99

Dosagem		Fração Residual de Turbidez (T/T0)			pH coagulação
		Velocidade de flotação (cm/min)			
Tanino	Polímero	12	16	20	
65	0,0	0,137	0,137	0,140	7,00
65	0,5	0,092	0,096	0,106	7,05
65	1,0	0,072	0,078	0,092	6,90
65	1,5	0,065	0,078	0,082	6,88
65	2,0	0,126	0,130	0,137	6,96
65	2,5	0,106	0,109	0,119	6,99

Figura 5.14: Bateria de Ensaio 8 – Resultado da fração residual de turbidez em função da velocidade de flotação para dosagem de Tanino de 40 mg/L e 65 mg/L e variadas dosagens de polímero aniônico (PA) com o flotateste.

Figura 5.15: Bateria de Ensaio 8 – Resultado da fração residual de turbidez em função da velocidade de flotação para dosagem de Tanino de 105 mg/L e 170 mg/L e variadas dosagens de polímero aniônico (PA) com o flotateste.

A Figura 5.15 mostra os gráficos de turbidez residual para as dosagens de tanino de 105 mg.L^{-1} e 170 mg.L^{-1} com aplicação de variadas dosagens de polímero aniônico nas três velocidades de flotação estudadas. Através da análise dos resultados, verifica-se que na dosagem de 105 mg.L^{-1} a menor fração residual de turbidez foi obtida na dosagem de polímero foi a de $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ de polímero aniônico. A dosagem de polímero aniônico de $2,5 \text{ mg.L}^{-1}$ apresentou o pior resultado neste ensaio, com elevada fração residual de turbidez. No ensaio com aplicação de 105 mg.L^{-1} do coagulante Tanino, a fração residual de turbidez variou de 0,051 a 0,020, representando remoção de 94,9% a 98% da turbidez do efluente estudado.

O gráfico da dosagem de 170 mg.L^{-1} mostrou os melhores resultados de fração residual de turbidez sem a aplicação de polímero aniônico. As maiores dosagens de polímero refletiram no pequeno aumento da turbidez residual, não apresentando resultados satisfatórios. Neste ensaio, a turbidez residual variou de 0,038 a 0,010, representando remoção de 96,2% a 99% da turbidez do efluente estudado.

Após a avaliação da fração residual de turbidez na bateria de ensaio 8, foi apresentado os resultados das análises adicionais para a velocidade de flotação de 12 cm.min^{-1} . A Tabela 5.9 apresenta os dados residuais de turbidez, cor aparente, fósforo e DQO das amostras após flotação. A Figura 5.16 mostra em forma de gráficos os valores representados na Tabela 5.9.

Tabela 5.9: Bateria de Ensaio 8 – Resultado residuais das análises de turbidez, cor aparente, P e DQO após tratamento por flotação com tanino e polímero aniônico com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Dosagem		Turbidez Residual (NTU)	Cor Aparente Residual (mg PT/L)	P Residual (mg/L)	DQO Residual (mg/L)
Tanino (mg/L)	Polímero (mg/L)				
40	0,0	82	382	3,1	114
40	0,5	74	427	2,9	107
40	1,0	72	445	2,8	103
40	1,5	72	501	2,9	106
40	2,0	82	424	2,7	99
40	2,5	75	450	2,6	95
65	0,0	40	283	2,9	91
65	0,5	27	202	2,9	95
65	1,0	21	187	2,6	88
65	1,5	19	181	2,5	93
65	2,0	37	295	2,7	94
65	2,5	31	244	2,8	91
105	0,0	10	152	2,7	76
105	0,5	7	115	2,6	72
105	1,0	6	124	2,8	74
105	1,5	8	126	2,8	76
105	2,0	9	129	2,9	78
105	2,5	13	154	3,0	80
170	0,0	3	94	2,6	42
170	0,5	4	87	2,8	48
170	1,0	4	84	2,8	49
170	1,5	4	97	3,0	50
170	2,0	5	106	2,9	53
170	2,5	6	122	2,9	54
0	0	90	430	6,9	295
UASB		293	2730	10,36	381

Figura 5.16: Bateria de Ensaio 8 - Resultados residuais das análises de turbidez, cor aparente, P e DQO após tratamento pro flotação com tanino e polímero aniônico (PA) com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Na Figura 5.16, pode-se notar que os pontos tendem a cair com o aumento da dosagem de coagulante. Nas dosagens de 40 mg.L⁻¹ e 65 mg.L⁻¹ é possível notar um decaimento dos parâmetros turbidez, DQO e fósforo total nas dosagens de polímero de 1,5 mg.L⁻¹ , 2,0 mg.L⁻¹ e 2,5 mg.L⁻¹. Já nas dosagens de 105 mg.L⁻¹ e 170 mg.L⁻¹ nota-se que a ação das varias dosagens de polímero aniônico são pouco significativas. A tabela 5.10 mostra os valores das frações residuais dos parâmetros analisados.

Tabela 5.10: Bateria de Ensaio 8 – Resultado das frações residuais das análises de residual, cor aparente residual, P residual e DQO residual após tratamento pro flotação com tanino e polímero aniônico com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Dosagem		Fração Residual de Turbidez	Fração Residual Cor Aparente	Fração Residual P	Fração Residual DQO
Tanino (mg/L)	Polímero (mg/L)				
40	0,0	0,280	0,140	0,300	0,300
40	0,5	0,253	0,156	0,280	0,280
40	1,0	0,246	0,163	0,270	0,270
40	1,5	0,246	0,184	0,277	0,277
40	2,0	0,280	0,155	0,260	0,260
40	2,5	0,256	0,165	0,250	0,250
65	0,0	0,137	0,104	0,280	0,240
65	0,5	0,092	0,074	0,280	0,250
65	1,0	0,072	0,068	0,251	0,230
65	1,5	0,065	0,066	0,244	0,244
65	2,0	0,126	0,108	0,261	0,248
65	2,5	0,106	0,089	0,270	0,239
105	0,0	0,034	0,056	0,261	0,200
105	0,5	0,024	0,042	0,250	0,190
105	1,0	0,020	0,045	0,266	0,193
105	1,5	0,027	0,046	0,272	0,199
105	2,0	0,031	0,047	0,278	0,206
105	2,5	0,044	0,056	0,290	0,210
170	0,0	0,010	0,034	0,250	0,110
170	0,5	0,014	0,032	0,266	0,126
170	1,0	0,014	0,031	0,275	0,129
170	1,5	0,014	0,036	0,290	0,130
170	2,0	0,017	0,039	0,280	0,138
170	2,5	0,020	0,045	0,280	0,141
-	-	0,307	0,158	0,666	0,774
UASB		293	2730	10,36	381

A Tabela 5.10, pode-se inferir que os valores das frações residuais apresentam valores decrescentes quanto maior a aplicação de dosagem do coagulante Tanino e que a presença do polímero (na faixa de 0 a 2,5 mg.L⁻¹) pouco alterou seus valores. Para a escolha das dosagens mais adequadas para serem estudadas na fase 2, definiu-se como critério a escolha de duas menores dosagens em que foi verificada boa remoção de turbidez (superior a 85%) .

Desta maneira, conforme verificado nos resultados apresentados e os critérios adotados, escolheu-se as duas dosagens para estudo posterior, sendo elas 65 mg/L e 105 mg/L, a partir das quais será investigada na fase 2 dosagens intermediárias do coagulante tanino, conforme será comentado no item 5.2.1 .

5.1.2.3 Bateria de Ensaio 9 (dosagens de coagulante entre 0 e 25 mg.L⁻¹ e polímero catiônico)

A bateria de ensaio 9 foi caracterizada pela avaliação do coagulante tanino juntamente com o polímero catiônico LABTAE 415 tratando efluente de reator UASB coletado às 14:00 h. Neste ensaio foram testadas quatro dosagens de coagulante tanino, sendo elas: 5 mg.L⁻¹, 10 mg.L⁻¹, 15 mg.L⁻¹, 25 mg.L⁻¹. Associados a cada dosagem de tanino, foram avaliadas seis dosagens de polímero catiônico: 0, 0,5 mg.L⁻¹, 1,0 mg.L⁻¹, 1,5 mg.L⁻¹, 2,0 mg.L⁻¹ e 2,5 mg.L⁻¹ (Figura 5.17).

Figura 5.17: Dosagens do coagulante Tanino e polímero catiônico (PC) avaliados na bateria de ensaio n.9 (efluente do reator UASB coletado às 14:00 h).

5.1.2.3.1 Caracterização do efluente do reator UASB referente a amostra utilizada para realização da bateria de ensaio nº9

No decorrer da realização da grade de ensaio para avaliar a melhor faixa de dosagem do coagulante Tanino e do auxiliar de flotação na bateria de Ensaio 9, o efluente do reator UASB apresentou as características conforme Tabela 5.11.

Tabela 5.11: Bateria de Ensaio 9 – Características do efluente UASB, ensaio com polímero catiônico (09/12/10).

Análise	Unidade	Campos et. al. (2007) - UASB	UASB
Temperatura	°C	25 ± 2	32,1
pH	UpH	7,3 – 7,8	6,96
Cor	mg Pt/L	541	1310
Condutividade	µS/cm	-	796
Turbidez	NTU	189	202
DQO	mg/L	184	267,58
Fósforo	mg/L	4,84	4,15
Alcalinidade	mg/L	271	276
ST	mg/L	-	490,67
SST	mg/L	78	103,33
Sulfeto	mg/L	3,34	10,81
Abs 254	cm ⁻¹	-	0,289

Conforme apresentado, pode-se observar que na amostra coletada para a realização da bateria de ensaio n.9, os resultados referentes aos vários parâmetros de qualidade do efluente dos reatores UASB apresentaram valores elevados quando comparado ao trabalho de Campos et. al. (2007), isso pode ser justificado por problemas na ETE Monjolinho na data da coleta, cuja unidade desaguadora de lodo (centrífuga) estava em manutenção e o lodo resultante dos tratamentos estava retornando para a entrada dos reatores UASB.

5.1.2.3.2 Resultado da bateria de Ensaio nº9 realizados com o Flotatest

Após a apresentação dos dados para caracterização qualitativa do efluente dos reatores UASB, são apresentados a seguir os resultados obtidos com a aplicação de diferentes dosagens de coagulante tanino e polímero catiônico em amostras desse efluente para três velocidades de flotação, conforme descrito na metodologia.

Na Figura 5.24 estão apresentados os gráficos de fração residual de turbidez para as dosagens de tanino de 5 mg.L⁻¹ e 10 mg.L⁻¹ com aplicação de dosagens variadas de polímero catiônico e para as três velocidades de flotação. A análise dos dados apresentados na Figura 5.24 mostram que para a dosagem do coagulante tanino de 5 mg.L⁻¹ e 10 mg.L⁻¹, os resultados que

apresentam menores frações residuais de turbidez são aqueles com aplicação de maiores dosagens do polímero catiônico, fato esse que pode ser esclarecido pela baixa dosagem de coagulante Tanino aplicada que faz com que a adição de dosagens de polímero tragam melhorias a flotação. No ensaio com dosagem do coagulante Tanino de 5 mg.L^{-1} , a turbidez residual variou de 0,505 a 0,322, representando uma remoção de 49,5% a 67,8% da turbidez do efluente do reator UASB, respectivamente. Já no ensaio com aplicação do coagulante Tanino de 10 mg.L^{-1} , a turbidez residual variou de 0,416 a 0,238, representando remoção de 58,4% a 76,2% da turbidez do efluente do reator UASB, respectivamente.

A Figura 5.25 mostra os gráficos de frações residuais de turbidez para as dosagens de tanino de 15 mg.L^{-1} e 25 mg.L^{-1} com aplicação de variadas dosagens de polímero catiônico nas três velocidades de flotação estudadas. Através da análise dos resultados, verifica-se que na dosagem de 15 mg.L^{-1} e 25 mg.L^{-1} os resultados que apresentam menores frações residuais também são aqueles com aplicação de maiores dosagens do polímero catiônico. No ensaio com dosagem do coagulante Tanino de 15 mg.L^{-1} , a turbidez residual variou de 0,351 a 0,223, representando uma remoção de 64,9% a 77,7% da turbidez do efluente do reator UASB, respectivamente. Já no ensaio com aplicação do coagulante Tanino de 25 mg.L^{-1} , a turbidez residual variou de 0,292 a 0,173, representando remoção de 70,8% a 82,7% da turbidez do efluente do reator UASB, respectivamente.

Dosagem de tanino = 5 mg/L

Dosagem		Fração Residual de Turbidez (T/T0)			pH coagulação
		Velocidade de flotação (cm/min)			
Tanino	Polímero	12	16	20	
5	0,0	0,485	0,500	0,505	7,23
5	0,5	0,460	0,465	0,505	7,18
5	1,0	0,416	0,411	0,431	7,43
5	1,5	0,386	0,386	0,396	7,37
5	2,0	0,356	0,366	0,361	7,38
5	2,5	0,322	0,327	0,332	7,42

Dosagem de tanino = 10 mg/L

Dosagem		Fração Residual de Turbidez (T/T0)			pH coagulação
		Velocidade de flotação (cm/min)			
Tanino	Polímero	12	16	20	
10	0,0	0,371	0,381	0,416	7,57
10	0,5	0,351	0,347	0,356	7,66
10	1,0	0,317	0,312	0,312	7,71
10	1,5	0,282	0,292	0,307	7,67
10	2,0	0,262	0,282	0,302	7,74
10	2,5	0,238	0,243	0,277	7,77

Figura 5.18: Bateria de Ensaio 9 – Fração residual de turbidez em função da velocidade de flotação para as dosagens de Tanino de 5 mg/L e 10 mg/L e variadas dosagens de polímero catiônico (PC) obtidas com flotatestes.

Dosagem de tanino = 15 mg/L

Dosagem		Fração Residual de Turbidez (T/T0)			pH coagulação
		Velocidade de flotação (cm/min)			
Tanino	Polímero	12	16	20	
15	0,0	0,317	0,347	0,351	7,54
15	0,5	0,292	0,302	0,302	7,39
15	1,0	0,302	0,287	0,307	7,40
15	1,5	0,257	0,272	0,262	7,48
15	2,0	0,248	0,252	0,267	7,15
15	2,5	0,223	0,238	0,243	7,36

Dosagem de tanino = 25 mg/L

Dosagem		Fração Residual de Turbidez (T/T0)			pH coagulação
		Velocidade de flotação (cm/min)			
Tanino	Polímero	12	16	20	
25	0,0	0,248	0,248	0,292	7,14
25	0,5	0,223	0,238	0,248	7,25
25	1,0	0,208	0,233	0,233	7,59
25	1,5	0,198	0,218	0,228	7,59
25	2,0	0,188	0,203	0,198	7,67
25	2,5	0,173	0,178	0,193	7,73

Figura 5.19: Bateria de Ensaio 9 – Fração residual de turbidez em função da velocidade de flotação para as dosagens de Tanino de 15 mg/L e 25 mg/L e variadas dosagens de polímero catiônico (PC) obtidas com flotatestes.

Após a avaliação das frações residuais de turbidez na bateria de ensaio 9, foi apresentado os resultados das análises adicionais para velocidade de flotação de 12 cm.min⁻¹. A Tabela 5.12 apresenta os dados residuais de turbidez, cor aparente, fósforo e DQO das amostras após flotação. A Figura 5.20 mostra em gráficos os valores representados na Tabela 5.12.

Tabela 5.12: Bateria de Ensaio 9 – Resultado das análises de turbidez, cor aparente, P e DQO residuais após tratamento por flotação com tanino e polímero catiônico com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Dosagem		Turbidez Residual (NTU)	Cor Aparente Residual (mg PT/L)	P Residual (mg/L)	DQO Residual (mg/L)
Tanino (mg/L)	Polímero (mg/L)				
5	0,0	98	441	2,88	87
5	0,5	93	415	2,92	70
5	1,0	84	344	2,92	81
5	1,5	78	322	2,86	85
5	2,0	72	272	2,90	82
5	2,5	65	259	2,92	86
10	0,0	75	450	2,94	73
10	0,5	71	375	2,9	64
10	1,0	64	330	2,92	71
10	1,5	57	290	2,88	73
10	2,0	53	266	2,82	70
10	2,5	48	243	2,82	69
15	0,0	64	387	2,97	45
15	0,5	59	344	2,98	56
15	1,0	61	346	2,88	54
15	1,5	52	296	2,88	57
15	2,0	50	267	2,94	49
15	2,5	45	235	2,93	52
25	0,0	50	374	3,04	27
25	0,5	45	304	2,96	30
25	1,0	42	314	2,88	39
25	1,5	40	281	2,83	36
25	2,0	38	271	2,86	48
25	2,5	35	251	2,85	42
-	-	128	659	3,99	184
UASB		202	1310	4,15	267,58

Figura 5.20: Bateria de Ensaio 9 - Resultado residuais das análises de turbidez, cor aparente, P e DQO após tratamento por flotação com tanino (DC) e polímero catiônico (PC) com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Na Figura 5.20 os gráficos de turbidez e cor aparente apresentaram redução dos valores com o aumento da dosagem do coagulante e também com aplicação de maiores dosagens de polímero. Nota-se ainda que no gráfico de cor aparente os resultados de remoção para a aplicação de polímero catiônico na dosagem de 2,0 e 2,5 mg.L⁻¹ foram muito próximo para as todas as dosagens do coagulante Tanino estudadas neste ensaio.

Ainda quanto a Figura 5.20, o gráfico de DQO mostra que em cada dosagem de coagulante Tanino, as variações de aplicação de polímero pouco interferiram na redução da DQO. Já quando comparado o efeito das diferentes dosagens de coagulante Tanino, nota-se redução considerável, ainda mais considerando as pequenas dosagens aplicadas neste ensaio.

O gráfico de remoção de fósforo apresenta resultado estável, tanto comparando as dosagens de coagulante Tanino como as dosagens do polímero catiônico, o que demonstra a deficiência do coagulante Tanino em remover fósforo.

A tabela 5.13 mostra os valores das frações residuais dos parâmetros analisados.

Tabela 5.13: Bateria de Ensaio 9 – Frações Residuais das análises de turbidez, cor aparente, P e DQO após tratamento por flotação com tanino e polímero catiônico com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Dosagem		Fração Residual Turbidez	Fração Residual Cor Aparente	Fração Residual P	Fração Residual DQO
Tanino (mg/L)	Polímero (mg/L)				
5	0,0	0,485	0,337	0,694	0,325
5	0,5	0,460	0,317	0,704	0,262
5	1,0	0,416	0,263	0,704	0,303
5	1,5	0,386	0,246	0,689	0,318
5	2,0	0,356	0,208	0,699	0,306
5	2,5	0,322	0,198	0,704	0,321
10	0,0	0,371	0,344	0,708	0,273
10	0,5	0,351	0,286	0,699	0,239
10	1,0	0,317	0,252	0,704	0,265
10	1,5	0,282	0,221	0,694	0,273
10	2,0	0,262	0,203	0,680	0,262
10	2,5	0,238	0,185	0,680	0,258
15	0,0	0,317	0,295	0,716	0,168
15	0,5	0,292	0,263	0,718	0,209
15	1,0	0,302	0,264	0,694	0,202
15	1,5	0,257	0,226	0,694	0,213
15	2,0	0,248	0,204	0,708	0,183
15	2,5	0,223	0,179	0,706	0,194
25	0,0	0,248	0,285	0,733	0,101
25	0,5	0,223	0,232	0,713	0,112
25	1,0	0,208	0,240	0,694	0,146
25	1,5	0,198	0,215	0,682	0,135
25	2,0	0,188	0,207	0,689	0,179
25	2,5	0,173	0,192	0,687	0,157
-	-	0,634	0,503	0,961	0,688
UASB		202	1310	4,15	267,58

Através da análise da Tabela 5.13, pode-se inferir de modo geral que os valores residuais vão diminuindo com aplicação de maiores dosagens de polímero catiônico e também com o aumento de aplicação do coagulante tanino, representando assim, aumento da eficiência de remoção nos parâmetros citados. Porém, faz-se necessário o estudo de dosagens maiores do coagulante tanino juntamente com o polímero catiônico para a escolha das duas dosagens para estudo da faixa intermediário do coagulante conforme

definido como objetivo da fase 1B, o qual será apresentado na bateria de ensaio 10.

5.1.2.4 Bateria de Ensaio 10 (dosagem de coagulante de 40 a 170 mg.L⁻¹ e polímero catiônico)

A bateria de ensaio 10 foi caracterizada pela avaliação do coagulante tanino juntamente com o polímero catiônico LABTAE 415 tratando efluente de reator UASB coletado às 14:00 h. Neste ensaio foram testadas quatro dosagens de coagulante tanino, sendo elas: 40 mg.L⁻¹, 65 mg.L⁻¹, 105 mg.L⁻¹, 170 mg.L⁻¹. Associado a cada dosagem de tanino, foram avaliadas seis dosagens de polímero catiônico: 0, 0,5 mg.L⁻¹, 1,0 mg.L⁻¹, 1,5 mg.L⁻¹, 2,0 mg.L⁻¹ e 2,5 mg.L⁻¹ (Figura 5.21).

Figura 5.21: Dosagens do coagulante Tanino e polímero catiônico (PC) do Ensaio 10 (14:00 h).

5.1.2.4.1 Caracterização do efluente do reator UASB referente a amostra utilizada para realização da bateria de ensaio nº 10

No decorrer da realização da grade de ensaio para avaliar a melhor faixa de dosagem do coagulante Tanino e do auxiliar de flotação na bateria de Ensaio 10, o efluente do reator UASB apresentou as características conforme a Tabela 5.14.

Tabela 5.14: Bateria de Ensaio 10 – Características do efluente UASB, ensaio com polímero catiônico (14/12/10).

Análise	Unidade	Campos et. al. (2007) - UASB	UASB
Temperatura	°C	25 ± 2	26,7
pH	UpH	7,3 – 7,8	6,92
Cor	mg Pt/L	541	1070
Condutividade	µS/cm	-	723
Turbidez	NTU	189	199
DQO	mg/L	184	249,09
Fósforo	mg/L	4,84	5,38
Alcalinidade	mg/L	271	251,15
ST	mg/L	-	221,57
SST	mg/L	78	78,53
Sulfeto	mg/L	3,34	13,55
Abs 254	cm ⁻¹	-	0,311

Conforme apresentado, nota-se que na amostra coletada para a realização da bateria de ensaio n.10, os resultados referentes aos vários parâmetros de qualidade do efluente dos reatores UASB apresentaram valores elevados quando comparado ao trabalho de Campos et. al. (2007), isso pode ser justificado por problemas na ETE Monjolinho na data da coleta, cuja unidade desaguadora de lodo (centrífuga) estava em manutenção e o lodo resultante dos tratamentos estava retornando para a entrada dos reatores UASB.

5.1.2.4.2 Resultados da bateria de ensaio nº10 realizada com Flotateste

Após a apresentação dos dados para caracterização qualitativa do efluente dos reatores UASB, são apresentados a seguir os resultados obtidos com a aplicação de diferentes dosagens de coagulante tanino e polímero catiônico para três velocidades de flotação.

Na Figura 5.22 estão apresentados os gráficos de turbidez residual para as dosagens de tanino de 40 mg.L⁻¹ e 65 mg.L⁻¹ para dosagens variadas de polímero catiônico e para as três velocidades de flotação. A análise dos dados apresentados na Figura 5.22 mostram que na dosagem de 40 mg.L⁻¹ os resultados que apresentam menores frações residuais de turbidez são aqueles com aplicação de maiores dosagens do polímero catiônico. No ensaio com dosagem do coagulante Tanino de 40 mg.L⁻¹, a fração residual de turbidez variou de 0,442 a 0,241, representando uma remoção de 55,8% a 75,9% da turbidez do efluente do reator UASB, respectivamente.

Quanto ao gráfico de fração residual de turbidez com aplicação de 65 mg.L⁻¹ de tanino, verifica-se que as dosagem com menores valores frações residuais de turbidez foram os com adição de 1,5 mg.L⁻¹ e 2,5 mg.L⁻¹. Nesta dosagem de aplicação do coagulante Tanino, a fração residual de turbidez variou de 0,151 a 0,101, representando remoção de 84,9% a 89,9% da turbidez do efluente do reator UASB, respectivamente.

A Figura 5.23 mostra os gráficos de fração residual de turbidez para as dosagens de tanino de 105 mg.L⁻¹ e 170 mg.L⁻¹ com variadas dosagens de polímero catiônico nas três velocidades de flotação estudadas. Através da análise dos resultados, verifica-se que na dosagem de 105 mg.L⁻¹ a menor fração residual de turbidez foi obtida na dosagem de polímero foi a de 1,5 mg.L⁻¹ de polímero catiônico. As dosagens de polímero catiônico de 1,0 mg.L⁻¹, 1,5 mg.L⁻¹, 2,0 mg.L⁻¹ e 2,5 mg.L⁻¹ apresentaram resultados semelhantes na velocidade de flotação de 12 cm.min⁻¹. Nas demais velocidades de flotação, a variação entre essas dosagens de polímero também foi pequena, representando que nessa dosagem do coagulante tanino o aumento da dosagem de polímero catiônico é pouca expressiva para melhoria da eficiência. No ensaio com aplicação de 105 mg.L⁻¹ do coagulante Tanino, a fração

residual de turbidez variou de 0,126 a 0,050, representando remoção de 87,4% a 95% da turbidez do efluente estudado.

O gráfico da dosagem de 170 mg.L^{-1} obteve melhores resultados de fração residual de turbidez na dosagens de $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$. As maiores dosagens de polímero não alteraram o valor residual da turbidez. Neste ensaio, a fração residual de turbidez variou de 0,04 a 0,015, representando remoção de 96% a 98,5% da turbidez do efluente estudado.

Figura 5.22: Bateria de Ensaio 10 - Fração residual de turbidez em função da velocidade de flotação para as dosagens de Tanino de 40 mg/L e 65 mg/L e variadas dosagens de polímero catiônico (PC) obtidas com flotatestes.

Dosagem		Fração Residual de Turbidez (T/T0)			pH coagulação
		Velocidade de flotação (cm/min)			
Tanino	Polímero	12	16	20	
105	0,0	0,101	0,111	0,126	7,05
105	0,5	0,090	0,090	0,095	7,04
105	1,0	0,055	0,065	0,080	7,12
105	1,5	0,050	0,060	0,065	7,17
105	2,0	0,055	0,065	0,095	7,14
105	2,5	0,050	0,070	0,080	7,16

Dosagem		Fração Residual de Turbidez (T/T0)			pH coagulação
		Velocidade de flotação (cm/min)			
Tanino	Polímero	12	16	20	
170	0,0	0,025	0,035	0,040	7,22
170	0,5	0,020	0,020	0,030	7.21
170	1,0	0,015	0,025	0,020	7,11
170	1,5	0,015	0,015	0,020	7,17
170	2,0	0,015	0,015	0,020	7,19
170	2,5	0,015	0,015	0,020	7,18

Figura 5.23: Bateria de Ensaio 10 - Fração residual de turbidez em função da velocidade de flotação para as dosagens de Tanino de 105 mg/L e 170 mg/L e variadas dosagens de polímero catiônico (PC) obtidas com flotatestes.

Após a avaliação da fração residual de turbidez na bateria de ensaio 10, foi apresentado os resultados das análises adicionais para velocidade de flotação de 12 cm.min⁻¹. A Tabela 5.15 apresenta os dados de residuais de turbidez, cor aparente, fósforo e DQO das amostras após flotação. A Figura 5.24 mostra em gráficos os valores representados na Tabela 5.15.

Tabela 5.15: Bateria de Ensaio 10 – Resultado residuais das análises de turbidez, cor aparente, P e DQO após tratamento por flotação com tanino e polímero catiônico com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Dosagem		Turbidez Residual (NTU)	Cor Aparente Residual (mg PT/L)	P Residual (mg/L)	DQO Residual (mg/L)
Tanino (mg/L)	Polímero (mg/L)				
40	0,0	83	474	4,23	95
40	0,5	80	390	5,02	90
40	1,0	71	367	4,14	88
40	1,5	66	371	4,5	90
40	2,0	50	232	4,56	70
40	2,5	48	229	4,32	75
65	0,0	28	293	4,32	78
65	0,5	25	187	4,2	70
65	1,0	23	221	4,35	66
65	1,5	20	208	4,17	73
65	2,0	25	203	4,32	68
65	2,5	21	184	4,14	79
105	0,0	20	131	3,99	64
105	0,5	18	115	3,81	78
105	1,0	11	122	4,05	75
105	1,5	10	111	4,07	62
105	2,0	11	115	4,05	65
105	2,5	10	89	3,96	59
170	0,0	5	61	4,44	62
170	0,5	4	57	5,01	68
170	1,0	3	51	3,87	54
170	1,5	3	48	3,87	56
170	2,0	3	47	4,05	71
170	2,5	3	49	3,98	70
-	-	133	349	5,10	152
UASB		199	1070	5,38	249,09

Figura 5.24: Bateria de Ensaio 10 - Resultado residuais das análises de turbidez, cor aparente, P e DQO após tratamento por flotação com tanino (DC) e polímero catiônico (PC) com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Com base nos resultados de remoção de turbidez, cor aparente e DQO mostrados na Figura 5.24 e na Tabela 5.15, pode-se notar que na dosagem de 40mg.L⁻¹ há uma redução dos valores das referidas análises com o aumento da dosagem de polímero até 2,0 mg.L⁻¹. Para as dosagens de 65 mg.L⁻¹ de coagulante, verifica-se pouca alteração no valor de turbidez e cor aparente residuais com o aumento da dosagem do polímero catiônico, porém, verifica-se que para essa dosagem de coagulante, a dosagem ótima de polímero catiônico ficou em torno de 1,5 mg.L⁻¹. Aumentando-se a dosagem de coagulante para 170 mg.L⁻¹, a melhor dosagem de polímero catiônico caiu para 1,0 mg.L⁻¹.

Para o fósforo total, pode-se observar que a remoção em todas as dosagens do coagulante Tanino com suas respectivas variações do polímero catiônico apresentaram resultados muito semelhantes. A tabela 5.16 mostra os valores residuais dos parâmetros estudados.

Tabela 5.16: Bateria de Ensaio 10 – Frações Residuais das análises de turbidez, cor aparente, P e DQO após tratamento por flotação com tanino e polímero catiônico com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Dosagem		Fração Residual Turbidez	Fração Residual Cor Aparente	Fração Residual P	Fração Residual DQO
Tanino (mg/L)	Polímero (mg/L)				
40	0,0	0,417	0,443	0,786	0,381
40	0,5	0,402	0,364	0,933	0,361
40	1,0	0,357	0,343	0,770	0,353
40	1,5	0,332	0,347	0,836	0,361
40	2,0	0,251	0,217	0,848	0,281
40	2,5	0,241	0,214	0,803	0,301
65	0,0	0,141	0,274	0,803	0,313
65	0,5	0,126	0,175	0,781	0,281
65	1,0	0,116	0,207	0,809	0,265
65	1,5	0,101	0,194	0,775	0,293
65	2,0	0,126	0,190	0,803	0,273
65	2,5	0,106	0,172	0,770	0,317
105	0,0	0,101	0,122	0,742	0,257
105	0,5	0,090	0,107	0,708	0,313
105	1,0	0,055	0,114	0,753	0,301
105	1,5	0,050	0,104	0,757	0,249
105	2,0	0,055	0,107	0,753	0,261
105	2,5	0,050	0,083	0,736	0,237
170	0,0	0,025	0,057	0,825	0,249
170	0,5	0,020	0,053	0,931	0,273

170	1,0	0,015	0,048	0,719	0,217
170	1,5	0,015	0,045	0,719	0,225
170	2,0	0,015	0,044	0,753	0,285
170	2,5	0,015	0,046	0,740	0,281
-	-	0,668	0,326	0,948	0,610
UASB		199	1070	5,38	249,09

Na Tabela 5.16, pode-se verificar que os valores de frações residuais de cor, turbidez e DQO vão diminuindo com o aumento da dosagem do coagulante Tanino e que a presença do polímero catiônico é tanto mais efetiva como auxiliar de flotação quanto menor a dosagem de coagulante tanino. Para a dosagem de 40 mg.L⁻¹ de coagulante, o aumento da dosagem de polímero em 2,0 mg.L⁻¹, resultou em redução de residual de 83 NTU para 50 NTU. Por outro extremo, tomando a dosagem de 170 mg.L⁻¹ de coagulante, observou-se que o aumento da dosagem de polímero de zero para 1,0, 1,5, 2,0 e 2,5 mg.L⁻¹, causaram redução do valor da turbidez residual de 5 NTU para 3 NTU, demonstrando que para dosagens tão elevadas de coagulante seria desnecessária a aplicação de polímero catiônico como auxiliar de flotação.

Para a escolha das dosagens mais adequadas para serem estudadas na fase 2, definiu-se como critério a escolha de duas menores dosagens em que foi verificada boa remoção de turbidez (superior a 85%) .

Assim, conforme verificado nos resultados apresentados e os critérios adotados, escolheu-se as duas dosagens para estudo posterior, sendo elas 65 mg.L⁻¹ e 105 mg.L⁻¹, a partir das quais será investigada na fase 2 dosagens intermediárias do coagulante tanino, conforme será comentado no item 5.2.1 .

5.1.2.5 Bateria de Ensaio nº11 (dosagens de coagulante de 0 a 25 mg.L⁻¹ e polímero não-iônico)

A bateria de ensaio 11 foi caracterizada pela avaliação do coagulante tanino juntamente com o polímero não-iônico LABTAE 413 tratando efluente de reator UASB coletado às 14:00 h. Neste ensaio foram testadas quatro dosagens de coagulante tanino, sendo elas: 5 mg.L⁻¹, 10 mg.L⁻¹, 15 mg.L⁻¹, 25 mg.L⁻¹. Associado a cada dosagem de tanino, foram avaliadas seis dosagens de polímero não-iônico: 0, 0,5 mg.L⁻¹, 1,0 mg.L⁻¹, 1,5 mg.L⁻¹, 2,0 mg.L⁻¹ e 2,5 mg.L⁻¹ (Figura 5.25).

Figura 5.25: Dosagens do coagulante Tanino e polímero não-iônico avaliados na bateria de Ensaio n.11 (efluente dos reatores UASB coletados às 14:00 h).

5.1.2.5.1 Caracterização do efluente do reator UASB referente a amostra utilizada para realização da bateria de ensaio nº 11

Durante a realização da grade de ensaio 11, o efluente do reator UASB apresentaram as características conforme Tabela 5.17.

Tabela 5.17: Bateria de Ensaio 11 – Características do efluente UASB na bateria de ensaio com polímero não-iônico (26/01/11).

Análise	Unidade	Campos et. al. (2007) - UASB	UASB
Temperatura	°C	25 ± 2	29,2
pH	UpH	7,3 – 7,8	7,0
Cor	mg Pt/L	541	354
Condutividade	µS/cm	-	777
Turbidez	NTU	189	48,5
DQO	mg/L	184	116,59
Fósforo	mg/L	4,84	6,2
Alcalinidade	mg/L	271	298,92
ST	mg/L	-	464,1
SST	mg/L	78	79,07
Sulfeto	mg/L	3,34	8,19
Abs 254	cm ⁻¹	-	0,307

Conforme apresentado na Tabela 5.17, nota-se que na amostra coletada para a realização da bateria de ensaio n.11, os resultados referentes aos vários parâmetros de qualidade do efluente dos reatores UASB apresentaram valores próximos aos obtidos no trabalho de Campos et. al. (2007), mesmo que no evento da data de coleta a unidade desaguadora de lodo (centrífuga) encontrava-se em manutenção o lodo resultante dos tratamentos estava retornando para a entrada dos reatores UASB, houve também a interferência das condições climáticas, com a ocorrência de chuvas, resultando na diluição do efluente coletado.

5.1.2.5.2 Resultados da bateria de ensaio nº11 realizada com Flotateste

Depois da apresentação dos dados para caracterização qualitativa do efluente dos reatores UASB, são apresentados a seguir os resultados obtidos com a aplicação de diferentes dosagens de coagulante tanino e polímero não-iônico para três velocidades de flotação.

Na Figura 5.26 estão apresentados os gráficos das frações residuais de turbidez para as dosagens de tanino de 5 mg.L⁻¹ e 10 mg.L⁻¹ com dosagens variadas de polímero não-iônico e para as três velocidades de flotação. A análise dos dados apresentados mostram que para a dosagem do coagulante tanino de 5 mg.L⁻¹ e 10 mg.L⁻¹, os resultados que obtiveram menores frações

residuais de turbidez com aplicação das dosagens do polímero não-iônico de $2,0 \text{ mg.L}^{-1}$ e $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente. No ensaio com dosagem do coagulante Tanino de 5 mg.L^{-1} , a fração residual de turbidez variou de 0,831 a 0,610, representando uma remoção de 16,9% a 39% da turbidez do efluente do reator UASB, respectivamente. Já no ensaio com aplicação do coagulante Tanino de 10 mg.L^{-1} , a fração residual variou de 0,728 a 0,544, representando remoção de 27,2% a 45,6% da turbidez do efluente do reator UASB, respectivamente.

A Figura 5.27 mostra os gráficos de fração residual de turbidez para as dosagens de tanino de 15 mg.L^{-1} e 25 mg.L^{-1} com variadas dosagens de polímero não-iônico nas três velocidades de flotação estudadas. Através da análise dos resultados, verificou-se que na dosagem de 15 mg.L^{-1} e 25 mg.L^{-1} os resultados que apresentaram menores frações residuais foram aqueles com aplicação de $2,0 \text{ mg.L}^{-1}$ do polímero não-iônico em ambas dosagens de tanino. No ensaio com dosagem do coagulante Tanino de 15 mg.L^{-1} , a turbidez residual variou de 0,454 a 0,247, representando uma remoção de 54,6% a 75,3% da turbidez do efluente do reator UASB, respectivamente. Já no ensaio com aplicação do coagulante Tanino de 25 mg.L^{-1} , a turbidez residual variou de 0,456 a 0,247, representando remoção de 54,4% a 75,3% da turbidez do efluente do reator UASB, respectivamente.

Dosagem de tanino = 5 mg/L

Dosagem de tanino = 10 mg/L

Dosagem		Fração Residual de Turbidez (T/T0)			pH coagulação
		Velocidade de flotação (cm/min)			
Tanino	Polímero	12	16	20	
5	0,0	0,720	0,734	0,831	7,56
5	0,5	0,658	0,678	0,810	7,51
5	1,0	0,639	0,687	0,711	7,54
5	1,5	0,633	0,625	0,647	7,55
5	2,0	0,610	0,629	0,641	7,56
5	2,5	0,629	0,691	0,635	7,56

Dosagem		Fração Residual de Turbidez (T/T0)			pH coagulação
		Velocidade de flotação (cm/min)			
Tanino	Polímero	12	16	20	
10	0,0	0,610	0,619	0,728	7,18
10	0,5	0,544	0,559	0,584	7,03
10	1,0	0,586	0,563	0,619	6,99
10	1,5	0,571	0,631	0,551	7,01
10	2,0	0,557	0,602	0,588	6,99
10	2,5	0,563	0,604	0,569	6,99

Figura 5.26: Bateria de Ensaio 11 - Fração residual de turbidez em função da velocidade de flotação para as dosagens de Tanino de 5 mg/L e 10 mg/L e variadas dosagens de polímero não-iônico (PNI) obtidas com flotatestes.

Dosagem de tanino = 15 mg/L

Dosagem de tanino = 25 mg/L

Dosagem		Fração Residual de Turbidez (T/T0)			pH coagulação
		Velocidade de flotação (cm/min)			
Tanino	Polímero	12	16	20	
15	0,0	0,367	0,371	0,388	6,99
15	0,5	0,305	0,392	0,340	6,99
15	1,0	0,295	0,330	0,328	6,99
15	1,5	0,278	0,369	0,454	6,99
15	2,0	0,247	0,353	0,379	6,98
15	2,5	0,256	0,291	0,379	7,00

Dosagem		Fração Residual de Turbidez (T/T0)			pH coagulação
		Velocidade de flotação (cm/min)			
Tanino	Polímero	12	16	20	
25	0,0	0,373	0,392	0,425	6,99
25	0,5	0,318	0,328	0,363	7,00
25	1,0	0,291	0,367	0,334	6,99
25	1,5	0,291	0,357	0,390	7,00
25	2,0	0,247	0,318	0,421	7,05
25	2,5	0,256	0,332	0,456	7,08

Figura 5.27: Bateria de Ensaio 11 - Fração residual de turbidez em função da velocidade de flotação para as dosagens de Tanino de 15 mg/L e 25 mg/L e variadas dosagens de polímero não-iônico (PNI) obtidas com flotatestes.

Após a avaliação da fração residual de turbidez na bateria de ensaio 11, foi apresentado os resultados das análises adicionais para a velocidade de flotação de 12 cm.min⁻¹. A Tabela 5.18 apresenta os dados residuais de turbidez, cor aparente, fósforo e DQO das amostras após flotação. A Figura 5.28 mostra em gráficos os valores representados na Tabela 5.18.

Tabela 5.18: Bateria de Ensaio 11 – Resultado residuais das análises de turbidez, cor aparente, P e DQO após tratamento por flotação com tanino e polímero não-iônico com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Dosagem		Turbidez Residual (NTU)	Cor Aparente Residual (mg PT/L)	P Residual (mg/L)	DQO Residual (mg/L)
Tanino (mg/L)	Polímero (mg/L)				
5	0,0	35	274	3,69	87
5	0,5	32	237	3,57	81
5	1,0	31	226	3,48	75
5	1,5	31	220	2,91	73
5	2,0	30	217	3,12	78
5	2,5	31	214	3,39	72
10	0,0	30	254	3,45	87
10	0,5	26	242	3,66	83,0
10	1,0	28	243	3,63	78,0
10	1,5	28	237	3,6	74,0
10	2,0	27	237	3,51	69,0
10	2,5	27	238	3,66	66,0
15	0,0	18	238	3,53	82,0
15	0,5	15	224	3,58	78,0
15	1,0	14	223	3,36	75,0
15	1,5	15	233	2,07	76
15	2,0	14	229	2,67	72,0
15	2,5	14	223	2,61	69,0
25	0,0	18	238	3,51	80
25	0,5	15	227	3,57	73
25	1,0	14	230	3,66	66
25	1,5	14	238	3,39	62
25	2,0	12	240	3,63	63
25	2,5	12	258	3,6	58
0	0	26,3	222	4,48	98
UASB		48,5	354	6,2	116,59

Figura 5.28: Bateria de Ensaio 11 – Resultado residuais das análises de turbidez, cor aparente, P e DQO após tratamento por flotação com tanino (DC) e polímero não-iônico (PNI) com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Na Figura 5.28, os gráficos de turbidez residual apresentaram redução dos valores com o aumento da dosagem do coagulante e também pode-se notar pequeno decaimento com aumento das dosagens de polímero não-iônico. Os melhores resultados de remoção de turbidez são encontrados nas dosagens de 15 mg.L^{-1} e 25 mg.L^{-1} , com residuais idênticos para o caso em que não foi aplicado polímero não-iônico com os casos em que foram aplicadas dosagens de $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ e $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ desse polímero.

No gráfico de cor aparente, os resultados de remoção para a aplicação de polímero não-iônico foram muito semelhantes em todas as dosagens estudadas no ensaio 11, com destaque para os resultados com aplicação de dosagem de coagulante Tanino de 5 mg.L^{-1} e de polímero não-iônico de $1,5 \text{ mg.L}^{-1}$, $2,0 \text{ mg.L}^{-1}$ e $2,5 \text{ mg.L}^{-1}$, que obtiveram remoções ligeiramente melhores. Nota-se neste caso que a flotação sem adição de coagulante e polímero resultou em melhores de remoções que a maioria das demais dosagens de coagulante e polímero não-iônico, o que remete a eficiência de remoção de partículas causadoras de cor aparente pela flotação, e interferência pouco expressiva do coagulante e polímero não-iônico neste resultado.

Ainda quanto a Figura 5.28, o gráfico de DQO mostra redução dos valores encontrados com aumento da dosagem de coagulante Tanino e maiores aplicações de polímero não-iônico. Com os melhores resultados de redução de DQO obtidos com a dosagem de 25 mg.L^{-1} de coagulante Tanino e $2,5 \text{ mg.L}^{-1}$ de polímero não-iônico.

A curva de remoção de fósforo (Figura 5.28) apresenta comportamento estável em todas as dosagens de coagulante tanino associado sem aplicação de polímero e com dosagem de $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ e $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ de polímero não-iônico. Nas dosagens de polímero de $1,5 \text{ mg.L}^{-1}$, $2,0 \text{ mg.L}^{-1}$ e $2,5 \text{ mg.L}^{-1}$, a aplicação de 15 mg.L^{-1} de coagulante Tanino apresentou eficiências ligeiramente melhores, chegando ao valor de fósforo residual de 2.07 mg.L^{-1} . No entanto, mesmo nas melhores condições, as remoções de fósforo foram sempre baixas, demonstrando que esse tipo de coagulante (tanino) não promove remoção eficiente de fósforo.

A tabela 5.19 mostra os valores residuais dos parâmetros analisados.

Tabela 5.19: Bateria de Ensaio 11 – Frações Residuais das análises de turbidez, cor aparente, P e DQO após tratamento por flotação com tanino e polímero catiônico com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Dosagem		Fração Residual de Turbidez	Fração Residual Cor Aparente	Fração Residual P	Fração Residual DQO
Tanino (mg/L)	Polímero (mg/L)				
5	0,0	0,720	0,774	0,595	0,746
5	0,5	0,658	0,669	0,576	0,695
5	1,0	0,639	0,638	0,561	0,643
5	1,5	0,633	0,621	0,469	0,626
5	2,0	0,610	0,613	0,503	0,669
5	2,5	0,629	0,605	0,547	0,618
10	0,0	0,610	0,718	0,556	0,746
10	0,5	0,544	0,684	0,590	0,712
10	1,0	0,586	0,686	0,585	0,669
10	1,5	0,571	0,669	0,581	0,635
10	2,0	0,557	0,669	0,566	0,592
10	2,5	0,563	0,672	0,590	0,566
15	0,0	0,367	0,672	0,569	0,703
15	0,5	0,305	0,633	0,577	0,669
15	1,0	0,295	0,630	0,542	0,643
15	1,5	0,299	0,658	0,334	0,652
15	2,0	0,289	0,647	0,431	0,618
15	2,5	0,297	0,630	0,421	0,592
25	0,0	0,367	0,672	0,566	0,686
25	0,5	0,305	0,641	0,576	0,626
25	1,0	0,295	0,650	0,590	0,566
25	1,5	0,278	0,672	0,547	0,532
25	2,0	0,247	0,678	0,585	0,540
25	2,5	0,256	0,729	0,581	0,497
0	0	0,542	0,627	0,723	0,841
UASB		48,5	354	6,2	116,59

Na Tabela 5.19, pode-se inferir de maneira geral que os valores de frações residuais diminuem com o aumento da dosagem do coagulante tanino. Porém, faz-se necessário o estudo de dosagens maiores do coagulante tanino juntamente com o polímero catiônico para a escolha das duas dosagens para estudo da faixa intermediária a elas conforme definido como objetivo da fase 1B, o qual será apresentado na bateria de ensaio 12.

5.1.2.6 Bateria de Ensaio 12 (dosagem de coagulante de 40 a 170 mg.L⁻¹ e polímero não-iônico)

A bateria de ensaio 12 foi caracterizada pela avaliação do coagulante tanino juntamente com o polímero não-iônico LABTAE 413 tratando efluente de reator UASB coletado às 14:00 h. Neste ensaio foram testadas quatro dosagens de coagulante tanino, sendo elas: 40 mg.L⁻¹, 65 mg.L⁻¹, 105 mg.L⁻¹, 170 mg.L⁻¹. Associada a cada dosagem de coagulante, foram avaliadas seis dosagens de polímero não-iônica: 0, 0,5 mg.L⁻¹, 1,0 mg.L⁻¹, 1,5 mg.L⁻¹, 2,0 mg.L⁻¹ e 2,5 mg.L⁻¹ (Figura 5.29).

Figura 5.29: Dosagens do coagulante Tanino e polímero não-iônico avaliados na bateria de ensaio n.12 (efluente dos reatores UASB coletados às 14:00 h).

5.1.2.6.1 Caracterização do efluente do reator UASB referente a amostra utilizada para realização da bateria de ensaio n.12

Durante a realização da grade de ensaio para avaliar a melhor faixa de dosagem do coagulante Tanino e do auxiliar de flotação na bateria de ensaio

12, o efluente do reator UASB apresentaram as características conforme Tabela 5.20.

Tabela 5.20: Bateria de Ensaio 12 – Características do efluente UASB na bateria de ensaio 12 com polímero não-iônico (31/01/11).

Análise	Unidade	Campos et. al. (2007) - UASB	UASB
Temperatura	°C	25 ± 2	29,3
pH	UpH	7,3 – 7,8	6,97
Cor	mg Pt/L	541	409
Condutividade	µS/cm	-	615
Turbidez	NTU	189	43,9
DQO	mg/L	184	148,66
Fósforo	mg/L	4,84	6,9
Alcalinidade	mg/L	271	203,38
ST	mg/L	-	458
SST	mg/L	78	66,8
Sulfeto	mg/L	3,34	6,98
Abs 254	cm ⁻¹	-	0,326

Conforme apresentado na Tabela 5.20, nota-se que na amostra coletada para a realização da bateria de ensaio nº12, os resultados referentes aos vários parâmetros de qualidade do efluente dos reatores UASB apresentaram valores próximos aos obtidos no trabalho de Campos et. al. (2007), mesmo que no evento da data de coleta a unidade desaguadora de lodo (centrífuga) encontrava-se em manutenção, sendo que o lodo resultante dos tratamentos estava retornando para a entrada dos reatores UASB. Em contrapartida houve também a interferência das condições climáticas, com a ocorrência de chuvas, resultando na diluição do efluente coletado.

5.1.2.6.2 Resultados da bateria de ensaio nº12 com o Flotatest

Depois da apresentação dos dados para caracterização qualitativa do efluente dos reatores UASB, são apresentados a seguir os resultados obtidos com a aplicação de diferentes dosagens de coagulante tanino e polímero não-iônico para três velocidades de flotação.

Na Figura 5.30 estão apresentados os gráficos de fração residual de turbidez para as dosagens de tanino de 40 mg.L⁻¹ e 65 mg.L⁻¹ para dosagens

variadas de polímero não-iônico e para as três velocidades de flotação. A análise dos dados apresentados mostra que para a dosagem do coagulante tanino de 40 mg.L^{-1} , os resultados com menores frações residuais de turbidez foram o com aplicação de $1,5 \text{ mg.L}^{-1}$ do polímero não-iônico. Nesta dosagem do coagulante Tanino, a fração residual de turbidez variou de 0,351 a 0,280, representando uma remoção de 64,9% a 72% da turbidez do efluente do reator UASB, respectivamente.

Quanto ao gráfico de fração residual de turbidez com aplicação de 65 mg.L^{-1} de tanino, verifica-se que as dosagem com menores valores de fração residual de turbidez foram os com adição de 2,0 e $2,5 \text{ mg.L}^{-1}$. Nesta dosagem de aplicação do coagulante Tanino, a fração residual de turbidez variou de 0,153 a 0,109, representando remoção de 84,7% a 89,1% da turbidez do efluente do reator UASB, respectivamente.

A Figura 5.31 mostra os gráficos de fração residual de turbidez para as dosagens de tanino de 105 mg.L^{-1} e 170 mg.L^{-1} para variadas dosagens de polímero aniônico nas três velocidades de flotação estudadas. Através da análise dos resultados, verifica-se que na dosagem de 105 mg.L^{-1} a menor fração residual de turbidez foi obtida sem aplicação de polímero não-iônico. A dosagem de polímero aniônico de $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ apresentou o pior resultado neste ensaio. Nota-se também, que nas outras dosagens estudadas de polímero não-iônico os valores das frações residuais foram muito semelhantes. No ensaio com aplicação de 105 mg.L^{-1} do coagulante Tanino, a fração residual de turbidez variou de 0,098 a 0,075, representando remoção de 90,2% a 92,5% da turbidez do efluente estudado.

No gráfico da dosagem de 170 mg.L^{-1} pode-se verificar que o tratamento que obteve melhores resultados de fração residual de turbidez foi com aplicação de $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ do polímero não-iônico. As maiores dosagens de polímero refletiram no aumento da turbidez residual, apresentando resultados pouco satisfatórios. Neste ensaio, a fração residual de turbidez variou de 0,068 a 0,018, representando remoção de 93,2% a 98,2% da turbidez do efluente estudado.

Dosagem de tanino = 40 mg/L

Dosagem de tanino = 65 mg/L

Dosagem		Fração Residual de Turbidez (T/T0)			pH coagulação
		Velocidade de flotação (cm/min)			
Tanino	Polímero	12	16	20	
40	0,0	0,294	0,314	0,319	7,12
40	0,5	0,292	0,298	0,326	7,18
40	1,0	0,287	0,308	0,351	7,21
40	1,5	0,280	0,303	0,330	7,25
40	2,0	0,287	0,296	0,326	7,17
40	2,5	0,289	0,298	0,328	7,06

Dosagem		Fração Residual de Turbidez (T/T0)			pH coagulação
		Velocidade de flotação (cm/min)			
Tanino	Polímero	12	16	20	
65	0,0	0,139	0,144	0,153	7,16
65	0,5	0,132	0,137	0,144	7,15
65	1,0	0,128	0,137	0,137	7,20
65	1,5	0,130	0,134	0,137	7,27
65	2,0	0,114	0,118	0,116	7,06
65	2,5	0,109	0,116	0,121	7,04

Figura 5.30: Bateria de Ensaio 12 - Fração residual de turbidez em função da velocidade de flotação para as dosagens de Tanino de 40 mg/L e 65 mg/L e variadas dosagens de polímero não-iônico (PNI) obtidas com flotatestes.

Dosagem		Fração Residual de Turbidez (T/T0)			pH coagulação
		Velocidade de flotação (cm/min)			
Tanino	Polímero	12	16	20	
105	0,0	0,075	0,082	0,080	7,26
105	0,5	0,080	0,084	0,077	7,19
105	1,0	0,093	0,098	0,096	7,23
105	1,5	0,082	0,087	0,087	7,29
105	2,0	0,082	0,087	0,082	7,12
105	2,5	0,080	0,082	0,080	7,15

Dosagem		Fração Residual de Turbidez (T/T0)			pH coagulação
		Velocidade de flotação (cm/min)			
Tanino	Polímer o	12	16	20	
170	0,0	0,021	0,025	0,021	7,15
170	0,5	0,018	0,021	0,021	7,20
170	1,0	0,021	0,023	0,025	7,14
170	1,5	0,021	0,021	0,018	7,18
170	2,0	0,025	0,032	0,068	7,22
170	2,5	0,025	0,030	0,025	7,22

Figura 5.31: Bateria de Ensaio 12 - Fração residual de turbidez em função da velocidade de flotação para as dosagens de Tanino de 105 mg/L e 170 mg/L e variadas dosagens de polímero não-iônico (PNI) obtidas com flotatestes.

Após a avaliação da fração residual de turbidez na bateria de ensaio 12, foi apresentado os resultados das análises adicionais para a velocidade de flotação de 12 cm.min⁻¹. A Tabela 5.21 apresenta os dados residuais de turbidez, cor aparente, fósforo e DQO das amostras após flotação. A Figura 5.32 mostra em gráficos os valores representados na Tabela 5.21.

Tabela 5.21: Bateria de Ensaio 12 – Resultado residuais das análises de turbidez, cor aparente, P e DQO após tratamento por flotação com tanino e polímero não-iônico com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Dosagem		Turbidez Residual (NTU)	Cor Aparente Residual (mg PT/L)	P Residual (mg/L)	DQO Residual (mg/L)
Tanino (mg/L)	Polímero (mg/L)				
40	0,0	13	210	3,8	82
40	0,5	13	214	3,9	65
40	1,0	14	230	3,9	82
40	1,5	13	218	3,9	81
40	2,0	14	219	3,8	81
40	2,5	14	218	3,8	86
65	0,0	6	155	3,7	70
65	0,5	6	147	3,7	60
65	1,0	6	168	3,8	69
65	1,5	6	172	4	71
65	2,0	5	161	3,7	70
65	2,5	5	151	3,6	66
105	0,0	3	79	3,4	44
105	0,5	4	87	3,4	50
105	1,0	4	94	3,5	54
105	1,5	4	88	3,5	56
105	2,0	4	89	3,3	48
105	2,5	4	88	3,6	26
170	0,0	1	32	3,4	27
170	0,5	1	34	3,1	41
170	1,0	1	34	3,2	31
170	1,5	1	33	3,5	46
170	2,0	1	39	3,4	40
170	2,5	1	39	3,6	-
0	0	14,2	199	3,8	99
UASB		43,9	409	6,9	148,66

(-): resultado não representativo

Figura 5.32: Bateria de Ensaio 12 – Resultado residuais das análises de turbidez, cor aparente, P e DQO após tratamento pro flotação com tanino (DC) e polímero não-iônico (PNI) com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Na Figura 5.32, pode-se notar em todos parâmetros analisados que os resultados residuais tendem a decair com o aumento da dosagem de coagulante. Nas dosagens de 40 mg.L^{-1} e 65 mg.L^{-1} é possível notar um decaimento da DQO nas dosagens de polímero de $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ de polímero não-iônico. Para a dosagem de coagulante de 105 mg.L^{-1} e 170 mg.L^{-1} a maior redução de DQO ocorre sem aplicação de polímero não-iônico.

Para os gráficos de cor aparente e turbidez, nota-se redução de remoção com maiores dosagens de coagulante Tanino, já as diferentes dosagens do polímero não-iônico pouco interferiram nos resultados da flotação.

O gráfico de fósforo mostra que a remoção foi semelhante em todas as dosagens estudadas neste ensaio, com melhor remoção presente na dosagem de 170 mg.L^{-1} de coagulante juntamente com $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ de polímero não-iônico.

A tabela 5.22 mostra os valores das frações residuais dos parâmetros analisados.

Tabela 5.22: Bateria de Ensaio 12 - Frações residuais das análises de turbidez, cor aparente, P e DQO após tratamento por flotação com tanino e polímero não-iônico com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Dosagem		Turbidez Residual	Cor Aparente Residual	P Residual	DQO Residual
Tanino (mg/L)	Polímero (mg/L)				
40	0,0	0,289	0,513	0,551	0,552
40	0,5	0,301	0,523	0,565	0,437
40	1,0	0,310	0,562	0,565	0,552
40	1,5	0,303	0,533	0,565	0,545
40	2,0	0,310	0,535	0,551	0,545
40	2,5	0,312	0,533	0,551	0,579
65	0,0	0,139	0,379	0,536	0,471
65	0,5	0,132	0,359	0,536	0,404
65	1,0	0,128	0,411	0,551	0,464
65	1,5	0,130	0,421	0,580	0,478
65	2,0	0,114	0,394	0,536	0,471
65	2,5	0,109	0,369	0,522	0,444
105	0,0	0,075	0,193	0,493	0,296
105	0,5	0,080	0,213	0,493	0,336
105	1,0	0,093	0,230	0,507	0,363
105	1,5	0,082	0,215	0,507	0,377
105	2,0	0,082	0,218	0,478	0,323
105	2,5	0,080	0,215	0,522	0,175
170	0,0	0,021	0,078	0,493	0,182
170	0,5	0,018	0,083	0,449	0,276
170	1,0	0,021	0,083	0,464	0,209
170	1,5	0,021	0,081	0,507	0,309
170	2,0	0,025	0,095	0,493	0,269
170	2,5	0,025	0,095	0,522	0,471
0	0	0,323	0,487	0,551	0,666
UASB		43,9	409	6,9	148,66

Analisando a Tabela 5.22, pode-se verificar que os valores residuais de turbidez, cor aparente e DQO diminuem com o aumento da dosagem do coagulante Tanino e que a presença do polímero pouco altera seus valores.

Para as dosagens de 40 mg.L⁻¹, 65 mg.L⁻¹ e 105 mg.L⁻¹ de coagulante tanino, o aumento da dosagem de polímero piora os valores de remoção, sendo também pouco expressivos as diferenças entre os resultados sem a adição de polímero e com aplicação de variadas dosagens do polímero não-iônico estudadas neste ensaio. Para a dosagem de 170 mg.L⁻¹, os valores

residuais são idênticos em todas as variações apresentadas. Com isso, demonstrou-se que para essas dosagens de coagulante seria desnecessária a aplicação de polímero não-iônico como auxiliar de flotação.

Para a escolha das dosagens mais adequadas para serem estudadas na fase 2, definiu-se como critério a escolha de duas menores dosagens em que foi verificada boa remoção de turbidez (superior a 85%) .

Assim, conforme verificado nos resultados apresentados e os critérios adotados, escolheu-se as duas dosagens para estudo posterior, sendo elas 65 mg.L^{-1} e 105 mg.L^{-1} , a partir das quais foram investigadas na fase 2 dosagens intermediárias do coagulante tanino, conforme será comentado no item 5.2.1 . Mesmo a dosagem de 65 mg.L^{-1} não atingindo o parâmetro de remoção estabelecido, esta foi selecionada pois em comparação com as maiores dosagens aplicadas (170 mg.L^{-1}) não houve melhorias tão significativas na remoção dos parâmetros estudados que justificassem tal seleção.

5.2 Resultados da fase 2

Para realização da fase 2 desta pesquisa, foi estudado o tratamento de efluente de reator UASB com coagulante tanino e três auxiliares de floculação: polímero catiônico, polímero aniônico e polímero não-iônico. Nesta fase, as coletas de amostras do efluente do reator UASB ocorreram às 14:00 h, sendo que a variação da dosagem de Tanino foi feita com base nos dois melhores resultados da fase anterior (65 mg.L^{-1} e 105 mg.L^{-1}), com estudos das dosagens intermediárias a eles (65 mg.L^{-1} , 75 mg.L^{-1} , 85 mg.L^{-1} , 95 mg.L^{-1} e 105 mg.L^{-1}), visando a obtenção da dosagem do coagulante Tanino mais representativa aliada ao polímero mais eficiente para o efluente dos reatores UASB da ETE Monjolinho. Nos ensaios da Fase 2 foi estudada a variação do coagulante Tanino na faixa de 65 a 105 mg.L^{-1} e três tipos de polímeros para a velocidade de flotação de 12 cm.min^{-1} , em vista aos resultados apresentados em fase anterior.

O ensaio 13 foi realizado com aplicação do coagulante Tanino e polímero não-iônico em dosagens definidas na Fase 1. O ensaio 14 foi efetuado com aplicação do coagulante Tanino aliado ao polímero aniônico em

dosagens definidas em fase anterior. Por fim, no ensaio 15 foi avaliada a aplicação do polímero catiônico, nas dosagens definidas previamente.

5.2.1 Bateria de Ensaio 13 (Dosagem de coagulante de 65 a 105 mg.L⁻¹ e polímero não-iônico)

Os resultados da avaliação da dosagem de coagulante tanino realizados na fase 2, foram divididos em dois itens: caracterização do efluente do reator UASB, e ensaios com *flotatestes*.

O ensaio 13 foi representado pela avaliação do coagulante tanino juntamente com o polímero não-iônico LABTAE 413 tratando efluente de reator UASB coletado as 14:00 h. Neste ensaio foram testadas cinco dosagens de coagulante tanino, valores intermediários aos selecionadas na Fase 1B, sendo elas: 65 mg.L⁻¹, 75 mg.L⁻¹, 85 mg.L⁻¹, 95 mg.L⁻¹ e 105 mg.L⁻¹. Associadas a cada dosagem de tanino, foram avaliadas seis dosagens de polímero não-iônico: 0, 0,5 mg.L⁻¹, 1,0 mg.L⁻¹, 1,5 mg.L⁻¹, 2,0 mg.L⁻¹ e 2,5 mg.L⁻¹.

5.1.2.2.1 Caracterização do efluente do reator UASB referente à amostra utilizada para realização da bateria de ensaio nº13

Durante a realização das grades de ensaios para avaliar a melhor faixa de dosagem do coagulante Tanino e do auxiliar de flotação na bateria de ensaio 13, o efluente do reator UASB apresentaram as características conforme Tabela 5.23.

Tabela 5.23: Bateria de Ensaio 13 – Características do efluente UASB na bateria de ensaio 13 com polímero não-iônico (08/02/11).

Análise	Unidade	Campos et. al. (2007) - UASB	UASB
Temperatura	°C	25 ± 2	28,3
pH	UpH	7,3 – 7,8	7,2
Cor Aparente	mg Pt/L	541	1750
Condutividade	µS/cm	-	869
Turbidez	NTU	189	207
DQO	mg/L	184	291,26
Fósforo	mg/L	4,84	7,42
Alcalinidade	mg/L	271	297,37
ST	mg/L	-	942,33
SST	mg/L	78	461,6
COT	mg/L	-	18,53
Sulfeto	mg/L	3,34	9,22
Abs 254	cm-1	-	0,457
N amoniacal	mg/L	37,1	38
NTK	mg/L	39	110

Na tabela 5.23, verifica-se que na amostra coletada para a realização da bateria de ensaio nº13, os resultados referentes aos vários parâmetros de qualidade do efluente dos reatores UASB apresentaram valores superiores aos obtidos no trabalho de Campos et. al. (2007), os quais podem ser justificados por problemas na ETE Monjolinho na data da coleta, já que um dos reatores UASB estava em manutenção, sobrecarregando dessa forma o outro reator existente na unidade.

5.1.2.2.2 Resultados da bateria de Ensaio nº13 com o Flotateste

Após a apresentação dos dados para caracterização qualitativa do efluente dos reatores UASB, são apresentados a seguir os resultados obtidos com a aplicação de diferentes dosagens de coagulante tanino e polímero não-iônico para três velocidades de flotação.

A tabela 5.32 apresenta os resultados residuais de turbidez, cor aparente, fósforo total, Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Sólidos Suspensos Totais (SST) das amostras após flotação. Na referida tabela, encontra-se destacado para cada dosagem de coagulante Tanino, uma

dosagem de polímero não-iônico. As dosagens destacadas referem-se aos ensaios que apresentaram melhores resultados de remoção dos parâmetros investigados e que foram utilizados para a escolha do melhor conjunto de dosagem Tanino e polímero não-iônico nesta bateria de ensaio. Para a decisão de qual a dosagem seria destacada de cada grupo de ensaios com mesma dosagem de coagulante, foi adotado o seguinte critério: menor residual de turbidez, seguido da demanda química de oxigênio (DQO).

Tabela 5.24: Bateria de Ensaio 13 – Resultado das análises de turbidez, cor aparente, P, DQO e SST após tratamento por flotação com tanino e polímero não-iônico com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Dosagem		Turbidez Residual (NTU)	Cor Aparente Residual (mg Pt/L)	P Residual (mg/L)	DQO Residual (mg/L)	SST Residual (mg/L)
Tanino (mg/L)	Polímero (mg/L)					
65	0,0	5,8	178	3,04	103	34
65	0,5	5,3	140	3,55	83	29,2
65	1,0	7,4	163	3,86	84	30
65	1,5	8,9	190	4,37	80	30,1
65	2,0	9,2	181	4,06	79	45,7
65	2,5	9,0	172	3,59	71	44,9
75	0,0	9,5	192	3,39	97	41,3
75	0,5	8,6	168	3,86	84	30,1
75	1,0	7,1	149	3,94	64	33,8
75	1,5	5,6	139	3,73	57	30,6
75	2,0	8,6	161	3,25	77	37,2
75	2,5	8,3	175	3,55	82	33,7
85	0,0	9,0	176	3,47	78	35,1
85	0,5	5,2	110	3,37	67	30,8
85	1,0	5,9	133	3,37	55	32,2
85	1,5	6,4	118	3,44	61	29,76
85	2,0	9,0	173	3,3	60	31,4
85	2,5	9,8	167	3,28	78	33,8
95	0,0	6,7	144	3,2	84	27,6
95	0,5	7,1	158	3,39	74	21,6
95	1,0	7,7	158	3,15	73	23,5
95	1,5	5,4	128	3,21	58	27,7
95	2,0	5,8	125	3,18	64	29,2
95	2,5	8,8	175	3,09	73	35,1
105	0,0	7,5	168	3,35	81	28,7
105	0,5	5,9	141	3,22	66	23,4
105	1,0	6,5	132	3,78	53	24,1
105	1,5	4,7	120	2,98	51	29,1

105	2,0	5,3	131	2,85	64	36,4
105	2,5	5,7	105	3,38	74	37,2
0	0	21	455	5,06	164	109,4
UASB		207	1750	7,42	291,26	461,6

A Figura 5.33 mostra em forma de gráficos os resultados da fração residual de turbidez, cor aparente, fósforo, DQO e SST pelas dosagens de polímero não-iônico aplicadas na bateria de ensaio 13, conforme dados apresentados na Tabela 5.25.

Figura 5.33: Bateria de Ensaio 13 - Resultado das análises das frações residuais de turbidez, cor aparente, P , DQO e SST após tratamento por flotação com tanino e polímero não-iônico com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Com base nos dados apresentados na Figura 5.33, pode-se verificar no gráfico de turbidez residual que todos as dosagem do coagulante Tanino e do polímero não-iônico apresentaram valores muito semelhantes, com frações residuais inferiores a 0,047, o que representa uma eficiência superior a 95%. Para o gráfico de cor aparente residual, nota-se que todas as dosagens também apresentaram frações residuais próximas, com valor máximo de 0,110, representando remoção superior a 89%.

Para os valores de SST residuais verificou-se também semelhança entre os resultados de flotação para todas as dosagens de coagulante tanino e polímero não-iônico aplicadas, com residuais inferiores a 0,089, que representa remoção superior a 91%. O gráfico de DQO apresentou resultado de frações residuais mais variáveis, com valores de máximo e mínimos de 0,354 e 0,141, representando redução entre 64% e 85%, respectivamente.

Quanto ao gráfico de fósforo, pode-se verificar que os valores residuais foram elevados, apresentando remoção de 41% a 60%, o que mostra a deficiência do sistema flotação com coagulante tanino em remover fósforo.

A Tabela 5.25 apresenta os valores da fração residual de turbidez, cor aparente, fósforo, DQO e SST encontrados neste ensaio.

Tabela 5.25: Bateria de Ensaio 13 – Resultado das análises de turbidez residual, cor aparente residual, P residual, DQO residual e SST Residual após tratamento por flotação com tanino e polímero não-iônico com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Dosagem		Fração Residual de Turbidez	Fração Residual Cor Aparente	Fração Residual P	Fração Residual DQO	Fração Residual SST
Tanino (mg/L)	Polímero (mg/L)					
65	0,0	0,028	0,102	0,410	0,354	0,074
65	0,5	0,026	0,080	0,478	0,285	0,063
65	1,0	0,036	0,093	0,520	0,288	0,065
65	1,5	0,043	0,109	0,589	0,275	0,065
65	2,0	0,044	0,103	0,547	0,271	0,099
65	2,5	0,043	0,098	0,484	0,244	0,097
75	0,0	0,046	0,110	0,457	0,333	0,089
75	0,5	0,042	0,096	0,520	0,288	0,065
75	1,0	0,034	0,085	0,531	0,220	0,073
75	1,5	0,027	0,079	0,503	0,196	0,066
75	2,0	0,042	0,092	0,438	0,264	0,081
75	2,5	0,040	0,100	0,478	0,282	0,073
85	0,0	0,043	0,101	0,468	0,268	0,076
85	0,5	0,025	0,063	0,454	0,230	0,067
85	1,0	0,029	0,076	0,454	0,189	0,070
85	1,5	0,031	0,067	0,464	0,209	0,064
85	2,0	0,043	0,099	0,445	0,206	0,068
85	2,5	0,047	0,095	0,442	0,268	0,073
95	0,0	0,032	0,082	0,431	0,288	0,060
95	0,5	0,034	0,090	0,457	0,254	0,047
95	1,0	0,037	0,090	0,425	0,251	0,051
95	1,5	0,026	0,073	0,433	0,199	0,060
95	2,0	0,028	0,071	0,429	0,220	0,063
95	2,5	0,043	0,100	0,416	0,251	0,076
105	0,0	0,036	0,096	0,451	0,278	0,062
105	0,5	0,029	0,081	0,434	0,227	0,051
105	1,0	0,031	0,075	0,509	0,182	0,052
105	1,5	0,023	0,069	0,402	0,178	0,063
105	2,0	0,026	0,075	0,384	0,220	0,079
105	2,5	0,028	0,060	0,456	0,254	0,081
-	-	0,101	0,260	0,682	0,563	0,237
UASB		207	1750	7,42	291,26	461,6

A seguir foram analisados os melhores valores encontrados em cada dosagem do coagulante Tanino, os quais estavam em destaque na Tabela 5.24, para definição da melhor dosagem de Tanino aliada ao polímero não-iônico (Tabela 5.26).

Tabela 5.26: Bateria de Ensaio 13 – Análise dos melhores resultado após tratamento por flotação com tanino e polímero não-iônico com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Dosagem		Turbidez Residual (NTU)	Cor Aparente Residual (mg PT/L)	P Residual (mg/L)	DQO Residual (mg/L)	SST Residual (mg/L)
Tanino (mg/L)	Polímero (mg/L)					
65	0,5	5,3	140	3,55	83	29,2
75	1,5	5,6	139	3,73	57	30,6
85	0,5	5,2	110	3,37	67	30,8
95	1,5	5,4	128	3,21	58	27,7
105	1,5	4,7	120	2,98	51	29,1

A Tabela 5.26 mostra as análises das dosagens selecionadas que obtiveram melhores resultados residuais para cada dosagem de coagulante tanino estudada na bateria de ensaio 13. Através da análise dos dados da referida tabela, optou-se como critério de escolha, o resultado com aplicação de menor dosagem de coagulante Tanino com as melhores remoções de turbidez (acima de 90% de remoção) e DQO (superior a 80% de redução).

Tabela 5.27: Bateria de Ensaio 13 – Análise da remoção dos parâmetros estudados dos melhores resultado após tratamento por flotação com tanino e polímero não-iônico com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Dosagem		Eficiência Remoção Turbidez (%)	Eficiência Remoção Cor Aparente (%)	Eficiência Remoção P (%)	Eficiência Remoção DQO (%)	Eficiência Remoção SST (%)
Tanino (mg/L)	Polímero (mg/L)					
65	0,5	97,4	92,0	52,2	71,5	93,7
75	1,5	97,3	92,1	49,7	80,4	93,4
85	0,5	97,5	93,7	54,6	77,0	93,3
95	1,5	97,4	92,7	56,7	80,1	94,0
105	1,5	97,7	93,1	59,8	82,5	93,7

A Tabela 5.27 apresenta as eficiências de remoção de turbidez, cor aparente, fósforo total, DQO e SST encontrados nos melhores resultados selecionados, através destes optou-se pela dosagem de 75 mg.L⁻¹ de coagulante Tanino com adição de 0,5 mg.L⁻¹ de polímero não-iônico.

5.2.1 Bateria de Ensaio 14 (dosagem de coagulante de 65 a 105 mg.L⁻¹ e polímero aniônico)

Para a avaliação da dosagem de coagulante tanino realizados na fase 2, seus resultados foram divididos em dois itens: caracterização do efluente do reator UASB e ensaios com *flotatestes*.

O ensaio 14 foi caracterizado pela avaliação do coagulante tanino juntamente com o polímero aniônico LABTAE 410 tratando efluente de reator UASB coletado as 14:00 h. Neste ensaio foram testadas cinco dosagens de coagulante tanino, definidas através dos valores intermediários aos selecionadas na Fase 1, sendo elas: 65 mg.L⁻¹, 75 mg.L⁻¹, 85 mg.L⁻¹, 95 mg.L⁻¹ e 105 mg.L⁻¹. Associado ao coagulante Tanino, foram avaliadas seis dosagens de polímero aniônico: 0, 0,5 mg.L⁻¹, 1,0 mg.L⁻¹, 1,5 mg.L⁻¹, 2,0 mg.L⁻¹ e 2,5 mg.L⁻¹.

5.1.2.2.1 Caracterização do efluente do reator UASB referente a amostra utilizada para realização da bateria de ensaio nº14

As características do efluente do reator UASB, no evento dos ensaios com o coagulante Tanino e polímero aniônico na bateria de ensaio 14, estão apresentados na Tabela 5.28.

Tabela 5.28: Bateria de Ensaio 14 – Características do efluente UASB, ensaio com polímero aniônico (15/02/11).

Análise	Unidade	Campos et. al. (2007) - UASB	UASB
Temperatura	°C	25 ± 2	28,6
pH	UpH	7,3 – 7,8	7,03
Cor	mg Pt/L	541	487
Condutividade	µS/cm	-	806
Turbidez	NTU	189	68,1
DQO	mg/L	184	104,37
Fósforo	mg/L	4,84	6,2
Alcalinidade	mg/L	271	276,32
ST	mg/L	-	445,67
SST	mg/L	78	116,4
COT	mg/L	-	13,85

Sulfeto	mg/L	3,34	9,85
Abs 254	cm ⁻¹	-	0,249
N amoniacal	mg/L	37,1	36
NTK	mg/L	39	82

Conforme apresentado na Tabela 5.28, nota-se que na amostra coletada para a realização da bateria de ensaio nº14, os resultados referentes aos vários parâmetros de qualidade do efluente dos reatores UASB apresentaram valores superiores aos obtidos no trabalho de Campos et. al. (2007), isso pode ser justificado por problemas na ETE Monjolinho na data da coleta, em que as unidades de gradeamento e de desaguamento de lodo (centrífuga) estavam em manutenção, estando o lodo retornando para a entrada do reator UASB e prejudicando, de modo geral, o funcionamento das unidades subsequentes.

5.1.2.2.2 Resultados da bateria de ensaio nº14 com o Flotatest

Depois de apresentados os dados da caracterização qualitativa do efluente dos reatores UASB, são apresentados a seguir os resultados obtidos com a aplicação de diferentes dosagens de coagulante tanino e polímero aniônico para três velocidades de flotação.

A Tabela 5.29 apresenta os resultados de turbidez residual, cor aparente residual, fósforo total residual, Demanda Química de Oxigênio (DQO) residual e Sólidos Suspensos Totais (SST) residual das amostras após flotação. Na referida tabela, encontra-se em destaque para cada dosagem de coagulante Tanino, uma dosagem de polímero aniônico. As dosagens destacadas referem-se aos ensaios que apresentaram melhores resultados de remoção dos parâmetros investigados e que foram utilizados para a escolha do melhor conjunto de dosagem Tanino e polímero aniônico nesta bateria de ensaio. Para a decisão de qual a dosagem seria destacada de cada grupo de ensaios com mesma dosagem de coagulante, foi adotado o seguinte critério: menor residual de turbidez, seguido da demanda química de oxigênio (DQO).

Tabela 5.29: Bateria de Ensaio 14 – Resultado das análises de turbidez residual, cor aparente residual, P residual, DQO residual e SST residual após tratamento por flotação com tanino e polímero aniônico com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Dosagem		Turbidez Residual (NTU)	Cor Aparente Residual (mg PT/L)	P Residual (mg/L)	DQO Residual (mg/L)	SST Residual (mg/L)
Tanino (mg/L)	Polímero (mg/L)					
65	0,0	12,6	257	4,3	69	32,8
65	0,5	13,2	245	4,2	64	29,6
65	1,0	14,2	252	4,0	53	24,4
65	1,5	12,4	215	4,2	45	29,0
65	2,0	9,4	193	4,2	50	25,8
65	2,5	10,9	203	4,3	58	43,6
75	0,0	8,9	202	4,3	64	27,6
75	0,5	9,7	206	4,2	48	19,3
75	1,0	9,6	200	4,2	43	18,8
75	1,5	8,4	179	4,1	50	18,4
75	2,0	9,3	195	4,3	58	29,0
75	2,5	8,7	190	4,1	77	30,8
85	0,0	6,74	149	4,2	57	19,2
85	0,5	5,94	144	4,1	43	14,2
85	1,0	7,05	152	3,8	38	16,0
85	1,5	6,69	151	3,9	41	15,6
85	2,0	7,47	150	3,9	60	16,2
85	2,5	6,84	156	4,0	72	24,8
95	0,0	5,49	140	3,9	34	14,8
95	0,5	5,88	139	4,0	43	14,8
95	1,0	6,36	155	3,8	52	14,0
95	1,5	5,99	146	3,9	57	11,2
95	2,0	6,5	153	3,7	66	10,0
95	2,5	6,69	155	3,4	68	13,6
105	0,0	5,51	136	3,9	39	13,6
105	0,5	5,66	140	3,5	43	16,8
105	1,0	6,44	152	3,7	50	17,6
105	1,5	7,21	173	3,6	55	15,6
105	2,0	6,33	179	3,6	53	20,8
105	2,5	6,45	162	3,7	55	22,8
-	-	31,5	321	4,1	100	36,8
UASB		68,1	487	6,2	104,37	116,4

A Figura 5.34 mostra em gráficos os resultados das frações residuais de turbidez, cor aparente, fósforo, DQO e SST dos dados apresentados na Tabela 5.30.

Figura 5.34: Bateria de Ensaio 14 – Frações Residuais de turbidez, cor aparente, P, DQO e SST após tratamento por flotação com tanino (DC) e polímero aniônico com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Com base nos dados apresentados na Figura 5.34, pode-se verificar no gráfico de turbidez residual que os valores do parâmetro decrescem com aplicação das dosagem de 65 mg.L⁻¹ e 75 mg.L⁻¹ de Tanino, nas dosagens de 85 mg.L⁻¹, 95 mg.L⁻¹ e 105 mg.L⁻¹ as remoções de turbidez são semelhantes, no geral as frações residuais de turbidez variam de 0,209 a 0,081, representando remoção de 79,1% a 91,9%.

Para o gráfico de cor aparente residual, nota-se que as dosagens 65 mg.L⁻¹ e 75 mg.L⁻¹ levam ao decaimento do parâmetro com o aumento da dosagem de coagulante e também para as dosagens de polímero aniônico. Nas dosagens de 85 mg.L⁻¹ e 95 mg.L⁻¹ os residuais são semelhantes. Para a dosagem de 105 mg.L⁻¹, as frações residuais aumentam com a aplicação de dosagens maiores de polímero aniônico. Neste ensaio, as frações residuais de cor aparente variam de 0,528 a 0,279, representando remoção de 47,2% a 72,1%.

Para os valores de SST residuais verificou-se também redução dos valores residuais com o aumento da dosagem de tanino, com pequenas alterações de redução das frações residuais de SST nas dosagens de 85 mg.L⁻¹, 95 mg.L⁻¹ e 105 mg.L⁻¹. Os melhores resultados foram obtidos nas dosagens de 95 mg.L⁻¹. A variação da fração residual de SST foi entre 0,354 e 0,141, que representa remoção entre 62,5% e 85,9%. O gráfico de DQO apresentou resultados mais variáveis, com menores frações residuais na dosagem de 85 mg.L⁻¹ de coagulante tanino associado a 1,0 mg.L⁻¹ de polímero aniônico. Os valores de máximo e mínimos de 0,738 e 0,326, representando redução entre 26,2% e 67,4%, respectivamente.

Quanto ao gráfico de fósforo, pode-se verificar que os valores residuais foram elevados, mesmo com aplicação de 105 mg.L⁻¹ de Tanino, a menor fração residual de fósforo foi 0,565 com aplicação de 0,5 mg.L⁻¹ de polímero aniônico. A remoção de fósforo neste ensaio variou de 30,6% a 43,5%, o que mostra a deficiência do pós- tratamento por flotação com coagulante tanino para remoção de fósforo total.

A Tabela 5.30 apresenta os valores de fração residual de turbidez, cor aparente, fósforo, DQO e SST encontrados neste ensaio.

Tabela 5.30: Bateria de Ensaio 14 – Frações Residuais de turbidez, cor aparente, P , DQO e SST após tratamento por flotação com tanino (DC) e polímero aniônico com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Dosagem		Fração Residual de Turbidez	Fração Residual Cor Aparente	Fração Residual P	Fração Residual DQO	Fração Residual SST
Tanino (mg/L)	Polímero (mg/L)					
65	0,0	0,185	0,528	0,694	0,661	0,282
65	0,5	0,194	0,503	0,677	0,613	0,254
65	1,0	0,209	0,517	0,645	0,508	0,210
65	1,5	0,182	0,441	0,677	0,431	0,249
65	2,0	0,138	0,396	0,677	0,479	0,222
65	2,5	0,160	0,417	0,694	0,556	0,375
75	0,0	0,131	0,415	0,694	0,613	0,237
75	0,5	0,142	0,423	0,677	0,460	0,166
75	1,0	0,141	0,411	0,677	0,412	0,162
75	1,5	0,123	0,368	0,661	0,479	0,158
75	2,0	0,137	0,400	0,694	0,556	0,249
75	2,5	0,128	0,390	0,661	0,738	0,265
85	0,0	0,099	0,306	0,677	0,546	0,165
85	0,5	0,087	0,296	0,661	0,412	0,122
85	1,0	0,104	0,312	0,613	0,364	0,137
85	1,5	0,098	0,310	0,629	0,393	0,134
85	2,0	0,110	0,308	0,629	0,575	0,139
85	2,5	0,100	0,320	0,645	0,690	0,213
95	0,0	0,081	0,287	0,629	0,326	0,127
95	0,5	0,086	0,285	0,645	0,412	0,127
95	1,0	0,093	0,318	0,613	0,498	0,120
95	1,5	0,088	0,300	0,629	0,546	0,096
95	2,0	0,095	0,314	0,597	0,632	0,086
95	2,5	0,098	0,318	0,548	0,652	0,117
105	0,0	0,081	0,279	0,629	0,374	0,117
105	0,5	0,083	0,287	0,565	0,412	0,144
105	1,0	0,095	0,312	0,597	0,479	0,151
105	1,5	0,106	0,355	0,581	0,527	0,134
105	2,0	0,093	0,368	0,581	0,508	0,179
105	2,5	0,095	0,333	0,597	0,527	0,196
-	-	0,463	0,659	0,661	0,958	0,316
UASB		68,1	487	6,2	104,37	116,4

A seguir foram analisados os melhores valores residuais encontrados em cada dosagem do coagulante Tanino, os quais estavam em destaque na Tabela 5.29, para definição da dosagem de Tanino aliada ao polímero aniônico que apresentaram melhores resultados neste ensaio (Tabela 5.31).

Tabela 5.31: Bateria de Ensaio 14 – Análise dos melhores resultado após tratamento por flotação com tanino e polímero aniônico com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Dosagem		Turbidez Residual (NTU)	Cor Aparente Residual (mg PT/L)	P Residual (mg/L)	DQO Residual (mg/L)	SST Residual (mg/L)
Tanino (mg/L)	Polímero (mg/L)					
65	2,0	9,4	193	4,2	50	25,8
75	1,5	8,4	179	4,1	50	18,4
85	0,5	5,94	144	4,1	43	14,2
95	0,0	5,49	140	3,9	34	14,8
105	0,0	5,51	136	3,9	39	13,6

A Tabela 5.31 mostra as análises das dosagens selecionadas que obtiveram melhores resultados na bateria de ensaio n. 14. Com base na análise dos dados da referida tabela, usou-se como critério de escolha, o resultado com aplicação de menor dosagem de coagulante Tanino com as melhores eficiências de remoções das análises de turbidez (acima de 90% de remoção) e DQO (superior a 80% de redução).

Tabela 5.32: Bateria de Ensaio 14 – Eficiência de remoção de turbidez, cor aparente, P, DQO e SST após tratamento por flotação com tanino e polímero aniônico com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Dosagem		Turbidez (%)	Cor Aparente (%)	P (%)	DQO (%)	SST (%)
Tanino (mg/L)	Polímero (mg/L)					
65	2,0	86,2	60,4	32,3	52,1	77,8
75	1,5	87,7	63,2	33,9	52,1	84,2
85	0,5	91,3	70,4	33,9	58,8	87,8
95	0,0	91,9	71,3	37,1	67,4	87,3
105	0,0	91,9	72,1	37,1	62,6	88,3

A Tabela 5.32 apresenta os valores de eficiência de remoção de turbidez, cor aparente, fósforo total, DQO e SST para os melhores resultados selecionados, através destes optou-se pela dosagem de 85 mg.L⁻¹ de coagulante Tanino com adição de 0,5 mg.L⁻¹ de polímero aniônico, mesmo sem atingir o critério utilizado para a determinação desta etapa. Isso pois como o parâmetro de remoção de DQO não foi atingido em nenhuma das dosagens da Tabela 5.31, optou-se apenas pelas dosagens de coagulante e polímero aniônico que atingiu o critério quanto a remoção de turbidez.

5.2.1 Bateria de Ensaio 15 (Dosagem de coagulante de 55 a 105 mg.L⁻¹ e polímero catiônico)

Para a avaliação da dosagem de coagulante tanino realizados na fase 2, seus resultados foram divididos em dois itens: caracterização do efluente do reator UASB e ensaios com flotatestes.

No ensaio 15 foi realizada a avaliação do coagulante tanino juntamente com o polímero catiônico LABTAE 415 tratando efluente de reator UASB coletado as 14:00 h. Neste ensaio foram testadas seis dosagens de coagulante tanino, valores intermediários às selecionadas na Fase 1, sendo elas: 55 mg.L⁻¹, 65 mg.L⁻¹, 75 mg.L⁻¹, 85 mg.L⁻¹, 95 mg.L⁻¹ e 105 mg.L⁻¹. Associado ao coagulante Tanino, foram avaliadas seis dosagens de polímero catiônico: 0, 0,5 mg.L⁻¹, 1,0 mg.L⁻¹, 1,5 mg.L⁻¹, 2,0 mg.L⁻¹ e 2,5 mg.L⁻¹. A dosagem de 55 mg.L⁻¹ foi testado nesta bateria de ensaio, em vista aos bons resultados da dosagem superior a ela (65 mg.L⁻¹) ter sido satisfatórias, o que remeteria a dúvidas quanto a resposta da aplicação de dosagens menores.

5.1.2.2.1 Caracterização do efluente do reator UASB referente à amostra utilizada para realização da bateria de ensaio nº15

As características do efluente do reator UASB, no evento dos ensaios com o coagulante Tanino e polímero catiônico na bateria de ensaio 15, estão apresentados na Tabela 5.33.

Tabela 5.33: Ensaio 15 – Características efluente UASB, ensaio com polímero catiônico (22/02/11).

Análise	Unidade	Campos et. al. (2007) - UASB	UASB
Temperatura	°C	25 ± 2	28,4
pH	UpH	7,3 – 7,8	6,86
Cor	mg Pt.L ⁻¹	541	547
Cond.	µS/cm	-	665
Turbidez	NTU	189	76,4
DQO	mg/L	184	129,68
Fósforo	mg/L	4,84	6,3
Alcalinidade	mg/L	271	243,96
ST	mg/L	-	528
SST	mg/L	78	107,47

COT	mg/L	-	12,19
Sulfeto	mg/L	3,34	9,94
Abs 254	cm ⁻¹	-	0,239
N amoniacal	mg/L	37,1	33
NTK	mg/L	39	85

Conforme descrito na Tabela 5.33, observa-se que na amostra coletada para a realização da bateria de ensaio nº 15, os resultados referentes aos vários parâmetros de qualidade do efluente dos reatores UASB apresentaram valores elevados quando comparados aos do trabalho de Campos et. al. (2007), isso pode ser justificado por problemas na ETE Monjolinho na data da coleta, cuja unidade desaguadora de lodo (centrífuga) estava em manutenção e o lodo resultante dos tratamentos estava retornando para a entrada dos reatores UASB.

5.1.2.2.2 Resultados da bateria de ensaio nº 15 com o Flotatest

Após apresentação dos dados da caracterização qualitativa do efluente dos reatores UASB, são apresentados a seguir os resultados obtidos com a aplicação de diferentes dosagens de coagulante tanino e polímero catiônico para três velocidades de flotação.

A Tabela 5.34 apresenta os resultados de turbidez residual, cor aparente residual, fósforo total residual, Demanda Química de Oxigênio (DQO) residual e Sólidos Suspensos Totais (SST) residual das amostras após flotação. Na referida tabela, encontra-se em destaque para cada dosagem de coagulante Tanino, uma dosagem de polímero catiônico. As dosagens destacadas referem-se aos ensaios que apresentaram melhores resultados de remoção dos parâmetros investigados e que foram utilizados para a escolha do melhor conjunto de dosagem Tanino e polímero catiônico nesta bateria de ensaio. Para a decisão de qual a dosagem seria destacada de cada grupo de ensaios com mesma dosagem de coagulante, foi adotado o seguinte critério: menor residual de turbidez, seguido da demanda química de oxigênio (DQO).

Tabela 5.34: Bateria de Ensaio 15 – Resultado de turbidez residual, cor aparente residual, P residual, DQO residual e SST residual após tratamento por flotação com tanino e polímero catiônico com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Dosagem		Turbidez	Cor	P	DQO	SST
Tanino	Polímero					
55	0,0	12,8	178	3,3	52	20,8
55	0,5	11	159	3,5	47	16,8
55	1,0	10,5	161	3,0	55	17,9
55	1,5	8,8	137	3,0	32	17,5
55	2,0	6,3	121	3,2	29	15,6
55	2,5	4,5	90	3,3	28	16,1
65	0,0	4,8	113	3,6	41	16
65	0,5	4,66	119	3,8	28	15,2
65	1,0	4,41	112	3,3	37	13,2
65	1,5	4,21	104	3,0	35	13,2
65	2,0	3,65	98	3,2	25	13
65	2,5	3,46	96	3,9	26	14,4
75	0,0	4,03	120	3,5	30	16
75	0,5	3,98	111	3,5	21	16,4
75	1,0	3,89	99	3,3	22	15,8
75	1,5	3,18	93	3,2	23	13,2
75	2,0	3,66	101	3,5	35	16,8
75	2,5	3,12	88	3,3	25	20
85	0,0	3,1	105	3,6	30	15,6
85	0,5	3,06	102	3,2	24	13,6
85	1,0	3,74	108	3,6	31	14,4
85	1,5	3,84	113	3,3	34	16,4
85	2,0	2,9	101	3,4	32	13,6
85	2,5	2,95	96	3,3	21	15,6
95	0,0	3,55	119	3,3	29	13,2
95	0,5	3,24	86	3,6	30	17,6
95	1,0	3,31	91	3,5	26	21,6
95	1,5	2,95	83	3,1	25	16
95	2,0	2,97	84	3,0	28	22
95	2,5	3,03	84	3,2	24	26
105	0,0	2,92	73	3,2	21	13,2
105	0,5	2,94	77	3,4	20	13,2
105	1,0	3,08	82	3,7	25	14
105	1,5	3,18	75	3,4	20	14,4
105	2,0	2,96	73	3,6	26	12,4
105	2,5	2,98	91	3,2	22	15,6
-	-	18,9	253	4,6	88	47,2
UASB		76,4	547	6,3	129,68	107,47

Figura 5.35: Bateria de Ensaio 15 - Resultado das análises de turbidez residual, cor aparente residual, P residual, DQO residual e SST Residual após tratamento por flotação com tanino e polímero catiônico com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

A Figura 5.35 mostra em gráficos os resultados das frações residuais de turbidez, cor aparente, fósforo, DQO e SST dos dados apresentados na Tabela 5.34.

A Figura 5.35 mostra os resultados de fração residual de turbidez, cor aparente, fósforo, DQO e SST com base nos dados apresentados na Tabela 5.34. Com base nos dados apresentados na referida figura, pode-se verificar que o gráfico de fração residual de turbidez e cor aparente decrescem com aplicação de maiores dosagens de polímero catiônico na dosagem de 55 mg.L⁻¹ de Tanino. Para as dosagens de 65 mg.L⁻¹, 75 mg.L⁻¹, 85 mg.L⁻¹, 95 mg.L⁻¹ e 105 mg.L⁻¹ as remoções de turbidez são semelhantes mesmo com a aplicação de dosagens variadas de polímero. No gráfico de turbidez, os valores residuais variam de 0,168 a 0,038, representando remoção de 89,4% a 96,2%. Para o gráfico de cor aparente residual, as remoções variam de 0,351 a 0,144, representando remoção de 64,9% a 85,6%.

Para os resultados de SST residuais verificou-se também que a redução dos valores foi semelhante em todas as dosagens aplicadas de coagulante e polímero catiônico. Os resultados de frações residuais de SST da flotação variaram de 0,242 e 0,125, que representa remoção entre 75,8% e 88,5%. O gráfico de DQO apresentou resultado mais variáveis, com valores de máximo e mínimo de 0,401 e 0,154, representando redução entre 56,8% e 84,4%.

Quanto ao gráfico de fração residual de fósforo, pode-se verificar que as frações residuais foram elevadas, apresentando remoção de 39,7% a 52,4%, o que mostra a deficiência em remover de fósforo.

A Tabela 5.35 apresenta os valores de fração residual de turbidez, cor aparente, fósforo, DQO e SST encontrados no ensaio nº 15 com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Tabela 5.35: Bateria de Ensaio 15 – Resultado das frações residuais das análises de turbidez, cor aparente, P, DQO e SST após tratamento por flotação com tanino e polímero catiônico com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Dosagem		Fração Residual de Turbidez	Fração Residual Cor Aparente	Fração Residual P	Fração Residual DQO	Fração Residual SST
Tanino (mg/L)	Polímero (mg/L)					
55	0,0	0,168	0,325	0,524	0,401	0,194
55	0,5	0,144	0,291	0,556	0,362	0,156
55	1,0	0,137	0,294	0,476	0,424	0,167
55	1,5	0,115	0,250	0,476	0,247	0,163
55	2,0	0,082	0,221	0,508	0,224	0,145
55	2,5	0,059	0,165	0,524	0,216	0,150
65	0,0	0,063	0,207	0,571	0,316	0,149
65	0,5	0,061	0,218	0,603	0,216	0,141
65	1,0	0,058	0,205	0,524	0,285	0,123
65	1,5	0,055	0,190	0,476	0,270	0,123
65	2,0	0,048	0,179	0,508	0,193	0,121
65	2,5	0,045	0,176	0,619	0,200	0,134
75	0,0	0,053	0,219	0,556	0,231	0,149
75	0,5	0,052	0,203	0,556	0,162	0,153
75	1,0	0,051	0,181	0,524	0,170	0,147
75	1,5	0,042	0,170	0,508	0,177	0,123
75	2,0	0,048	0,185	0,556	0,270	0,156
75	2,5	0,041	0,161	0,524	0,193	0,186
85	0,0	0,041	0,192	0,571	0,231	0,145
85	0,5	0,040	0,186	0,508	0,185	0,127
85	1,0	0,049	0,197	0,571	0,239	0,134
85	1,5	0,050	0,207	0,524	0,262	0,153
85	2,0	0,038	0,185	0,540	0,247	0,127
85	2,5	0,039	0,176	0,524	0,162	0,145
95	0,0	0,046	0,218	0,524	0,224	0,123
95	0,5	0,042	0,157	0,571	0,231	0,164
95	1,0	0,043	0,166	0,556	0,200	0,201
95	1,5	0,039	0,152	0,492	0,193	0,149
95	2,0	0,039	0,154	0,476	0,216	0,205
95	2,5	0,040	0,154	0,508	0,185	0,242
105	0,0	0,038	0,133	0,508	0,162	0,123
105	0,5	0,038	0,141	0,540	0,154	0,123
105	1,0	0,040	0,150	0,587	0,193	0,130
105	1,5	0,042	0,137	0,540	0,154	0,134
105	2,0	0,039	0,133	0,571	0,200	0,115
105	2,5	0,039	0,166	0,508	0,170	0,145
-	-	2,834	0,463	0,730	0,370	0,309
UASB		76,4	547	6,3	129,68	107,47

A seguir foram analisados os melhores resultados das análises encontrados em cada dosagem do coagulante Tanino, os quais estavam em destaque na Tabela 5.34 para definição da melhor dosagem de Tanino aliada ao polímero catiônico.

Tabela 5.36: Bateria de Ensaio 15 – Resultados residuais de turbidez, cor aparente, P, DQO e SST dos melhores dados encontrados após tratamento por flotação com tanino e polímero catiônico com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Dosagem		Turbidez Residual (NTU)	Cor Aparente Residual (mg PT/L)	P Residual (mg/L)	DQO Residual (mg/L)	SST Residual (mg/L)
Tanino (mg/L)	Polímero (mg/L)					
55	2,5	4,5	90	3,3	28	16,1
65	2,0	3,65	98	3,2	25	13
75	1,5	3,18	93	3,2	23	13,2
85	0,5	3,06	102	3,2	24	13,6
95	1,5	2,95	83	3,1	25	16
105	0,0	2,92	73	3,2	21	13,2

A Tabela 5.36 mostra as análises das dosagens selecionadas que obtiveram melhores resultados no ensaio 15. Com base na análise dos dados da referida tabela, usou-se como critério de escolha, o resultado com aplicação de menor dosagem de coagulante Tanino com as melhores eficiências de remoções das análises de turbidez (remoção maior que 90%) e DQO (redução superior a 80%).

Tabela 5.37: Bateria de Ensaio 15 – Eficiência de remoção de turbidez, cor aparente, P, DQO e SST dos melhores resultados encontrados após tratamento por flotação com tanino e polímero catiônico com velocidade de 12 cm.min⁻¹.

Dosagem		Turbidez (%)	Cor Aparente (%)	P (%)	DQO (%)	SST (%)
Tanino (mg/L)	Polímero (mg/L)					
55	2,5	94,1	83,5	47,6	78,4	85,0
65	2,0	95,2	82,1	49,2	80,7	87,9
75	1,5	95,8	83,0	49,2	82,3	87,7
85	0,5	96,0	81,4	49,2	81,5	87,3
95	1,5	96,1	84,8	50,8	80,7	85,1
105	0,0	96,2	86,7	49,2	83,8	87,7

A Tabela 5.45 apresenta os valores de turbidez residual, cor aparente residual, fósforo total residual, DQO residual e SST residual obtidos para os melhores resultados selecionados, através destes optou-se pela dosagem de

65 mg.L⁻¹ de coagulante Tanino com adição de 2,0 mg.L⁻¹ de polímero catiônico.

5.3 Análise dos resultados com flotatestes para a bateria de ensaios 13, 14 e 15

Conforme apresentado nas Baterias de Ensaio 13, 14 e 15, a Figura 5.36 apresenta as frações residuais de turbidez e cor aparente em função das variações de dosagens de coagulante Tanino nas dosagens estudadas nas referidas baterias de ensaio. Com base na Figura 5.36 pode-se inferir que a dosagem de 65 mg.L⁻¹ de coagulante tanino promoveu em média remoções de 90,8% de turbidez, 72,1% de cor aparente, 55,6% de DQO, 44,2% de fósforo e 83,2% de SST, mesmo sem adição de nenhum dos polímero estudados.

Figura 5.36: Frações residuais médias de Turbidez e Cor Aparente por dosagem de coagulante Tanino nas baterias de ensaio 13, 14 e 15, para velocidade de 12 cm.min⁻¹.

A seguir é apresentado um fluxograma com os resultados resumidos das fases 1 e 2 (Figura 5.37).

Figura 5.37: Resumo dos resultados obtidos na Fase 1 e 2 .

Nas tabelas 5.38 e 5.39 são apresentados o melhor resultado obtido com a aplicação do coagulante tanino e dos três polímeros estudados, para a velocidade de flotação de 12 cm.min^{-1} , obtidos nos ensaios 13, 14 e 15 e suas respectivas análises.

Tabela 5.38: Ensaio 13, 14 e 15 – Análise residual dos melhores resultado após tratamento por flotação com tanino e polímero aniônico, não-iônico e catiônico com velocidade de 12 cm.min^{-1} escolhidos na fase 2.

	Dosagem		Turbidez Residual (NTU)	Cor Aparente Residual (mgPT/L)	P Residual (mg/L)	DQO Residual (mg/L)	SST Residual (mg/L)
	Tanino (mg/L)	Polímero (mg/L)					
PNI	7,5	1,5	5,6	139	3,73	57	30,6
PA	85	0,5	5,94	144	4,1	43	14,2
PC	65	2,0	3,65	98	3,2	25	13

Sendo: PNI- polímero não-iônico; PA- polímero aniônico e PC- polímero catiônico

Tabela 5.39: Ensaio 13, 14 e 15 – Eficiência de remoção dos parâmetros estudados após tratamento por flotação com tanino e os polímero aniônico, não-iônico e catiônico com velocidade de 12 cm.min⁻¹ escolhidos na fase 2.

	Dosagem		Eficiência Remoção Turbidez (%)	Eficiência Remoção Cor Aparente (%)	Eficiência Remoção P(%)	Eficiência Remoção DQO (%)	Eficiência Remoção SST (%)
	Tanino (mg/L)	Polímero (mg/L)					
PNI	75	1,5	97,3	92,1	49,7	80,4	93,4
PA	85	0,5	91,3	70,4	33,9	58,8	87,8
PC	65	2,0	95,2	82,1	49,2	80,7	87,9

Sendo: PNI- polímero não-iônico; PA- polímero aniônico e PC- polímero catiônico

Os dados das Tabelas 5.38 e 5.39 permite verificar maior eficácia do polímero não-iônico e do polímero catiônico para o tratamento por flotação juntamente com o coagulante tanino. Nota-se que as eficiências de remoção para as análises estudadas para o polímero não-iônico foram superiores aos melhores resultados encontrados para o polímero catiônico, porém deve-se ressaltar que a dosagem de coagulante tanino empregada para o polímero não-iônico foi superior a escolhida para o polímero catiônico.

Foi adotado o seguinte critério de decisão para a dosagem mais adequada ao efluente em questão: conjunto de dosagens de coagulante tanino e polímero que promoveram remoção de turbidez acima de 95%, juntamente com remoção significativa dos demais parâmetros .

Assim de acordo com tal critério, fica definida a dosagem de 65 mg.L⁻¹ de coagulante tanino, associada a 2,0 mg.L⁻¹ de polímero catiônico ou sem adição de polímeros como dosagem que apresentou melhores resultados de remoção para o efluente da ETE Monjolinho, São Carlos/SP, nas condições encontradas na época dos ensaios.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos e considerando a condição de ensaio, são possíveis as seguintes conclusões e recomendações :

- O coagulante natural à base de tanino usado no pós-tratamento de efluente de reator UASB por Flotação por Ar Dissolvido (FAD) mostrou boa eficiência de remoção dos parâmetros físico-químicos analisados, sempre que foi aplicada a dosagem apropriada de coagulante tanino, associado ou não a polímeros sintéticos.
- A flotação por ar dissolvido foi capaz de promover a remoção da maior parte das partículas causadoras de cor aparente, mesmo sem aplicação de dosagens de coagulante Tanino. Já no que se refere à turbidez, observou-se efeito marcante da adição de maiores dosagens de coagulante tanino no aumento da eficiência de remoção.
- Levando em conta o critério de menor dosagem que conduziu à eficiência de remoção de turbidez maior que 90%, chegou-se à dosagem ótima de tanino igual a 65 mg.L^{-1} . Com aplicação dessa dosagem de tanino, sem associação de polímero, obteve-se 90,8% de turbidez, 72,1% de cor aparente, 55,6% de DQO, 44,2% de fósforo e 83,2% de SST.
- A associação de tanino com pequenas dosagens de qualquer um dos três tipos de polímeros sintéticos investigados (aniônico, catiônico e não-iônico) não resultou em melhorias expressivas na eficiência de remoção de turbidez. Comparando os três tipos de polímeros, o polímeros catiônico forneceu ligeiro aumento na eficiência de remoção de turbidez e melhoria na remoção de carga orgânica. Quando associados à dosagem de 65 mg.L^{-1} de tanino, a aplicação de $2,0 \text{ mg.L}^{-1}$ de polímero catiônico resultou em 95,2% de remoção de turbidez (residual de 3,65 NTU), 82,1% de remoção de cor aparente (residual de 98 mgPT.L^{-1}), 49,2% de remoção de fósforo total (residual de $3,2 \text{ mg.L}^{-1}$), 80,7% remoção de DQO (residual de 25 mg.L^{-1}) e 87,9% de remoção de SST (residual de 13 mg.L^{-1}).

- Verificou-se baixa eficiência (máxima de 61,2%) desse tipo de coagulante para a remoção de fósforo total por flotação.

Recomenda-se a realização de estudos de aplicação do coagulante tanino associado a polímero sintético com emprego de instalação piloto de flotação com escoamento contínuo.

Com vistas a se buscar aumento da eficiência de remoção de fósforo nesse tipo de aplicação, recomenda-se a realização de estudos com associação de coagulante tanino com sais de ferro ou alumínio. Ainda quanto aos teores de fósforo no efluente final, sugere-se estudo que avalie o potencial de utilização deste como água de reúso na agricultura

Por fim, sugere-se também uma análise econômica referente à aplicação do coagulante tanino no pós-tratamento por flotação do efluente de reatores anaeróbios alimentados com esgoto sanitário.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARIANO, G. C. (2003). **Coagulação, Floculação e Flotação do Efluente de Reatores Anaeróbios, Tratando Esgoto Sanitário, com Aplicação de Diferentes Dosagens de Coagulantes em Função da Variação da Turbidez do Esgoto Afluyente ao Longo do Dia**. 2009. 185 p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2003.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION/ AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION/ WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. 21th Ed. Washington DC, USA, 2005.

BRATBY, J.R. (1982). Treatment of raw wastewater overflows by dissolved-air flotation. **Journal WPCF**, v. 54, n. 12, p. 1558–65, 1982.

BORGES, N. B. **Eco-eficiência de um tratamento preliminar de estação de tratamento de esgoto**. 2009. 25 p. Dissertação (Plano de Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2009.

CAMPOS, J. R.; REALI, M. A. P.; DOMBROSKI, S. A. G.; MARCHETTO, M.; LIMA, M. R. A. (1996). **Tratamento físico-químico por flotação de efluentes de reatores anaeróbios**. Anais do XXV Congresso Interamericano Ingeniería Sanitaria y Ambiental, México, 1996.

CAMPOS et. al. (2007). J.R. CAMPOS; M.A.P. REALI; R. ROSSETTO; J. SAMPAIO. **“A Wastewater Treatment Plant Composed of UASB Reactors, Activated Sludge with DAF and UV Disinfection, in Series”**. Water Science and Technology (2007). Disponível em: <<http://www.iwaponline.com/wpt/004/wpt0040008.htm>>. Acesso em: 15 abril. 2011;

CARDOSO, M (2003). **Efeito do tipo de coagulante na produção de lodo de estação de tratamento de água.** 2003. 109 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

CARVALHO, M. E (2003). **Flotação de alta taxa aplicada ao pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios.** 2003. 131 p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2003.

CASTRO-SILVA, M. A.; RORIG, L. R.; LAMB, L. H.; HECK, C. A.; DECUSATI, O. G. (2004). Microrganismos Associados ao Tratamento de Águas de Abastecimento com Coagulante Orgânico Vegetal (Tanato Quaternário de Amônio) – I. Microrganismos Filamentosos. **Revista Estudos de Biologia**, v. 26, n. 54, p. 21-27, jan./mar. 2004.

CHERNICHARO, C. A. L. (1997). **Reatores anaeróbios.** In: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: UFMG. v.5. 1997.

CORAL, L. A.; BERGAMASCO, R; BASSETTI, F. J. (2009). Estudo da Viabilidade de Utilização do Polímero Natural (TANFLOC) em Substituição ao Sulfato de Alumínio no Tratamento de Águas para Consumo. In: 2nd International Workshop | Advances in Cleaner Production, 2009, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: Advances in Cleaner Production, 2009. Disponível em:

<

http://www.advancesincleanerproduction.net/second/ptbr/site/downloads_geral.html>. Acesso em: 01 dez. 2009.

COSTA, A. F. S. (2008) **Aplicação de Tratamentos Biológicos e Físico-químico em Efluente de Lavanderia e Tinturaria Industriais do Município de Toritama no Estado de Pernambuco.** 2008. 87 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais) - Universidade Católica de Pernambuco, 2008.

CRUZ, J. G. H. (2004). **Alternativas para a Aplicação de Coagulante Vegetal à Base de Tanino no Tratamento do Efluente de uma Lavanderia Industrial**. 2004. 62 p. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

DROSTE, R.L. **Theory and practice of water and wastewater treatment**. New York: John Wiley & Sons, 1997. 800p.

EDZWALD, J. K. Dissolved Air Flotation and me. **Water Research**, v.44. p. 2077-2106, 2010.

FAGUNDES, T.S. **Uso de Polímero Natural a Base de Amido como Auxiliar de floculação no pós-tratamento de efluentes UASB com Flotação por Ar Dissolvido**. São Carlos: EESC-USP, 2010. 111 p.

FELTRE R. **Química Orgânica** – Ed. Moderna, Rio de Janeiro – 1997.

KONRADT-MORAES, L. C.; BERGAMASCO, R.; TAVARES, C. R. G.; BONGIOVANI, M. C.; HENNIG, D. (2007). Avaliação da Eficiência de Remoção de Cor e Turbidez, Utilizando como Agente Coagulante os Taninos Vegetais, com a Finalidade de Obtenção de Água Tratada. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 24., 2007, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos**...Rio de Janeiro: UFRJ, 2007. Disponível em: <<http://www.saneamento.poli.ufrj.br/documentos/24CBES/I-178.pdf>> Acesso em: 25 nov. 2009.

MARCHETTO, M.; REALI, M. A. P. (2000). Unidade de flotação por Ar Dissolvido com Escoamento horizontal entre Placas Aplicada ao tratamento de Água. **Engenharia & Arquitetura**. Caderno de Engenharia Sanitária e Ambiental, São Carlos - SP, v. 2, n. 1, p. 24-31, 2000.

MARTINEZ, F. L. **Taninos Vegetais e suas aplicações**. Havana, Universidade de. 1996.

REALI, M. A. P. (1991). **Concepção e Avaliação de um Sistema Compacto para Tratamento de Águas de Abastecimento Utilizando o Processo de Flotação por Ar Dissolvido e Filtração com Taxa Declinante**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

REALI, M. A. P.; PENETRA, R. G.; CAMPOS, J. R. (1998). Influência da floculação na flotação de efluentes de reatores anaeróbios UASB. In: Congreso Interamericano de Ingenieria Sanitária y Ambiental, 26., 1998, Lima, Peru. **Anais eletrônicos...** Lima/Peru: Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, 1998. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/peru/bratar210.pdf>>. Acesso em: 17 out. 2009.

REALI, M. A. P. (1999). **Concepção e Avaliação de um Sistema de Compacto de Tratamento de Águas de Abastecimento Utilizando o Processo de Flotação por Ar Dissolvido e Filtração com Taxa Declinante**. Dissertação (Doutorado em Hidráulica e Sanemanto) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999.

REALI, M. A. P. ; CAMPOS, J. R.; PENETRA, R. G. (2001a). Sewage treatment by anaerobic biological process associated with dissolved air flotation. **Water Science and Technology** 43(08), p. 91-98, 2001.

REALI, M.A.P.; PENETRA, R.G.; CARVALHO, M.E. (2001b). Flotation Technique with Coagulant and Polymer Application Applied to the Post-treatment of Effluents from Anaerobic Reactor Treating Domestic Sewage. **Water Science and Technology** 44(04), p. 213-219, 2001.

ØDEGAARD, H. (1995). Optimization of flocculation/flotation in chemical wastewater treatment. **Water Science and Technology**., 31(3–4), p. 73–82, 1995.

PENETRA, R. G. (1998). **Pós-tratamento físico-químico por flotação de efluentes de reatores anaeróbios de manta de lodo.** 1998. 140 p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1998.

PENETRA, R. G. (2003). **Flotação Aplicada ao Pós-tratamento do Efluente de Reatores Anaeróbios de Leito Expandido Tratando Esgoto Sanitário.** 2003. 288p. Dissertação (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2003.

SERVIÇO AUTONOMO DE ÁGUA E ESGOTO (SAAE/São Carlos). (2009). Estação de Tratamento de Esgoto de São Carlos. São Carlos, SP, 2009.

SILVA, S. S. T. **Estudo de tratabilidade físico-química com uso de taninos vegetais em água de abastecimento e de esgoto.** 1999. 87 p. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública). Escola Nacional de Saúde Pública – Fundação Oswaldo Cruz , São Paulo, 1999.

VANACOR , R. N. **Avaliação do coagulante orgânico Veta Organic utilizado em uma estação de tratamento de água para abastecimento público.** 2005. 165 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul

ANEXO (Registro Fotográfico)

Figura 1: Registros fotográficos da coleta de efluente e processo de tratamento.

Figura 2: Continuação dos registros fotográficos do flotação.

Legenda das Imagens:

1. Coleta de efluente na entrada da unidade de mistura rápida na ETE Monjolinho, São Carlos/SP.
2. Enchimento dos galões com efluente da entrada da unidade de mistura rápida.
3. Equipamento Agitador mecânico utilizado na pesquisa.
4. Diferentes amostras de efluente coletadas na entrada da unidade de mistura rápida da ETE Monjolinho nas datas 31/01/11, 08/02/11 e 15/02/11.
5. Enchimento dos recipientes do Flotatestes durante bateria de ensaio.
6. Floculação com aplicação de dosagens de 85 mg.L^{-1} de Tanino e sem aplicação de polímero (jarro à esquerda) e com $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ de polímero catiônico (jarro à direita).
7. Flotatestes após aplicação de recirculação de 17%.
8. Início da clarificação na base dos jarros.
9. Quatro jarros em operação em diferentes períodos, estando os dois da esquerda no processo de flotação e os dois da direita em processo de floculação.
10. Lodo formado após flotação na parte superior do jarro.
11. Efluente clarificado após flotação.
12. Efluente clarificado após flotação