

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

**“CONDICIONAMENTO QUÍMICO DE LODO DE ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA COM MONITORAMENTO ATRAVÉS DE
POTENCIAL REDOX”**

Wando Haak

Orientador: Prof. Dr. Ricardo de Lima Isaac

Campinas

2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

Wando Haak

**“CONDICIONAMENTO QUÍMICO DE LODO DE ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA COM MONITORAMENTO ATRAVÉS DE
POTENCIAL REDOX”**

Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Saneamento e Ambiente

Campinas

2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

H111c	<p>Haak, Wando</p> <p>Condicionamento químico de lodo de estação de tratamento de água com monitoramento através de potencial redox / Wando Haak. --Campinas, SP: [s.n.], 2011.</p> <p>Orientador: Ricardo de Lima Isaac.</p> <p>Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.</p> <p>1. Lodo - Saneamento. 2. Centrifugação. 3. Polímeros. 4. Oxidação e redução. 5. Água - Estações de tratamento. I. Isaac, Ricardo de Lima. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.</p>
-------	--

Título em Inglês: Chemical conditioning of sludge from a water treatment plant with monitoring through redox potential

Palavras-chave em Inglês: Sludge - Sanitation, Polymers, Centrifugation, Oxidation and reduction, Water - Treatment plants

Área de concentração: Saneamento e Ambiente

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Ruben Bresaola Junior, Sidney Seckler Ferreira Filho

Data da defesa: 25/02/2011

Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

**“CONDICIONAMENTO QUÍMICO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO
DE ÁGUA COM MONITORAMENTO ATRAVÉS DE POTENCIAL REDOX”**

Wando Haak

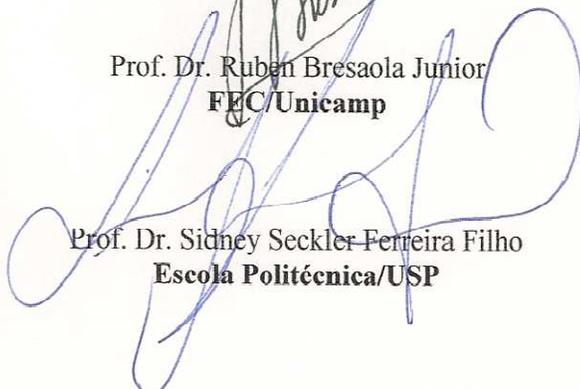
Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



**Prof. Dr. Ricardo de Lima Isaac
Presidente e Orientador – FEC/Unicamp**



**Prof. Dr. Ruben Bresaola Junior
FEC/Unicamp**



**Prof. Dr. Sidney Seckler-Ferreira Filho
Escola Politécnica/USP**

Campinas, 25 de fevereiro de 2011

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo milagre da vida, da humanidade e da ciência.

Com amor e admiração, aos meus pais, Domingas Haak e Osvaldo Haak (In memoriam), sempre presentes em meu coração.

A minha esposa, Benta e meu filho Vitor que com amor, compreensão compartilham minha vida, dando-me cada vez mais força e incentivo.

A toda minha família, em especial a minha irmã Vanda, sobrinhos Andrews, Matheus e Mariana e ao Leandro pela compreensão e apoio.

Um agradecimento especial ao mestre, amigo, colaborador e orientador, Prof. Dr. Ricardo de Lima Isaac, que me acompanhou de forma impecável, com preciosos conselhos e sugestões durante todo o tempo.

Aos professores e amigos que compartilharam seus conhecimentos (Edson A. Abdul. Nour, José R. Guimarães, Carlos Gomes da Nave Mendes, Eglé Novaes Teixeira, Sidney Seckler Ferreira Filho, Ruben Bresaola Junior, Ronaldo Stafanutti).

A todos os colegas e funcionários da UNICAMP com quem convivi em especial a Jatobá, José Maria e Orlando, amigos e companheiros de viagem.

Aos amigos da CAB spat, Dallalana, Ney Moreira, Hercules, pelo apoio. Também aos amigos, Vladimir, Túlio, Edvan, Pedro e Leonardo, obrigado por me auxiliar durante as realizações dos trabalhos.

Aos amigos da SABESP, em especial a Edgard Nardini, Magda H. Carvalho, Claudia Mota, Ana Lúcia Silva, Angelino A. Saullo e Orlando Nascimento pelo apoio. Também aos técnicos da ETA Taiapuêba, em especial para Marcos Uilson.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho, meu MUITO OBRIGADO.

RESUMO

HAAK, Wando. Condicionamento químico de lodo de estação de tratamento de água com monitoramento através de potencial redox. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2011. 195p. Dissertação de Mestrado.

Estações de tratamento de água (ETA) geram resíduos durante o processo de potabilização da água bruta. Esse resíduo onera as companhias de saneamento, no que tange o tratamento e disposição final. O tratamento do lodo é constituído de processos de separação sólido-líquido, cuja eficiência – quanto à maximização do teor de sólidos da torta (lodo desaguado) e melhor qualidade da água recuperada no processo – é dependente do adequado condicionamento químico, em geral obtido pela ação de polímeros. A super- dosagem ou a sub-dosagem desse produto ocasiona perda de qualidade, tanto da torta, quanto da água eliminada. Este trabalho tem como objetivo verificar através de estudo de bancada, a viabilidade técnica e econômica do condicionamento químico na adequação de processo de tratamento de lodo de ETA, visando melhor desempenho na fase de desaguamento, tendo em vista a disposição final dos resíduos gerados durante o tratamento. Foram relacionadas medidas de potencial redox com controle de dosagem e consumo de polímero catiônico de alto e muito alto peso molecular, de baixa, média e alta densidade de carga e polímero

aniônico de alto peso molecular, com baixa e média densidade de carga, com e sem oxidação química com cloro e permanganato de potássio. Na investigação experimental os resultados referentes ao tempo de filtração, indicaram os polímeros catiônicos de alto peso molecular, de baixa e média e alta carga como sendo mais eficientes. Para valores de potencial redox entre -57mV e 75mV, os polímeros catiônicos, em sua maioria, apresentaram consumos de 6,0 a 10,0 (kg/tms), em lodo não oxidado. A oxidação do lodo com permanganato de potássio ou cloro para valores entre -11mV e +11mV foi significativa, com redução da dosagem de polímeros catiônicos para valores de 4,0 a 7,0 (kg/tms), proporcionando economia de 30%. Considerando-se as correlações encontradas, tendo em mãos, sondas confiáveis de pH e potencial redox, é possível automatizar um determinado sistema de dosagem para oxidação do lodo.

Palavras Chave: lodo de estação de tratamento de água, adensamento, centrifugação, polímeros orgânicos sintéticos, potencial de oxidação e redução

ABSTRACT

Haak, Wando. Chemical conditioning of sludge from a water treatment plant with monitoring through redox potential. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2011. 195p. Master's degree dissertation.

Water treatment plants (WTP) generate waste during the process of potabilization of raw water. This residue burdens the sanitation companies, with regard to treatment and final disposal. The sludge treatment process consists of solid-liquid separation, whose efficiency - as to maximize the solids cake (dewatered sludge) and better quality of the reclaimed water in the process - is dependent on proper chemical conditioning, usually obtained by action of polymers. Over dosage or under dosage of those products causes loss of quality of both, cake and eliminated water. The aim of this work is to verify the technical and economical feasibility of the chemical conditioning at the fitting of sludge treatment process at a WTP, through work bench study, aiming at better performance during the dewatering, looking at the treatment final discharge of residues. Measures of redox-controlled dispensing were related to consumption of cationic polymer of high and very high molecular weight, of low, medium and high charge density and anionic polymer of high molecular weight, of low and medium charge density, with and without

chemical oxidation with chlorine and potassium permanganate. At the primary investigation of percolating time, the cationic polymers of high molecular weight with low, medium and high charge, proved to be more efficient. For potential redox values between -57mV and 75mV, most of the cationic polymers consumed from 6.0 to 10.0 (kg/tms), in non-oxidized sludge. There was a significant oxidation of sludge with potassium permanganate or chlorine for values between -11 and +11mV, reducing the dosage of cationic polymers to values from 4.0 to 7.0 (kg/tms), providing a 30% economy. Taking into account the correlations found, using reliable pH and redox potential probes, it is possible to automate a system of dosage for the sludge oxidation.

Keywords: sludge from water treatment plant, thickening, centrifugation, organic synthetic polymers, potential of oxidation and reduction.

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	13
LISTA DE TABELAS.....	29
LISTA DE FIGURAS.....	33
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	39
1 INTRODUÇÃO.....	43
2 OBJETIVOS.....	45
2.1 Objetivo Geral.....	45
2.2 Objetivos Específicos.....	45
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	47
3.1 Geração de lodo em estações de tratamento de água.....	47
3.2 Principais Características do Lodo de ETA.....	48
3.3 Tratamento do Lodo de ETA.....	51
3.3.1 Adensamento.....	52
3.3.2 Desidratação.....	55

3.3.3	Processos naturais	56
3.3.4	Processos mecânicos.....,.....	57
3.3.5	Condicionamento Químico do Lodo de ETA.....	60
3.4	Determinação da desidratabilidade do lodo.....	67
3.4.1	Teste de resistência específica (RE).....	68
3.4.2	Teste de tempo de filtração (TF).....	70
3.4.3	Teste do Tempo de Sucção Capilar (CST).....	72
3.5	Uso do Potencial Redox no controle operacional.....	71
4	METODOLOGIA	79
4.1	Descrição da Estação de Tratamento de Água Taiapuêba.....	79
4.1.1	Características quantitativas do lodo gerado na ETA Taiapuêba.....	82
4.2	Características do sistema de adensamento e desidratação de lodo.....	83
4.3	Desenvolvimento da investigação experimental.....	85
4.3.1	Ensaio referentes ao tempo de agitação e gradiente de velocidade no condicionamento do lodo	86
4.3.2	Ensaio relativos à oxidação química do lodo com cloro e o seu efeito no condicionamento e desidratação.....	92
4.3.3	Ensaio relativos a oxidação química do lodo com permanganato de potássio e o seu efeito no condicionamento químico e desidratação.....	97
4.3.4	Estatísticas aplicada.....	101
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	103
5.1	Considerações Gerais.....	103

5.2	Resultado dos ensaios de condicionamento do lodo com polímeros ,em jar-test para determinar valores de dosagem , mais adequados , à operação unitária de desidratação-Etapa I.....	105
5.3	Resultados da concentração do agente oxidante Cloro Residual Total (CRT) em meio aquoso e preparação de Permanganato de Potássio (KMnO ₄) - Etapa II.....	110
5.4	Resultados dos ensaios cinéticos de oxidação química do lodo para diversas dosagens de agente oxidante cloro e permanganato de potássio Etapa III.....	111
5.4.1	Resultados dos ensaios cinéticos de oxidação do lodo para diversas dosagens de agente oxidante cloro	111
5.4.2	Resultados dos ensaios cinéticos de oxidação do lodo para diversas dosagens de agente oxidante permanganato de potássio.....	114
5.5	Resultados dos ensaios de condicionamento e filtrabilidade para lodos provenientes de decantadores condicionados com e sem cloro e permanganato de potássio, seguido de polímero – Etapa IV.....	117
5.5.1	Análise de custo referente aos ensaios de condicionamento e filtrabilidade para lodos provenientes de decantadores condicionados com e sem cloro e permanganato de potássio, seguido de polímeros.....	123
5.6	Resultado de análises de pH, potencial redox , sólidos totais, fixos voláteis no lodo equalizado com e sem da oxidação química com cloro e permanganato de potássio - Etapa V.....	126

6	CONCLUSÕES	129
7	RECOMENDAÇÕES.....	131
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	133
9	ANEXOS.....	141
ANEXO A	Tabela A1 Dados do lodo dos decantadores para ORP, pH e sólidos.....	143
ANEXO B	Tabela B1 Resultados dos testes de oxidação do lodo de ETA.....	145
ANEXO C	Tabela C1 Resultados dos ensaios de pH, teores de sólidos, consumo de polímero e tempo de filtração para lodo de ETA oxidado e ou sem oxidação com cloro ou permanganato de potássio.....	157
ANEXO D	Tabela D1 Efeito cinético da adição de cloro em lodo de ETA	171
ANEXO E	Tabela E1 Efeito cinético da adição de permanganato de potássio em lodo de ETA.....	173
ANEXO F	FIGURA F1- Tempo de filtração e dosagem de polímero catiônico em amostra de lodo de decantadores.....	175
	FIGURA F2 Tempo de filtração e dosagem de polímero aniônico em amostra de lodo de decantadores.....	176
	FIGURA F3 Efeito da oxidação do lodo com cloro e permanganato de potássio no consumo de polímeros aniônicos	177
	FIGURA F4 Efeito da oxidação do lodo com cloro e permanganato de potássio no consumo de polímeros catiônicos.....	178
	FIGURA F5 Efeito do teor de sólido do lodo de decantadores no consumo de polímero Catiônicos.....	179
	FIGURA F6 Efeito do teor de sólido do lodo de decantadores no consumo de polímeros Aniônicos.....	180
	Tabela F1 Tempo de filtração e dosagem de polímero com oxidação do lodo.....	181

Tabela F2	Tempo de filtração e dosagem de polímero sem oxidação do lodo.....	182
ANEXO G	Tabela G1 Dados estatísticos para lodo oxidado com cloro e ou permanganato.....	183
Tabela G2	Dados estatísticos para lodo não oxidado pelo cloro ou permanganato....	185
Tabela G3	Dados estatísticos para lodo condicionado com polímero 3, aniônico de alto peso molecular e baixa carga	184
Tabela G4	Dados estatísticos para análise de custo de tratamento do lodo condicionado com polímero 3, aniônico de alto peso molecular e baixa carga	184
Tabela G5	Dados estatísticos para lodo condicionado com polímero 4, aniônico de alto peso molecular e média carga.....	185
Tabela G6	Dados estatísticos para análise de custo de tratamento do lodo condicionado com polímero 4, aniônico de alto peso molecular e média carga.....	185
Tabela G7	Dados estatísticos para lodo condicionado com polímero 8, aniônico de alto peso molecular e baixa carga.....	186
Tabela G8	Dados estatísticos para análise de custo de tratamento do lodo condicionado com polímero 8, aniônico de alto peso molecular e baixa carga.....	186
Tabela G9	Dados estatísticos para oxidação do lodo com cloro e permanganato seguido de condicionamento com polímero 2, aniônico de alto peso molecular e média carga.....	187
Tabela G10	Dados estatísticos para lodo condicionado com polímero 2, aniônico de alto peso molecular e média carga.....	188
Tabela G11	Dados estatísticos para análise de custo de tratamento do lodo condicionado com polímero 2, aniônico de alto peso molecular e média carga... ..	188

Tabela G12	Dados estatísticos para lodo condicionado com polímero 5, catiônico de peso molecular muito alto e baixa carga.....	189
Tabela G13	Dados estatísticos para análise de custo de tratamento do lodo condicionado com polímero 5, catiônico de peso molecular muito alto e baixa carga...	190
Tabela G14	Dados estatísticos para lodo oxidado com cloro e permanganato seguido de condicionamento com polímero 6, catiônico de alto peso molecular e média carga.....	190
Tabela G15	Dados estatísticos para análise de custo de tratamento do lodo condicionado com polímero 6, catiônico de alto peso molecular e média carga.....	191
Tabela G16	Dados estatísticos para lodo oxidado com cloro e permanganato seguido de condicionamento com polímero 1, catiônico de alto peso molecular e baixa carga.....	192
Tabela G17	Dados estatísticos para análise de custo de tratamento do lodo condicionado com polímero 1, catiônico de alto peso molecular e baixa carga.....	193
ANEXO H	Figura H1 Variação sazonal de sólidos fixos e voláteis em lodo de Decantadores.....	195

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Equações de equilíbrio de algumas espécies hidrolisadas de alumínio e ferro em meio aquoso.....	63
Tabela 2	Ensaio de condicionamento químico de lodo com polímeros adaptada dos testes realizados por (FERNANDES, 2002).....	87
Tabela 3	Características e tipos de polímeros utilizados	89
Tabela 4	Etapas de desenvolvimento do estudo	104
Tabela 5	Resultados dos ensaios de condicionamento do lodo com Polímeros.....	106
Tabela 6	Dados estatísticos – condicionamento do lodo com polímeros	107
Tabela 7	Correlação entre dosagem de cloro com potencial redox e pH.....	112
Tabela 8	Dados estatísticos - Efeito do cloro sobre pH e ORP.....	114
Tabela 9	Correlação entre dosagem de permanganato de potássio com potencial redox e pH.....	115
Tabela 10	Dados estatísticos - Efeito do permanganato sobre pH e ORP.....	117

Tabela 11	Dados de amostras de lodo sem oxidação e oxidadas pelo cloro e permanganato de potássio.....	118
Tabela 12	Variação de custo para condicionamento de lodo, com e sem oxidação por cloro e permanganato de potássio.....	124
Tabela 13	Custos unitários e tempo de filtração para lodos condicionados quimicamente com polímero, cloro e permanganato de potássio	125
Tabela 14	Dados estatísticos, pH, sólidos totais, fixos e voláteis, ORP.....	126

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Fluxograma de processo de tratamento de resíduos sólidos e líquidos de ETA	52
Figura 02	Foto adensador por gravidade	53
Figura 03	Foto de adensadores circular por batelada	54
Figura 04	Foto de adensador do tipo rotativo.....	55
Figura 05	Foto de lagoa de lodo... ..	56
Figura 06	Foto de um leito desecagem.....	57
Figura 07	Foto centrífuga do sistema de adensamento e desidratação de lodo da ETA Taiapuêba.....	58
Figura 08	Foto filtro prensa de esteiras.....	59
Figura 09	Foto filtro prensa de placas na ETA de Taiapuêba.....	60
Figura 10	Representação esquemática do modelo de formação de pontes para desestabilização de colóides por polímeros.....	64
Figura 11	Representação esquemática para polímeros não iônicos, aniônicos e catiônicos.....	66

Figura 12	Eletrodo de pH ou ORP e sensor de referência.....	73
Figura 13	Medida da força eletromotriz de uma pilha de energia	75
Figura 14	Desenho do eletrodo de padrão de hidrogênio EPH	77
Figura 15	Esquema simplificado do processo de tratamento e destinação final do lodo da ETA Taiapuêba.....	80
Figura 16	Foto com vista geral da captação de água bruta e ETA	82
Figura 17	Foto parcial do tanque de equalização de lodo	84
Figura 18	Fotos do sistema de “Jar-test” utilizado	87
Figura 19	Foto da adição de polímero em pó em uma cuba de “jar-test”.....	91
Figura 20	Foto mostrando o esquema de montagem do sistema de filtração Conforme (ADAMS, 1981 GRANDIN, 1992).....	92
Figura 21	Foto do titulador utilizado na determinação do cloro pelo método DPD.....	94
Figura 22	Foto da aparelhagem montada para adição de água clorada e determinação de pH e potencial redox.....	96
Figura 23	Foto da balança utilizada para quantificação de massa de permanganato de potássio.....	98
Figura 24	Foto da aparelhagem utilizada para adição de permanganato de Potássio.....	99
Figura 25	Foto da oxidação do lodo com adição de permanganato de potássio.....	100
Figura 26	Tempo de filtração e dosagem de polímero aniônico em amostra de lodo de decantadores.....	108
Figura 27	Tempo de filtração e dosagem de polímero catiônico em amostra de lodo de decantadores	109
Figura 28	Efeito cinético da adição de cloro no lodo para os valores de pH potencial redox	113

Figura 29	Efeito cinético da adição de permanganato de potássio para os valores de pH e potencial redox	116
Figura 30	Efeito da oxidação do lodo de decantadores em relação ao tempo de filtração e dosagem de polímero catiônico.....	119
Figura 31	Efeito da oxidação do lodo de decantadores em relação ao tempo de filtração e dosagem de polímero aniônico	120
Figura 32	Efeito do teor de sólidos de lodo de decantadores em relação a dosagem de polímeros catiônicos.....	122
Figura 33	Efeito do teor de sólidos de lodo de decantadores em relação a dosagem de polímeros aniônicos.....	122
Figura 34	Variação sazonal de sólidos totais, fixos e voláteis em lodo de decantadores.....	127
Figura 35	Variação sazonal do percentual de sólidos fixos e voláteis no lodo de decantadores.....	128

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

%ms.....	Porcentagem de massa seca
ΔE	Variação do Potencial Eletroquímico
R\$/kg.....	Reais por quilograma
R\$/tms.....	Reais por tonelada de massa seca
Ag.....	Elemento químico prata
Al.....	Elemento químico alumínio
Atm.....	Unidade de pressão atmosfera
AWWA.....	American Water Works Association
CAB spat.....	Companhia Águas do Brasil Sistema Produtor Alto Tietê
CESAN.....	Companhia Espírito Santense de Saneamento
CLP.....	Componente Lógico Programável
CRT.....	Cloro Residual Total
CST.....	Teste Sucção por Capilaridade .
DBO.....	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DPD.....	N,N-dietil-p fenileno diamina
DQO.....	Demanda Química de Oxigênio
E°	Potencial Eletroquímico
EPH.....	Eletrodo-Padrão de Hidrogênio
ETA.....	Estação de Tratamento de Água.

Fe.....	Elemento químico ferro
g/L.....	Concentração em grama por litro
G (s ⁻¹).....	Gradiente de velocidade
JAR-TEST.....	Teste de Jarro
Kg.....	Quilograma
kg CRT.....	Quilograma de cloro residual total
Kg/h.....	Quilograma por hora
Kg/tms.....	Quilograma por tonelada de massa seca
KMnO ₄	Permanganato de Potássio
L.....	Litro – unidade de volume
m ³ /h.....	Metro cúbico por hora – unidade de vasão
mg/L.....	Miligrama por litro
mL.....	Mililitro – unidade de volume
ms.....	Massa seca
NOX.....	Número de Oxidação
ORP.....	Potencial de Oxidação e Redução
pH.....	Potencial Hidrogeniônico
RE.....	Resistência Específica
RMSP.....	Região Metropolitana de São Paulo
SABESP.....	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SADL.....	Sistema de Adensamento e Desidratação de Lodo
SF.....	Sólidos Fixos
ST.....	Sólidos Totais
SV.....	Sólidos Voláteis
TF.....	Tempo de Filtração
tms.....	Tonelada de massa seca
UNICAMP.....	Universidade Estadual de Campinas

1 INTRODUÇÃO

Na atualidade a maioria dos resíduos gerados em estações de tratamento de água (ETA) do País tem como destino final os corpos hídricos, ocasionando de alguma forma efeitos deletérios para o ambiente aquático. O grande desafio das companhias de saneamento brasileiras associado à potabilização da água, é o tratamento e a disposição adequada dos resíduos gerados na ETA. Devido à crescente demanda por água de boa qualidade, em atendimento as exigências para potabilização e ao aumento do grau de contaminação dos corpos d'água, as companhias de saneamento têm cada vez mais aumentado as quantidades de produtos químicos aplicados na água captada, para torná-la potável. Grandes quantidades de lodo são produzidas diariamente, notadamente nas estações de médio e grande porte, impondo um desafio constante à minimização de sua produção e ao tratamento e disposição adequada.

A destinação adequada do lodo gerado nas ETA tem ocupado a agenda dos gestores de companhias de saneamento, agências de bacias hidrográficas, órgãos ambientais e ambientalistas de algumas regiões do Brasil, especialmente aquelas mais densamente ocupadas e desenvolvidas economicamente. Isto devido à pressão dos órgãos ambientais fiscalizadores. Bem como pela necessidade das empresas de saneamento apresentarem bons indicadores de desempenho ambiental, exigidos para obtenção de novos financiamentos nacionais ou internacionais (RIBEIRO, 2008).

Com essa restrição quanto ao lançamento em corpo hídrico, a disposição final em aterros sanitários passou a ser a alternativa imediata para a destinação desses resíduos. Contudo, percebeu-se que os custos com o transporte e a disposição foram ficando cada vez mais elevados. Assim, tornou-se necessário a concepção de sistemas para reduzir o volume do lodo gerado no processo de tratamento de água (SILVA JR, 2003).

Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), em 1980, para a produção de 60.000 L/s de água potável eram gerados aproximadamente 2.200 L/s de resíduos líquidos, ou seja, cerca de 3,7% do total (SABESP, 1987). Em 2009 a produção de lodo na RMSP era de aproximadamente 3000 L/s de resíduos líquidos, equivalente a 5,0% da produção de 67.700 L/s de água potável (Sabesp, 2010). Tal variação, possivelmente se dá devido à degradação dos mananciais, e por conseqüente aumento nas dosagens de produtos químicos.

O volume total de resíduos sólidos gerados e dispostos dependerá das quantidades e tipo de produtos químicos aplicados durante o processo de tratamento de água, da eficiência dos processos empregados no adensamento, desaguamento dos resíduos líquidos e grau de secagem. Esta eficiência, por sua vez, depende de um pré-condicionamento químico adequado. Embora haja muita variação em função das condições locais, das características dos resíduos, das características do equipamento, do nível ou qualidade de operação, além do condicionamento químico. No processo de adensamento, ocorre a primeira fase de condicionamento químico do lodo, através da adição de polímeros que podem ser de carga positiva (catiônico) ou de carga negativa (aniônico). Estudos de bancada indicam aos operadores do sistema de tratamento, qual tipo de polímero utilizar, concentração e dosagem necessária. Devido à grande variação na qualidade do lodo e pela dificuldade da realização de certos testes de bancada, a busca por um parâmetro de referência, através de leitura de amostras em potenciômetro equipado com eletrodo específico para medir o potencial de oxidação e redução do lodo, vem ao encontro das necessidades operacionais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Verificar através de estudos de bancada, a viabilidade técnica e econômica do condicionamento químico na adequação de processos de tratamento de lodo de ETA, visando melhor desempenho na fase de desidratação do lodo, tendo em vista a disposição final dos resíduos gerados durante o tratamento.

2.2 Objetivos Específicos

O presente trabalho, realizado no Sistema de Adensamento e Desidratação de Lodo da Estação de Tratamento de Água Taiaçupeba, tem como objetivos específicos:

- investigar o condicionamento químico do lodo com polieletrólitos catiônicos e aniônicos visando a obtenção da máxima eficiência dos processos de separação sólido-líquido aplicados em seu tratamento;
- avaliar o efeito da pré-oxidação química com cloro e permanganato de potássio sobre o condicionamento químico com polieletrólitos;

- avaliar a validade de se utilizar o Potencial Redox no controle operacional do sistema no que se refere às condições ótimas de dosagem, tanto de oxidante quanto de polieletrólito.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Geração de lodo em estações de tratamento de água

A estação de tratamento de água (ETA) pode ser considerada, de fato, a unidade produtiva da “indústria da água”. Deve possuir unidades em que se desenvolvem operações e processos unitários, que utilizam um recurso natural (água superficial ou subterrânea) como matéria-prima, faz uso de insumos (produtos químicos), consome energia elétrica e gera resíduo. Isto para a obtenção de um produto final, a água para abastecimento público (PORRAS; ISAAC; MORITA, 2008).

As estações de tratamento de água para abastecimento público têm como principal função a remoção de impurezas presentes na água bruta dos mananciais. Para isso empregam, na maioria das vezes, processos físico-químicos no seu tratamento. Essas impurezas removidas juntamente os com os subprodutos ou resíduos dos produtos químicos aplicados são denominados “lodo de ETA”. Segundo (SILVA; ISAAC, 2002) apud (PORTELLA; ANDREOLI; HOPPEN; SALES; BARON, 2003) o lodo de ETA é caracterizado como um fluido não-newtoniano, volumoso e tixotrópico, apresentando-se em estado gel quando em repouso e relativamente líquido quando agitado. Estes devem receber um tratamento e serem dispostos de maneira adequada (SUNDERFELD JR, 2007).

No Brasil, a grande maioria das ETA ainda lança seus resíduos indiscriminadamente nos corpos d'água. Estes resíduos são constituídos de fase sólida e fase líquida, sendo a fase líquida subdividida em diferentes frações de água. A água livre presente no lodo pode representar quantidade apreciável, dependendo do método de limpeza dos decantadores (BARROSO, 2007). As outras frações são: água intersticial, água vicinal e água de hidratação (REALI, 1999).

A quantidade de lodo gerado em uma ETA, é função principalmente da qualidade da água bruta, do tipo e dosagem do coagulante e também do projeto e da operação da mesma. A parcela de lodo oriunda dos decantadores pode variar na faixa de 60 a 95% da quantidade total produzida na ETA, enquanto que a água de lavagem dos filtros fica na faixa de 5 a 40% (YUZHU, 1996).

Conforme descrito por (REALI, 1999), o tipo de decantador adotado e a maneira pela qual é feita a descarga no fundo dos mesmos têm influência no valor do teor de sólidos desse lodo. Decantadores retangulares convencionais desprovidos de raspadores de fundo acumulam grande quantidade de lodo até o momento de sua limpeza, e o teor de sólidos totais pode variar de 4 a 13% (GRANDIN, 1992).

3.2 Principais Características do Lodo de ETA

O estudo das características dos resíduos gerados nas ETAs deve incluir determinações de macropropriedades e micropropriedades, as quais possibilitarão que se definam possíveis impactos ambientais, métodos e equipamentos para tratamento e disposição final (CORDEIRO, 1993), apud (ARAUJO, 2006).

Dentre as principais características físicas que afetam significativamente a habilidade de manuseio, adensamento e desidratação, primordiais para a escolha da disposição final e/ou recirculação do lodo de ETA, destacam-se:

- **Concentração de sólidos** - deve-se a resíduos sólidos orgânicos ou inorgânicos provenientes da água bruta. De acordo com Richter (2001), para resíduos provenientes da coagulação com sulfato de alumínio, o conteúdo de sólidos totais no lodo de tanques de decantação varia entre 1.000 a 40.000 mg/L (0,1 a 4 %) e entre 40 a 1.000 mg/L (0,004 a 0,1 %) na água de lavagem dos filtros. Essa concentração varia em função das características da água bruta, do procedimento de lavagem e da forma de operação dessas unidades de tratamento.

- **Resistência específica** – é o ensaio utilizado para determinar maior ou menor resistência à passagem do líquido através de uma massa sólida, o que mostra a facilidade ou não de desidratação do lodo. Essa característica varia largamente dependendo das condições da água bruta, do coagulante e auxiliares de coagulação utilizados e dos processos empregados durante o tratamento. Richter (2001) diz que lodos com resistência específica menor que 10×10^{11} m/kg possuem maior facilidade de desidratação, enquanto aqueles que possuem resistência específica maior que 100×10^{11} m/kg apresentam dificuldade de desidratação. Di Bernardo et al (2002) dizem que quanto menor a resistência específica, mais fácil a desidratação, e que para reduzi-la torna-se necessário seu condicionamento.

- **Compressibilidade** - essa característica é importante, pois os lodos dos decantadores são geralmente compressíveis de tal forma que quanto maior a pressão aplicada, maior é a resistência à desidratação. De acordo com Richter (2001) o coeficiente de compressibilidade pode tomar valores de 0,4 a 1,5, dependendo da origem do lodo. O referido autor diz que lodos provenientes de águas com baixo teor de sólidos, coagulados com sulfato de alumínio, possuem coeficientes de compressibilidade muito elevados, próximos ou maiores que 1, de forma que a desidratação desses lodos é lenta quando a pressão aplicada é elevada.

- **Distribuição do tamanho das partículas do lodo** - de acordo com a teoria da filtração, a resistência do lodo à filtração é função do tamanho da partícula do floco no lodo, existindo assim uma relação entre a resistência específica e o tamanho das

partículas. A adição de condicionantes químicos favorece o aumento do tamanho das partículas, diminuindo a resistência específica à filtração, o que facilita sua desidratação. Scalize e Di Bernardo (1999), a partir de estudos realizados com sedimentos provenientes da água de lavagem de filtros rápidos de uma ETA, observaram o contrário, pois quanto menor o tamanho médio das partículas, menores foram os valores de resistência específica. Esse resultado pode ser decorrente da maior porção de água livre no floco.

As características químicas dos lodos de ETAs afetam mais as opções de reúso e/ou disposição final desses lodos, do que sua habilidade de manuseio e desidratação. Os seus principais constituintes são sílica, alumínio, ferro, titânio, cálcio, magnésio, manganês, além de algas, bactérias e vírus. Os hidróxidos, aluminatos formados, a partir dos hidróxidos de ferro e alumínio, são diretamente tóxicos à vida aquática. O seu grau de toxicidade depende do valor do pH e da dureza da água.

As caracterizações realizadas em lodo de estações de tratamento de água indicam a presença de uma porção biodegradável e metais. Dentre os metais, os que não se enquadram dentro dos limites para o extrato solubilizado, obtido a partir de lodo dos decantadores e filtros são: o ferro, manganês e o alumínio, os que apresentam os maiores índices. Sendo esses, em sua maioria, oriundos do tipo e qualidade dos coagulantes aplicados no processo de tratamento de água.

Segundo a Resolução nº 357/2005, os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos d'água desde que obedeçam às condições e padrões exigidos em seu artigo nº 34. (item 3.4), os resultados dos parâmetros avaliados e os padrões de lançamento estabelecidos pela referida norma, verifica-se que a ETA apresenta efluentes com sólidos sedimentáveis acima do limite determinado (1 mL/L).

3.3 Tratamento do Lodo de ETA

Segundo (ACHON; BARROSO; CORDEIRO, 2008) as tecnologias para redução do volume de lodo produzido nas ETA, mediante remoção da água livre e nos interstícios dos sólidos, podem ser classificadas como: Sistemas Mecânicos (centrífugas, filtros-prensa, prensa desagüadora) e Sistemas Naturais (lagoas de lodo e leitos de secagem).

No entanto, via de regra, o lodo oriundo de decantadores convencionais com sistema de remoção de lodo semi-contínua ou em batelada não apresenta as condições ideais para ser condicionado e desidratado, uma vez que seu teor de sólidos é baixo e os equipamentos de desidratação existentes no mercado exigem um teor de sólidos mínimo de entrada de 2,0% para que seu funcionamento ocorra de forma adequada e econômica (FERREIRA FILHO et al., 1997). Assim, uma operação de adensamento anterior às operações de condicionamento e desidratação torna-se necessária. Um fluxograma com os principais processo de tratamento de resíduos sólidos e líquidos de ETA convencionais é ilustrado na Figura 1.

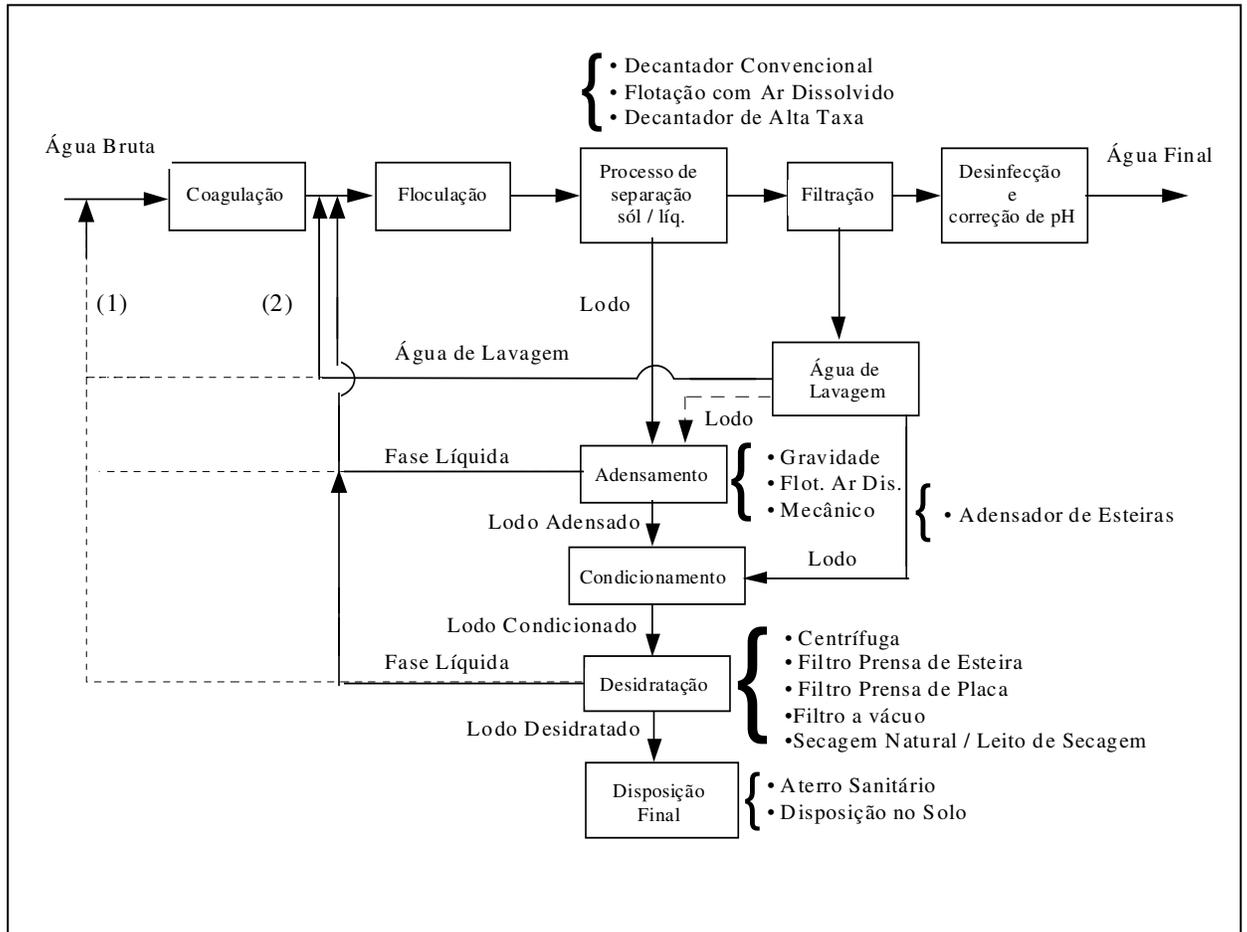


Figura 1 - Fluxograma de processo de tratamento de resíduos sólidos e líquidos de ETA (FERREIRA FILHO, 2002)

3.3.1 Adensamento

O adensamento é um processo de concentração de sólidos que visa a redução do volume do lodo. É uma das mais importantes operações unitárias, pois através dele é possível obter um lodo com teor de sólido que atenda às recomendações dos equipamentos de desidratação mecânica existentes no mercado.

Durante o processo de adensamento, preferencialmente, ocorre a sedimentação em zona (Tipo III). Neste tipo de sedimentação, a medida que a concentração de sólidos vai aumentando, a interação entre as partículas tende a aumentar, o que ocasiona uma diminuição da velocidade de sedimentação da partícula individualmente e estas são induzidas a sedimentarem juntas, como um bloco. Assim, há a formação de uma interface sólido-líquido, bem definida visualmente.

O adensamento de lodos de ETA pode ser realizado por gravidade, flotação com ar dissolvido ou através de equipamentos mecânicos (adensador de esteiras e centrífuga), os adensadores por gravidade são os mais usados no tratamento de água AWWA, (1990) segundo Teixeira (1997) citado por Fernandes (2002), devido à simplicidade de operação e ao baixo consumo de energia.

O adensador por gravidade pode ser operado de forma contínua ou em batelada. É, normalmente, um tanque circular projetado e operado de forma semelhante a um decantador, com um mecanismo de raspagem de lodo no fundo. Na figura 2, tem-se uma imagem típica de um adensador por gravidade:



Figura 2 – Foto adensador por gravidade Fonte: (Sabesp)

Nos adensadores contínuos, o lodo entra pela parte central e se distribui radialmente. O sobrenadante é retirado pela parte superior através de vertedores. O fundo deve possuir uma inclinação de modo a facilitar a coleta de lodo adensado. Já os adensadores por batelada são freqüentemente equipados com tubulações de descarga. Normalmente há dois tanques operando em paralelo. O lodo é colocado em uma unidade até atingir o nível de operação. Depois de um tempo, o sobrenadante é retirado e pode ser retornado ao início da ETA, e o lodo adensado é bombeado pelas tubulações de descarga para o posterior tratamento e disposição final. Na figura 3 tem-se uma foto de dois adensadores operando por batelada:



Figura 3 – Foto de adensadores circular por batelada Fonte: EnvironQuip®

Um adensador por gravidade projetado e operado adequadamente pode adensar um lodo com teor de sólidos menor que 1% para 2%. Com o condicionamento prévio do lodo com polímeros o teor pode atingir 5% ou mais (YUZHU, 1997). Além desses adensadores, têm-se os do tipo rotativo que normalmente são interligados a câmaras de floculação. Nessas, o lodo é condicionado quimicamente através da adição de polieletrólitos para facilitar a floculação e, conseqüentemente, a separação das fases

sólida e líquida. Esses adensadores quando bem operados, podem adensar lodo com teor de sólidos menor que 1% e resultar teores de sólidos superiores a 6%.

Na figura 4, tem-se uma foto de um adensador do tipo tambor rotativo, instalado no Sistema de Adensamento e Desidratação de lodo da ETA Taiapuê, com capacidade de 60m³/h de vazão de lodo ou 450 kg/h de sólidos.



Figura 4 – Foto de adensador do tipo rotativo Fonte: (CAB spat)

3.3.2 Desidratação

O objetivo do processo de desidratação ou desaguamento (uma vez que, de fato, não é a água de hidratação que está sendo removida), é retirar a maior quantidade de água possível do lodo, possibilitando a redução do seu volume, tornando-o moldável, sem líquidos livres e assim, minimizar os custos com transporte e disposição final do mesmo. A desidratação pode ser realizada mecanicamente ou por processos naturais, como descritos a seguir.

Entre os sistemas mecânicos encontram-se o filtro prensa de placas paralelas, o filtro prensa de esteiras e a centrífuga tipo decanter, sendo os dois últimos mais utilizados para essa finalidade. A escolha do processo ideal irá depender do tipo e da quantidade do lodo a ser tratado e do método de disposição final ou uso benéfico do lodo.

3.3.3 Processos naturais

Nas lagoas de secagem (figura 5), o clima é o responsável pela desidratação do lodo. Em climas quentes e áridos, a secagem é realizada pela radiação solar e em climas frios, o congelamento é o responsável pelo processo (AWWA,1990). Assim, as lagoas, podem ser utilizadas em lugares onde as condições climáticas são favoráveis, em que haja disponibilidade de área. Este último quesito tem inviabilizado o uso das lagoas, principalmente nos centros urbanos, associados também aos custos com mão-de-obra e transporte.



Figura 5 – Foto de lagoa de lodo Fonte: (Sabesp)

A operação dos leitos de secagem é baseada em dois princípios: filtração da água livre dos lodos através de drenos, e evaporação. Para determinar a viabilidade da implantação deste processo é necessário um estudo de campo e das condições climáticas, devido à mão-de-obra e área requeridas. Na figura 6, observa-se uma foto de um leito de secagem sendo manuseado.



Figura 6 – Foto de um leito de secagem Fonte: (CESAN)

3.3.4 Processos mecânicos

A centrífuga é usada tanto na desidratação como no adensamento de lodos. É basicamente um dispositivo de sedimentação de formato cilíndrico, onde o lodo é adicionado e no qual é aplicada uma alta velocidade de rotação, que faz aumentar a força centrífuga que incide sobre o lodo. O lodo fica retido nas paredes formando uma torta, de onde é retirado e transportado através de um raspador até a tubulação de saída. O líquido é descarregado através de um vertedouro. Existem centrífugas de eixo horizontal e vertical, sendo a primeira a mais utilizada e a que, comumente apresenta os melhores resultados. Na figura 7 é apresentada, uma foto de uma centrífuga de eixo

horizontal, com capacidade de processamento de 30 m³/h de vazão ou 900 kg/h para carga de sólidos.



Figura 7 – Foto centrífuga do sistema de adensamento e desidratação de lodo da ETA Taiapuêba (Sabesp)

Apesar de a centrífuga apresentar como vantagens a necessidade de pouco espaço, a possibilidade de ser automatizada e a capacidade de tratar lodo muito diluído ou muito adensado, o seu uso na desidratação de lodo tem sido limitado devido ao elevado custo de investimento, manutenção e ao alto consumo de energia.

O funcionamento do filtro prensa de esteiras se dá através de duas esteiras que comprimem o lodo previamente condicionado com polímeros, de modo a remover a água livre. É um processo físico-químico efetuado em duas etapas. Primeiramente, processa-se uma drenagem por gravidade, removendo-se assim uma grande parte da água do lodo. Em seguida, é aplicada uma pressão contínua e progressiva ao lodo remanescente. No fim do processo, a torta formada é quebrada e continua sendo desidratada e o filtrado é removido para o ponto de descarga. Na Figura 8 pode-se observar a foto de um filtro prensa de esteiras.



Figura 8 – Foto filtro prensa de esteiras Fonte: (FLOTTWEG SEPARATION)

O filtro prensa de esteiras apresenta um baixo consumo de energia e fornece tortas adequadas para manuseio, transporte e disposição final. Além disso, sua operação é contínua e relativamente simples. Porém, o sistema é muito sensível, podendo ser afetado pela variação da qualidade do lodo e pelo condicionamento prévio.

Um equipamento que vem sendo utilizado na desidratação de lodos de ETA é o filtro prensa de placas. Este filtro é capaz de desidratar lodos diluídos e difíceis de serem desidratados, desde que bem condicionados. Durante a operação de filtração, o lodo pré-condicionado é recalçado através de bombas de baixa pressão dentro de câmaras revestidas com tecidos de material filtrante. Em seguida, uma alta pressão é aplicada, forçando o líquido a passar pelo meio filtrante e retraindo os sólidos. Após cada ciclo de passagem, as placas formadoras das câmaras são separadas, fazendo com que a torta caia espontaneamente e seja removida por roscas ou esteiras transportadoras.

Na figura 9 é apresentada uma foto do filtro prensa de placas, instalado no Sistema de Adensamento e Desidratação de Lodo da ETA Taiapuêba – Sabesp.



Figura 9 – Foto filtro prensa de placas na ETA de Taiapuêba Fonte: (Sabesp)

Embora os custos de operação e manutenção na desidratação por filtros prensa de placas sejam altos, as experiências têm mostrado que é o método mais econômico entre os métodos mecânicos (YUZHU,1996). Na atualidade o uso de centrífugas em processo de tratamento tem tido preferência pelas companhias de saneamento visto que esse tipo de equipamento ocupa menor área física, a operação é contínua, fácil para automatização e de manutenção relativamente simples quando comparado ao filtro prensa de placas

3.3.5 Condicionamento Químico do Lodo de ETA

Os lodos gerados em ETA são, em sua maioria, difíceis de serem desidratados mecanicamente. Tal fato se deve a vários fatores. As partículas do lodo são carregadas eletricamente, tendem a se repelirem ao invés de formarem flocos. Como o tamanho dos flocos do lodo é pequeno, estes podem causar um entupimento do meio filtrante ou propiciar um filtrado de má qualidade. Além disso, devido à hidratação, uma ou várias camadas de água ligadas a superfície das partículas formam uma película que impede a aproximação das mesmas para a formação do floco (FERNANDES, 2002).

Assim, é necessário que o lodo seja previamente condicionado para que haja uma melhoria na eficiência dos processos de desidratação. Logo, o processo de condicionamento objetiva melhorar a propriedade estrutural do lodo permitindo uma drenagem livre da água, aumentando a recuperação de sólidos e minimizando o tempo de ciclo do processo de desidratação.

Os principais métodos de condicionamento dos lodos são: congelamento-degelo, tratamento térmico, aplicação de auxiliares físicos de filtração e aplicação de produtos químicos.

O congelamento é um processo irreversível que destrói a estrutura gelatinosa dos flocos, fazendo com que o lodo após o descongelamento obtenha a forma de um material de granulação grossa como areia. Este método de condicionamento é muito eficaz para os lodos provenientes de ETA que utilizem hidróxidos metálicos como coagulantes, tais como lodos de alumínio e ferro (MONTGOMERY, 1985). Esse processo é utilizado em países do hemisfério norte.

No método que utiliza o tratamento térmico para condicionar os lodos, os sistemas de gel coloidal são aquecidos sob pressão e os flocos se quebram, permitindo que a água antes ligada aos flocos drene livremente e melhore, assim, a desidratabilidade do lodo (MONTGOMERY, 1985). Entretanto, o tratamento térmico não tem apresentado resultados tão satisfatórios quanto o congelamento, além de apresentar um alto custo de operação. Logo, não é considerado uma boa alternativa para o condicionamento.

A aplicação de auxiliares físicos de filtração, tais como material fibroso tipo cinza ou terra diatomácea, é particularmente útil quando se trabalha com suspensões que contém sólidos finamente divididos ou flocos lamacentos deformáveis, pois diminui problemas de entupimento rápido do meio filtrante.

Existem duas maneiras de se utilizar os auxiliares físicos de filtração. A primeira consiste num pré-revestimento que protege o meio filtrante e evita que as pequenas

partículas passem para o filtrado. A segunda maneira consiste em misturar o auxiliar com a suspensão que será filtrada para que as partículas dificilmente filtráveis sejam retidas em uma torta permeável (GRANDIN; YUZHU, 1992, 1996). Porém, o uso de auxiliares físicos tem a desvantagem de apresentar um custo muito elevado.

Já a aplicação de produtos químicos é o método de condicionamento mais utilizado tanto para o processo de adensamento quanto para o de desidratação. Os produtos químicos empregados podem ser íons metálicos, cal e polímeros, sendo que esses últimos, isto é, os polímeros, são os mais utilizados no condicionamento de lodos de ETA.

Polímeros são moléculas orgânicas e hidrossolúveis de cadeia molecular longa e peso molecular alto. A principal função dos polímeros é aumentar o tamanho das partículas do lodo. Este aumento de tamanho resulta num decréscimo da área superficial específica por peso unitário de sólidos do lodo. Desde que a resistência à desidratação é relacionada com perdas por atrito superficial, um aumento no tamanho da partícula reduzirá a área superficial na matriz do lodo, melhorando assim, as taxas de desidratação. A coagulação de lodo de ETA baseia-se em dois principais mecanismos (BOLTO e GREGORY, 2006), a saber:

- neutralização-adsorção de cargas;
- formação de pontes.

No mecanismo de adsorção e neutralização de cargas, os hidroxocomplexos, os cátions hidratados, e os precipitados carregados positivamente, são adsorvidos na superfície dos colóides. Este mecanismo reduz a repulsão entre as partículas, possibilitando sua coagulação e remoção por sedimentação/flotação ou filtração. As ligações formadas entre as espécies químicas e os colóides não se rompem mediante diluição.

Quando os sais de alumínio ou ferro são adicionados à água, ocorre uma sucessão de reações que são dependentes de vários parâmetros, tais como pH,

temperatura, tipo e concentração das partículas, concentração de coagulante e condições de mistura (MONTGOMERY,1985 segundo TEIXEIRA, 1999 citado por FERNANDES, 2002).

Após a dissociação dos sais, os íons metálicos combinam-se com a hidroxila (OH⁻), formando espécies hidrolisadas. Algumas espécies mais significativas do alumínio e ferro, bem como suas equações de equilíbrio são mostradas na Tabela 1:

Tabela 1 – Equações de equilíbrio de algumas espécies hidrolisadas de alumínio e ferro em meio aquoso (SNOEYINK et al, 1980 segundo FERREIRA FILHO et al,1996 citado por FERNANDES, 2002).

Espécie	Equação de equilíbrio	Constante de Equilíbrio
Fe ⁺³	Fe(OH) ₃ S ⇌ Fe+3 + 3OH ⁻	10 ⁻³⁸
Fe(OH) ⁺²	Fe+3 + H2O ⇌ Fe(OH) ⁺² + H ⁺	10 ^{-2,16}
Fe(OH) ₂ ⁺	Fe+3 + 2H2O ⇌ Fe(OH) ₂ ⁺ + 2H ⁺	10 ^{-6,74}
Fe(OH) ₄ ⁻	Fe+3 + 4H2O ⇌ Fe(OH) ₄ ⁻ + 4H ⁺	10 ⁻²³
Fe ₂ (OH) ₂ ⁺⁴	2Fe+3 + 2H2O ⇌ Fe ₂ (OH) ₂ ⁺⁴ + 2H ⁺	10 ^{-2,85}
Al ⁺³	Al(OH) ₃ S ⇌ Al ⁺³ + 3OH ⁻	10 ⁻³³
Al(OH) ⁺²	Al+3 +H2O ⇌ Al(OH) ⁺² +H+	10 ⁻⁵
Al ₂ (OH) ₂ ⁺⁴	2Al ⁺³ +2H2O ⇌ Al ₂ (OH) ₂ ⁺⁴ + 2H+	10 ^{-6,3}
Al ₇ (OH) ₁₇ ⁺⁴	7Al ⁺³ +17H2O ⇌ Al ₇ (OH) ₁₇ ⁺⁴ + 17H ⁺	10 ^{-48,8}

Essas espécies hidrolisadas têm um efeito na superfície dos íons que pode ser demonstrado através dos diagramas de solubilidade.

O mecanismo de formação de pontes (Figura 10) é típico para sistemas nos quais sejam adicionados compostos orgânicos de cadeia longa (polímeros ou polieletrólitos). Os polímeros usados como coagulantes primários na desestabilização de partículas coloidais são tipicamente catiônicos e de baixo peso molecular (AWWA, 1989).

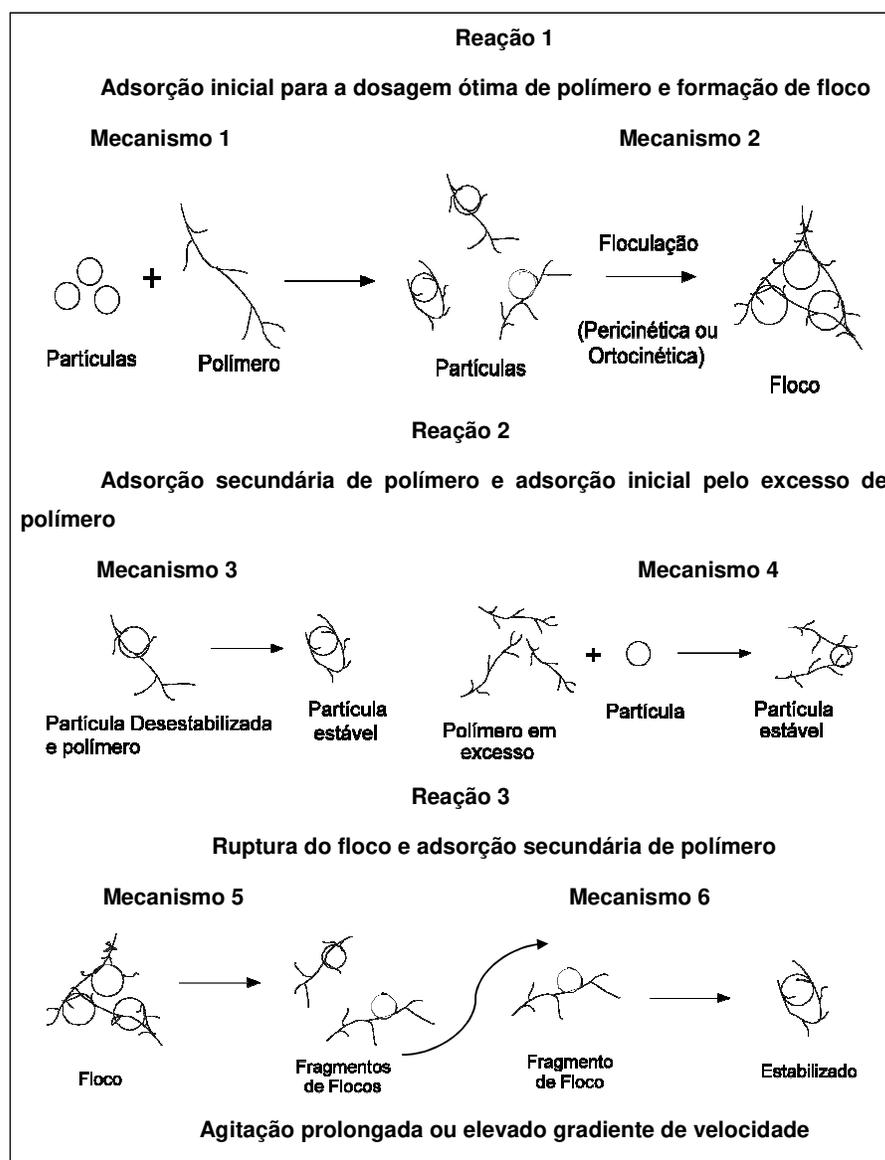


Figura 10 – Representação esquemática do modelo de formação de pontes para desestabilização de colóides por polímeros (WEBER, 1972 citado por YUZHU, 199

No mecanismo 1, indicado na Figura 10, ocorre a adsorção primária do polímero para a dosagem ótima de polímero e formação do floco, quando um polímero entra em contacto com uma partícula coloidal, alguns de seus grupos reativos adsorvem na superfície da partícula causando a sua desestabilização, e outros permanecem livres em solução. No mecanismo 2, os segmentos livres dos polímeros das partículas, já previamente desestabilizadas, adsorvem na superfície de outra partícula, promovendo a agregação das mesmas. Se a porção livre do polímero de uma partícula já previamente desestabilizada não entra em contato com uma outra partícula, pode ocorrer a adsorção na própria partícula fazendo com que ela se re-estabilize (mecanismo 3).

No mecanismo 4, o excesso de polímero adicionado à suspensão coloidal leva a saturação da superfície das partículas e sua conseqüente re-estabilização. Se um floco já formado, como o representado no mecanismo 5, for submetido a uma agitação intensa ou a um longo tempo de mistura, pode ocorrer a sua ruptura e esses fragmentos de flocos podem se re-estabilizar (mecanismo 6) da mesma forma como a que ocorreu no mecanismo 3. Os polímeros usados como coagulantes primários na desestabilização de partículas coloidais são tipicamente catiônicos e de baixo peso molecular (AWWA, 1989 apud TEIXEIRA, 1999).

Quando um polímero adere a um colóide, causa a dessorção da água superficial ligada ao colóide, levando à neutralização da carga e à aglomeração com outras partículas. Como resultado, tem-se a formação de flocos capazes de liberar água mais facilmente (YUZHU, 1996).

Há três tipos de polímeros que podem ser usados no condicionamento do lodo: catiônico, aniônico e não-iônico, de acordo com a carga de seus grupos funcionais. Normalmente os melhores resultados de desidratação são obtidos quando se utilizam polímeros de alto peso molecular e carga. Na figura 11 tem-se a representação esquemática destes polímeros:

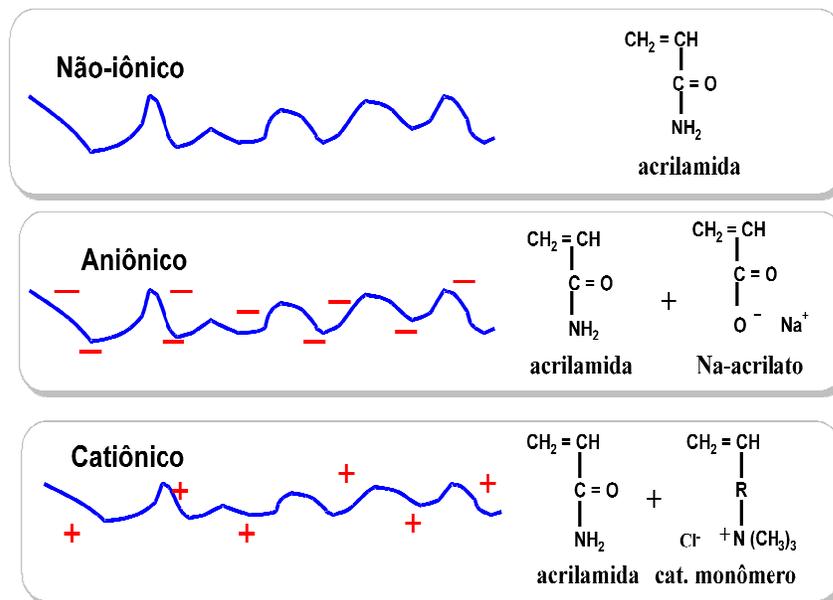


Figura 11 – Representação esquemática para polímeros não iônicos, aniônicos e catiônicos Fonte: (ASHLAND)

No entanto, o peso molecular é o parâmetro decisivo, pois as forças químicas predominam sobre as eletrostáticas. Dentre os três tipos de polímeros, em geral, os aniônicos resultam em uma melhor desidratabilidade (YUZHU; FERNANDES, 1996, 2002). Porém, na atualidade, estudos demonstram que o grau de desidratação do lodo está intimamente ligado ao tipo de lodo gerado e, conseqüentemente, ao tipo de polímero aplicado, não sendo necessariamente os de carga aniônicas que proporcionam melhor drenabilidade.

A eficiência do condicionamento com polímeros depende de vários fatores. O condicionamento ótimo não será realizado sem uma boa combinação deles. Os fatores que mais influenciam na desidratabilidade do lodo são: dosagem de polímero, tempo de mistura e gradiente médio de velocidades.

Os efeitos da dosagem de polímero sobre a desidratabilidade do lodo são normalmente evidentes. As taxas de desidratação aumentam consideravelmente com o aumento da dosagem do polímero (YUZHU, 1996). Já uma mistura excessiva, tanto do

ponto de vista de tempo como de velocidade, pode causar a desagregação das partículas do lodo, “desestabilizando-as” logo após tê-las flocculado.

As duas primeiras situações são desejáveis e representam o que normalmente ocorre na prática. Nas outras situações estão ilustrados casos indesejáveis em que houve dosagens elevadas de polímero ou lodos já flocculados sujeitos a altas tensões de cisalhamento (altos gradientes de velocidade) ou tempos de mistura muito longos.

A seleção do polímero ideal deve ser feita através da execução de testes em laboratório que procurem representar o mais fielmente possível o processo de desidratação. Esta seleção não deve ser efetuada baseando-se unicamente nos resultados experimentais obtidos, mas, também em uma análise econômica do binômio polímero-dosagem (AWWA,1989). Os testes devem ser realizados diretamente nos equipamentos de desidratação, porém, na impossibilidade, podem ser realizados de forma mais simples em laboratório, de forma que seja possível a escolha do polímero e sua dosagem (FERREIRA FILHO et al., 1998).

Os testes mais utilizados para isto são: resistência específica (RE), teste de sucção por capilaridade (CST) e tempo de filtração (TF).

3.4 Determinação da desidratabilidade do lodo

A avaliação da eficácia do processo de condicionamento na desidratabilidade de um lodo normalmente é feita através de testes realizados em escala de laboratório. Os testes mais comumente utilizados são:

- teste de Resistência Específica (RE);
- teste do Tempo de Filtração (TF);
- teste do Tempo de Sucção Capilar (CST, do termo em inglês).

A seleção do teste a ser utilizado depende, principalmente, do tipo de informação que se deseja obter. Os testes de RE e TF são similares, sendo que o teste de TF é mais simples e rápido enquanto que o teste de RE é mais usual do ponto de vista acadêmico (FERREIRA FILHO et al., 1998).

Os resultados experimentais obtidos em ensaios desta natureza devem ser cuidadosamente interpretados quando forem utilizados diferentes tipos de lodo, mesmo que sejam de mesma natureza físico-química (lodos de origem biológica, hidróxidos metálicos etc.), uma vez que estes ensaios são incapazes de representar as condições de cisalhamento do lodo no interior do equipamento de desidratação. Apesar disso, os testes de RE, CST e TF são válidos quando usados para comparar resultados obtidos com um mesmo lodo, tendo variado o tipo e a dosagem do polímero. Assim sendo, se estes ensaios forem utilizados de forma adequada, podem fornecer importantes informações no que diz respeito à otimização dos processos de condicionamento e desidratação.

3.4.1 Teste de resistência específica (RE)

Antes do uso do teste de Resistência Específica, a desidratabilidade de um lodo era avaliada pela taxa de filtração ou pelo tempo necessário para a torta rachar ou ocorrer uma queda de pressão no teste do funil de Buchner. Contudo, estes parâmetros eram influenciados pelo teor de sólidos do lodo, pelo volume de lodo filtrado, pela área filtrante e pela pressão na qual o teste era realizado.

Segundo vários pesquisadores (CHRISTENSEN et al., 1985), o teste de RE tem muitas vantagens em relação aos demais, entre elas está o fato de que o teste é baseado numa análise teórica da desidratabilidade do lodo, usando o conceito de resistência específica. Também o fato de não sofrer influências do teor de sólidos do lodo é outra vantagem, uma vez que os resultados poderão ser transpostos de um laboratório para outro. Porém outros estudos mostraram que ainda existem diversos

problemas na aplicação desta metodologia. A maioria dos problemas está relacionada com a dependência da resistência específica em relação ao teor de sólidos do lodo para baixos teores, a pressão diferencial total, a variação da pressão total na torta e interações lodo-membrana (YUZHU,1996).

Alguns pesquisadores (CHRISTENSEN et al.,1985) demonstraram que há uma forte ligação entre resistência específica e teor de sólidos, para baixo teores, sendo que a resistência específica torna-se relativamente independente para valores mais altos de teores de sólidos. Portanto, a desidratabilidade do lodo somente deve ser caracterizada pelo valor de resistência específica quando esta não variar com o teor de sólidos.

O teste de Resistência Específica baseia-se na teoria de filtração, que foi desenvolvida a partir da Lei de Darcy (1856). A vazão de um fluido q de viscosidade μ através de um meio filtrante composto por grãos de areia, de espessura L e área transversal A , submetido a um diferencial de pressão ΔP , pode ser expressa pela equação 01 proposta por Darcy (1856):

$$\frac{q}{A} = u = k \cdot \frac{\Delta P}{L} \quad (3.1)$$

onde k é o coeficiente de lei de Darcy.

Após uma fase de estudos em que se considerava que o escoamento pelo leito de areia fosse feito através de um conjunto de canais capilares, o parâmetro de importância passa a ser a superfície específica das partículas (S_0) pois a resistência ao escoamento de um fluido em regime laminar por um meio poroso depende da extensão da superfície das partículas.

Com este novo conceito, (KRÜGER,1918) apud (MORITA,1996) propuseram a seguinte expressão para o cálculo da vazão através dos poros:

A equação (3.1) também é aplicável a tortas compressíveis, só que ao invés de se utilizar o volume de sólidos por volume de filtrado v , emprega-se a massa de sólidos secos da torta por volume de filtrado c , conforme equação 3.2 ilustrada abaixo:

$$r = \frac{2 \cdot b \cdot P \cdot A^2}{\mu \cdot c} \quad (\text{resumida}) \quad (3.2)$$

O valor de c pode ser obtido de três formas:

- dividindo-se a massa da torta seca pelo volume do filtrado
- dividindo-se o produto do teor de sólidos da torta multiplicado pelo volume de lodo, colocado no funil de Büchner, pelo volume final do filtrado
- determinado através da seguinte expressão:

$$c = \frac{c_t \cdot c_l}{100 \cdot (c_t - c_l)}, \quad (3.3)$$

onde c_l é o teor de sólidos no lodo (%) e c_t , o teor de sólidos na torta (%).

3.4.2 Teste do tempo de filtração (TF)

O teste do tempo de filtração é empregado normalmente para se determinar a taxa de filtração do lodo. Em geral, é um teste simples, rápido e reprodutível em relação

ao teste de Resistência Específica. Contudo, os resultados dependem de muitas variáveis (GRANDIN, (1992). Tais como:

- teor de sólidos do lodo;
- volume usado do lodo;
- temperatura ambiente;
- área do papel de filtro e
- pressão na qual o teste é desenvolvido.

Com os resultados obtidos através deste teste não é possível fazer qualquer comparação com resultados de outros trabalhos que utilizem lodos com teor de sólidos diferentes, mesmo mantendo constantes as outras variáveis.

Basicamente o teste consiste em submeter um volume conhecido de lodo a uma filtração no funil de Büchner, sob vácuo constante, medindo-se o tempo para filtrar um volume pré-determinado (em geral, 50% do volume da amostra).

3.4.3 Teste do Tempo de Sucção Capilar (CST)

Quando comparado com o teste de Resistência Específica, este teste pode ser considerado rápido, fácil e de baixo custo. É bastante útil na determinação do efeito de condicionantes químicos na desidratabilidade de um lodo, seleção do condicionante mais eficiente e determinação de sua dosagem ótima. O CST consiste basicamente na determinação do tempo que o filtrado de um lodo, previamente condicionado, leva para escoar entre dois círculos concêntricos sobre um papel de filtro, devido a aplicação de uma pressão de sucção capilar externa, em aparato desenvolvido para esse fim.

Contudo, este teste depende de vários fatores, tais como a temperatura do lodo no reservatório, o tipo do papel de filtro e o teor de sólidos. Portanto, os resultados obtidos não podem ser usados para comparar valores de CST de lodos distintos, sendo válidos somente para o lodo utilizado no teste. Assim, o CST não pode ser considerado uma medida fundamental da filtrabilidade do lodo.

3.5. Uso do Potencial Redox no controle operacional

A maioria dos lodos de ETA e esgoto encontra-se na forma reduzida, isto é: apresentam uma diferença de potencial que resulta em valor negativo ($\Delta E = -mV$). A oxidação química desse tipo de lodo reduzirá essa diferença pelo consumo do agente oxidante, até que num determinado tempo (t), ocorra a neutralização dessas cargas e a diferença tenderá à zero ($\Delta E = 0mV$). A partir daí, com adição de mais oxidante, o lodo passará para a forma oxidada com diferença de potencial medida através de eletrodo específico para medidas de redox, nessa condição ($\Delta E = +mV$). Dessa forma, com ou sem a adição de agente oxidante, devido a grande variabilidade do valor medido para o potencial redox das amostras de lodo, formula-se aqui a hipótese de que será possível buscar correlação para aplicação deste parâmetro como indicador para o uso de polímero seja ele catiônico ou aniônico. Isto com possibilidade de redução no consumo de polímero e melhoria no desaguamento do lodo. ORP é a sigla de “Oxidation Reduction Potential” (Potencial de Oxidação e Redução), também conhecido como Redox. Medir o ORP é uma forma de controlar as reações químicas que ocorrem em um determinado meio, através do equilíbrio entre as reações de oxidação (perda de elétrons) e redução (ganho de elétrons) (BACAN; ANDRADE; GODINHO; BARONI (1979)), NEHMI, (1995), (ALBRECHT; MAIA; BIACHIN, (2005)), PROVITEC, (2010).

Medição de ORP é muito usada em processos industriais, tratamento de água e laboratórios. Uma grande aplicação para esta tecnologia é o controle de cloro na água potável, industrial, de torres de resfriamento ou de efluentes.

Os seguintes exemplos são algumas aplicações típicas para sistemas de medição e controle de ORP em processos industriais e tratamento d'água:

- Oxidação de dejetos de cianeto;
- Redução de dejetos de cromato;
- Alveamento ou branqueamento de celulose;
- Produção de água sanitária;
- Tratamento de água potável;
- Tratamento de efluentes.

Com um controlador digital de ORP e bombas dosadoras acionadas por esse equipamento, é possível que se possa estabelecer o ORP ideal para o lodo de ETA e corrigi-lo, se necessário.

Os sensores de pH e ORP são basicamente idênticos. Seu princípio de funcionamento é muito simples. Na figura 12, tem-se um sensor combinado de pH e referência ou ORP e referência:

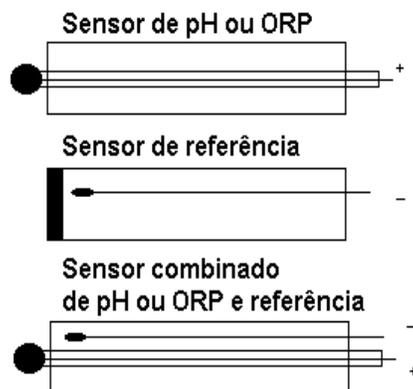
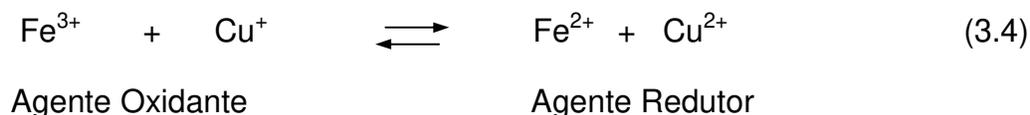


Figura 12 – Eletrodo de pH ou ORP e sensor de referência Fonte: PROVITEC,(2010)

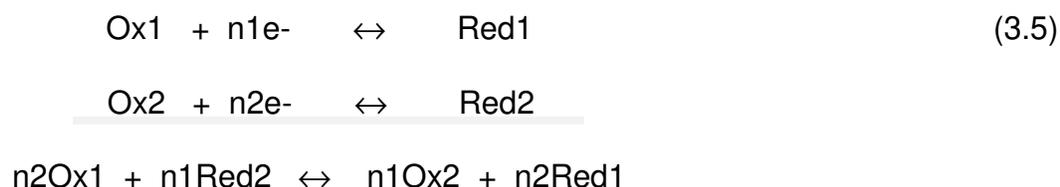
Um sensor combinado consiste de um sensor de pH ou ORP e um sensor de referência dentro de um mesmo corpo. Assim sendo, um sensor de ORP mede a transferência de elétrons de uma molécula, átomo ou íon, que ocorrem em uma reação redox. Desta forma, a oxidação de um elemento em uma reação química é o aumento algébrico de seu número de oxidação (NOX); portanto, oxidação é a perda de elétrons por parte desse elemento, que recebe o nome de elemento redutor. Por outro lado, a redução de um elemento em uma reação química é diminuição algébrica de seu NOX; portanto redução é ganho de elétrons por parte desse elemento, que recebe o nome de elemento oxidante (NEHMI, 1995). Nesse sentido, um agente oxidante, substância que promove uma oxidação ao mesmo tempo em que é reduzida no processo, é um bom receptor de elétrons, e um agente redutor, é uma substância que doa elétrons promovendo a redução de outra substância, sendo ela oxidada no processo, é um bom doador de elétrons. Na equação abaixo, tem-se uma reação de oxidação e redução ocorrendo simultaneamente:



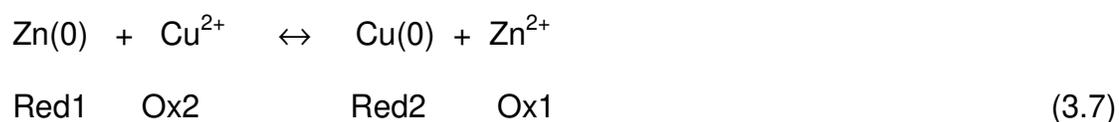
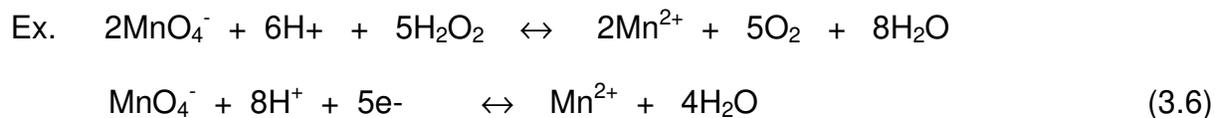
Para que as reações redox aconteçam simultaneamente, sempre deve haver um redutor que doe elétrons e um oxidante que os aceite, essas reações ocorrem pela soma de duas semi-reações:

semi-reação de redução do oxidante,

semi-reação de oxidação do redutor



Os coeficientes n1 e n2 são para que o número de elétrons trocados sejam o mesmo.



Estas reações são conhecidas também como de semi-pilha, a combinação de duas delas, dá lugar à formação de uma pilha galvânica. Como exemplo tem-se a seguinte reação na figura 13:

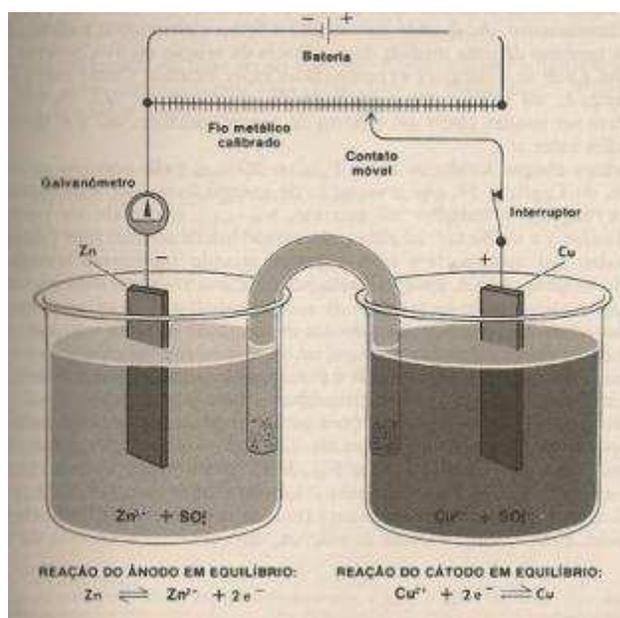
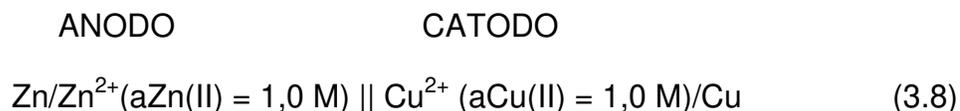
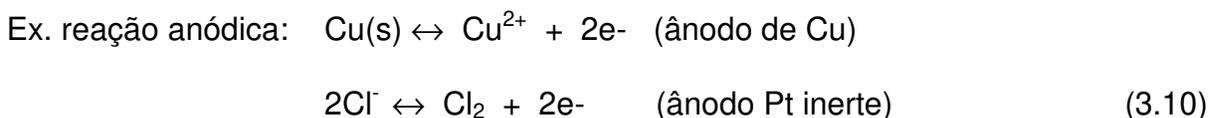
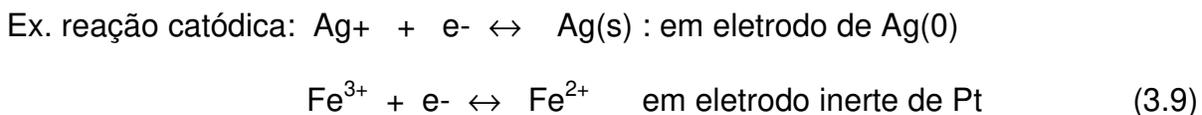


Figura 13 – Medida da força eletromotriz de uma pilha de energia (QUAGLIANO; VALLARINO, (1973)).

Representação esquemática:



Por definição, o catodo de uma célula eletroquímica é o eletrodo onde acontece a redução e o ânodo é o eletrodo no qual a oxidação ocorre:



Segundo (BACCAN; ANDRADE; GODINHO; BARONE, (1979)), entre as várias substâncias que podem estar envolvidas em reações redox, a tendência em se reduzir ou de se oxidar, varia bastante e é medida por um número denominado potencial padrão de eletrodo.

Em uma pilha galvânica onde cada meia-cela é constituída por soluções iônica de mesma concentração molar, a direção do fluxo de elétrons depende da composição das duas meias-celas, ou seja, das duas semi-reações envolvidas e, por conseqüência, de seus potenciais. Cada meia cela (semi-reação) tem um Potencial Padrão de Eletrodo (em volts) medido em relação a um padrão de referência, o qual precisa ser de fácil construção, exibir comportamento reversível e produzir potenciais constantes e reproduzíveis. Um eletrodo que preenche essas condições é o Eletrodo Padrão de

Hidrogênio. (BACCAN; ANDRADE; GODINHO; BARONE, (1979)). Nesse sentido, o eletrodo de hidrogênio é convencionado como eletrodo-padrão. Normalmente abrevia-se o nome eletrodo-padrão de hidrogênio com a sigla EPH (ALBRECHT; MAIA; BIANCHI, (2005)). Contudo, observa-se na figura 14, que quando o sistema está em condições específicas, com pressão de 1 atm para o H₂ (g), concentração de 1 mol.L⁻¹ em H¹⁺ (aq) para solução ácida e temperatura de 25 °C, o valor do potencial eletroquímico desse eletrodo é, por definição, zero. Abrevia-se o potencial eletroquímico por E^o que significa potencial-padrão.

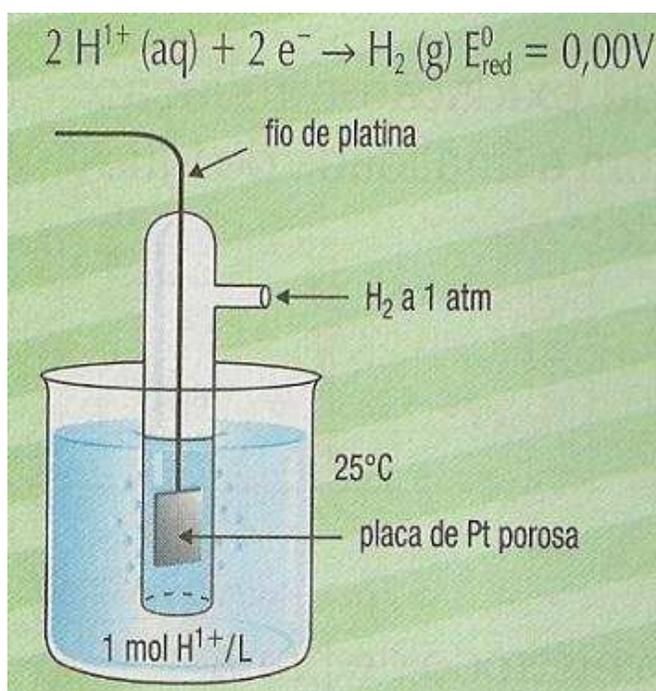


Figura 14 – Desenho do eletrodo de padrão de hidrogênio EPH (ALBRECHT; MAIA; BIANCHI, (2005)).

O EPH é constituído por um tubo de vidro em que se coloca uma lâmina de platina na qual ocorre a redução de íons hidrogênio, H¹⁺. Por ser gasoso é borbulhado sobre a lâmina de platina.

Associado com cada reação redox existe um potencial padrão, que poder ser calculado, a partir de uma tabela de potenciais, padrão. Desta forma, o efeito da concentração na voltagem pode ser calculado a partir da equação de Nernst.

Medições potenciométricas baseiam-se em relações termodinâmicas e mais particularmente na equação de Nernst, que relaciona potencial à concentração de uma espécie eletroativa. Sendo assim, é conveniente considerar o processo redox que ocorre em um simples eletrodo, embora dois eletrodos sejam sempre essenciais para uma célula eletroquímica.

4. METODOLOGIA

4.1 Descrição da Estação de Tratamento de Água Taiapuêba

Nesse estudo os lodos produzidos na ETA Taiapuêba, foram quantificados em um laboratório instalado no Sistema de Adensamento e Desidratação de Lodo (SADL). Este sistema de tratamento de lodo, é constituído por um tanque de equalização do lodo bruto e dois edifícios de processamento de lodo, onde se encontram alojados os equipamentos para o adensamento mecânico (do tipo mesa desagüadora — três unidades), dois adensores do tipo tambor rotativos, um filtro prensa, quatro centrífugas de alta capacidade, bombas dosadoras, bombas de recalque de lodo, roscas transportadoras, sala de estocagem de produtos químicos, sistema de preparação e dosagem de polímeros, laboratório de controle e sala de supervisão.

Na figura 15, tem-se um esquema simplificado que representa o processo de tratamento e destinação final do lodo da ETA Taiapuêba. O lodo que é sedimentado nos decantadores é encaminhado através de pontes removedoras para poços de lodo, a partir daí, é bombeado para um tanque de equalização com capacidade de 500 m³, onde depois de homogeneizado é bombeado ao pavimento superior (primeiro piso) do sistema, recebe aplicação de polímeros especiais, passando para os adensores. Em seguida já com concentração de sólidos de 2% a 4%, recebe nova adição de polímero para desagüamento em centrífugas onde atinge teores de sólidos que variam de 15 a

20% de matéria seca. Em seguida esse material é transportado por caminhões para área de secagem, sendo, nesse local, revolvido por um implemento agrícola até atingir 50% de sólidos. Este é determinado através de método gravimétrico. Tal material é retirado e encaminhado para disposição nas células de aterro externos ou próprio.

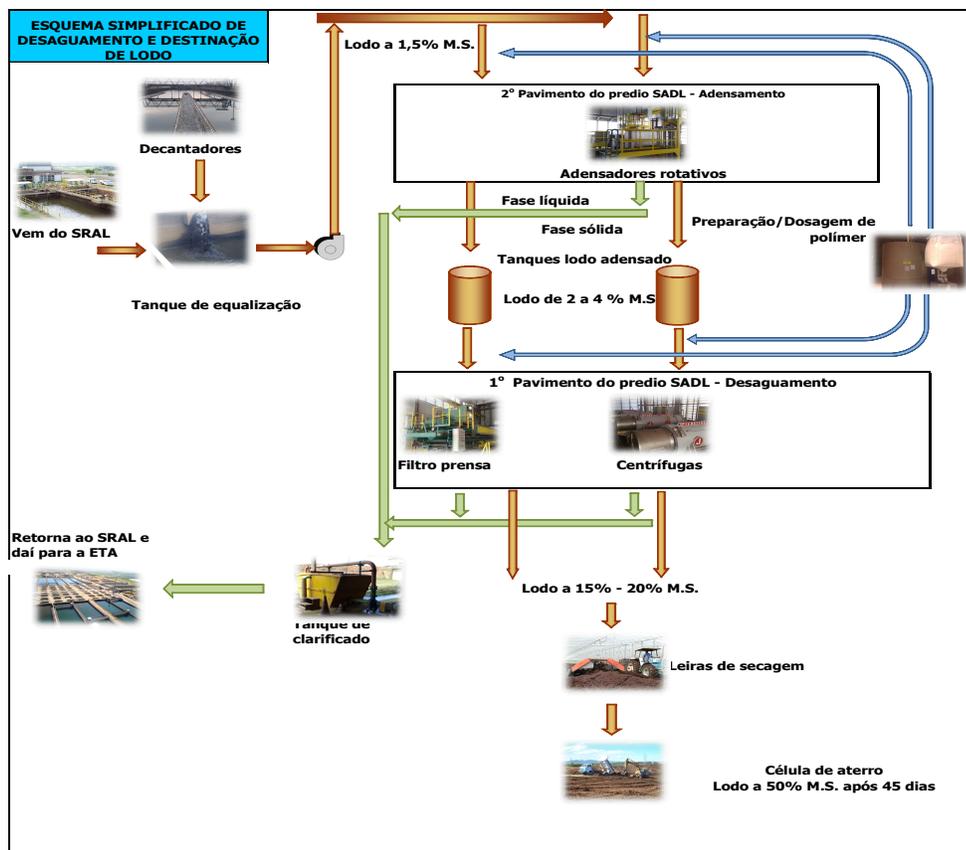


Figura 15 - Esquema simplificado do processo de tratamento e destinação final do lodo da ETA Taiacupeba.

A ETA Taiacupeba é a “indústria da água” geradora dos resíduos que foram aqui estudados. Esta ETA situa-se à Rua Waldemar Cusma, nº 700, Jardim Aeródromo Internacional no município de Suzano, estado de São Paulo. A estação de tratamento de água foi implantada em uma área de 50 hectares junto à margem esquerda da Represa Taiacupeba. Nesta mesma área foram implantados os sistemas de captação e

adução de água bruta, elevatória de água tratada e sistema de adensamento e desidratação de lodo.

A ETA, atualmente trata aproximadamente 10 m³/s em regime contínuo, abastecendo 15% da população da RMSP, sendo que a maior parte de sua produção supre a população da Zona Leste. Através de uma parceria pública e privada (PPP), a ETA será ampliada e terá capacidade para tratar 15 m³ de água por segundo.

Os mananciais do Sistema Produtor Alto Tietê são constituídos pelos reservatórios de acumulação de Paraitinga, Ponte Nova, Biritiba, Jundiá e Taiapuê, da Bacia do Rio Tietê. Esses, apresentam histórico de ocorrência de “bloom” algais sazonais com duração de alguns meses no decorrer do ano. Tal fato indica que os mananciais superficiais desta região em determinado período ficam com sua qualidade bastante comprometida. Nesse caso, é necessária a aplicação de coagulantes alternativos bem como o uso de carvão ativado micro pulverizado e permanganato de potássio no processo de tratamento da água. Tal ação tem influência direta nas características físico-químicas do lodo, e no aumento significativo de produção gerado nos decantadores, o que dificulta a sua desidratação e posterior disposição final em células de aterro.

A Figura 16 apresenta uma foto com vista geral da captação de água bruta, estrutura de chegada, floculadores, decantadores e filtros da ETA Taiapuê.



Figura 16 – Foto com vista geral da captação de água bruta e ETA Fonte: (CAB spat)

4.1.1 Características quantitativas do lodo gerado na ETA Taiapuêba

A ETA Taiapuêba foi concebida como sendo uma estação do tipo convencional de ciclo completo, sendo dotada dos processos unitários de coagulação, floculação, sedimentação, filtração, correção final de pH, fluoretação e desinfecção. No entanto, a mesma, em função da qualidade da água bruta, pode operar na forma de filtração direta, com coagulação no mecanismo de adsorção e neutralização de cargas (coagulação, floculação e filtração) ou filtração em linha (coagulação e filtração).

As características quantitativas e qualitativas dos lodos gerados na ETA Taiapuêba podem ser estimadas executando-se o balanço de massa da ETA para as suas condições atuais de operação. Assim sendo, faz-se necessário que sejam conhecidas as variações da turbidez da água bruta e das respectivas dosagens de coagulantes empregados no processo de tratamento. Outra forma possível de quantificação é através da utilização de medidores de vazão e análise de teores de sólidos no lodo que é encaminhado para tratamento no Sistema de Adensamento e Desidratação de Lodo.

4.2 Características do sistema de adensamento e desidratação de lodo

Uma vez sendo a ETA Taiapuêba do tipo convencional, a mesma possui, basicamente, dois pontos principais geradores de resíduos, a saber:

- Água de lavagem dos filtros
- Lodo gerado nos decantadores

No sistema atualmente implantado, a água de lavagem dos filtros é encaminhada para dois tanques de equalização com capacidade de 1.400 m³ cada. A vazão equalizada é diretamente retornada ao início do processo de tratamento, podendo esta ocorrer diretamente para o canal de água coagulada ou para o decantador de número 2, dependendo do modo de operação da ETA Taiapuêba.

O lodo oriundo dos decantadores possui um conjunto de processos e operações unitárias que permitem que o mesmo seja adensado e desidratado, a fim de que o resíduo sólido final produzido pelo processo de tratamento da fase sólida possa ser encaminhado para sua destinação final. Esse é encaminhado a um tanque de equalização de lodos para posterior envio a um sistema de adensamento mecanizado. A figura 17 mostra a foto de parte do tanque de equalização de lodo, com destaque para o recebimento do lodo no tanque.



Figura 17 – Foto parcial do tanque de equalização de lodo

O lodo, equalizado, é enviado por bombeamento a um sistema de adensamento mecanizado do tipo rotativo, com capacidade hidráulica individual igual a $60 \text{ m}^3/\text{hora}$ a $0,7\%$ ou capacidade mássica de $450 \text{ kg}/\text{hora}$.

O lodo adensado é posteriormente encaminhado por meio de uma rosca parafuso a dois tanques de equalização de lodo adensado com capacidade unitária igual a 50 m^3 , totalizando um volume de 100 m^3 . O lodo adensado a teores de sólido de $3,0\%$, por sua vez, é encaminhado para posterior desidratação em quatro centrífugas com capacidade individual de $30 \text{ m}^3/\text{hora}$ cada.

A operação adequada dos sistemas de adensamento mecanizados e equipamentos de desidratação envolvem a preparação e dosagem de polímeros. O sistema de preparo e dosagem de polímero é composto por três sistemas em batelada, dotados de um tanque de $6,0 \text{ m}^3$ cada, com a capacidade para preparação de solução de polímero de $0,05\%$ a $0,50\%$.

Esse sistema é dotado de Componentes Lógicos Programáveis (CLP), que garantem uma boa preparação dos polímeros utilizados.

A alimentação de solução de polímero aos adensadores mecanizados é efetuada por intermédio de duas bombas com capacidade individual igual de 4.000 litros por hora.

O lodo desidratado pelo sistema de desaguamento existente (centrífugas) deverá ser posteriormente seco em um sistema de pós-secagem a fim de ser possível à elevação do teor de sólidos de 20% (aproximadamente) para cerca de 50% de m.s.

4.3 Desenvolvimento da investigação experimental

A investigação experimental foi dividida em etapas, a saber:

Etapa 1: Execução de ensaios de condicionamento do lodo com polímeros, com gradiente de velocidade e tempo de condicionamento fixados respectivamente em 100s^{-1} , 250s^{-1} e 90 segundos, objetivando determinar valores de dosagem, mais adequados, visando a otimização da operação unitária de desidratação.

Etapa 2: Determinação da concentração do agente oxidante Cloro Residual Total (CRT) em meio aquoso que foi utilizado nas etapas da investigação experimental para balizar o consumo. E preparação de Permanganato de Potássio (KMnO_4) a concentração de 1,0 g/L para utilização em ensaio cinético com o lodo.

Etapa 3: Execução de ensaios cinéticos de oxidação química do lodo para diversas dosagens de agente oxidante cloro e permanganato de potássio, para obtenção de curvas de oxidação através de leituras de potencial redox em potenciômetro equipado com eletrodo que mede potencial de oxidação e redução.

Etapa 4: Execução de ensaios de condicionamento e filtrabilidade para lodos provenientes de decantadores condicionados com e sem cloro e permanganato de potássio, seguido de polímero.

Etapa 5: Realização de análises de pH, potencial redox, sólidos totais, fixos e voláteis no lodo equalizado antes da oxidação química com cloro e permanganato de potássio. E, posteriormente após a oxidação química com estes oxidantes, realização de medidas de pH e potencial redox. Buscou-se desta forma, um potencial redox que resultasse em menor consumo de polímeros.

A maioria dos ensaios foi realizada na planta de adensamento e desidratação de lodo da ETA Taiapuêba. Apenas o ensaio de determinação de concentração de cloro residual total, foi executado no laboratório da ETA.

4.3.1 Ensaios referentes ao tempo de agitação e gradiente de velocidade no condicionamento do lodo

Devido à importância do gradiente de velocidade, sendo este dependente da geometria do reator e do tipo de hélice utilizada, considerou-se nestes ensaios a utilização de um “jar-test” com três reatores quadrados e hélices que proporcionam fluxo axial. O equipamento aqui utilizado, indicado nas fotos da figura 18, é provido de parametrização de fábrica que indica e mantém constante o gradiente de velocidade. Tais parâmetros foram medidos e calculados para uso em água. Não calculou-se o gradiente de velocidade para uso do lodo, pelo fato de não ter sido possível alterar as configurações do aparelho de “jar-test”, e as amostras estudadas terem valores de peso específico próximos do encontrado para água.



Figura 18 – Fotos do sistema de “Jar-test” utilizado

Sendo também o tempo de agitação no condicionamento do lodo, um parâmetro importante, foram conduzidos ensaios de condicionamento e determinação do tempo de filtrabilidade para o lodo proveniente dos decantadores da ETA Taiapuêba, com as seguintes combinações de gradiente de velocidade, tempo de condicionamento e dosagem de polímero, conforme a tabela 2.

Tabela 2 – Ensaios de condicionamento químico de lodo com polímeros adaptada dos testes realizados por (FERNANDES, 2002)

Ensaio	Gradiente Gs ⁻¹	Gradiente Gs ⁻¹	Dosagem de Polímero (kg/tms)	Condicionamento Químico Tempo (s)
1	100	-	1	90
2	100	-	2	90
3	100	-	3	90
4	100	250	4	90
5	100	-	5	90
6	100	250	6	90
7	100	250	7	90
8	100	-	8	90
9	100	-	9	90
10	100	-	10	90
11	100	-	11	90
12	100	-	12	90
13	100	-	13	90

O tempo de condicionamento estudado foi de 90 segundos, pelo fato de ensaios preliminares terem indicado que para tempos de mistura pré fixados, inferiores a 90 segundos, não foram suficientes para a boa formação dos flocos. O gradiente de velocidade foi fixado em 100s^{-1} para lodo com teores de sólidos inferiores a 3,0% de massa seca (ms). Para lodo com teores de sólidos superiores a 3,0%, foi necessário aumentar o gradiente de velocidade para 250s^{-1} , pelo fato de não ter ocorrido mistura suficiente para proporcionar a floculação em gradiente de velocidade de 100s^{-1} , para os lodos com teores de sólidos maiores ou iguais a 3,0% de massa seca, não foi possível considerar gradientes de velocidade para condicionamento químico inferiores a 250s^{-1} . Nesta condição, não se obtém mistura suficiente para propiciar a floculação.

Estes ensaios objetivaram fixar a rotação e o tempo de condicionamento que foram utilizados no decorrer da investigação experimental.

Estes parâmetros foram determinados para facilitar a análise dos valores obtidos do tempo de filtração, uma vez que quanto menores estes valores, melhor a desidratabilidade do lodo.

Para os ensaios de condicionamento, foram coletados 60 L de lodo, de modo a atender a demanda dos testes propostos. Desta forma, cada coleta foi considerada como sendo um lote específico para preservar as características do lodo durante os testes. Tal medida foi tomada para evitar variação na qualidade físico-química do lodo utilizado. Assim sendo, buscou-se garantir a qualidade e integridade da amostra estudada para evitar falsas conclusões.

Para cada lote identificado com a data de coleta, foram realizadas análises de sólidos, pH e ORP, para posteriormente efetuar ensaios com variação 1,0 a 13,0 (kg/tms) na dosagem de polímero. Utilizou-se para isso, “jar-test” com cubas quadradas, onde foram adicionados 2,0 L de lodo proveniente dos decantadores. A partir daí, coletou-se sob agitação, 250 mL de lodo medido em béquer de 250 mL para a realização do teste de filtração.

Foram utilizados para o condicionamento do lodo, polímeros catiônicos e aniônicos de dois fornecedores distintos na busca de melhores resultados de desaguamento para o lodo da ETA Taiacupeba. A Tabela 3 relaciona os tipos de polímeros utilizados e suas características. Trataremos os respectivos polímeros, conforme sua identificação nesta tabela. Como exemplo, polímero 1: catiônico de alto peso molecular, média densidade de carga, granular de cor branca.

Tabela 3 – Características e tipos de polímeros utilizados

Identificação do fabricante	Polímero Utilizado	Fabricante	Tipo de Polímero	Peso Molecular	Carga do Polímero	Aparência
LT22S	1	BASF	Catiônico	Alto	(+)Baixa	Granular
LT27	2	BASF	Aniônico	Alto	(-)Média	Granular
A100	3	KEMIRA	Aniônico	Alto	(-)Baixa	Granular
A110	4	KEMIRA	Aniônico	Alto	(-)Média	Granular
C1220	5	KEMIRA	Catiônico	Muito Alto	(+)Baixa	Granular
C494	6	KEMIRA	Catiônico	Alto	(+)Média	Granular
Zetag 8651	7	BASF	Catiônico	Alto	(+)Alta	Granular
LT25	8	BASF	Aniônico	Alto	(-)Baixa	Granular

As soluções de polímero utilizadas nos ensaios de condicionamento foram preparadas diariamente, com concentração igual a 0,1% (1.000 mg/L). Os procedimentos laboratoriais adotados no preparo de um volume de 1000 mL desta solução foram:

- Adicionou-se 500 ml de água destilada, medida em balão volumétrico, em uma cuba de “jar-test” com capacidade de 2000 mL;
- Calculou-se e pesou-se a massa equivalente em grama de polímero;
- Retirou-se da cuba o volume de água, necessário e equivalente a massa de polímero que foi adicionada;
- Com o auxílio do próprio copinho utilizado para a pesagem, adicionou-se a massa de polímero na cuba com o “jar-test” previamente ligado no manual. Teve-se o

cuidado de introduzir o polímero próximo a região central, impedindo-o que ficasse aderido às paredes ou às hastes do agitador;

- Homogeneizou-se a mistura por 10 minutos;
- Adicionou-se mais 500 ml de água destilada, medida em balão volumétrico para completar um litro de solução;
- Homogeneizou-se a mistura por mais 10 minutos;
- Deixou-se a solução em repouso por 20 minutos;
- Agitou-se novamente por mais 20 minutos antes da utilização.
- Tal procedimento foi adotado para garantir a completa abertura da cadeia polimérica dos polímeros, evitar a formação de grumos e garantir a qualidade dos ensaios. A figura 19 mostra a foto de uma das seqüências da preparação do polímero. Pode-se observar a adição de polímero em pó, próximo ao centro da cuba. Este procedimento visa evitar a formação de grumos e aderência do polímero nas paredes da cuba.



Figura 19 – Foto da adição de polímero em pó em uma cuba de “jar-test”

Para os ensaios referentes ao tempo de filtração, coletou-se sob agitação, 250 mL de lodo floculado medido em béquer de 250 mL, para posterior transferência e filtração no sistema montado para essa finalidade. As filtrações foram realizadas após a montagem do conjunto de filtração que era composto por bomba de vácuo com manômetro de 0 a 1 Bar, cilindro volumétrico de 250 mL com gargalo, adaptador de vidro com armação lateral para fixação entre proveta e funil de Büchner, funil de Büchner nº5 115 mm, suporte universal, abraçadeira, kitassato de 500 mL, mangueira de látex, válvula para regulagem de vácuo e cronômetro. Considerou-se como volume de referência, 100 mL de filtrado, o equivalente a 40,0% do total da amostra adicionada (250 mL), para filtração sob vácuo constante de 0,5 Bar. A figura 20 mostra a foto do sistema de filtração utilizado, conforme descrito por (ADANS, 1981 GRANDIN, 1992 apud FERNANDES, 2002).



Figura 20 – Foto mostrando o esquema de montagem do sistema de filtração conforme (ADAMS, 1981 GRANDIN, 1992)

Todas as filtrações foram realizadas em papel de filtro do fornecedor F. Maia - Faixa Branca Ref. 40, teor de cinzas menor igual 0,0008 g.

4.3.2 Ensaio relativo à oxidação química do lodo com cloro e o seu efeito no condicionamento químico e desidratação

O principal propósito da execução de ensaios experimentais que objetivam determinar o comportamento cinético do Cloro, anteriormente ao condicionamento do lodo com polímero, é estabelecer um valor para o consumo de oxidante em função do potencial de redução do lodo. Tendo-se como premissa, balizar os ensaios dentro de

uma margem de potencial redox conhecida. Desta forma, facilita a comparação entre o comportamento dos oxidantes estudados.

Para os ensaios de determinação da concentração dos agentes oxidantes em meio aquoso que foram utilizados nas etapas da investigação experimental com cloro, foi utilizado o método DPD para quantificação total (CRT). Este método consiste na titulação das espécies ionizáveis do cloro disponível em água clorada. O DPD (N,N-dietil-p-fenileno-diamina), em solução ácida, dissolvido na amostra pré-alcalinizada com fosfato, forma um tampão de pH na faixa de 6,2 a 6,5. A (DPD), na ausência de íons iodeto, reage com cloro livre, produzindo uma coloração róseo-avermelhada. A adição de Iodeto de Potássio atua cataliticamente acelerando a reação de cor entre o DPD e as cloraminas, tornando-se possível a determinação do cloro total. Os procedimentos laboratoriais aqui adotados foram:

- Coletou-se uma amostra de água clorada junto à operação da ETA Taiacupeba;
- Efetuou-se a coleta de uma alíquota da amostra com pipeta volumétrica de (5,0 mL);
- Executou-se a diluição da alíquota de 5,0 mL de água clorada em um balão volumétrico de 1000 mL
- Completou-se o titulador, com solução de sulfato ferroso amoniacal;
- Lavou-se um erlenmeyer de 250 mL com água deionizada e adicionou-se neste, 5 mL de solução tampão pH 6,2 e 5 mL de solução indicadora de Cloro DPD;
- Coletou-se 100 mL de amostra com uma proveta graduada e transferiu-se para o erlenmeyer. A amostra adquire a coloração rósea ao ser transferida para o erlenmeyer, contendo as soluções e amostra com cloro.
- Determinou-se o residual de cloro total, adicionando-se na amostra com uma espátula, cristais de iodeto de potássio, em seguida, gradativamente a solução de sulfato ferroso amoniacal até se obter o ponto de viragem da titulação (rósea para incolor), de modo que o residual de cloro total fosse inferior a 5,0 mg/L, tal medida é necessária devido ao limite de detecção do método. Valores acima de 5,0 mg/L,

levam a erros de determinação da concentração devido a oxidação da solução indicadora (DPD) pelo cloro. Na figura 21, tem-se a foto do equipamento utilizado para a determinação do cloro residual total e o desenvolvimento de cor devido a adição do indicador DPD, solução tampão pH 6,2 iodeto de potássio e pela presença de cloro na amostra.



Figura 21 – Foto do titulador utilizado na determinação do cloro pelo método DPD

- Uma vez conhecido o volume (mL) de sulfato ferroso amoniacal, multiplica-se este pelo fator de correção da solução para se obter a concentração em mgL^{-1} ;
- Calculou-se a concentração de cloro da solução inicial (água clorada sem diluição), multiplicando-se a concentração de cloro residual total da amostra diluída, pelo fator de diluição. Como
- Coletou-se uma amostra de 2,0 L de lodo proveniente dos decantadores;

- Determinou-se o potencial redox inicial do lodo com o uso de um potenciômetro e eletrodo específico calibrado para esse fim, com o lodo sob agitação, através de um agitador mecânico;
- Determinou-se o pH inicial do lodo com o uso de um potenciômetro e eletrodo específico calibrado para esse fim, com o lodo sob agitação, através de um agitador mecânico;
- Completou-se uma bureta de 50,0 mL com água clorada;
- Iniciou-se a adição gradativa da água clorada na amostra de lodo sob agitação;
- A cada adição, determinou-se o respectivo pH e potencial redox, alternando os eletrodos de medição, para evitar possíveis interferências na leitura;
- Na figura 22, visualiza-se a foto do esquema montado para adição de água clorada e determinação de pH e potencial redox, após cada adição. Foram utilizados os seguintes equipamentos: um conjunto com bureta de 50,0 mL, composto de: suporte universal para bureta, haste e garra, béquer de 1000 mL, agitador magnético, eletrodo de pH, eletrodo de redox e potenciômetro modelo pH250 da marca Policontrol.

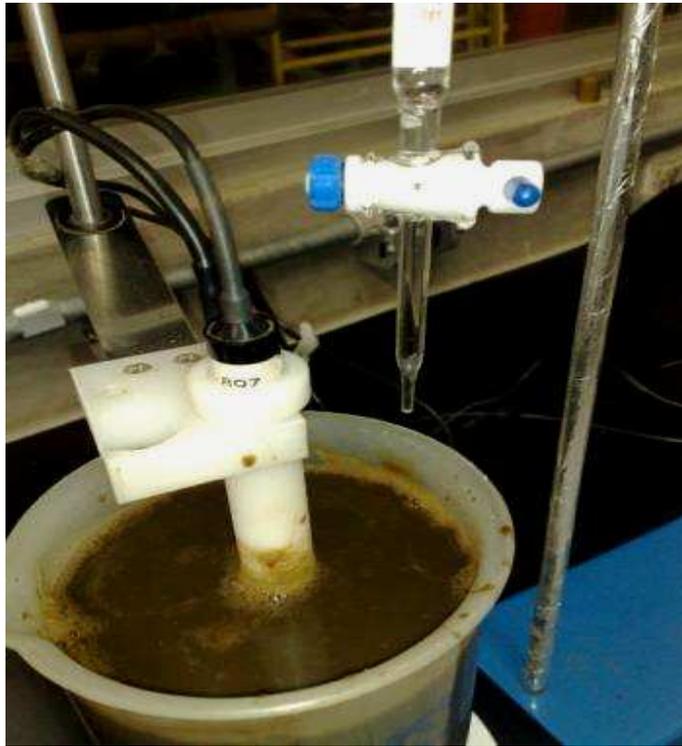


Figura 22 – Foto da aparelhagem montada para adição de água clorada e determinação de pH e potencial redox

- Elaborou-se curva de oxidação do lodo em função da adição de cloro residual total;
- Calculou-se o consumo de cloro em kg de cloro adicionado por tonelada de massa de lodo seco, com base nos resultados de análise de sólido e volume de lodo testado;
- Elaborou-se curva de evolução de pH em função da adição de cloro (kg de cloro/tms);
- Avaliou-se o comportamento do pH em função da adição de cloro residual total.

4.3.3 Ensaio relativo à oxidação química do lodo com permanganato de potássio e o seu efeito no condicionamento químico e desidratação

O principal propósito da execução de ensaios experimentais que objetivam determinar o comportamento cinético do KMnO_4 , anteriormente ao condicionamento do lodo com polímero, é estabelecer um valor para o consumo de oxidante em função do potencial de redução do lodo. Tendo-se como premissa, balizar os ensaios dentro de uma margem de potencial redox conhecida. Desta forma, facilita a comparação entre o comportamento dos oxidantes estudados.

Sendo o permanganato de potássio (KMnO_4), um oxidante forte usado em conjunto com outras tecnologias de tratamento para resolver problemas específicos do tratamento de água, optou-se pelo uso nos ensaios de oxidação do lodo como alternativa para comparação dos efeitos cinéticos entre oxidantes distintos. Quimicamente, o permanganato de potássio é classificado como um oxidante, ele converte compostos, substâncias passíveis de serem oxidadas, tais como Fe^{2+} , Mn^{2+} , H_2S e matéria orgânica em seus correspondentes oxidados. A ação deste oxidante faz com que o meio onde foi adicionado, passe para a forma oxidada. Sendo assim, buscou-se neste estudo, oxidar o lodo proveniente dos decantadores da ETA Taiapuê para avaliar o efeito cinético em função de: dosagem de permanganato de potássio, carga de sólidos dos lodos, variação do potencial redox, variação do pH e consumo de polímeros.

Neste sentido, seguiram-se as seguintes etapas, a saber:

- Contatou-se um fornecedor de permanganato de potássio, para aquisição de uma pequena quantidade para realização dos testes;
- De posse do permanganato de potássio (KMnO_4), pesou-se em uma balança analítica com precisão de quatro casas decimais, um grama do sal;

- Efetuou-se a diluição em um balão volumétrico de 1000 mL;
- Uma vez conhecida a concentração da solução de permanganato (1,0 g/L), preparou-se um conjunto com bureta de 50,0 mL, composto de: suporte universal para bureta, haste e garra;

Na figura 23, tem-se a foto da balança utilizada para a quantificação da massa de permanganato utilizada na preparação da solução.

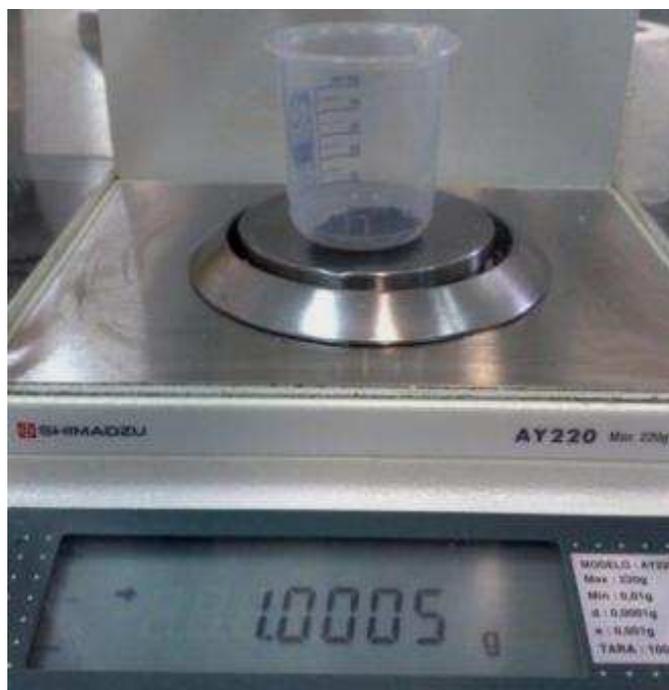


Figura 23 – Foto da balança utilizada para quantificação de massa de permanganato de potássio

- Posteriormente, coletou-se uma amostra de 2,0 L de lodo proveniente dos decantadores;
- Determinou-se o potencial redox inicial do lodo com o uso de um potenciômetro e eletrodo específico calibrado para esse fim, com o lodo sob agitação, através de um agitador mecânico;

- Determinou-se o pH inicial do lodo com o uso de um potenciômetro e eletrodo específico calibrado para esse fim, com o lodo sob agitação, através de um agitador mecânico;
- Completou-se uma bureta de 50,0 mL com solução de permanganato de potássio;
- Iniciou-se a adição gradativa da solução de permanganato de potássio na amostra de lodo sob agitação, através de um agitador mecânico;
- A cada adição, determinou-se o respectivo pH e potencial redox, alternando os eletrodos de medição, para evitar possíveis interferências na leitura.
- Na figura 24 observa-se a foto que mostra a montagem da aparelhagem utilizada para dosagem de permanganato de potássio no lodo. Utilizou-se aqui, uma bureta de 50,0 mL, suporte universal para bureta, haste, garra e agitador magnético.



Figura 24 – Foto da aparelhagem utilizada para adição de permanganato de potássio.

- Elaborou-se curva de oxidação do lodo em função da adição de permanganato de potássio;
- Calculou-se o consumo de permanganato de potássio adicionado por tonelada de massa de lodo seco, com base nos resultados de análise de sólido e volume de lodo testado;
- Elaborou-se curva de evolução de pH em função da adição de permanganato (kg de permanganato por tonelada de massa seca);
- Avaliou-se o comportamento da variação de valores de pH em função da adição de permanganato de potássio. A figura 25 possibilita visualizar foto parcial da adição de permanganato de potássio na amostra de lodo, com destaque para o béquer, bureta e eletrodo. A cada adição de 2 mL, foi realizada a leitura de pH e de potencial redox.



Figura 25 – Foto da oxidação do lodo com adição de permanganato de potássio

4.3.4 Estatística aplicada

Para análise de ensaios experimentais foram aplicados valores estatísticos com finalidade de coletar, organizar, resumir, analisar e apresentar dados. Trata-se de parâmetros como: contagem, média aritmética, mediana, assimetria, curtose, mínimo, máximo, nível de confiança, desvio padrão, variância e moda. Conforme resultados obtidos nos testes, analisados através da ferramenta Excel, produto registrado pela Microsoft®.

Seguidamente o objetivo do estudo estatístico pode ser o de estimar uma quantidade ou testar uma hipótese, utilizando-se técnicas estatísticas convenientes, na medida em que vão permitir tirar conclusões de uma pequena amostra, dando-nos ainda uma medida do erro cometido.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Considerações Gerais

O presente estudo foi dividido em cinco etapas: I) Execução de ensaio de condicionamento do lodo com polímeros, em jarros de teste para determinar valores de dosagem, mais adequados, à operação unitária de desidratação; II) Determinação da concentração do agente oxidante Cloro Residual Total (CRT) em meio aquoso e preparação de Permanganato de Potássio (KMnO_4) a concentração de 1,0 g/L para utilização em ensaios cinéticos com lodo; III) Execução de ensaios cinéticos de oxidação química do lodo para diversas dosagens de agente oxidante cloro e permanganato de potássio; IV) Execução de ensaios de condicionamento e filtrabilidade para lodos provenientes de decantadores condicionados com e sem cloro e permanganato de potássio, seguido de polímero; V) Realização de análises de pH, potencial redox, sólidos totais, fixos e voláteis no lodo equalizado antes da oxidação química com cloro e permanganato de potássio. E, posteriormente após a oxidação química com estes oxidantes, realização de medidas de pH e potencial redox. Na tabela 4, visualizam-se as cinco etapas da realização dos ensaios realizados. Em vários momentos do estudo, as etapas de um a cinco, ocorreram concomitantemente.

Tabela 04 – Etapas de desenvolvimento do estudo

ETAPAS	DESCRIÇÃO
I	Ensaio de condicionamento do lodo com polímeros, em jarros de teste para determinar valores de dosagem, mais adequados, à operação unitária de desidratação.
II	Determinação da concentração do agente oxidante Cloro Residual Total (CRT) em meio aquoso e preparação de Permanganato de Potássio (KMnO ₄) a concentração de 1,0 g/L para utilização em ensaios cinéticos com lodo.
III	Ensaio cinéticos de oxidação química do lodo para diversas dosagens de agente oxidante cloro e permanganato de potássio.
IV	Ensaio de condicionamento e filtrabilidade para lodos de decantadores, condicionados com e sem cloro e permanganato de potássio, seguido de polímero.
V	Realização de análises de pH, potencial redox, sólidos totais, fixos e voláteis no lodo equalizado antes da oxidação química com cloro e permanganato de potássio. E, posteriormente após a oxidação química com estes oxidantes, realização de medidas de pH e potencial redox.

Conforme dados apresentados na revisão da literatura (RICHTER, 2001) página 5. O teor de sólido do lodo de decantadores (lodo bruto) apresentou variação de 0,1 a 4%. Entretanto estes valores podem variar em função das características das águas, do tipo de manancial, da tecnologia de tratamento adotada, produtos químicos utilizados, tipo de descarga dos decantadores (contínua ou por batelada) e forma de controle operacional da ETA. Foi constatado aqui, para lodos de decantadores convencional, teores de sólidos totais compreendidos na faixa de 0,31 a 3,2%.

As características químicas observadas no lodo foram, valores de pH, que variaram de valores 5,18 a 7,12. Constatou-se que o aumento de valores pH, para índices acima da média, se deu devido a influência de presença de algas no manancial (confirmado junto à operação de ETA). Também foi possível verificar no lodo estudado, variação nos teores de sólidos voláteis de 0,15 a 0,97% e para os sólidos fixos de 0,16 a 1,02%, o que equivale dizer que os sólidos fixos e voláteis em termos de percentual em relação aos sólidos totais, variaram respectivamente de 41% a 53% e 47% a 59%. Nas amostras estudadas, tem-se a predominância de sólidos voláteis pelo fato da

captação de água bruta para tratamento na ETA, ser realizada em manancial de superfície com presença de algas e outros compostos orgânicos.

5.2 Resultados dos ensaios de condicionamento do lodo com polímeros, em “jar-test” para determinar valores de dosagem, mais adequados, à operação unitária de desidratação – Etapa I

Durante a execução dos testes de condicionamento químico do lodo com polímeros, foi necessário alterar o gradiente de velocidade de 100s^{-1} para 250s^{-1} para lodos com teores de sólidos superiores a 3,0%. Desta forma, para os lotes 4, 6 e 7 foram adotados o gradiente de 250s^{-1} . A tabela 5 relaciona os polímeros utilizados conforme identificação, lotes de lodo testado, resultados de potencial redox e valores de teores de sólido encontrado nos respectivos lotes de lodo, melhores dosagens de polímeros e melhores tempo de filtração por lote de lodo e tipo de polímero utilizado (catiônico ou aniônico com diferente densidade de carga e peso molecular). Esta tabela foi elaborada a partir dos melhores valores encontrados para floculação, dosagem de polímero e tempo de filtração. Utilizou-se a ferramenta classificar e filtrar do Excel®. Os resultados obtidos podem ser verificados no anexo C, Tabela C1 Resultados dos ensaios de pH, teores de sólidos, consumo de polímero e tempo de filtração para lodo de ETA oxidado e ou sem oxidação com cloro ou permanganato de potássio p.142.

Tabela 5 - Resultados dos ensaios de condicionamento do lodo com polímeros

Polímero utilizado	Lote da Amostra de lodo	Lodo Bruto E = (mv)	Teor de Sólidos Totais (% ms)	Melhor Dosagem (kg/tms)	Melhor tempo de filtração (s)
1	1	170	1,14	12	22,00
4	2	75,8	2,00	4	300,00
5	2	75,8	2,00	9	18,06
6	2	75,8	2,00	6	17,30
1	2	75,8	2,00	8	17,22
2	2	75,8	2,00	4	300,00
4	3	-44,1	2,30	4	300,00
5	3	-44,1	2,30	9	20,00
1	3	-44,1	2,30	8	19,00
2	3	-44,1	2,30	4	300,00
7	3	-44,1	2,30	8	20,2
3	4	174,7	3,20	5	300,00
8	4	174,7	3,20	5	300
5	5	75,8	2,00	10	20,56
6	5	75,8	2,00	4	205,17
1	5	75,8	2,00	12	19,51
7	5	75,8	2,00	6	16,31
3	6	179,2	3,10	3	300,00
7	6	179,2	3,10	4	12,53
2	6	179,2	3,10	12	13,5
6	7	-57,3	3,20	7	13,72
6	7	-57,3	3,20	3	24,6
2	7	-57,3	3,20	10	11,09
2	7	-57,3	3,20	6	22,00

Através da avaliação dos dados estatísticos (mínimo, máximo, média aritmética, mediana e moda), calculados com o uso da ferramenta Excel®. Foi possível identificar os melhores resultados tanto para o consumo de polímero quanto para os melhores tempo de filtração. Na tabela 6, tem-se os dados estatísticos que possibilitaram identificar os melhores tempo de filtração.

Tabela 6 - Dados estatísticos – condicionamento do lodo com polímeros

Dados Estatísticos	Lodo Bruto E = (mv)	Teor de Sólidos Totais (% m.s)	Melhor Tempo de Filtração (s)
Contagem	24	24	24
Mínimo	-57,30	1,14	11,09
Máximo	179,20	3,20	300,00
Média	54,61	2,45	115,71
Mediana	75,80	2,30	20,56
Moda	75,80	2,00	300,00
Desvio Médio	75,30	0,52	125,10
Desvio Padrão	89,45	0,59	134,28
Variância	8001,25	0,35	18031,42
Assimetria	0,03	0,06	0,67
Curtose	-1,39	-0,94	-1,64

Foram realizados 406 ensaios no total, considerando-se, oito tipos de polímeros, entre os catiônicos (1; 6; 5 e 7), entre os aniônicos (4; 3; 2 e 8) e dosagens de 1 a 13 kg de polímero por tonelada de massa seca (kg/tms). Esses dados, foram extraídos do anexo C Tabela C1 Resultados dos ensaios de pH, teores de sólidos, consumo de polímero e tempo de filtração para lodo de ETA oxidado e ou sem oxidação com cloro ou permanganato de potássio.

Do total estudado, em 238 testes ocorreu floculação conforme esperado, sendo utilizado na etapa de filtração. Para as análises foram selecionados os melhores resultados de tempo de filtração e dosagem para cada polímero catiônico e aniônico, aplicado nos testes. Sendo assim, foram analisados graficamente os resultados para filtração e dosagem, conforme curvas presentes nas figuras 26 e 27.

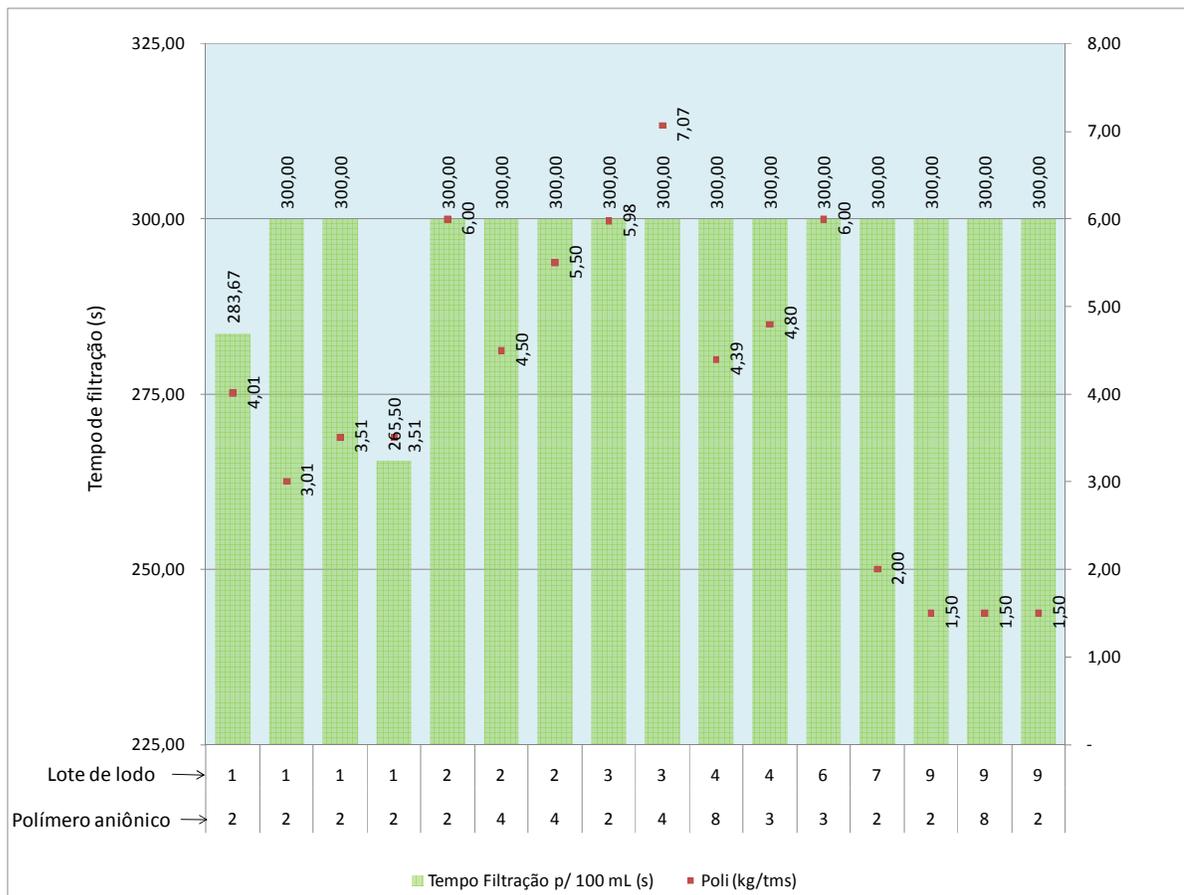


Figura 26 - Tempo de filtração e dosagem de polímero aniônico em amostra de lodo de decantadores

Os testes que resultaram em menor consumo foram respectivamente para os lotes de lodo 9, 7 e 1 e para os polímeros aniônicos de alto peso molecular, de baixa e média carga (1,5 a 4,0 kg/tms), como ilustra a figura 26. Por outro lado os resultados referente ao tempo de filtração, indicaram que os polímeros aniônicos mencionados acima, não são adequados para aplicação em sistemas de desidratação de lodo por centrifugas.

Comparando-se as figuras 26 e 27, observa-se que as amostras de lodo que foram condicionadas com os polímeros catiônicos, apresentaram maior consumo

quando comparado com as amostras que foram condicionadas com polímeros aniônicos. Os polímeros catiônicos de alto peso molecular baixa, média e alta carga, foram mais eficientes quando comparamos os tempos obtidos nos testes de filtração para os aniônicos. Destacaram-se, os respectivos lotes de lodo (3; 1; 2 e 9) e polímeros catiônicos seguidos dos melhores tempo de filtração, o 7 de alto peso molecular e alta carga, consumo de 4,0 kg/tms, 27,80s; 1 de alto peso molecular e baixa carga com 7,0 kg/tms, 34,50s, e 6, com alto peso molecular e média carga, consumo de 4,0 kg/tms e tempo de filtração em 44,61s.

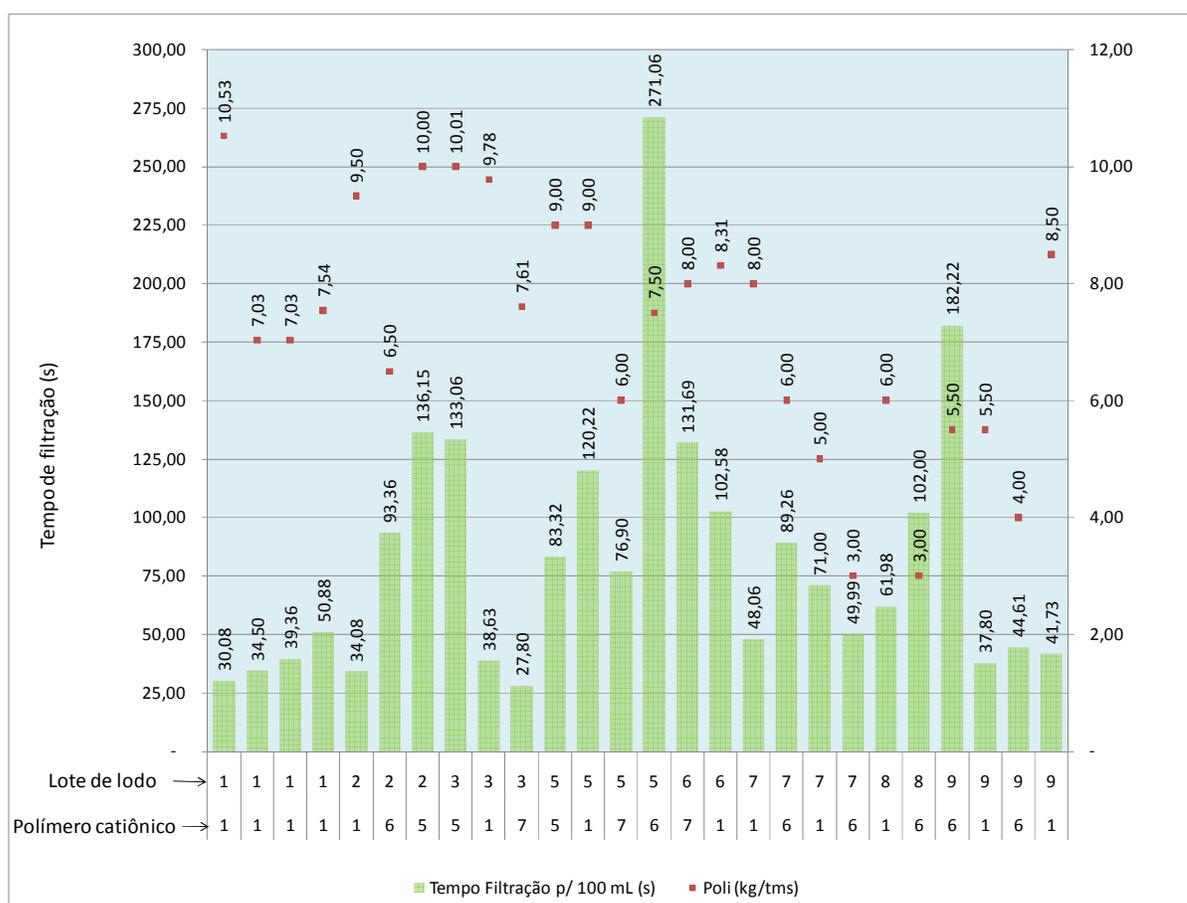


Figura 27 - Tempo de filtração e dosagem de polímero catiônico em amostra de lodo de decantadores

5.3 Resultados da concentração do agente oxidante Cloro Residual Total (CRT) em meio aquoso e preparação de Permanganato de Potássio (KMnO₄) - Etapa II

Para apresentação dos resultados referentes a análise de cloro residual total, foi necessário coletar amostra de água clorada junto a operação da ETA. Foi preciso, deslocarmos até a linha de água clorada utilizada para afetuar a intercloração (etapa de cloração de água decantada antes da filtração). A partir daí, efetuamos a coleta em uma válvula previamente projetada para esse tipo de operação. A diluição da amostra, de modo que a concentração final não ultrapassasse, 5 mg/L (limite do método), foi obrigatória. Adotou-se fator de diluição (1/200) conforme pode ser verificado na equação (5.1). Sendo o volume do balão utilizado 1000 mL, a alíquota necessária de água de cloro foi de 5,0 mL.

Após a titulação, multiplicou-se o volume gasto da solução titulante pelo fator de correção desta.

$$\text{mg CRT/L} = (V_1 * FC) \tag{5.1}$$

onde, V_1 é igual ao volume gasto de sulfato ferroso amoniacal e FC igual fator de correção do sulfato ferroso amoniacal. A partir daí multiplicou-se o valor encontrado pelo fator de diluição (200), para determinação da concentração de cloro na amostra sem diluição (utilizada nos testes). Para obtenção da transformação da concentração de mg CRT/L para g CRT/L, efetuou-se a conversão de unidades conforme equação (5.2). Deste modo, possibilitou-se calcular a concentração de CRT em kg/tms conforme descrito nas equações (5.3 e 5.4), para comparação de custos com o consumo de polímero.

Os resultados de concentração encontrados foram respectivamente de 0,99 g/L e 1,23 g/L, sendo necessário para este, diluição de 400 vezes.

Para apresentação do resultado de concentração de permanganato de potássio, preparou-se uma solução de concentração de 1g/L. Através de diluição simples da massa de permanganato em um balão volumétrico de 1000 mL. Posteriormente, aplicou-se as equações 5.5 e 5.6 para comparação de custos com o consumo de polímero.

$$\text{kg Permanganato}/(\text{tms}) = \frac{V_{\text{Permanganato}}(\text{L}) \times C_{\text{permanganato}}\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}{V_{\text{lodo}}(\text{m}^3) \times C_{\text{lodo}}\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)} \quad (5.5)$$

$$\text{kg Permanganato}/(\text{tms}) = \frac{V_{\text{permanganato}}(\text{L})}{V_{\text{lodo}}(\text{m}^3)} \quad (5.6)$$

5.4 Resultados dos ensaios cinéticos de oxidação química do lodo para diversas dosagens de agente oxidante cloro e permanganato de potássio - Etapa II

5.4.1 Resultados dos ensaios cinéticos de oxidação do lodo para diversas dosagens de agente oxidante cloro

Para os ensaios cinéticos desenvolvidos, estudou-se os valores de pH e potencial redox, adicionou-se gradativamente 1mL por adição, totalizando-se 171 mL de água clorada com concentração conhecida de 1,23 g/L. A medida que foram ocorrendo as adições de cloro, foi possível observar decaimento nos valores de pH e nos valores de potencial redox, quando da adição de até 5 mL. O equivalente a 0,37 kg

de cloro por tonelada de massa seca. A partir daí, observou-se um aumento nos valores referentes às leituras de potencial redox enquanto que as medições de pH continuavam indicando valores cada vez menores. Os respectivos dados encontram-se no anexo D Tabela D1 Efeito cinético da adição de cloro em lodo de ETA, página 155. As tabelas foram montadas considerando-se lançamentos a cada 5 adições. A tabela 7 ilustra correlação entre a dosagem de cloro com o pH e potencial redox.

Tabela 7 – Correlação entre dosagem de cloro com potencial redox e pH

Correlação:	
Cloro (kg/tms) Vs pH	-0,9976
Cloro kg/(tms) Vs Potencial redox (mV)	0,9828
Potencial redox (mV) Vs pH	-0,9869

Observou-se uma excelente correlação entre a dosagem de cloro e potencial redox. Também foi possível verificar correlação muito boa entre pH e dosagem de cloro e entre pH e potencial redox. As correlações encontradas indicam que é possível adotar o uso de potenciômetros com leituras em potencial redox para controle de processos de tratamento de lodo.

Na figura 28, é possível visualizar o efeito cinético da adição de cloro no lodo para os valores de pH e potencial redox (ORP).

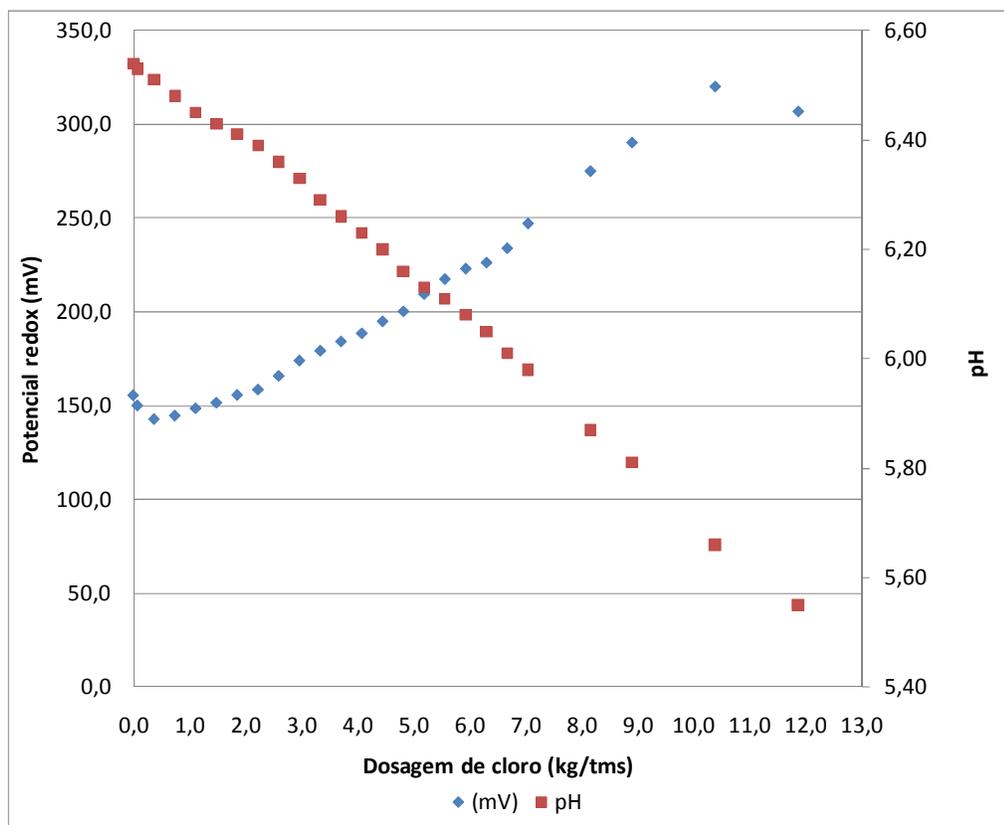


Figura 28 – Efeito cinético da adição de cloro no lodo para os valores de pH e potencial redox

Conforme correlação apresentada na tabela 7, e evolução dos dados ilustrados na figura 28, observou-se que as grandezas pH e dosagem de cloro, são inversamente proporcionais. Por outro lado, comportaram-se como grandezas diretamente proporcionais, dosagem de cloro e potencial redox.

A tabela 8, mostra os dados estatísticos referente aos valores de pH e potencial redox. Para o pH é possível observar uma variação de 5,53 a 6,54 enquanto que os valores de ORP oscilaram de 143 a 323,90 mV.

Tabela 8 – Dados estatísticos - Efeito do cloro sobre pH e ORP

Dados estatísticos	Consumo de Cloro (kg/tms)	(mV)	pH
Contagem	171,00	115,00	115,00
Mínimo	0,00	143,00	5,53
Máximo	12,60	323,90	6,54
Média	6,30	201,32	6,18
Mediana	6,30	190,30	6,22
Moda		155,70	6,52
Desvio Médio	3,17	39,96	0,20
Desvio Padrão	3,67	49,10	0,25
Variância	3,67	49,10	0,25
Assimetria	3,67	49,10	0,25
Curtose	-1,20	-0,10	0,01

5.4.2 Resultados dos ensaios cinéticos de oxidação do lodo para diversas dosagens de agente oxidante permanganato de potássio

Para os ensaios cinéticos desenvolvidos aqui, estudou-se os valores de pH e potencial redox, adicionou-se gradativamente 2 mL sob adição, totalizando-se 100 mL de permanganato de potássio com concentração conhecida de 1,0 g/L. A medida que foram ocorrendo as adições de permanganato de potássio, foi possível observar decaimento nos valores de pH e aumento constante nas leituras de potencial redox, até adição de 40 mL. O equivalente a 2,0 kg de permanganato de potássio por tonelada de massa seca. A partir daí, observou-se um aumento nos valores referentes às leituras de potencial redox e pH. Os dados referentes ao desenvolvimento deste ensaio, encontram-se no anexo E Tabela E1 Efeito cinético da adição de permanganato de potássio em lodo de ETA, página 157. Foi necessário aguardar 5,0 minutos antes de cada adição, devido a instabilidade na leitura tanto para pH quanto para ORP. As leituras para

potencial redox, mostraram-se menos estáveis que para o pH. A tabela 9, ilustra correlação entre o permanganato de potássio com o pH e potencial redox.

Tabela 9 - Correlação entre dosagem de permanganato de potássio com potencial redox e pH.

Correlação:	
KMnO ₄ (kg/tms) Vs pH	0,9030
KMnO ₄ (kg/tms) ORP(mV)	0,9081
ORP(mV) Vs pH	0,9030

Observou-se boa correlação entre a dosagem de permanganato de potássio e potencial redox. Também foi possível verificar correlação igualmente boa entre pH e dosagem de permanganato de potássio e entre pH e potencial redox. Na figura 29, visualiza-se o efeito cinético da adição de permanganato de potássio para os valores de pH e potencial redox (ORP).

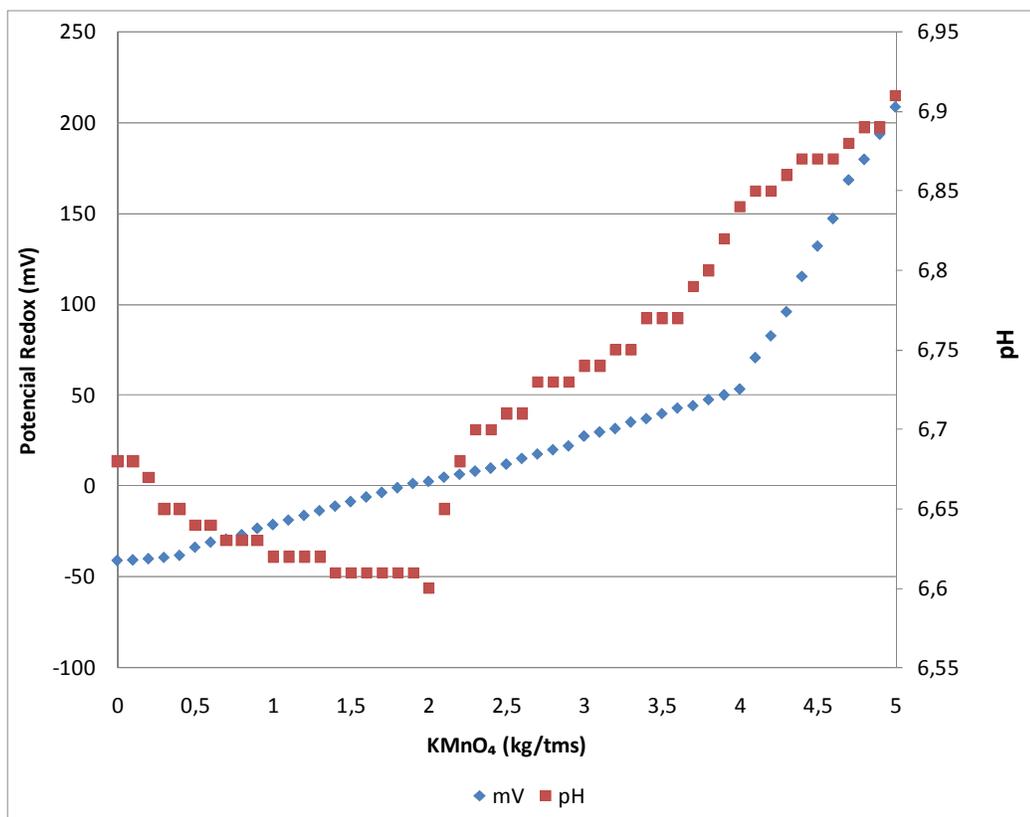


Figura 29 – Efeito cinético da adição de permanganato de potássio para os valores de pH e potencial redox

Conforme correlação apresentada na tabela 9, e evolução dos dados ilustrados na figura 29, observou-se que as grandezas pH, dosagem de permanganato de potássio e potencial redox, tem relação direta. A tabela 10, mostra os dados estatísticos referente à evolução do pH e potencial redox. Para o pH é possível observar uma variação de 6,60 a 6,91 enquanto que os valores de ORP variaram de -40,80 a 208,30mV.

Tabela 10 - Dados estatísticos - Efeito do permanganato sobre pH e ORP

Dados estatísticos	KMnO₄ (kg/tms)	Redox (mV)	pH
Contagem	51,00	51,00	51,00
Mínimo	0,00	-40,80	6,60
Máximo	5,00	208,30	6,91
Média	2,50	29,63	6,72
Mediana	2,50	12,10	6,71
Moda			6,61
Desvio Médio	1,27	47,50	0,08
Desvio Padrão	1,49	63,78	0,10
Variância	2,21	4067,62	0,01
Assimetria	0,00	1,33	0,45
Curtose	-1,20	1,17	-1,15

5.5 Resultados dos ensaios de condicionamento e filtrabilidade para lodos provenientes de decantadores condicionados com e sem cloro e permanganato de potássio, seguido de polímero – Etapa IV

A execução dos testes de condicionamento químico do lodo com polímeros, se deu com e sem pré-condicionamento com os oxidantes cloro e permanganato de potássio, devido a diferentes valores de teores de sólido encontrados nas amostras de lodo e pelo fato desses interferirem diretamente na eficiência da mistura para floculação, foi necessário alterar o gradiente de velocidade de $100s^{-1}$ para $250s^{-1}$ para as amostras de lodo com teores de sólidos superiores a 3,0%. Desta forma, para os lotes 4, 6 e 7 foram adotados o gradiente de $250s^{-1}$. A tabela 11 apresenta os dados referentes aos tipos de polímeros utilizados, amostras de lodo e seus respectivos lotes, valores de potencial redox, dosagem de polímeros e tempo de filtração, para as amostras de lodo sem oxidação, e oxidadas pelo cloro ou permanganato de potássio.

Tabela 11 – Dados de amostras de lodo sem oxidação e oxidadas pelo cloro e permanganato de potássio.

Polímero Utilizado	Lote da Amostra	Lodo Bruto E = (mV)	Lodo Oxidado E = (mV)	Melhor Dosagem (kg/tms)	Melhor tempo de filtração (s)
1	1	170		12	22,00
1	1	170	185,9	7	21,40
1	1	170	200	6	25,10
1	1	170	219	6	36,00
2	1	170	200	4	231,00
6	7	-57,3	10,4	3	24,60
1	7	-57,3	10,4	6	22,00
6	8	-57,3	-10,4	3	72,00
1	8	-57,3	-10,4	6	37,00
6	9	-57,3	10,6	4	30,20
6	9	-69	10,6	4	21,00
1	9	-57,3	10,6	8	31,00
2	9	-57,3	10,6	2	300,00
6	9	-57,3	10,6	4	35,00
1	9	-69	10,6	7	30,00
8	9	-57,3	10,6	2	300,00
2	9	-69	10,6	2	300,00

Foram realizados 406 ensaios no total, considerando-se, oito tipos de polímeros, entre os catiônicos (1; 6; 5 e 7), entre os aniônicos (4; 3; 2 e 8) e dosagens de 1 a 13 kg de polímero por tonelada de massa seca (kg/tms). Destes, sofreram oxidação pelo o cloro as representadas pelo lote de amostra de lodo 1 e 7 e pelo permanganato os lotes 8 e 9. Analisou-se graficamente os melhores resultados para filtração e dosagem, conforme apresentado na figura 30 e 31.

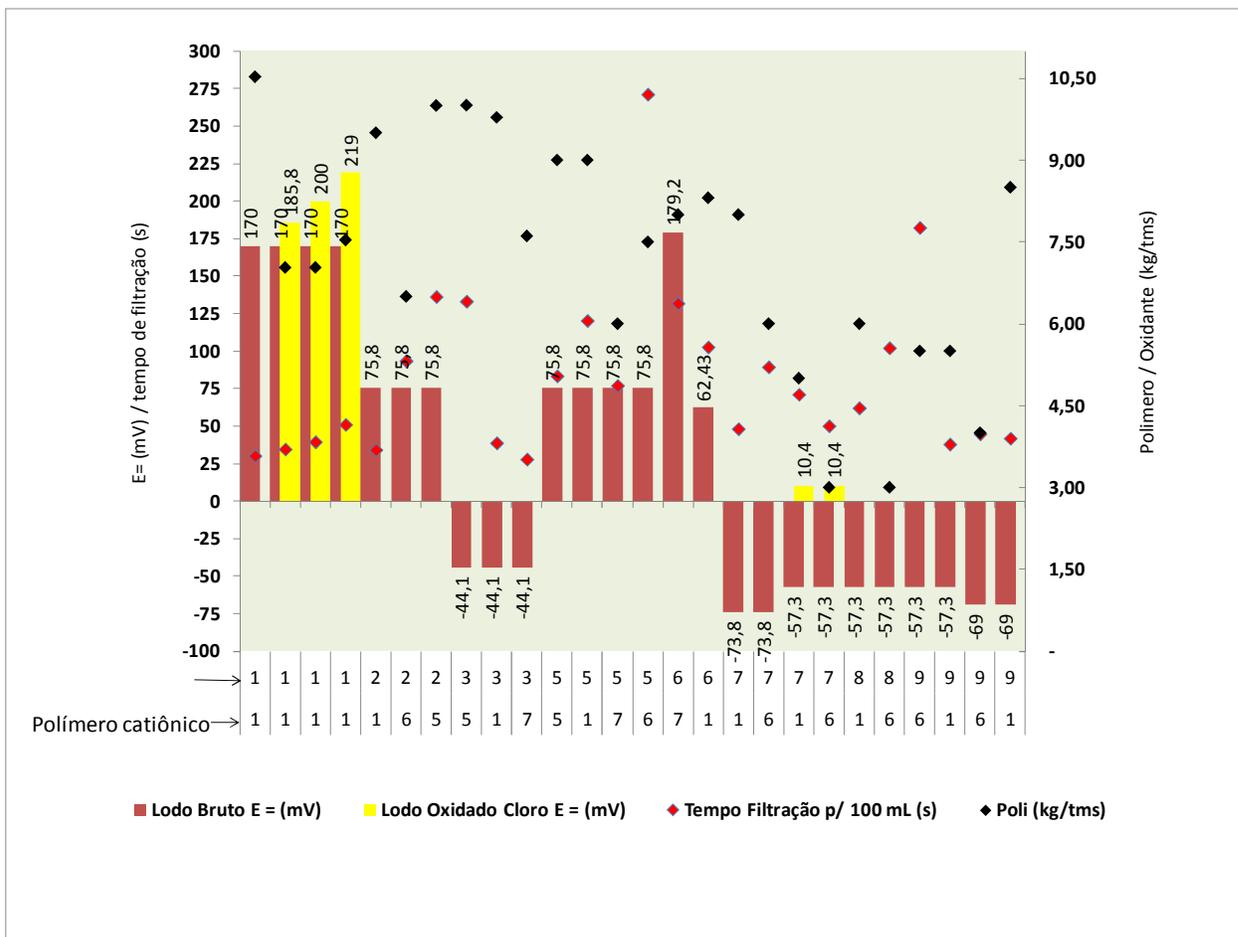


Figura 30 – Efeito da oxidação do lodo de decantadores em relação ao tempo de filtração e dosagem de polímero catiônico

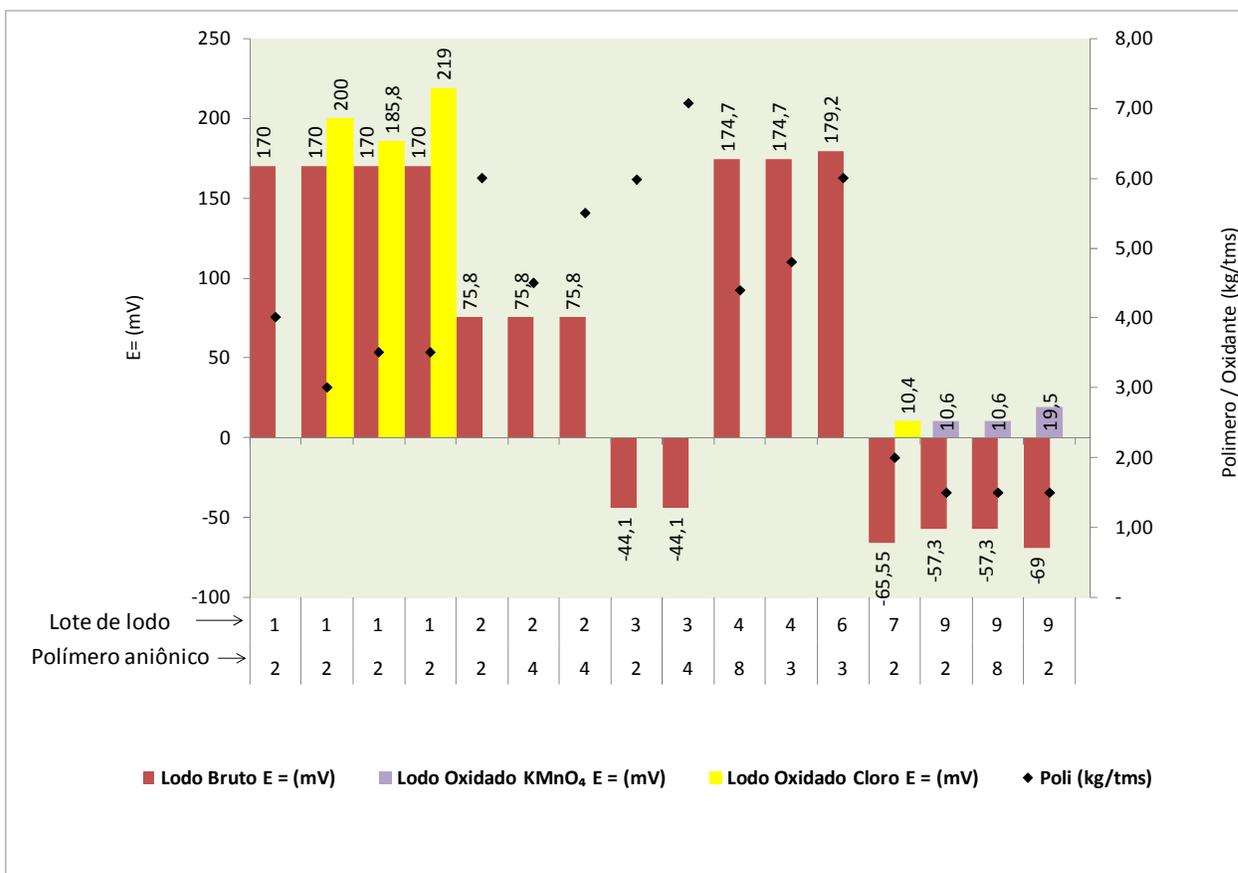


Figura 31 – Efeito da oxidação do lodo de decantadores em relação ao tempo de filtração e dosagem de polímero aniônico

Observando-se a figura 30 e 31, é verificar menor tempo de filtração para o lodo oxidado pelo cloro, quando comparado com lodo bruto (sem oxidação) para amostra de lodo, lote 1, com valor de 170 mV, foi oxidada até atingir o valor de 185 mV. Para valores acima de 185mV, a filtração começou a ficar prejudicada. Para o lote 07, também oxidado com cloro, verificou-se o melhor tempo de filtração (49,5s.) quando se utilizou o polímero 1, catiônico de alto peso molecular e baixa carga. Por outro lado para os lotes 8 e 9, oxidados com permanganato de potássio, quando comparados com a amostra de lodo não oxidado lote 3, observa-se uma pequena piora nos respectivos tempos de filtração. O valor do potencial redox, foi alterado através da oxidação do lodo, de -57,30 para 10,6 mV.

Verificou-se, para valores de potencial redox entre -57 mV e 75 mV, predominância para polímero aniônicos com valores entre 2,0 e 5,0 kg/tms, em geral os polímeros aniônicos tiveram melhores resultados referente a dosagem para lodos sem oxidação e oxidados por cloro ou permanganato. Por outro lado, os polímeros catiônicos, em sua maioria, apresentaram consumos de 6,0 a 10,0 (kg/tms) para a mesma faixa de potencial redox, em lodo não oxidado. Quando da oxidação do lodo, para valores entre -11 e + 11mV, observou-se redução significativa na dosagem de polímeros catiônicos, tanto para oxidação com o cloro como para oxidação com permanganato com valores de dosagem para polímeros catiônicos de 4,0 a 7,0 (kg/tms), proporcionando economia de 30% no consumo.

As menores dosagens de polímeros foram encontradas para os aniônicos de alto peso molecular e baixa e média carga e os menores tempo de filtração encontrados, foram para os polímeros catiônico de alto peso molecular baixa, média e alta densidade de carga. Devido aos tempos de filtração encontrados, os polímeros catiônicos são os indicados para aplicação na desidratação do lodo em centrífugas. Quando compara-se a figura 29 com a figura 30, conclui-se que apesar dos polímeros aniônicos terem resultado em melhores dosagens, esses afetam a desidratação devido ao elevado tempo apresentado para filtração nas amostras estudadas.

Buscou-se identificar para as amostras estudada, se havia relação direta entre o aumento do teor de sólido do lodo com a redução de dosagem de polímero. A figura 32, ilustra o efeito do teor de sólidos do lodo de decantadores em relação a dosagem de polímeros catiônicos.

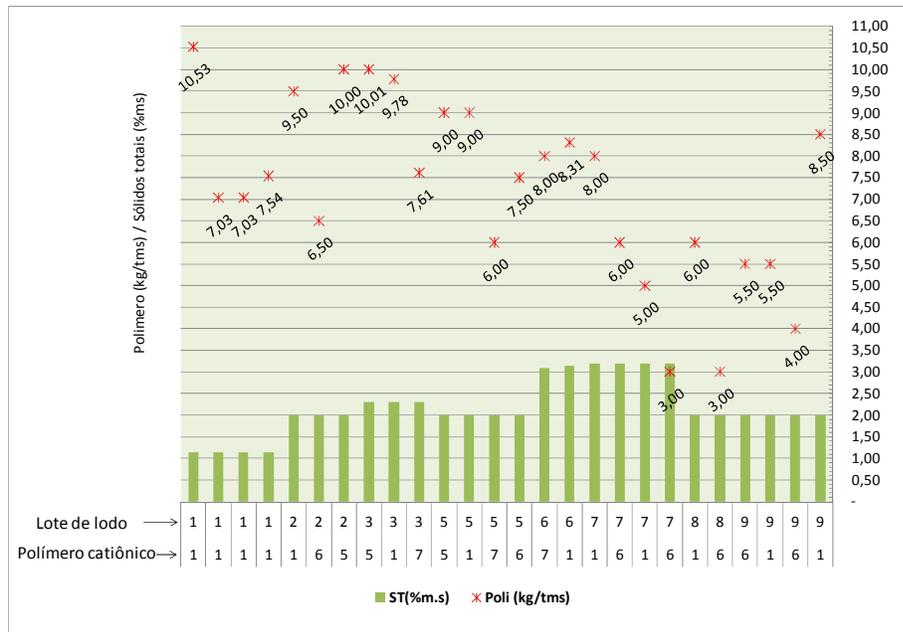


Figura 32 – Efeito do teor de sólidos de lodo de decantadores em relação a dosagem de polímeros catiônicos

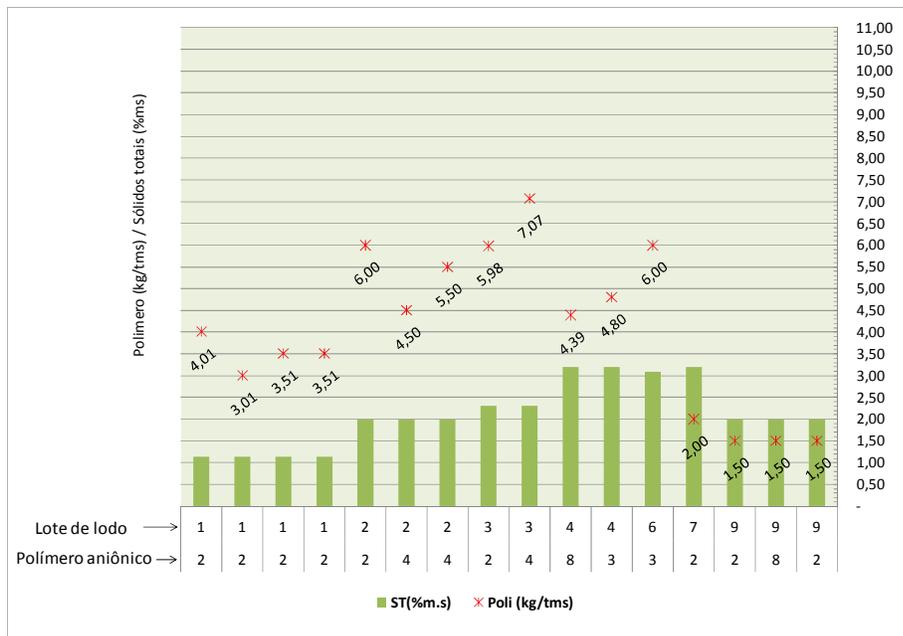


Figura 33 – Efeito do teor de sólidos de lodo de decantadores em relação a dosagem de polímeros aniônicos

Comparando-se as figuras 31 e 32, não é possível relacionar redução de consumo de polímeros em relação ao aumento de teor de sólidos, visto que para as amostras de lodo cujos respectivos lotes 2, 5, 8 e 9, apresentaram teores de sólidos iguais e tiveram comportamentos diferentes em relação ao consumo de polímero. Quando compara-se as figuras 30, 31, 32 e 33, é possível identificar redução significativa na dosagem de polímeros para amostras de lodo que passaram por oxidação química através do uso de cloro ou permanganato de potássio. Isso é possível devido a lise provocada pela oxidação de moléculas complexas, tornando-as mais simples, o que possibilita o aumento de choques efetivos entre as partículas sólidas, vindo a otimizar o processo de floculação, proporcionando redução no consumo de polímeros tanto para os aniônicos como para os catiônicos.

5.5.1 Análise de custo referente aos ensaios de condicionamento e filtrabilidade para lodos provenientes de decantadores condicionados com e sem cloro e permanganato de potássio, seguido de polímeros

Para realizações de análises de custos, buscou-se inicialmente as informações junto a fornecedores de polímeros para obtenção de valores de referente a polímeros e junto a Sabesp para obtenção de valores para cloro e permanganato em outubro de 2010 (custo Sabesp). Sendo assim, destacam-se: 1 (9,82R\$/kg); 2 (9,42R\$/kg); 6 (9,82R\$/kg); 5 (10,31R\$/kg); 7 (10,31R\$/kg); 3 (9,42R\$/kg); 4 (10,31R\$/kg) e 8 (10,31R\$/kg). Esses valores referem-se a outubro de 2010 e poderão sofrer variações em função de alteração no câmbio, demanda de mercado entre outros. Para o custo do cloro (2,39 R\$/kg) e permanganato (10,0 R\$/kg). Posteriormente, após a realização dos ensaios de condicionamento e análises das melhores dosagens de polímeros e tempo de filtração, para lodos oxidados ou não com cloro ou permanganato de potássio, avaliou-se a variação de custo conforme apresentado na tabela 12.

Tabela 12 – Variação de custo para condicionamento de lodo, com e sem oxidação por cloro e permanganato de potássio

Polímero utilizado	Variação de filtração (s)	Melhor tempo de filtração (s)	Polímero (R\$/tms)	Cloro (R\$/tms)	Permanganato de Potássio (R\$/tms)	Custo Total Produtos (R\$/tms)	Melhor Custo Total Produtos (R\$/tms)
1	22,00 a 49,00	22,00	79,23 a 127,80	0	0	79,23 a 127,80	79,23
1	21,40 a 50,70	21,40	49,26 a 88,53	2,94	0	52,20 a 91,47	52,2
1	25,10 a 62,00	25,10	49,26 a 88,53	5,02	0	54,28 a 93,55	54,28
1	36,00 a 67,50	36,00	49,26 a 88,53	7,34	0	56,94 a 95,87	56,94
2	231,00 a 300,00	231,00	28,44 a 37,7	7,34	0	35,78 a 45,04	35,78
4	300,00	300,00	30,93 a 82,48	0	0	30,93 a 82,48	41,24
3	300,00	300,00	30,93 a 61,86	0	0	30,93 a 61,86	41,24
5	18,06 a 300,00	18,06	72,17 a 131,03	0	0	72,17 a 131,03	72,17
6	17,30 a 149,10	17,30	39,27 a 88,36	0	0	39,27 a 88,36	58,59
1	17,22 a 55,56	17,22	58,91 a 127,63	0	0	58,91 a 127,63	82,17
2	300,00	300,00	30,93 a 92,79	0	0	30,93 a 92,79	41,24
4	300,00	300,00	22 a 124	0	0	22 a 124	41,24
5	20,00 a 300	20,00	72,17 a 134,18	0	0	72,17 a 134,18	92,79
1	19,00 a 57,00	19,00	67,24 a 134,48	0	0	67,24 a 134,48	78,45
2	300,00	300,00	22,41 a 100,86	0	0	22,41 a 100,86	35,78
7	20,20 a 39,00	20,2	67,24 a 89,65	0	0	67,24 a 89,65	78,45
3	300,00	300,00	24,00 a 81,00	0	0	24,00 a 81,00	48,33
8	300,00	300	16,11 a 80,55	0	0	16,11 a 80,55	48,33
5	20,56 a 120,42	20,56	61,86 a 123,72	0	0	61,86 a 123,72	103,1
6	205,17 a 300,00	205,17	41,24 a 113,41	0	0	41,24 a 113,41	41,24
1	19,51 a 300,00	19,51	61,86 a 123,72	0	0	61,86 a 123,72	123,72
7	16,31 a 300,00	16,31	41,24 a 82,48	0	0	41,24 a 82,48	61,86
3	300,00	300,00	28,27 a 84,82	0	0	28,27 a 84,82	28,27
7	12,53 a 183,28	12,53	41,24 a 123,72	0	0	41,24 a 123,72	41,24
1	13,50 a 300,00	13,5	58,91 a 117,81	0	0	58,91 a 117,81	117,81
6	13,72 a 300,00	13,72	39,27 a 78,54	0	0	39,27 a 78,54	39,27
6	24,60 a 106,00	24,6	19,63 a 39,27	8,08	0	27,71 a 47,35	29,45
1	11,09 a 300,00	11,09	49,09 a 98,17	0	0	49,09 a 98,17	98,17
1	22,00 a 119,00	22,00	22,00 a 119,00	8,08	0	47,35 a 66,98	66,98
6	72,00 a 125,00	72,00	19,63 a 39,27	0	11,75	39,39 a 52,02	42,20
1	37,00 a 121,00	37,00	39,27 a 78,54	0	11,75	52,02 a 91,29	71,66
6	30,20 a 43,44	30,20	29,45 a 49,08	0	0	29,45 a 49,08	29,45
6	21,00 a 92,00	21,00	29,45 a 49,08	0	11,75	41,20 a 60,84	51,02
1	31,00 a 88,00	31,00	41,20 a 60,84	0	11,75	70,66 a 100,11	100,11
2	300,00	300,00	9,43 a 18,85	0	11,75	21,17 a 30,66	30,66
6	35,00 a 300,00	35,00	29,45 a 78,54	0	11,75	41,60 a 90,68	51,44
1	30,00 a 51,00	30,00	29,45 a 78,54	0	12,14	41,60 a 90,68	80,68
8	300,00	300,00	9,42 a 18,85	0	12,14	21,57 a 30,99	30,99
2	300,00	300,00	9,42 a 18,85	0	12,14	21,57 a 30,99	30,99

Na tabela 12, apresenta-se o custo individual para cada polímero em reais por quilograma, calculou-se o consumo do polímero em função da carga de sólido presente na amostra de lodo. Sendo assim, conhecidos os valores de concentração do polímero (g/L), volume gasto em (mL) e para o lodo concentração (g/L) e volume utilizado em (L).

Têm-se as seguintes equações:

$$\text{kg}/(\text{tms}) = \frac{V_{\text{poli}}(\text{L}) \times C_{\text{poli}}\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}{V_{\text{lodo}}(\text{m}^3) \times C_{\text{lodo}}\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)} \quad (5.1)$$

$$\text{kg}/(\text{tms}) = \frac{V_{\text{poli}}(\text{L})}{V_{\text{lodo}}(\text{m}^3)} \quad (5.2)$$

Conhecido o consumo de polímero por tonelada de massa seca, multiplicou-se esse valor pelo custo unitário para cada tipo de polímero. Conforme se verificou na tabela 12 acima.

A tabela 13, apresenta os melhores custos unitários (R\$/tms) para cada polímero utilizado, soma-se dosagem de polímero, cloro e permanganato de potássio e compara-se com o melhor tempo de filtração encontrado para cada tipo de polímero.

Tabela 13 – Custos unitários e tempo de filtração para lodos condicionados quimicamente com polímero, cloro e permanganato de potássio

Polímero utilizado	Melhor tempo de filtração (s)	Cloro (R\$/tms)	Permanganato de Potássio (R\$/tms)	Permanganato de Potássio (R\$/tms)	Melhor Custo Total Produtos (R\$/tms)
1	25,10	5,02	0	0	54,28
2	231,00	7,34	0	0	35,78
4	300,00	0	0	0	41,24
5	18,06	0	0	0	72,17
3	300,00	0	0	0	28,27
7	12,53	0	0	0	41,24
6	24,6	8,08	0	0	29,45
8	300,00	0	12,14	12,14	30,99

Os polímeros catiônicos de alto peso molecular e baixa, média e alta carga apresentaram melhores desempenho quando comparou-se custo unitário e tempo de filtração, dentre eles o que apresentou menor custo (29,45 R\$/tms) e menor tempo para filtração (24,60s) foi o 6, catiônico de alto peso molecular e média carga. Seguido do 7 e 1, de alto peso molecular com densidades de cargas respectivamente alta e baixa. Apesar dos polímeros aniônicos em sua maioria terem apresentado menor custo, não apresentaram bons resultados para filtração.

5.6 Resultado de análises de pH, potencial redox , sólidos totais, fixos e voláteis no lodo equalizado com e sem da oxidação química com cloro e permanganato de potássio – Etapa V

Para efeito deste acompanhamento, realizaram-se análises dentro do período de 01/03/2009 a 24/12/2010. Foram efetuadas 81 amostragens onde se verificou variações nas leituras para os valores de ORP de -146 mV até 287,5 mV para os valores de pH obtiveram-se as seguintes variações de 5,18 a 7,18. Para os sólidos presentes no lodo, identificaram-se, variações que vão desde 0,31 até 3,20% (sólidos totais). A tabela 14, referente aos dados estatísticos, apresenta os resultados obtidos.

Tabela 14 – Dados estatísticos, pH, sólidos totais, fixos e voláteis, ORP

Dados Estatísticos	ORP mV	pH	ST (%ms)	SF (%ms)	SV (%ms)	SF (%)	SV (%)
Contagem	81	81	81	81	81	81	81
Mínimo	-146,00	5,18	0,31	0,15	0,16	39,00	47,00
Máximo	287,50	7,18	3,20	1,67	1,57	53,00	61,00
Média	31,16	6,59	1,66	0,79	0,88	47,15	52,82
Mediana	-13,20	6,63	1,63	0,78	0,87	46,80	53,20
Moda	-74,20	6,74	2,00	0,66	0,84	44,00	56,00
Desvio Médio	99,15	0,20	0,43	0,22	0,22	2,51	2,53
Desvio Padrão	115,01	0,28	0,57	0,29	0,29	3,07	3,07
Variância	13227,46	0,08	0,33	0,08	0,09	9,40	9,45
Assimetria	0,59	-1,51	0,33	0,74	0,06	0,04	-0,01
Curtose	-0,85	6,96	0,73	1,57	0,24	-0,37	-0,40

Os valores para as análises de sólidos apresentados na figura 34, foram determinados conforme recomendação metodológica, APHA / AWWA / WEF Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 21. Ed Washington, DC: APHA / AWWA / WCF, 2005.

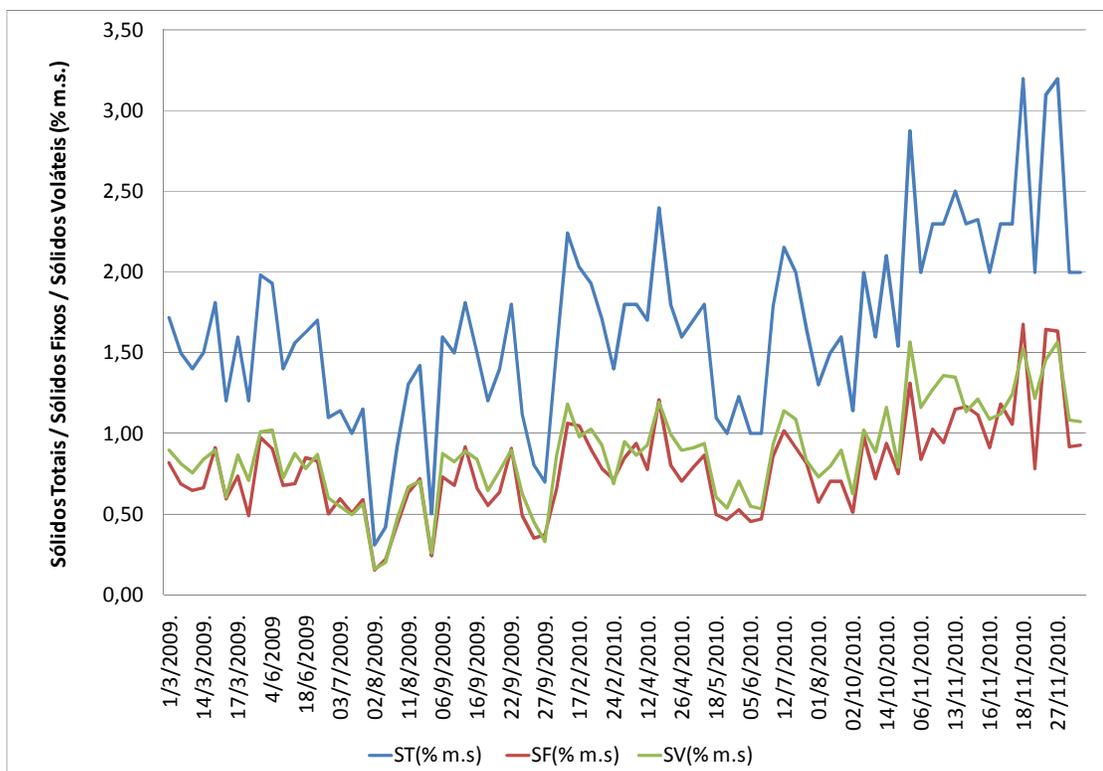


Figura 34 – Variação sazonal de sólidos totais, fixos e voláteis em lodo de decantadores

Comparou-se a tabela 14 com a figura 34, foi possível verificar variações de teores sólidos totais de 0,31 a 3,20(%) para sólidos fixos de 0,15 a 1,67(%) e sólidos voláteis de 0,16 a 1,57(%).

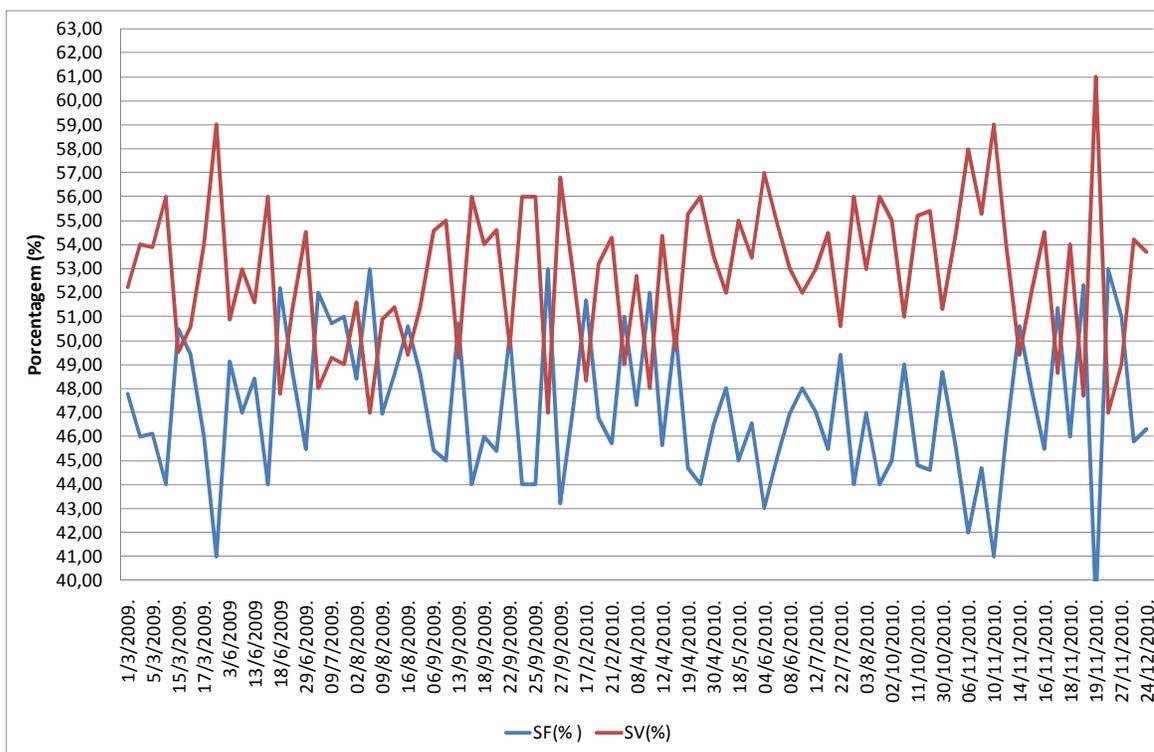


Figura 35 - Variação sazonal do percentual de sólidos fixos e voláteis no lodo de decantadores

A figura 34, ilustra o percentual referente a variação de sólidos fixos e voláteis, ela possibilita concluir que a variação em termos de percentual de sólidos fixos de 39,0 até 53,0%, com uma média de 47,62% e sólidos voláteis de 47,0 até 61,0%, resultou em média uma variação 52,32% . Assim sendo, para o lodo estudado predominou maior concentração de sólidos voláteis. Tal fato, se deu pelas variações sazonais na qualidade do manancial.

6. CONCLUSÕES

- I. A investigação realizada referente ao condicionamento químico do lodo com polieletrólitos visando à obtenção da máxima eficiência dos processos de separação sólido-líquido aplicados em seu tratamento resultaram:
 - Os polímeros aniônicos de alto peso molecular, de baixa e média carga, não foram eficientes para condicionamento químico do lodo devido a baixa filtrabilidade apresentada.
 - Os polímeros catiônicos de alto peso molecular, de baixa, média e alta carga apresentaram menores tempos para o ensaio de filtração, destacou-se o polímero 6, com menor tempo de filtração (24,60s).
- II. A avaliação da pré-oxidação química com cloro e permanganato de potássio sobre o condicionamento químico com polieletrólitos resultou:
 - Em excelentes correlações para os valores de potencial redox e pH, potencial redox e dosagem de agentes oxidantes. Tanto para o lodo oxidado com cloro (0,98) ou permanganato de potássio (0,90). Tal fato, Indica que o parâmetro potencial redox, pode ser aplicado no controle de processos de tratamento de lodo por oxidação química, seguida de condicionamento por polímeros.

III. A busca pela validação para utilização de valores de Potencial Redox no controle operacional do sistema no que se refere às condições ótimas de dosagem, tanto de oxidante quanto de polieletrólito, obteve-se:

- Para valores de potencial redox entre -57mV e 75mV, os polímeros catiônicos, em sua maioria, apresentaram consumos de 6,0 a 10,0 (kg/tms), em lodo não oxidado por cloro ou permanganato de potássio.
- Quando da oxidação do lodo por cloro ou permanganato de potássio, até atingir valores de potencial redox entre -11 e + 11mV, tem-se redução de 30% no consumo de polímeros catiônicos com valores de dosagem entre 4,0 e 7,0 kg/tms e custo para tratamento 29,45 R\$/tms.
- As medições de valores de potencial redox no controle operacional para condicionamento químico do lodo é eficiente por possibilitar à operação, escolha de faixas de potencial redox que proporcionam menor consumo de polímero.

7. RECOMENDAÇÕES

- Devido a falta de literatura especializada para aplicação de potencial redox em lodo de ETA, se faz necessário mais estudos em lodos com características distintas das encontrada aqui, para que seja possível a comparação de resultados no sentido de permitir a aplicado de novas tecnologias para monitoramento e tratamento de lodo nas companhias de saneamento.
- Devido a formação de subprodutos causados pela oxidação de lodo com cloro ou permanganato de potássio e a crescente demanda por água para abastecimento, tem-se a necessidade de estudos para avaliar a concentração e o efeito desses subprodutos em estações de tratamento de água, caso a opção seja a reciclagem da água de desidratação.

8.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHON, C.L.; BARROSO,M.M.; CORDEIRO, J.C. Leito de drenagem: sistema natural para redução de volume de lodo de estação de tratamento de água – Artigo Técnico. Engenharia Ambiental, vol. 13-1, pp. 55. Janeiro de 2008.

ARAÚJO, A.P.M. Avaliação operacional e características do lodo gerado na indústria da água do litoral sul de Pernambuco.Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Pernambuco, 2006.

ASHLAND, Especialidade Química LTDA.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. **Procedures manual for polymer selection in water treatment plants.** American Water Works Association Research Foundation, Denver, 216 p. 1989.

APHA / AWWA / WEF Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 21. Ed Washington, DC: APHA / AWWA / WCF, 2005.

BACCAN,N. et al . **Química Analítica Quantitativa Elementar.**, 2ª ed. Campinas São Paulo: Edgard Blücher,1985

BARROSO, M.M. **Influência das micros e macro propriedades dos lodos de estações de tratamento de água no desaguamento por leito de drenagem.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007, Tese de Doutorado

BASF the Chemical Company

BIANCHI,J.C.A.; ALBRECHT,C.H.; DAL TAMIR,J.M.; **Universo da Química:** ensino médio: 1ª ed.São Paulo: FTD, 2005.

CAB spat, Companhia de Saneamento Águas do Brasil, Sistema Produtor Alto Tietê.

CESAN, Companhia Espírito Santense de Saneamento.

CHRISTENSEN, G.L., DICK, R.I. **Specific resistance measurements: methods and procedures.** Journal of Environmental Engineering, p.258-271, June. 1985b.

CORDEIRO, J. S. Importância do tratamento e disposição adequada dos lodos de ETA. In: **Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água.** Rio de Janeiro. 1999. p. 1-19.

DI BERNARDO, L. DI BERNARDO, A; CENTURIONE FILHO, P. L. **Ensaio de Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água.** São Carlos: Rima Editora, 2002.

DI BERNARDO, L. Dantas, A. Di BERNARDO. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. Volumes 1 e 2. São Carlos: Rima, 2005.

DI BERNARDO, L. Água de lavagem de filtros rápidos. In: **Noções Gerais de tratamento de disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

DI BERNARDO, L. **Algas e suas influencias na qualidade das águas e nas tecnologias de tratamento**. Rio de Janeiro: ABES, 1995

DI BERNARDO, L. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 481p. Volumes 1 e 2. Rio de Janeiro, RJ. ABES, 1993.

FERNANDES, A. N. **Balanço de massa e produção de lodo da Estação de Tratamento de Água Alto da Boa Vista - SABESP**. Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Dissertação de Mestrado

FERREIRA FILHO, S.S. **Relatório Técnico**. Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

FERREIRA FILHO, S.S. et al **Redução de perdas e tratamento de lodo em ETA**. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano, Brasília, DF, 1999.

FERREIRA, S.S; SOBRINHO P. A. **Considerações sobre o tratamento de lodos de estações de água**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, 1998.

FERREIRA FILHO, S.S. **Pré-condicionamento de lodos de estações de tratamento de água visando o seu adensamento por gravidade.** In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Foz do Iguaçu, 1997.

FLOTTWEG Separation Technology, Inc.

FONTANA, A. O. **Sistema de leito de drenagem e sedimentador como solução para redução de volume de lodo de decantadores e reuso de água de lavagem de filtros - Estudo de Caso: ETA Cardoso,** São Carlos: UFSCAR, 2005.

FULTON, G. P. **Recover alum to reduce waste disposal costs.** Journal of American Water Works Association. New York, p. 312-318, may 1974.

GRANDIN, S. **Desidratação de lodos produzidos nas estações de tratamento de água.** Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992, Dissertação de Mestrado

KAWAMURA, S. **Integrated design of water treatment facilities.** John Wiley & Sons, New York, 658p. 1991.

KELKAR, U.G.; SCHAFFRAN, G.C. **Hydrogen peroxide amendments to alum sludge: effects on sludge characteristics and dewaterability.** Proceedings Annual Conference American Water Works Association, 1994, p. 595-607 New York, NY.

KEMIRA Chemical Brasil LTDA.

MONTGOMERY, J. **Water treatment: principles and design**. New York, John Wiley & Sons, 1985.

MORITA, D. M., **Caracterização de águas residuárias - Resistência Específica**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1996

NEHMI, V. A. **Química geral e atomística**. Volume 1. São Paulo: Ática, 1995.

REALI, M. A. P. Principais características quantitativas e qualitativas do lodo de ETAs. In: **Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água**. Rio de Janeiro. 1999. p. 21-39.

RICHTER, C. A.. **Tratamento de lodos de estações de tratamento de água**. São Paulo: Edgard Blucher, 2001. 102 p.

RIBEIRO, C. F., **Uso de sistema de informações geográficas na gestão do lodo das estações de tratamento de água de uma bacia hidrográfica**. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 2008, Dissertação de Mestrado

MENDES, C. G. N., **Relatório Técnico - Sistema de coleta e descarga de fundo de lodos precipitados em decantadores utilizados no tratamento de águas para abastecimento ou águas residuárias**. Departamento de Saneamento e Ambiente. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - UNICAMP, 1998.

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada.** Dissertação (Escola de Engenharia de São Carlos) USP, 2001.

PORRAS, A. C; Isaac. R.L; Morita, D. **Incorporação do lodo das estações de tratamento de água e agregado reciclado de resíduo da construção civil em elementos de alvenaria - tijolos estabilizados com cimento.** *Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Vol. 18-2, pp. 5-28. Bogotá, Dezembro 2008.*

PROSAB - Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água.** Rio de Janeiro: ABES, 1999.

PORTELLA, K.F.; ANDREOLI, C.V.; HOPPEN, C.; SALES, A. BARON, O. **Caraterização físico-química do lodo centrifugado da estação de tratamento de água Passaúna – Curitiba – Pr. 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA AMBIENTAL.** Joinvile, 2003.

QUAGLIANO, J.V; VALLARIANO, L.M. **Química.** 3ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 1973

SABESP, **Manual de Operação da ETA Taiapuêba.** Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, São Paulo, 2008

SARDELLA, A; MATEUS, E. **Química Geral.** 18ª ed. São Paulo: Ática, 1994

SARON, A. et all. **Quantificação de lodo em estação de tratamento de água.** IN: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21, Rio de Janeiro: ABES, 1999.

SILVA Jr, A. P., **Tratabilidade do lodo de decantadores convencional e de alta taxa.** Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2003, Dissertação de Mestrado

SOUZA FILHO, A.G. **Caracterização e clarificação da água de lavagem dos filtros de uma ETA que utiliza cloreto férrico como coagulante primário.** . IN: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20, Rio de Janeiro: ABES, 1998.

SUNDERFELD Jr, G .C. **Efeitos do recebimento do lodo da estação de tratamento por lodo ativado em batelada com aeração prolongada do município de Juquitiba.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007, Dissertação de Mestrado

TEIXEIRA, L. C. G. M., **Adensamento por gravidade de lodos produzidos em estações de tratamento de água.** Exame de qualificação - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997

YUZHU, W. **Condicionamento de lodo de estação de tratamento de água: estudo do caso.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996, Dissertação de Mestrado

WU, C. C.; HUANG, C. **Effects of recycling-sludge operation on the structure and moisture content of flock in water treatment plant** Separation Science and Technology, New York, v. 32, n. 17, p. 2873-2882, 1997.

ANEXOS

ANEXO A

Tabela A1 Dados do lodo dos decantadores para ORP, pH e sólidos

Lodo dos Decantadores								
Data	Hora	ORP mV	pH	ST (% m.s)	SF (% m.s)	SV (% m.s)	SF (%)	SV (%)
1/3/2009	13	-75,00	6,59	1,72	0,82	0,90	47,77	52,23
3/3/2009	14	-76,80	6,62	1,50	0,69	0,81	46,00	54,00
5/3/2009	16	-92,00	6,74	1,40	0,65	0,75	46,10	53,90
14/3/2009	16	-101,6	6,42	1,50	0,66	0,84	44,00	56,00
15/3/2009	6	-130,8	6,82	1,81	0,91	0,90	50,47	49,53
15/3/2009	19	-90	6,77	1,20	0,59	0,61	49,40	50,60
17/3/2009	6	-91,8	6,79	1,60	0,74	0,86	46,00	54,00
18/3/2009	12	-88,3	7,12	1,20	0,49	0,71	41,00	59,00
3/6/2009	8	191,5	6,48	1,98	0,97	1,01	49,12	50,88
4/6/2009	13	108,2	7,02	1,93	0,91	1,02	47,00	53,00
13/6/2009	11	142,6	6,28	1,40	0,68	0,72	48,40	51,60
17/6/2009	15	171,6	6,12	1,56	0,69	0,87	44,00	56,00
18/6/2009	13	264,9	5,18	1,63	0,85	0,78	52,20	47,80
20/6/2009	11	274,1	6,37	1,70	0,83	0,87	48,70	51,30
29/6/2009	10	142	6,34	1,10	0,50	0,60	45,48	54,52
03/7/2009	12	112,3	6,54	1,14	0,59	0,55	52,00	48,00
09/7/2009	8	258,7	6,28	1,00	0,51	0,49	50,70	49,30
12/7/2009	6	134,1	6,32	1,15	0,59	0,56	51,00	49,00
02/8/2009	18	-43,7	6,28	0,31	0,15	0,16	48,40	51,60
07/8/2009	3	21,2	6,17	0,42	0,22	0,20	53,00	47,00
09/8/2009	4	165,2	6,06	0,92	0,43	0,47	46,96	50,87
11/8/2009	9	45,8	6,63	1,30	0,63	0,67	48,60	51,40
16/8/2009	19	125,2	6,15	1,42	0,72	0,70	50,60	49,40
18/8/2009	15	-29,8	6,51	0,50	0,24	0,26	48,60	51,40
06/9/2009	19	183,7	6,17	1,60	0,73	0,87	45,44	54,56
08/9/2009	3	163,2	6,59	1,50	0,68	0,83	45,00	55,00
13/9/2009	18	245,5	6,78	1,81	0,92	0,89	50,70	49,30
16/9/2009	18	-37,1	6,8	1,50	0,66	0,84	44,00	56,00
18/9/2009	10	-74,2	6,97	1,20	0,55	0,65	46,00	54,00
19/9/2009	12	-100	6,84	1,40	0,64	0,76	45,40	54,60
22/9/2009	10	95,3	6,9	1,80	0,91	0,89	50,30	49,70
24/9/2009	20	-116,4	6,77	1,12	0,49	0,63	44,00	56,00
25/9/2009	8	-59,2	6,65	0,80	0,35	0,45	44,00	56,00
27/9/2009	4	-50,8	6,76	0,70	0,37	0,33	53,00	47,00
27/9/2009	12	-146	7,11	1,52	0,66	0,86	43,20	56,80
23/1/2010	16	-47,2	6,46	2,24	1,06	1,18	47,36	52,64
17/2/2010	15	-58,2	6,36	2,03	1,05	0,98	51,67	48,33
19/2/2010	13	-61,2	6,45	1,93	0,90	1,03	46,80	53,20
21/2/2010	14	45,9	6,19	1,71	0,78	0,93	45,70	54,30
24/2/2010	15	198,3	6,35	1,40	0,71	0,69	51,00	49,00

Tabela A1 (Cont.) Dados do lodo dos decantadores para ORP, pH e sólidos

Lodo dos Decantadores								
Data	Hora	ORP mV	pH	ST (% m.s)	SF (% m.s)	SV (% m.s)	SF (%)	SV (%)
08/4/2010	7	97,2	6,74	1,80	0,85	0,95	47,30	52,70
09/4/2010	13	205,6	6,74	1,80	0,94	0,86	52,00	48,00
12/4/2010	16	166,3	6,55	1,70	0,78	0,92	45,62	54,38
17/4/2010	7	104,7	6,51	2,40	1,21	1,19	50,40	49,60
19/4/2010	20	-100,2	6,43	1,80	0,80	1,00	44,70	55,30
26/4/2010	21	-89,3	6,71	1,60	0,70	0,90	44,00	56,00
30/4/2010	6	-73,3	6,69	1,70	0,79	0,91	46,50	53,50
11/5/2010	13	-54,2	6,6	1,80	0,86	0,94	48,00	52,00
18/5/2010	21	-41,6	6,53	1,10	0,50	0,61	45,00	55,00
31/5/2010	16	-8,5	6,47	1,00	0,47	0,53	46,54	53,46
04/6/2010	7	-33,2	6,57	1,23	0,53	0,70	43,00	57,00
05/6/2010	6	-74,2	6,62	1,00	0,45	0,55	45,20	54,80
08/6/2010	8	25,4	6,4	1,00	0,47	0,53	47,00	53,00
05/7/2010	8	-13,2	6,57	1,79	0,86	0,93	48,00	52,00
12/7/2010	8	33,1	6,67	2,16	1,01	1,14	47,02	52,98
16/7/2010	10	-13,5	6,66	2,00	0,91	1,09	45,49	54,51
22/7/2010	11	-20,6	6,64	1,64	0,81	0,83	49,40	50,60
01/8/2010	10	-68	6,62	1,30	0,57	0,73	44,00	56,00
03/8/2010	7	-38,8	6,74	1,50	0,71	0,80	47,00	53,00
01/10/2010	17	-100,9	6,72	1,60	0,70	0,90	44,00	56,00
02/10/2010	7	170,0	6,60	1,14	0,51	0,63	45,00	55,00
06/10/2010	11	48,3	6,68	2,00	0,98	1,02	49,00	51,00
11/10/2010	10	-17,3	6,84	1,60	0,72	0,88	44,80	55,20
14/10/2010	11	-10,8	6,81	2,10	0,94	1,16	44,60	55,40
30/10/2010	14	234,4	6,76	1,54	0,75	0,79	48,70	51,30
01/11/2010	17	110	6,74	2,88	1,31	1,57	45,57	54,43
06/11/2010	6	75,8	6,67	2,00	0,84	1,16	42,00	58,00
09/11/2010	7	26,8	6,63	2,30	1,03	1,27	44,70	55,30
10/11/2010	10	287,5	6,68	2,30	0,94	1,36	41,00	59,00
13/11/2010	9	-15,9	6,65	2,50	1,15	1,35	46,00	54,00
14/11/2010	8	-27,2	6,64	2,30	1,16	1,14	50,60	49,40
14/11/2010	18	-15,6	6,74	2,33	1,11	1,21	47,90	52,10
16/11/2010	19	44,6	6,73	2,00	0,91	1,09	45,48	54,52
17/11/2010	8	-5,5	6,52	2,30	1,18	1,12	51,35	48,65
18/11/2010	7	-44,1	6,78	2,30	1,06	1,24	46,00	54,00
18/11/2010	11	174,7	7,1	3,20	1,67	1,53	52,30	47,70
19/11/2010	8	75,8	6,67	2,00	0,78	1,22	39,00	61,00
20/11/2010	7	179,2	7,18	3,10	1,64	1,46	53,00	47,00
27/11/2010	7	-73,8	6,48	3,20	1,63	1,57	51,00	49,00
21/12/2010	8	-57,3	6,49	2,00	0,92	1,08	45,80	54,20
24/12/2010	7	-57,3	6,49	2,00	0,93	1,07	46,30	53,70

ANEXO B

Tabela B1 Resultados dos testes de oxidação do lodo de ETA

Amostra de lodo	Cloro kg/tms	KMnO ₄ kg/tms	T (°C)	Lodo Bruto E = (mv)	Lodo Oxidado KMnO ₄ E = (mv)	Lodo Oxidado Cloro E = (mv)	pH Lodo Bruto
1			20	170			6,60
2			20	170			6,60
3			20	170			6,60
4			20	170			6,60
5			20	170			6,60
6			20	170			6,60
7			20	170			6,60
8			20	170			6,60
9			20	170			6,60
10			20	170			6,60
11			20	170			6,60
12			20	170			6,60
13			20	170			6,60
1			20	170			6,60
2			20	170			6,60
3			20	170			6,60
4			20	170			6,60
5			20	170			6,60
6			20	170			6,60
7			20	170			6,60
8			20	170			6,60
9			20	170			6,60
10			20	170			6,60
11			20	170			6,60
12			20	170			6,60
13			20	170			6,60
1	1,23		20	170		185,8	6,60
2	1,23		20	170		185,8	6,60
3	1,23		20	170		185,8	6,60
4	1,23		20	170		185,8	6,60
5	1,23		20	170		185,8	6,60
6	1,23		20	170		185,8	6,60
7	1,23		20	170		185,8	6,60
8	1,23		20	170		185,8	6,60
9	1,23		20	170		185,8	6,60
10	1,23		20	170		185,8	6,60
11	1,23		20	170		185,8	6,60
12	1,23		20	170		185,8	6,60
13	1,23		20	170		185,8	6,60
1	2,1		20	170		200	6,60
2	2,1		20	170		200	6,60
3	2,1		20	170		200	6,60
4	2,1		20	170		200	6,60
5	2,1		20	170		200	6,60
6	2,1		20	170		200	6,60

Tabela B1 (Cont.) Resultados dos testes de oxidação do lodo de ETA

Amostra de lodo	Cloro kg/tms	KMnO ₄ kg/tms	T (°C)	Lodo Bruto E = (mv)	Lodo Oxidado KMnO ₄ E = (mv)	Lodo Oxidado Cloro E = (mv)	pH Lodo Bruto
3	3,07		20	170		219	6,60
4	3,07		20	170		219	6,60
5	3,07		20	170		219	6,60
6	3,07		20	170		219	6,60
7	3,07		20	170		219	6,60
8	3,07		20	170		219	6,60
9	3,07		20	170		219	6,60
10	3,07		20	170		219	6,60
11	3,07		20	170		219	6,60
12	3,07		20	170		219	6,60
13	3,07		20	170		219	6,60
1			19,0	75,8			6,67
2			19,0	75,8			6,67
3			19,0	75,8			6,67
4			19,0	75,8			6,67
5			19,0	75,8			6,67
6			19,0	75,8			6,67
7			19,0	75,8			6,67
8			19,0	75,8			6,67
9			19,0	75,8			6,67
10			19,0	75,8			6,67
11			19,0	75,8			6,67
1			19,0	75,8			6,67
2			19,0	75,8			6,67
3			19,0	75,8			6,67
4			19,0	75,8			6,67
5			19,0	75,8			6,67
6			19,0	75,8			6,67
7			19,0	75,8			6,67
8			19,0	75,8			6,67
9			19,0	75,8			6,67
10			19,0	75,8			6,67
11			19,0	75,8			6,67
1			19,0	75,8			6,67
2			19,0	75,8			6,67
3			19,0	75,8			6,67
4			19,0	75,8			6,67
5			19,0	75,8			6,67
6			19,0	75,8			6,67
7			19,0	75,8			6,67
8			19,0	75,8			6,67
9			19,0	75,8			6,67
10			19,0	75,8			6,67
11			19,0	75,8			6,67
1			19,0	75,8			6,67
2			19,0	75,8			6,67
3			19,0	75,8			6,67

Tabela B1 (Cont.) Resultados dos testes de oxidação do lodo de ETA

Amostra de lodo	Cloro kg/tms	KMnO ₄ kg/tms	T (°C)	Lodo Bruto E = (mv)	Lodo Oxidado KMnO ₄ E = (mv)	Lodo Oxidado Cloro E = (mv)	pH Lodo Bruto
4			19,0	75,8			6,67
5			19,0	75,8			6,67
6			19,0	75,8			6,67
7			19,0	75,8			6,67
8			19,0	75,8			6,67
9			19,0	75,8			6,67
10			19,0	75,8			6,67
11			19,0	75,8			6,67
1			19,0	75,8			6,67
2			19,0	75,8			6,67
3			19,0	75,8			6,67
4			19,0	75,8			6,67
5			19,0	75,8			6,67
6			19,0	75,8			6,67
7			19,0	75,8			6,67
8			19,0	75,8			6,67
9			19,0	75,8			6,67
10			19,0	75,8			6,67
11			19,0	75,8			6,67
1			19,0	75,8			6,67
2			19,0	75,8			6,67
3			19,0	75,8			6,67
4			19,0	75,8			6,67
5			19,0	75,8			6,67
6			19,0	75,8			6,67
7			19,0	75,8			6,67
8			19,0	75,8			6,67
9			19,0	75,8			6,67
10			19,0	75,8			6,67
1			21,0	-44,1			6,78
2			21,0	-44,1			6,78
3			21,0	-44,1			6,78
4			21,0	-44,1			6,78
5			21,0	-44,1			6,78
6			21,0	-44,1			6,78
7			21,0	-44,1			6,78
8			21,0	-44,1			6,78
9			21,0	-44,1			6,78
10			21,0	-44,1			6,78
11			21,0	-44,1			6,78
12			21,0	-44,1			6,78
13			21,0	-44,1			6,78
1			21,0	-44,1			6,78
2			21,0	-44,1			6,78
3			21,0	-44,1			6,78
4			21,0	-44,1			6,78
5			21,0	-44,1			6,78
6			21,0	-44,1			6,78

Tabela B1 (Cont.) Resultados dos testes de oxidação do lodo de ETA

Amostra de lodo	Cloro kg/tms	KMnO ₄ kg/tms	T (°C)	Lodo Bruto E = (mv)	Lodo Oxidado KMnO ₄ E = (mv)	Lodo Oxidado Cloro E = (mv)	pH Lodo Bruto
7			21,0	-44,1			6,78
8			21,0	-44,1			6,78
9			21,0	-44,1			6,78
1			21,0	-44,1			6,78
2			21,0	-44,1			6,78
3			21,0	-44,1			6,78
4			21,0	-44,1			6,78
5			21,0	-44,1			6,78
6			21,0	-44,1			6,78
7			21,0	-44,1			6,78
8			21,0	-44,1			6,78
9			21,0	-44,1			6,78
1			21,0	-44,1			6,78
2			21,0	-44,1			6,78
3			21,0	-44,1			6,78
4			21,0	-44,1			6,78
5			21,0	-44,1			6,78
6			21,0	-44,1			6,78
7			21,0	-44,1			6,78
8			21,0	-44,1			6,78
9			21,0	-44,1			6,78
9			21,0	-44,1			6,78
1			21,0	-44,1			6,78
2			21,0	-44,1			6,78
3			21,0	-44,1			6,78
6			21,0	-44,1			6,78
7			21,0	-44,1			6,78
8			21,0	-44,1			6,78
9			21,0	-44,1			6,78
1			21,0	174,7			7,10
2			21,0	174,7			7,10
3			21,0	174,7			7,10
4			21,0	174,7			7,10
5			21,0	174,7			7,10
6			21,0	174,7			7,10
7			21,0	174,7			7,10
8			21,0	174,7			7,10
9			21,0	174,7			7,10
1			21,0	174,7			7,10
2			21,0	174,7			7,10
3			21,0	174,7			7,10
4			21,0	174,7			7,10
5			21,0	174,7			7,10
6			21,0	174,7			7,10
7			21,0	174,7			7,10
8			21,0	174,7			7,10
9			21,0	174,7			7,10
1			21	75,8			6,67

Tabela B1 (Cont.) Resultados dos testes de oxidação do lodo de ETA

Amostra de lodo	Hipo kg/tms	KMnO ₄ kg/tms	T (°C)	Lodo Bruto E = (mv)	Lodo Oxidado KMnO ₄ E = (mv)	Lodo Oxidado Cloro E = (mv)	pH Lodo Bruto
2			21	75,8			6,67
3			21	75,8			6,67
4			21	75,8			6,67
5			21	75,8			6,67
6			21	75,8			6,67
7			21	75,8			6,67
8			21	75,8			6,67
9			21	75,8			6,67
10			21	75,8			6,67
11			21	75,8			6,67
12			21	75,8			6,67
1			21	75,8			6,67
2			21	75,8			6,67
3			21	75,8			6,67
4			21	75,8			6,67
5			21	75,8			6,67
6			21	75,8			6,67
7			21	75,8			6,67
8			21	75,8			6,67
9			21	75,8			6,67
10			21	75,8			6,67
11			21	75,8			6,67
12			21	75,8			6,67
1			21	75,8			6,67
2			21	75,8			6,67
3			21	75,8			6,67
4			21	75,8			6,67
5			21	75,8			6,67
6			21	75,8			6,67
7			21	75,8			6,67
8			21	75,8			6,67
9			21	75,8			6,67
10			21	75,8			6,67
11			21	75,8			6,67
12			21	75,8			6,67
1			21	75,8			6,67
2			21	75,8			6,67
3			21	75,8			6,67
4			21	75,8			6,67
5			21	75,8			6,67
6			21	75,8			6,67
7			21	75,8			6,67
8			21	75,8			6,67
9			21	75,8			6,67
10			21	75,8			6,67
11			21	75,8			6,67
12			21	75,8			6,67
1			19,5	179,2			7,18

Tabela B1 (Cont.) Resultados dos testes de oxidação do lodo de ETA

Amostra de lodo	Hipo kg/tms	KMnO ₄ kg/tms	T (°C)	Lodo Bruto E = (mv)	Lodo Oxidado KMnO ₄ E = (mv)	Lodo Oxidado Cloro E = (mv)	pH Lodo Bruto
2			19,5	179,2			7,18
3			19,5	179,2			7,18
4			19,5	179,2			7,18
5			19,5	179,2			7,18
6			19,5	179,2			7,18
7			19,5	179,2			7,18
8			19,5	179,2			7,18
9			19,5	179,2			7,18
10			19,5	179,2			7,18
11			19,5	179,2			7,18
12			19,5	179,2			7,18
1			19,5	179,2			7,18
2			19,5	179,2			7,18
3			19,5	179,2			7,18
4			19,5	179,2			7,18
5			19,5	179,2			7,18
6			19,5	179,2			7,18
7			19,5	179,2			7,18
8			19,5	179,2			7,18
9			19,5	179,2			7,18
10			19,5	179,2			7,18
11			19,5	179,2			7,18
1			19,5	179,2			7,18
2			19,5	179,2			7,18
3			19,5	179,2			7,18
4			19,5	179,2			7,18
5			19,5	179,2			7,18
6			19,5	179,2			7,18
7			19,5	179,2			7,18
8			19,5	179,2			7,18
9			19,5	179,2			7,18
10			19,5	179,2			7,18
11			19,5	179,2			7,18
12			19,5	179,2			7,18
1			20,0	-73,8			6,59
2			20,0	-73,8			6,59
3			20,0	-73,8			6,59
4			20,0	-73,8			6,59
5			20,0	-73,8			6,59
6			20,0	-73,8			6,59
7			20,0	-73,8			6,59
8			20,0	-73,8			6,59
9			20,0	-73,8			6,59
10			20,0	-73,8			6,59
11			20,0	-73,8			6,59
12			20,0	-73,8			6,59
13			20,0	-73,8			6,59

Tabela B1 (Cont.) Resultados dos testes de oxidação do lodo de ETA

Amostra de lodo	Hipo kg/tms	KMnO ₄ kg/tms	T (°C)	Lodo Bruto E = (mv)	Lodo Oxidado KMnO ₄ E = (mv)	Lodo Oxidado Cloro E = (mv)	pH Lodo Bruto
1			20,0	-73,8			6,59
2			20,0	-73,8			6,59
3			20,0	-73,8			6,59
4			20,0	-73,8			6,59
5			20,0	-73,8			6,59
7			20,0	-73,8			6,59
8			20,0	-73,8			6,59
9			20,0	-73,8			6,59
10			20,0	-73,8			6,59
11			20,0	-73,8			6,59
12			20,0	-73,8			6,59
13			20,0	-73,8			6,59
1			20,0	-73,8			6,59
2			20,0	-73,8			6,59
3			20,0	-73,8			6,59
4			20,0	-73,8			6,59
5			20,0	-73,8			6,59
6			20,0	-73,8			6,59
7			20,0	-73,8			6,59
8			20,0	-73,8			6,59
9			20,0	-73,8			6,59
10			20,0	-73,8			6,59
11			20,0	-73,8			6,59
12			20,0	-73,8			6,59
13			20,0	-73,8			6,59
1			20,0	-73,8			6,59
2			20,0	-73,8			6,59
3			20,0	-73,8			6,59
4			20,0	-73,8			6,59
5			20,0	-73,8			6,59
6			20,0	-73,8			6,59
7			20,0	-73,8			6,59
8			20,0	-73,8			6,59
9			20,0	-73,8			6,59
10			20,0	-73,8			6,59
11			20,0	-73,8			6,59
12			20,0	-73,8			6,59
13			20,0	-73,8			6,59
7	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
8	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
9	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
10	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
11	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
12	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
13	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
1	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
2	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49

Tabela B1 (Cont.) Resultados dos testes de oxidação do lodo de ETA

Amostra de lodo	Hipo kg/tms	KMnO ₄ kg/tms	T (°C)	Lodo Bruto E = (mv)	Lodo Oxidado KMnO ₄ E = (mv)	Lodo Oxidado Cloro E = (mv)	pH Lodo Bruto
3	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
4	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
5	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
6	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
7	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
8	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
9	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
10	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
11	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
12	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
13	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
1	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
2	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
3	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
4	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
5	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
6	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
7	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
8	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
9	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
10	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
11	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
12	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
13	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
1	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
2	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
3	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
4	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
5	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
6	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
7	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
8	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
9	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
10	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
11	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
12	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
13	3,38		21,0	-57,3		10,4	6,49
1		1,28	20,0	-57,3	-10,4		6,49
2		1,28	20,0	-57,3	-10,4		6,49
3		1,28	20,0	-57,3	-10,4		6,49
4		1,28	20,0	-57,3	-10,4		6,49
5		1,28	20,0	-57,3	-10,4		6,49
6		1,28	20,0	-57,3	-10,4		6,49
7		1,28	20,0	-57,3	-10,4		6,49
8		1,28	20,0	-57,3	-10,4		6,49
9		1,28	20,0	-57,3	-10,4		6,49

Tabela B1 (Cont.) Resultados dos testes de oxidação do lodo de ETA

Amostra de lodo	Hipo kg/tms	KMnO ₄ kg/tms	T (°C)	Lodo Bruto E = (mv)	Lodo Oxidado KMnO ₄ E = (mv)	Lodo Oxidado Cloro E = (mv)	pH Lodo Bruto
10		1,28	20,0	-57,3	-10,4		6,49
11		1,28	20,0	-57,3	-10,4		6,49
12		1,28	20,0	-57,3	-10,4		6,49
13		1,28	20,0	-57,3	-10,4		6,49
1		1,28	20,0	-57,3	-10,4		6,49
2		1,28	20,0	-57,3	-10,4		6,49
3		1,28	20,0	-57,3	-10,4		6,49
4		1,28	20,0	-57,3	-10,4		6,49
5		1,28	20,0	-57,3	-10,4		6,49
6		1,28	20,0	-57,3	-10,4		6,49
7		1,28	20,0	-57,3	-10,4		6,49
8		1,28	20,0	-57,3	-10,4		6,49
9		1,28	20,0	-57,3	-10,4		6,49
10		1,28	20,0	-57,3	-10,4		6,49
11		1,28	20,0	-57,3	-10,4		6,49
12		1,28	20,0	-57,3	-10,4		6,49
13		1,28	20,0	-57,3	-10,4		6,49
1		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
2		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
3		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
4		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
5		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
6		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
7		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
8		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
9		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
10		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
11		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
12		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
13		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
1		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
2		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
3		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
4		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
5		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
6		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
7		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
8		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
9		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
10		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
11		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
12		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
13		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
1		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
2		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
3		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
4		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49

Tabela B1 (Cont.) Resultados dos testes de oxidação do lodo de ETA

Amostra de lodo	Hipo kg/tms	KMnO ₄ kg/tms	T (°C)	Lodo Bruto E = (mv)	Lodo Oxidado KMnO ₄ E = (mv)	Lodo Oxidado Cloro E = (mv)	pH Lodo Bruto
5		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
6		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
7		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
8		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
9		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
10		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
11		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
12		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
13		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
1		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
2		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
3		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
4		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
5		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
6		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
7		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
8		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
9		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
10		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
11		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
12		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
13		1,21	21,0	-57,3	10,6		6,49
1			21,0	-69			6,49
2			21,0	-69			6,49
3			21,0	-69			6,49
4			21,0	-69			6,49
5			21,0	-69			6,49
6			21,0	-69			6,49
7			21,0	-69			6,49
8			21,0	-69			6,49
9			21,0	-69			6,49
10			21,0	-69			6,49
11			21,0	-69			6,49
12			21,0	-69			6,49
13			21,0	-69			6,49
1		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
2		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
3		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
4		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
5		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
6		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
7		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
8		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
9		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
10		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
11		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
12		1,18	21,0	-69	19,5		6,49

Tabela B1 (Cont.) Resultados dos testes de oxidação do lodo de ETA

Amostra de lodo	Hipo kg/tms	KMnO ₄ kg/tms	T (°C)	Lodo Bruto E = (mv)	Lodo Oxidado KMnO ₄ E = (mv)	Lodo Oxidado Cloro E = (mv)	pH Lodo Bruto
13		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
1			21,0	-69			6,49
2			21,0	-69			6,49
3			21,0	-69			6,49
4			21,0	-69			6,49
5			21,0	-69			6,49
6			21,0	-69			6,49
7			21,0	-69			6,49
8			21,0	-69			6,49
9			21,0	-69			6,49
10			21,0	-69			6,49
11			21,0	-69			6,49
12			21,0	-69			6,49
13			21,0	-69			6,49
1		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
2		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
3		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
4		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
5		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
6		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
7		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
8		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
9		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
10		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
11		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
12		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
13		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
1			21,0	-69			6,49
2			21,0	-69			6,49
3			21,0	-69			6,49
4			21,0	-69			6,49
5			21,0	-69			6,49
6			21,0	-69			6,49
7			21,0	-69			6,49
8			21,0	-69			6,49
9			21,0	-69			6,49
10			21,0	-69			6,49
11			21,0	-69			6,49
12			21,0	-69			6,49
13			21,0	-69			6,49
1		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
2		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
3		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
4		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
5		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
6		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
7		1,18	21,0	-69	19,5		6,49

Tabela B1 (Cont.) Resultados dos testes de oxidação do lodo de ETA

Amostra de lodo	Hipo kg/tms	KMnO ₄ kg/tms	T (°C)	Lodo Bruto E = (mv)	Lodo Oxidado KMnO ₄ E = (mv)	Lodo Oxidado Cloro E = (mv)	pH Lodo Bruto
8		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
9		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
10		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
11		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
12		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
13		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
1			21,0	-69			6,49
2			21,0	-69			6,49
3			21,0	-69			6,49
4			21,0	-69			6,49
5			21,0	-69			6,49
6			21,0	-69			6,49
7			21,0	-69			6,49
8			21,0	-69			6,49
9			21,0	-69			6,49
10			21,0	-69			6,49
11			21,0	-69			6,49
12			21,0	-69			6,49
13			21,0	-69			6,49
1		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
2		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
3		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
4		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
5		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
6		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
7		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
8		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
9		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
10		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
11		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
12		1,18	21,0	-69	19,5		6,49
13		1,18	21,0	-69	19,5		6,49

ANEXO C

Tabela C1 Resultados dos ensaios de pH, teores de sólidos, consumo de polímero e tempo de filtração para lodo de ETA oxidado e ou sem oxidação com cloro ou permanganato de potássio

Amostra de lodo	pH Lodo Oxidado KMnO ₄	pH Lodo Oxidado Cloro	TS do lodo (g/L)	Tipo de Poli	Poli kg/tms	Tipo de Floco	Tempo Filtração p/ 100 mL (s)
1			11,4	1	1,02	NF	NR
2			11,4	1	2,00	NF	NR
3			11,4	1	3,02	NF	NR
4			11,4	1	4,00	NF	NR
5			11,4	1	5,02	NF	NR
6			11,4	1	6,04	NF	NR
7			11,4	1	7,02	NF	NR
8			11,4	1	8,07	M	46,00
9			11,4	1	9,02	M	48,00
10			11,4	1	10,04	G	42,80
11			11,4	1	11,02	G	45,00
12			11,4	1	12,00	G	44,00
13			11,4	1	13,02	G	68,00
1			11,4	2	1,02	NF	NR
2			11,4	2	2,00	NF	NR
3			11,4	2	3,02	P	300,00
4			11,4	2	4,00	M	251,00
5			11,4	2	5,02	M	300,00
6			11,4	2	6,04	NF	NR
7			11,4	2	7,02	NF	NR
8			11,4	2	8,07	NF	NR
9			11,4	2	9,02	NF	NR
10			11,4	2	10,04	NF	NR
11			11,4	2	11,02	NF	NR
12			11,4	2	12,00	NF	NR
13			11,4	2	13,02	NF	NR
1		6,36	11,4	1	1,02	NF	NR
2		6,36	11,4	1	2,00	NF	NR
3		6,36	11,4	1	3,02	NF	NR
4		6,36	11,4	1	4,00	NF	NR
5		6,36	11,4	1	5,02	M	60,00
6		6,36	11,4	1	6,04	M	64,00
7		6,36	11,4	1	7,02	M	53,00
8		6,36	11,4	1	8,07	M	72,00
9		6,36	11,4	1	9,02	G	90,00
10		6,36	11,4	1	10,04	NF	NR
11		6,36	11,4	1	11,02	NF	NR
12		6,36	11,4	1	12,00	NF	NR
13		6,36	11,4	1	13,02	NF	NR
1		6,16	11,4	1	1,02	NF	NR
2		6,16	11,4	1	2,00	NF	NR
3		6,16	11,4	1	3,02	NF	NR
4		6,16	11,4	1	4,00	NF	NR
5		6,16	11,4	1	5,02	M	64,00
6		6,16	11,4	1	6,04	M	60,00

Tabela C1 (Cont.) Resultados dos ensaios de pH, teores de sólidos, consumo de polímero e tempo de filtração para lodo de ETA oxidado e ou sem oxidação com cloro ou permanganato de potássio

Amostra de lodo	pH Lodo Oxidado KMnO ₄	pH Lodo Oxidado Cloro	TS do lodo (g/L)	Tipo de Poli	Poli kg/tms	Tipo de Floco	Tempo Filtração p/ 100 mL (s)
7		6,16	11,4	1	7,02	M	64,00
8		6,16	11,4	1	8,07	M	62,00
9		6,16	11,4	1	9,02	G	62,00
10		6,16	11,4	1	10,04	NF	NR
11		6,16	11,4	1	11,02	NF	NR
12		6,16	11,4	1	12,00	NF	NR
13		6,16	11,4	1	13,02	NF	NR
1		6,1	11,4	1	1,02	NF	NR
2		6,1	11,4	1	2,00	NF	NR
3		6,1	11,4	1	3,02	NF	NR
4		6,1	11,4	1	4,00	NF	NR
5		6,1	11,4	1	5,02	NF	NR
6		6,1	11,4	1	6,04	M	60,00
7		6,1	11,4	1	7,02	M	89,00
8		6,1	11,4	1	8,07	G	129,00
9		6,1	11,4	1	9,02	G	96,00
10		6,1	11,4	1	10,04	NF	NR
11		6,1	11,4	1	11,02	NF	NR
12		6,1	11,4	1	12,00	NF	NR
13		6,1	11,4	1	13,02	NF	NR
1		6,16	11,4	2	1,02	NF	NR
2		6,16	11,4	2	2,00	P	300,00
3		6,16	11,4	2	3,02	M	300,00
4		6,16	11,4	2	4,00	M	300,00
5		6,16	11,4	2	5,02	NF	NR
6		6,16	11,4	2	6,04	NF	NR
7		6,16	11,4	2	7,02	NF	NR
8		6,16	11,4	2	8,07	NF	NR
9		6,16	11,4	2	9,02	NF	NR
10		6,16	11,4	2	10,04	NF	NR
11		6,16	11,4	2	11,02	NF	NR
12		6,16	11,4	2	12,00	NF	NR
13		6,16	11,4	2	13,02	NF	NR
1		6,36	11,4	2	1,02	NF	NR
2		6,36	11,4	2	2,00	NF	NR
3		6,36	11,4	2	3,02	M	300,00
4		6,36	11,4	2	4,00	M	300,00
5		6,36	11,4	2	5,02	NF	NR
6		6,36	11,4	2	6,04	NF	NR
7		6,36	11,4	2	7,02	NF	NR
8		6,36	11,4	2	8,07	NF	NR
9		6,36	11,4	2	9,02	NF	NR
10		6,36	11,4	2	10,04	NF	NR
11		6,36	11,4	2	11,02	NF	NR
12		6,36	11,4	2	12,00	NF	NR
13		6,36	11,4	2	13,02	NF	NR
1		6,1	11,4	2	1,02	NF	NR
2		6,1	11,4	2	2,00	NF	NR

Tabela C1 (Cont.) Resultados dos ensaios de pH, teores de sólidos, consumo de polímero e tempo de filtração para lodo de ETA oxidado e ou sem oxidação com cloro ou permanganato de potássio

Amostra de lodo	pH Lodo Oxidado KMnO ₄	pH Lodo Oxidado Cloro	TS do lodo (g/L)	Tipo de Poli	Poli kg/tms	Tipo de Floco	Tempo Filtração p/ 100 mL (s)
3		6,1	11,4	2	3,02	M	300,00
4		6,1	11,4	2	4,00	M	231,00
5		6,1	11,4	2	5,02	NF	NR
6		6,1	11,4	2	6,04	NF	NR
7		6,1	11,4	2	7,02	NF	NR
8		6,1	11,4	2	8,07	NF	NR
9		6,1	11,4	2	9,02	NF	NR
10		6,1	11,4	2	10,04	NF	NR
11		6,1	11,4	2	11,02	NF	NR
12		6,1	11,4	2	12,00	NF	NR
13		6,1	11,4	2	13,02	NF	NR
1			20,00	2	3	NF	NR
2			20,00	2	4	NF	NR
3			20,00	2	5	NF	NR
4			20,00	1	6	P	20,44
5			20,00	1	7	M	19,00
6			20,00	1	8	G	17,22
7			20,00	1	9	G	30,62
8			20,00	1	10	G	50,78
9			20,00	1	11	G	55,56
10			20,00	1	12	G	40,03
11			20,00	1	13	G	39,00
1			20,00	6	3	NF	NR
2			20,00	6	4	P	39,50
3			20,00	6	5	G	99,28
4			20,00	6	6	M	17,30
5			20,00	6	7	M	118,38
6			20,00	6	8	P	149,10
7			20,00	6	9	P	136,62
8			20,00	6	10	NF	NR
9			20,00	6	11	NF	NR
10			20,00	6	12	NF	NR
11			20,00	6	13	NF	NR
1			20,00	5	3	NF	NR
2			20,00	5	4	NF	NR
3			20,00	5	5	NF	NR
4			20,00	5	6	NF	NR
5			20,00	5	7	P	300,00
6			20,00	5	8	M	36,00
7			20,00	5	9	M	18,06
8			20,00	5	10	M	27,00
9			20,00	5	11	M	140,00
10			20,00	5	12	M	134,00
11			20,00	5	13	M	298,00
1			20,00	2	3	P	300,00
2			20,00	2	4	M	300,00
3			20,00	2	5	M	300,00

Tabela C1 (Cont.) Resultados dos ensaios de pH, teores de sólidos, consumo de polímero e tempo de filtração para lodo de ETA oxidado e ou sem oxidação com cloro ou permanganato de potássio

Amostra de lodo	pH Lodo Oxidado KMnO ₄	pH Lodo Oxidado Cloro	TS do lodo (g/L)	Tipo de Poli	Poli kg/tms	Tipo de Floco	Tempo Filtração p/ 100 mL (s)
4			20,00	2	6	M	300,00
5			20,00	2	7	P	300,00
6			20,00	2	8	P	300,00
7			20,00	2	9	P	300,00
8			20,00	2	10	NF	NR
9			20,00	2	11	NF	NR
10			20,00	2	12	NF	NR
11			20,00	2	13	NF	NR
1			20,00	4	3	P	300,00
2			20,00	4	4	P	300,00
3			20,00	4	5	P	300,00
4			20,00	4	6	P	300,00
5			20,00	4	7	NF	NR
6			20,00	4	8	NF	NR
7			20,00	4	9	NF	NR
8			20,00	4	10	NF	NR
9			20,00	4	11	NF	NR
10			20,00	4	12	NF	NR
11			20,00	4	13	NF	NR
1			20,00	3	3	P	300,00
2			20,00	3	4	P	300,00
3			20,00	3	5	P	300,00
4			20,00	3	6	P	300,00
5			20,00	3	7	P	300,00
6			20,00	3	8	P	300,00
7			20,00	3	9	NF	NR
8			20,00	3	10	NF	NR
9			20,00	3	11	NF	NR
10			20,00	3	12	NF	NR
1			23,00	5	1	NF	
2			23,00	5	2	NF	
3			23,00	5	3	NF	
4			23,00	5	4	NF	
5			23,00	5	5	NF	
6			23,00	5	6	NF	
7			23,00	5	7	P	272,00
8			23,00	5	8	M	40,00
9			23,00	5	9	M	20,00
10			23,00	5	10	G	25,40
11			23,00	5	11	G	140,00
12			23,00	5	12	G	134,00
13			23,00	5	13	G	300,00
1			23,00	1	2	NF	
2			23,00	1	4	NF	
3			23,00	1	7	P	21,23
4			23,00	1	8	P	19,00
5			23,00	1	9	M	32,00
6			23,00	1	10	G	50,00

Tabela C1 (Cont.) Resultados dos ensaios de pH, teores de sólidos, consumo de polímero e tempo de filtração para lodo de ETA oxidado e ou sem oxidação com cloro ou permanganato de potássio

Amostra de lodo	pH Lodo Oxidado KMnO ₄	pH Lodo Oxidado Cloro	TS do lodo (g/L)	Tipo de Poli	Poli kg/tms	Tipo de Floco	Tempo Filtração p/ 100 mL (s)
7			23,00	1	11	G	57,00
8			23,00	1	12	G	41,00
9			23,00	1	13	G	50,20
1			23,00	2	1	NF	
2			23,00	2	2	P	300,00
3			23,00	2	3	P	300,00
4			23,00	2	4	P	300,00
5			23,00	2	5	P	300,00
6			23,00	2	7	P	300,00
7			23,00	2	8	P	300,00
8			23,00	2	9	P	300,00
9			23,00	2	10	P	300,00
1			23,00	4	2	P	300,00
2			23,00	4	3	P	300,00
3			23,00	4	4	P	300,00
4			23,00	4	5	P	300,00
5			23,00	4	7	P	300,00
6			23,00	4	8	P	300,00
7			23,00	4	9	P	300,00
8			23,00	4	10	P	300,00
9			23,00	4	11	P	300,00
9			23,00	4	12	P	300,00
1			23,00	7	1	NF	
2			23,00	7	2	NF	
3			23,00	7	3	NF	
6			23,00	7	7	G	39,00
7			23,00	7	8	G	20,20
8			23,00	7	9	G	24,2
9			23,00	7	11	NF	
1			32,00	8	1	NF	
2			32,00	8	2	P	300
3			32,00	8	2	M	300
4			32,00	8	3	G	300
5			32,00	8	4	G	300
6			32,00	8	5	G	300
7			32,00	8	5	G	300
8			32,00	8	6	M	300
9			32,00	8	8	M	300
1			32,00	3	1	NF	
2			32,00	3	2	NF	
3			32,00	3	2	P	300,00
4			32,00	3	3	P	300,00
5			32,00	3	4	M	300,00
6			32,00	3	5	M	300,00
7			32,00	3	5	M	300,00
8			32,00	3	6	M	300,00
9			32,00	3	8	M	300,00
1			20,00	5	1	NF	

Tabela C1 (Cont.) Resultados dos ensaios de pH, teores de sólidos, consumo de polímero e tempo de filtração para lodo de ETA oxidado e ou sem oxidação com cloro ou permanganato de potássio

Amostra de lodo	pH Lodo Oxidado KMnO ₄	pH Lodo Oxidado Cloro	TS do lodo (g/L)	Tipo de Poli	Poli kg/tms	Tipo de Floco	Tempo Filtração p/ 100 mL (s)
2			20,00	5	2	NF	
3			20,00	5	3	NF	
4			20,00	5	4	NF	
5			20,00	5	5	NF	
6			20,00	5	6	P	120,42
7			20,00	5	7	P	115,7
8			20,00	5	8	M	100,72
9			20,00	5	9	M	101,72
10			20,00	5	10	M	20,56
11			20,00	5	11	M	58,5
12			20,00	5	12	M	65,59
1			20,00	1	1	NF	
2			20,00	1	2	NF	
3			20,00	1	3	NF	
4			20,00	1	4	NF	
5			20,00	1	5	NF	
6			20,00	1	6	P	300
7			20,00	1	7	P	300
8			20,00	1	8	G	77,03
9			20,00	1	9	G	62,01
10			20,00	1	10	G	41,5
11			20,00	1	11	G	41,5
12			20,00	1	12	G	19,51
1			20,00	7	1	NF	
2			20,00	7	2	NF	
3			20,00	7	3	NF	
4			20,00	7	4	M	300
5			20,00	7	5	M	29
6			20,00	7	6	M	16,31
7			20,00	7	7	M	18
8			20,00	7	8	M	21,17
9			20,00	7	9	NF	
10			20,00	7	10	NF	
11			20,00	7	11	NF	
12			20,00	7	12	NF	
1			20,00	6	1	NF	
2			20,00	6	2	NF	
3			20,00	6	3	NF	
4			20,00	6	4	P	205,17
5			20,00	6	5	P	221
6			20,00	6	6	P	242,32
7			20,00	6	7	P	300
8			20,00	6	8	P	300
9			20,00	6	9	P	300
10			20,00	6	10	P	300
11			20,00	6	11	P	300
12			20,00	6	12	NF	NR
1			31,00	7	1	NF	

Tabela C1 (Cont.) Resultados dos ensaios de pH, teores de sólidos, consumo de polímero e tempo de filtração para lodo de ETA oxidado e ou sem oxidação com cloro ou permanganato de potássio

Amostra de lodo	pH Lodo Oxidado KMnO ₄	pH Lodo Oxidado Cloro	TS do lodo (g/L)	Tipo de Poli	Poli kg/tms	Tipo de Floco	Tempo Filtração p/ 100 mL (s)
2			31,00	7	2	N.F	
3			31,00	7	3	N.F	
4			31,00	7	4	M	12,53
5			31,00	7	5	M	57
6			31,00	7	6	M	139,65
7			31,00	7	7	M	159
8			31,00	7	8	M	183,28
9			31,00	7	9	M	181,18
10			31,00	7	10	P	161,41
11			31,00	7	11	P	143
12			31,00	7	12	P	148,14
1			31,00	3	1	N.F	
2			31,00	3	2	N.F	
3			31,00	3	3	P	300
4			31,00	3	4	P	300
5			31,00	3	5	P	300
6			31,00	3	6	P	300
7			31,00	3	7	P	300
8			31,00	3	8	P	300
9			31,00	3	9	P	300
10			31,00	3	10	N.F.	
11			31,00	3	11	N.F.	
1			31,00	1	1	N.F.	
2			31,00	1	2	N.F.	
3			31,00	1	3	N.F.	
4			31,00	1	4	N.F.	
5			31,00	1	5	N.F.	
6			31,00	1	6	P	300
7			31,00	1	7	P	300
8			31,00	1	8	P	82,06
9			31,00	1	9	P	53
10			31,00	1	10	P	26,03
11			31,00	1	11	M	19
12			31,00	1	12	M	13,15
1			32,00	1	1	NF	
2			32,00	1	2	NF	
3			32,00	1	3	NF	
4			32,00	1	4	NF	
5			32,00	1	5	P	300
6			32,00	1	6	P	148,0
7			32,00	1	7	M	47,22
8			32,00	1	8	G	18,53
9			32,00	1	9	G	15,47
10			32,00	1	10	G	11,09
11			32,00	1	11	NF	
12			32,00	1	12	NF	
13			32,00	1	13	NF	

Tabela C1 (Cont.) Resultados dos ensaios de pH, teores de sólidos, consumo de polímero e tempo de filtração para lodo de ETA oxidado e ou sem oxidação com cloro ou permanganato de potássio

Amostra de lodo	pH Lodo Oxidado KMnO ₄	pH Lodo Oxidado Cloro	TS do lodo (g/L)	Tipo de Poli	Poli kg/tms	Tipo de Floco	Tempo Filtração p/ 100 mL (s)
1			32,00	6	1	NF	
2			32,00	6	2	NF	
3			32,00	6	3	NF	
4			32,00	6	4	G	29,00
5			32,00	6	5	G	14,32
7			32,00	6	7	G	13,72
8			32,00	6	8	M	300
9			32,00	6	9	NF	
10			32,00	6	10	NF	
11			32,00	6	11	NF	
12			32,00	6	12	NF	
13			32,00	6	13	NF	
1			32,00	2	1	NF	
2			32,00	2	2	P	300
3			32,00	2	3	P	300
4			32,00	2	4	NF	
5			32,00	2	5	NF	
6			32,00	2	6	NF	
7			32,00	2	7	NF	
8			32,00	2	8	NF	
9			32,00	2	9	NF	
10			32,00	2	10	NF	
11			32,00	2	11	NF	
12			32,00	2	12	NF	
13			32,00	2	13	NF	
1			32,00	4	1	NF	
2			32,00	4	2	NF	
3			32,00	4	3	NF	
4			32,00	4	4	NF	
5			32,00	4	5	NF	
6			32,00	4	6	NF	
7			32,00	4	7	NF	
8			32,00	4	8	NF	
9			32,00	4	9	NF	
10			32,00	4	10	NF	
11			32,00	4	11	NF	
12			32,00	4	12	NF	
13			32,00	4	13	NF	
7		6,16	32,00	4	7	NF	
8		6,16	32,00	4	8	NF	
9		6,16	32,00	4	9	NF	
10		6,16	32,00	4	10	NF	
11		6,16	32,00	4	11	NF	
12		6,16	32,00	4	12	NF	
13		6,16	32,00	4	13	NF	
1		6,16	32,00	2	1	P	300
2		6,16	32,00	2	2	P	300

Tabela C1 (Cont.) Resultados dos ensaios de pH, teores de sólidos, consumo de polímero e tempo de filtração para lodo de ETA oxidado e ou sem oxidação com cloro ou permanganato de potássio

Amostra de lodo	pH Lodo Oxidado KMnO ₄	pH Lodo Oxidado Cloro	TS do lodo (g/L)	Tipo de Poli	Poli kg/tms	Tipo de Floco	Tempo Filtração p/ 100 mL (s)
3		6,16	32,00	2	3	NF	
4		6,16	32,00	2	4	NF	
5		6,16	32,00	2	5	NF	
6		6,16	32,00	2	6	NF	
7		6,16	32,00	2	7	NF	
8		6,16	32,00	2	8	NF	
9		6,16	32,00	2	9	NF	
10		6,16	32,00	2	10	NF	
11		6,16	32,00	2	11	NF	
12		6,16	32,00	2	12	NF	
13		6,16	32,00	2	13	NF	
1		6,16	32,00	1	1	NF	
2		6,16	32,00	1	2	NF	
3		6,16	32,00	1	3	NF	
4		6,16	32,00	1	4	G	119
5		6,16	32,00	1	5	M	72
6		6,16	32,00	1	6	P	33
7		6,16	32,00	1	7	NF	
8		6,16	32,00	1	8	NF	
9		6,16	32,00	1	9	NF	
10		6,16	32,00	1	10	NF	
11		6,16	32,00	1	11	NF	
12		6,16	32,00	1	12	NF	
13		6,16	32,00	1	13	NF	
1		6,16	32,00	6	1	NF	
2		6,16	32,00	6	2	G	19,37
3		6,16	32,00	6	3	G	24,6
4		6,16	32,00	6	4	P	106
5		6,16	32,00	6	5	NF	
6		6,16	32,00	6	6	NF	
7		6,16	32,00	6	7	NF	
8		6,16	32,00	6	8	NF	
9		6,16	32,00	6	9	NF	
10		6,16	32,00	6	10	NF	
11		6,16	32,00	6	11	NF	
12		6,16	32,00	6	12	NF	
13		6,16	32,00	6	13	NF	
1	6,42		20,00	1	1	NF	
2	6,42		20,00	1	2	NF	
3	6,42		20,00	1	3	NF	
4	6,42		20,00	1	4	P	121
5	6,42		20,00	1	5	P	67,5
6	6,42		20,00	1	6	P	34,00
7	6,42		20,00	1	7	P	39,00
8	6,42		20,00	1	8	P	43,00
9	6,42		20,00	1	9	NF	

Tabela C1 (Cont.) Resultados dos ensaios de pH, teores de sólidos, consumo de polímero e tempo de filtração para lodo de ETA oxidado e ou sem oxidação com cloro ou permanganato de potássio

Amostra de lodo	pH Lodo Oxidado KMnO ₄	pH Lodo Oxidado Cloro	TS do lodo (g/L)	Tipo de Poli	Poli kg/tms	Tipo de Floco	Tempo Filtração p/ 100 mL (s)
10	6,42		20,00	1	10	NF	
11	6,42		20,00	1	11	NF	
12	6,42		20,00	1	12	NF	
13	6,42		20,00	1	13	NF	
1	6,42		20,00	6	1	NF	
2	6,42		20,00	6	2	P	125
3	6,42		20,00	6	3	P	72,00
4	6,42		20,00	6	4	P	109,00
5	6,42		20,00	6	5	NF	
6	6,42		20,00	6	6	NF	
7	6,42		20,00	6	7	NF	
8	6,42		20,00	6	8	NF	
9	6,42		20,00	6	9	NF	
10	6,42		20,00	6	10	NF	
11	6,42		20,00	6	11	NF	
12	6,42		20,00	6	12	NF	
13	6,42		20,00	6	13	NF	
1	6,58		20,00	6	1	NF	
2	6,58		20,00	6	2	NF	
3	6,58		20,00	6	3	G	31
4	6,58		20,00	6	4	G	35
5	6,58		20,00	6	5	G	118,3
6	6,58		20,00	6	6	M	300
7	6,58		20,00	6	7	P	300
8	6,58		20,00	6	8	P	300
9	6,58		20,00	6	9	NF	
10	6,58		20,00	6	10	NF	
11	6,58		20,00	6	11	NF	
12	6,58		20,00	6	12	NF	
13	6,58		20,00	6	13	NF	
1	6,58		20,00	2	1	P	300
2	6,58		20,00	2	2	P	300
3	6,58		20,00	2	3	NF	
4	6,58		20,00	2	4	NF	
5	6,58		20,00	2	5	NF	
6	6,58		20,00	2	6	NF	
7	6,58		20,00	2	7	NF	
8	6,58		20,00	2	8	NF	
9	6,58		20,00	2	9	NF	
10	6,58		20,00	2	10	NF	
11	6,58		20,00	2	11	NF	
12	6,58		20,00	2	12	NF	
13	6,58		20,00	2	13	NF	
1	6,58		20,00	1	1	NF	
2	6,58		20,00	1	2	NF	
3	6,58		20,00	1	3	P	44
4	6,58		20,00	1	4	G	18,3

Tabela C1 (Cont.) Resultados dos ensaios de pH, teores de sólidos, consumo de polímero e tempo de filtração para lodo de ETA oxidado e ou sem oxidação com cloro ou permanganato de potássio

Amostra de lodo	pH Lodo Oxidado KMnO ₄	pH Lodo Oxidado Cloro	TS do lodo (g/L)	Tipo de Poli	Poli kg/tms	Tipo de Floco	Tempo Filtração p/ 100 mL (s)
5	6,58		20,00	1	5	G	14,06
6	6,58		20,00	1	6	G	13,44
7	6,58		20,00	1	7	P	13
8	6,58		20,00	1	8	P	13,15
9	6,58		20,00	1	9	NF	
10	6,58		20,00	1	10	NF	
11	6,58		20,00	1	11	NF	
12	6,58		20,00	1	12	NF	
13	6,58		20,00	1	13	NF	
1	6,58		20,00	8	1	P	300
2	6,58		20,00	8	2	P	300
3	6,58		20,00	8	3	NF	
4	6,58		20,00	8	4	NF	
5	6,58		20,00	8	5	NF	
6	6,58		20,00	8	6	NF	
7	6,58		20,00	8	7	NF	
8	6,58		20,00	8	8	NF	
9	6,58		20,00	8	9	NF	
10	6,58		20,00	8	10	NF	
11	6,58		20,00	8	11	NF	
12	6,58		20,00	8	12	NF	
13	6,58		20,00	8	13	NF	
1			20,00	3	1	NF	
2			20,00	3	2	NF	
3			20,00	3	3	NF	
4			20,00	3	4	NF	
5			20,00	3	5	NF	
6			20,00	3	6	NF	
7			20,00	3	7	NF	
8			20,00	3	8	NF	
9			20,00	3	9	NF	
10			20,00	3	10	NF	
11			20,00	3	11	NF	
12			20,00	3	12	NF	
13			20,00	3	13	NF	
1	6,65		20,00	3	1	NF	
2	6,65		20,00	3	2	NF	
3	6,65		20,00	3	3	NF	
4	6,65		20,00	3	4	NF	
5	6,65		20,00	3	5	NF	
6	6,65		20,00	3	6	NF	
7	6,65		20,00	3	7	NF	
8	6,65		20,00	3	8	NF	
9	6,65		20,00	3	9	NF	
10	6,65		20,00	3	10	NF	
11	6,65		20,00	3	11	NF	
12	6,65		20,00	3	12	NF	

Tabela C1 (Cont.) Resultados dos ensaios de pH, teores de sólidos, consumo de polímero e tempo de filtração para lodo de ETA oxidado e ou sem oxidação com cloro ou permanganato de potássio

Amostra de lodo	pH Lodo Oxidado KMnO ₄	pH Lodo Oxidado Cloro	TS do lodo (g/L)	Tipo de Poli	Poli kg/tms	Tipo de Floco	Tempo Filtração p/ 100 mL (s)
13	6,65		20,00	3	13	NF	
1			20,00	2	1	P	
2			20,00	2	2	P	
3			20,00	2	3	NF	
4			20,00	2	4	NF	
5			20,00	2	5	NF	
6			20,00	2	6	NF	
7			20,00	2	7	NF	
8			20,00	2	8	NF	
9			20,00	2	9	NF	
10			20,00	2	10	NF	
11			20,00	2	11	NF	
12			20,00	2	12	NF	
13			20,00	2	13	NF	
1	6,65		20,00	2	1	P	
2	6,65		20,00	2	2	P	
3	6,65		20,00	2	3	NF	
4	6,65		20,00	2	4	NF	
5	6,65		20,00	2	5	NF	
6	6,65		20,00	2	6	NF	
7	6,65		20,00	2	7	NF	
8	6,65		20,00	2	8	NF	
9	6,65		20,00	2	9	NF	
10	6,65		20,00	2	10	NF	
11	6,65		20,00	2	11	NF	
12	6,65		20,00	2	12	NF	
13	6,65		20,00	2	13	NF	
1			20,00	6	1	NF	
2			20,00	6	2	NF	
3			20,00	6	3	M	23,4
4			20,00	6	4	M	16,22
5			20,00	6	5	P	43,44
6			20,00	6	6	NF	
7			20,00	6	7	NF	
8			20,00	6	8	NF	
9			20,00	6	9	NF	
10			20,00	6	10	NF	
11			20,00	6	11	NF	
12			20,00	6	12	NF	
13			20,00	6	13	NF	
1	6,65		20,00	6	1	NF	
2	6,65		20,00	6	2	NF	
3	6,65		20,00	6	3	M	24
4	6,65		20,00	6	4	M	18,7
5	6,65		20,00	6	5	P	92
6	6,65		20,00	6	6	NF	
7	6,65		20,00	6	7	NF	

Tabela C1 (Cont.) Resultados dos ensaios de pH, teores de sólidos, consumo de polímero e tempo de filtração para lodo de ETA oxidado e ou sem oxidação com cloro ou permanganato de potássio

Amostra de lodo	pH Lodo Oxidado KMnO ₄	pH Lodo Oxidado Cloro	TS do lodo (g/L)	Tipo de Poli	Poli kg/tms	Tipo de Floco	Tempo Filtração p/ 100 mL (s)
8	6,65		20,00	6	8	NF	
9	6,65		20,00	6	9	NF	
10	6,65		20,00	6	10	NF	
11	6,65		20,00	6	11	NF	
12	6,65		20,00	6	12	NF	
13	6,65		20,00	6	13	NF	
1			20,00	1	1	NF	
2			20,00	1	2	NF	
3			20,00	1	3	NF	
4			20,00	1	4	NF	
5			20,00	1	5	NF	
6			20,00	1	6	NF	
7			20,00	1	7	NF	
8			20,00	1	8	P	21
9			20,00	1	9	M	19
10			20,00	1	10	M	18,7
11			20,00	1	11	P	30,42
12			20,00	1	12	NF	
13			20,00	1	13	NF	
1	6,65		20,00	1	1	NF	
2	6,65		20,00	1	2	NF	
3	6,65		20,00	1	3	NF	
4	6,65		20,00	1	4	NF	
5	6,65		20,00	1	5	NF	
6	6,65		20,00	1	6	p	88
7	6,65		20,00	1	7	M	71,3
8	6,65		20,00	1	8	M	35,4
9	6,65		20,00	1	9	M	27,9
10	6,65		20,00	1	10	NF	
11	6,65		20,00	1	11	NF	
12	6,65		20,00	1	12	NF	
13	6,65		20,00	1	13	NF	

ANEXO D

Tabela D1 Efeito cinético da adição de cloro em lodo de ETA

Efeito Cinético do Cloro em Lodo de ETA				
Data:	25/9/2010	CRT (g/L):	1,23	
Teor de sólidos lodo de ETA (%)				1,66
Cloro (mL)	Consumo de Cloro (kg/tms)	Temperatura (°C)	(mV)	pH
0,0	0,00	20,4	155,7	6,54
1,0	0,07	20,4	150,2	6,53
5,0	0,37	20,4	143,0	6,51
10,0	0,74	20,4	144,8	6,48
15,0	1,11	20,4	148,7	6,45
20,0	1,48	20,4	151,7	6,43
25,0	1,85	20,4	155,9	6,41
30,0	2,22	20,4	158,7	6,39
35,0	2,59	20,4	166,0	6,36
40,0	2,96	20,4	174,2	6,33
45,0	3,33	20,4	179,4	6,29
50,0	3,70	20,4	184,4	6,26
55,0	4,08	20,4	188,7	6,23
60,0	4,45	20,4	195,1	6,20
65,0	4,82	20,4	200,4	6,16
70,0	5,19	20,4	209,6	6,13
75,0	5,56	20,4	217,6	6,11
80,0	5,93	20,4	223,2	6,08
85,0	6,30	20,4	226,4	6,05

Tabela D1 (Cont.) Efeito cinético da adição de cloro em lodo de ETA

Efeito Cinético do Cloro em Lodo de ETA				
Data:	25/9/2010	CRT (g/L):	1,23	
Teor de sólidos lodo de ETA (%)				1,66
Cloro (mL)	Consumo de Cloro (kg/tms)	Temperatura (°C)	(mV)	pH
90,0	6,67	20,4	234,1	6,01
95,0	7,04	20,4	247,3	5,98
100,0	7,41	20,4		
105,0	7,78	20,4		
110,0	8,15	20,4	275,2	5,87
115,0	8,52	20,4		
120,0	8,89	20,4	290,4	5,81
125,0	9,26	20,4		
130,0	9,63	20,4		
135,0	10,00	20,4		
140,0	10,37	20,4	320,3	5,66
145,0	10,74	20,4		
150,0	11,11	20,4		
155,0	11,48	20,4		
160,0	11,86	20,4	307	5,55
165,0	12,23	20,4		
170,0	12,60	20,4		

ANEXO E

Tabela E1 Efeito cinético da adição de permanganato de potássio em lodo de ETA

Efeito Cinético do Permanganato de Potássio em Lodo de ETA				
Data:	25/10/2010	Concentração (g/L):	1,0	
Teor de sólidos lodo de ETA (%)				2,0
KMnO₄ (mL)	KMnO₄ (kg/tms)	Temperatura (°C)	ORP(mV)	pH
0	0,00	21	-40,8	6,68
2	0,10	21	-40,5	6,68
4	0,20	21	-39,9	6,67
6	0,30	21	-39,2	6,65
8	0,40	21	-38	6,65
10	0,50	21	-33,6	6,64
12	0,60	21	-30,8	6,64
14	0,70	21	-29,1	6,63
16	0,80	21	-26,7	6,63
18	0,90	21	-23,2	6,63
20	1,00	21	-21,1	6,62
22	1,10	21	-18,6	6,62
24	1,20	21	-16,1	6,62
26	1,30	21	-13,5	6,62
28	1,40	21	-11	6,61
30	1,50	21	-8,5	6,61
32	1,60	21	-6	6,61
34	1,70	21	-3,5	6,61
36	1,80	21	-0,9	6,61
38	1,90	21	1,5	6,61
40	2,00	21	2,6	6,6
42	2,10	21	4,9	6,65
44	2,20	21	6,5	6,68
46	2,30	21	8,2	6,7
48	2,40	21	9,9	6,7
50	2,50	21	12,1	6,71

Tabela E1 (Cont.) Efeito cinético da adição de permanganato de potássio em lodo de ETA

Efeito Cinético do Permanganato de Potássio em Lodo de ETA				
Data:	25/10/2010	Concentração (g/L):		1,0
Teor de sólidos lodo de ETA (%)				2,0
KMnO₄ (mL)	KMnO₄ (kg/tms)	Temperatura (°C)	ORP(mV)	pH
52	2,60	21	15,2	6,71
54	2,70	21	17,6	6,73
56	2,80	21	20	6,73
58	2,90	21	22,1	6,73
60	3,00	21	27,5	6,74
62	3,10	21	29,7	6,74
64	3,20	21	31,6	6,75
66	3,30	21	35,2	6,75
68	3,40	21	37,1	6,77
70	3,50	21	39,8	6,77
72	3,60	21	42,9	6,77
74	3,70	21	44,2	6,79
76	3,80	21	47,5	6,80
78	3,90	21	50,1	6,82
80	4,00	21	53,3	6,84
82	4,10	21	70,6	6,85
84	4,20	21	82,6	6,85
86	4,30	21,5	95,8	6,86
88	4,40	21,5	115,2	6,87
90	4,50	21,5	131,9	6,87
92	4,60	21,5	147	6,87
94	4,70	21,5	168,2	6,88
96	4,80	21,5	179,5	6,89
98	4,90	21,5	193,4	6,89
100	5,00	21,5	208,3	6,91

ANEXO F

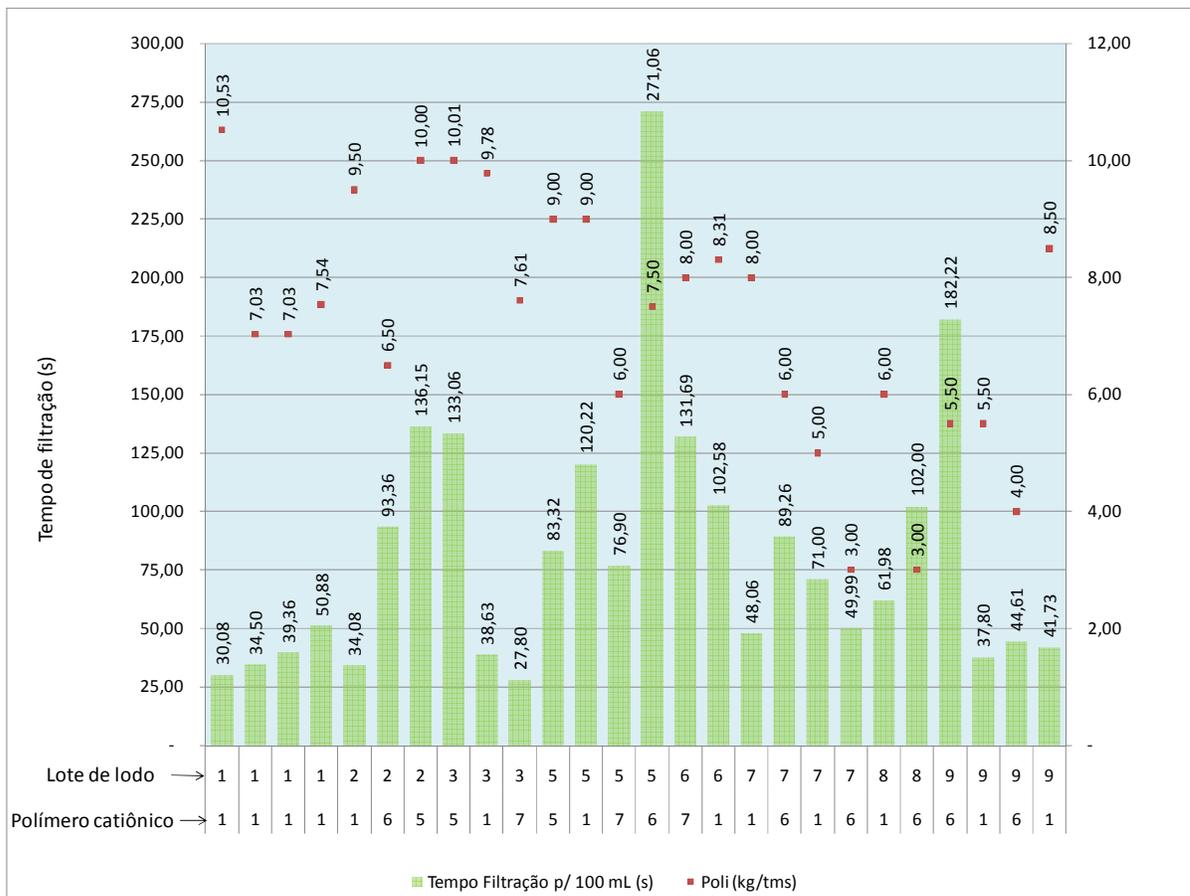


FIGURA F1 Tempo de filtração e dosagem de polímero catiônico em amostra de lodo de decantadores

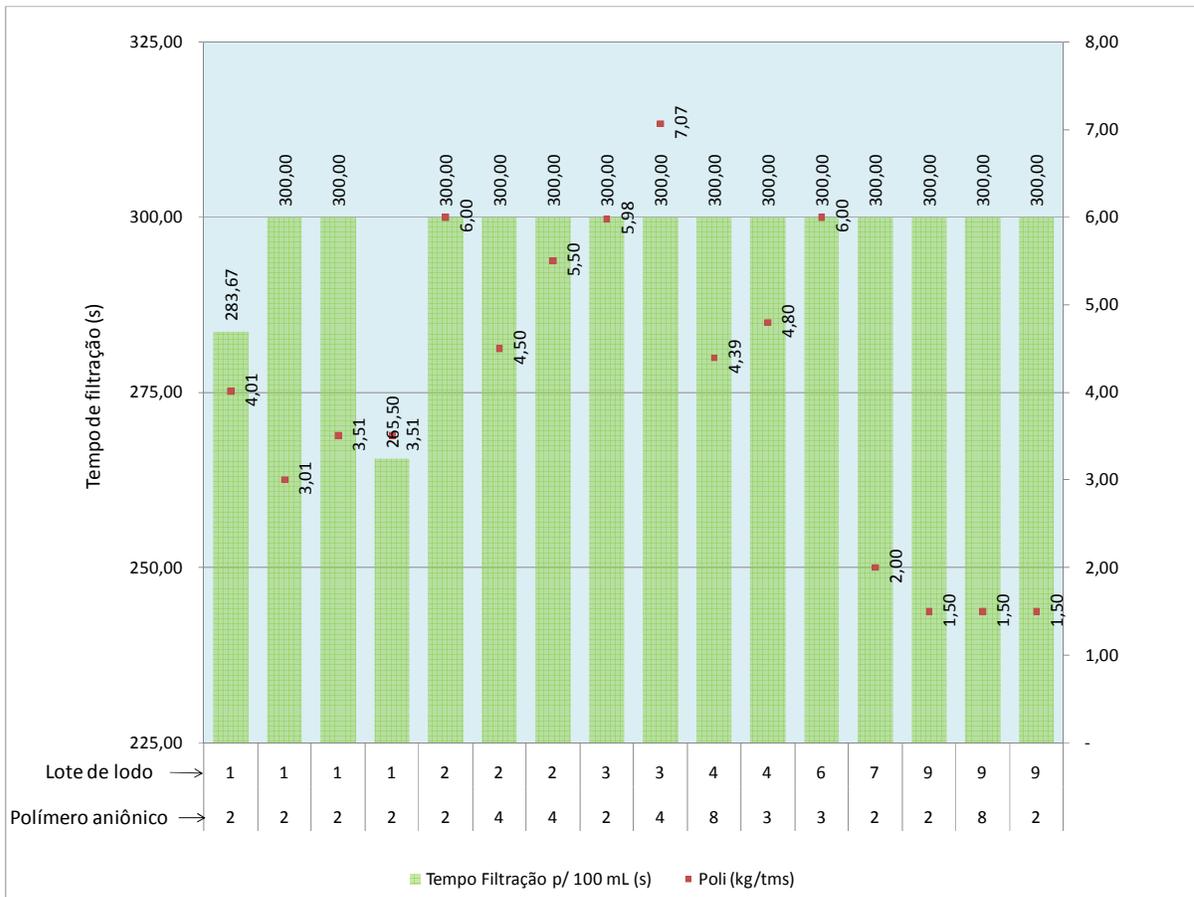


FIGURA F2 Tempo de filtração e dosagem de polímero aniônico em amostra de lodo de decantadores

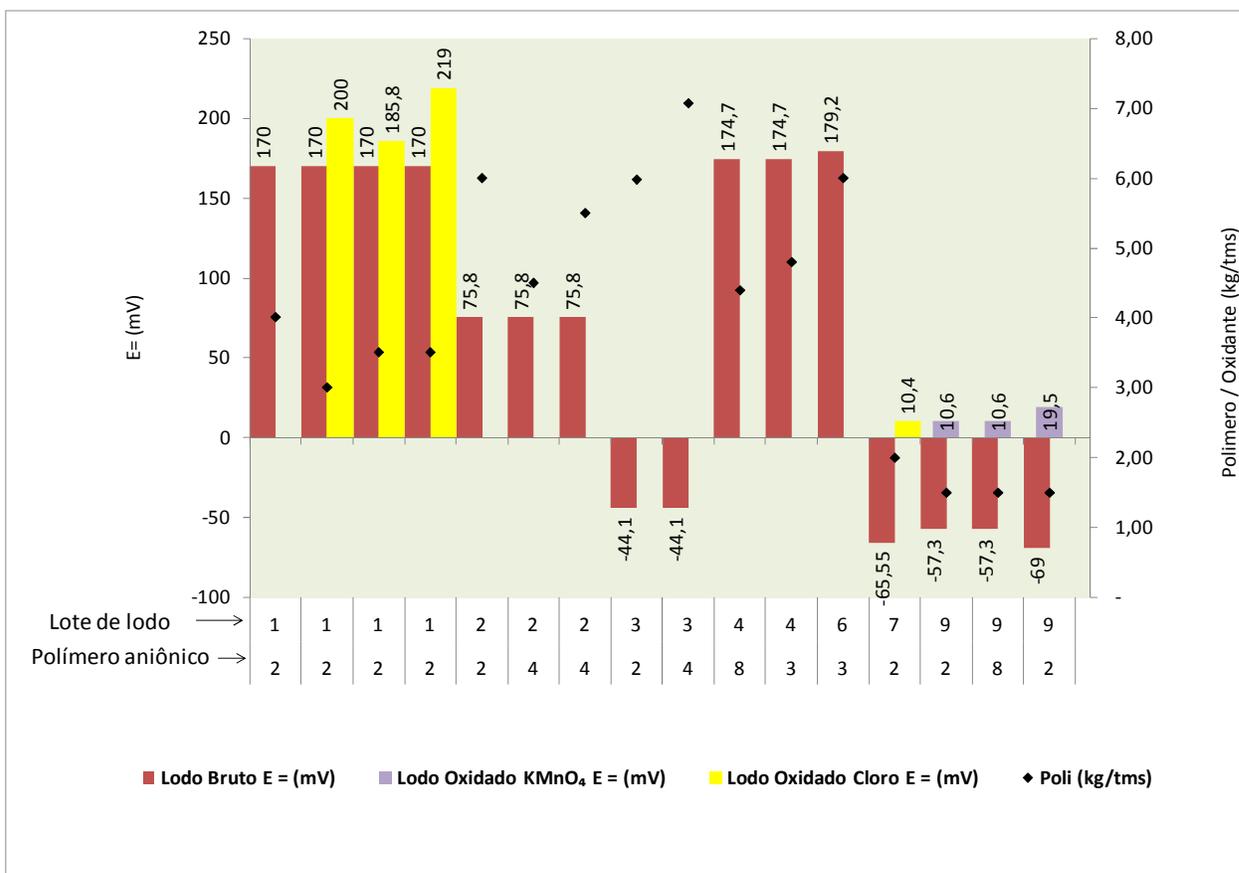


FIGURA F3 Efeito da oxidação do lodo com cloro e permanganato de potássio no consumo de polímeros aniônicos

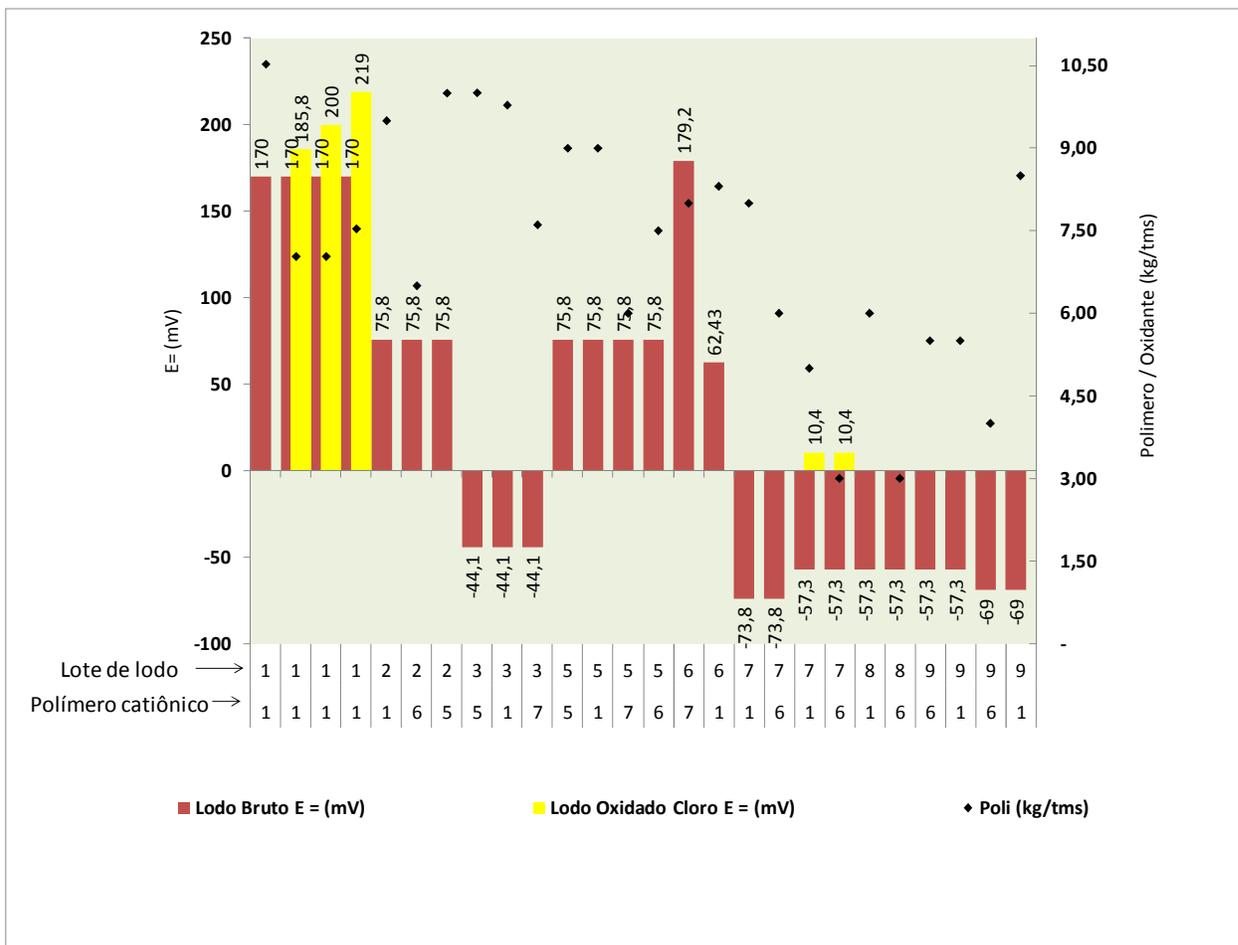


FIGURA F4 Efeito da oxidação do lodo com cloro e permanganato de potássio no consumo de polímeros catiônicos

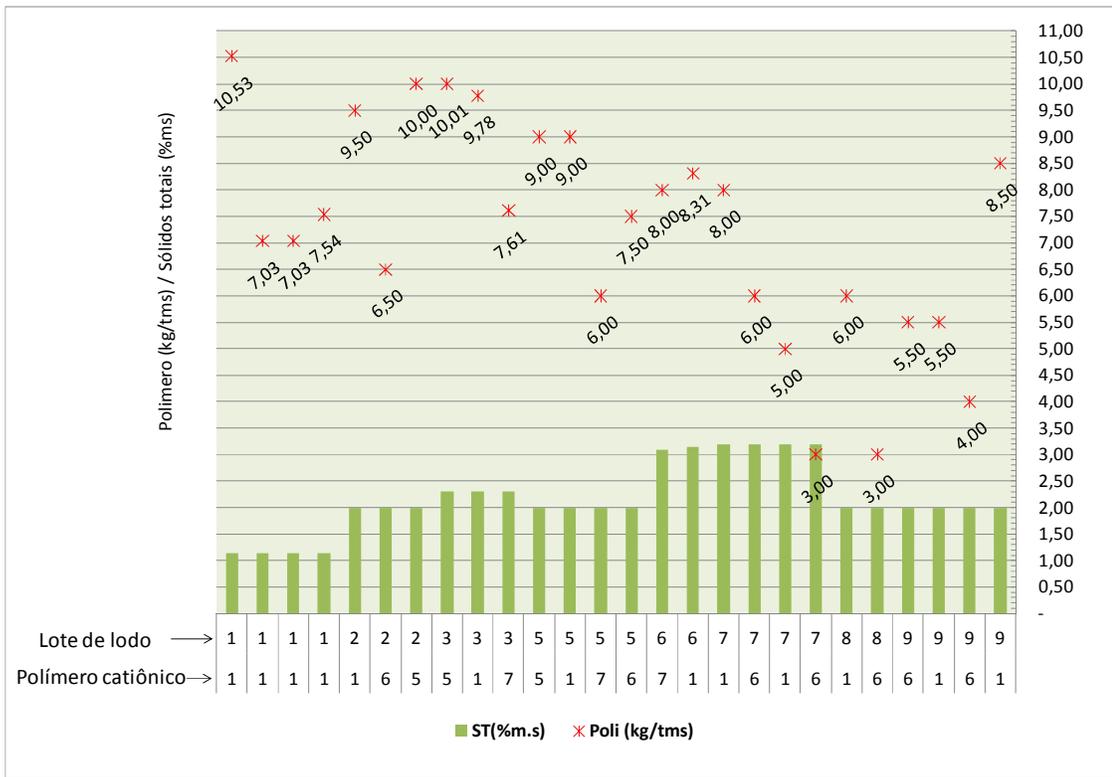


FIGURA F5 Efeito do teor de sólido do lodo de decantadores no consumo de polímeros catiônicos

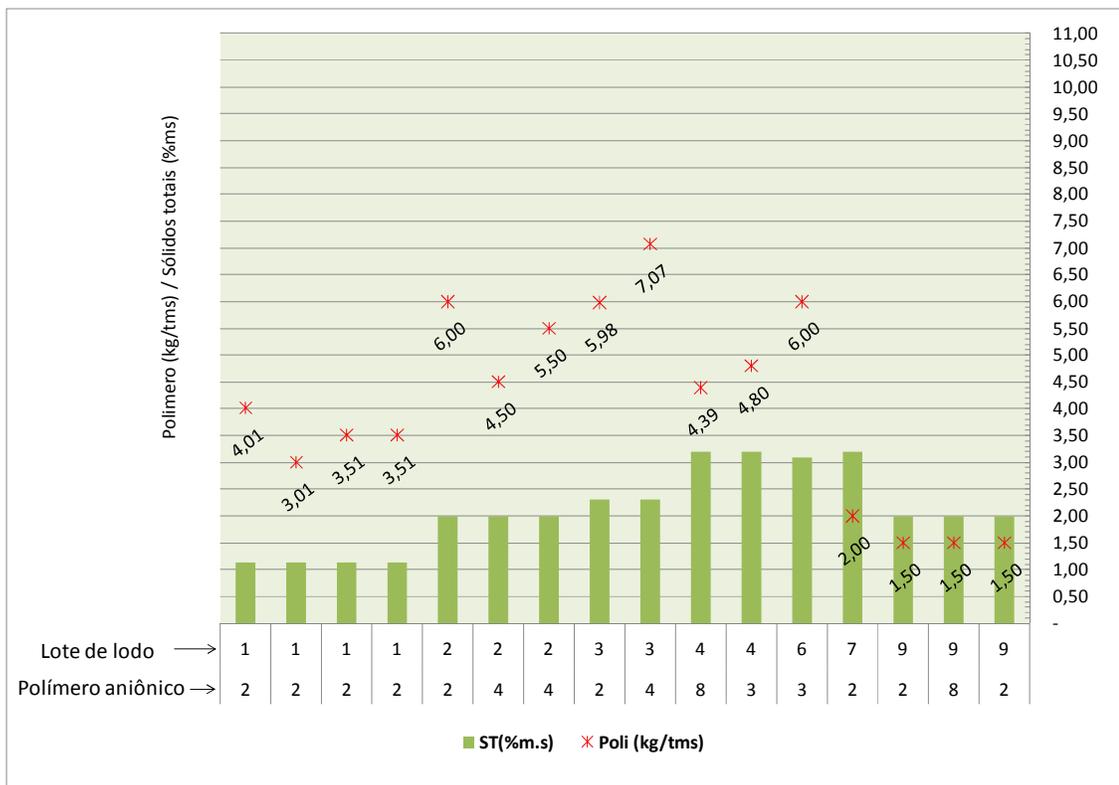


FIGURA F6 Efeito do teor de sólido do lodo de decantadores no consumo de polímeros aniônicos

Tabela F1 Tempo de filtração e dosagem de polímero com oxidação do lodo

Polímero Utilizado	Lote da Amostra	Lodo Bruto E = (mV)	Lodo Oxidado E = (mV)	Melhor Dosagem (kg/tms)	Melhor tempo de filtração (s)
1	1	170		12	22,00
1	1	170	185,9	7	21,40
1	1	170	200	6	25,10
1	1	170	219	6	36,00
2	1	170	200	4	231,00
6	7	-57,3	10,4	3	24,60
1	7	-57,3	10,4	6	22,00
6	8	-57,3	-10,4	3	72,00
1	8	-57,3	-10,4	6	37,00
6	9	-57,3	10,6	4	30,20
6	9	-69	10,6	4	21,00
1	9	-57,3	10,6	8	31,00
2	9	-57,3	10,6	2	300,00
6	9	-57,3	10,6	4	35,00
1	9	-69	10,6	7	30,00
8	9	-57,3	10,6	2	300,00
2	9	-69	10,6	2	300,00

Tabela F2 Tempo de filtração e dosagem de polímero sem oxidação do lodo

Polímero Utilizado	Lote da Amostra	Lodo Bruto E = (mV)	Melhor Dosagem (kg/tms)	Melhor tempo de filtração (s)
1	1	170	12	22,00
4	2	75,8	4	300,00
4	2	75,8	4	300,00
5	2	75,8	9	18,06
6	2	75,8	6	17,30
1	2	75,8	8	17,22
2	2	75,8	4	300,00
4	3	-44,1	4	300,00
5	3	-44,1	9	20,00
1	3	-44,1	8	19,00
2	3	-44,1	4	300,00
7	3	-44,1	8	20,20
3	4	174,7	5	300,00
8	4	174,7	5	300,00
5	5	75,8	10	20,56
6	5	75,8	4	205,17
1	5	75,8	12	19,51
7	5	75,8	6	16,31
3	6	179,2	3	300,00
7	6	179,2	4	12,53
1	6	179,2	12	13,50
6	7	-57,3	7	13,72
6	7	-57,3	3	24,60
1	7	-57,3	10	11,09
1	7	-57,3	6	22,00

ANEXO G

Tabela G1 Dados estatísticos para lodo oxidado com cloro e ou permanganato

Dados Estatísticos	Lodo Bruto E = (mV)	Lodo Oxidado E = (mV)	Teor de Sólidos Totais (% m.s)	Melhor Dosagem (kg/tms)	Melhor Tempo de Filtração (s)
Contagem	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00
Mínimo	-69,00	-10,4	1,14	-73,80	-10,40
Máximo	170,00	219	3,20	8,00	300,00
Média	-2,67	55,61	1,99	4,63	94,77
Mediana	-57,30	10,6	2,10	4,00	33,00
Moda	-57,30	10,6	2,10	6,00	300,00
Desvio Médio	86,33	72,81	0,42	1,70	93,99
Desvio Padrão	103,06	87,32	0,63	1,96	113,76
Variância	10621,24	7625,23	0,39	3,85	12941,89
Assimetria	1,27	1,27	0,36	0,12	1,30
Curtose	0,45	-0,37	0,39	-1,26	-0,21

Tabela G2 Dados estatísticos para lodo não oxidado pelo cloro ou permanganato

Dados Estatísticos	Lodo Bruto E = (mV)	Teor de Sólidos Totais (% m.s)	Melhor Dosagem (kg/tms)	Melhor Tempo de Filtração (s)
Contagem	25,00	25,00	25,00	25,00
Mínimo	-57,30	1,14	3,00	11,09
Máximo	179,20	3,20	12,00	300,00
Média	54,61	2,45	6,68	115,71
Mediana	75,80	2,30	6,00	20,56
Moda	75,80	2,00	4,00	300,00
Desvio Médio	75,30	0,52	2,52	125,10
Desvio Padrão	89,45	0,59	2,94	134,28
Variância	8001,25	0,35	8,64	18031,42
Assimetria	0,03	0,06	0,56	0,67
Curtose	-1,39	-0,94	-0,94	-1,64

Tabela G3 Dados estatísticos para lodo condicionado com polímero 3, aniônico de alto peso molecular e baixa carga

Dados Estatísticos	T (°C)	Lodo Bruto E = (mV)	pH Lodo Bruto	ST (%m.s)	SF (%m.s)	SV (%m.s)	Gradiente (S -1)
Contagem	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Mínimo	19,00	75,80	6,67	2,00	0,98	1,02	100,00
Máximo	21,00	179,20	7,18	3,20	1,67	1,53	250,00
Média	19,88	146,61	7,00	2,81	1,45	1,35	152,50
Mediana	19,50	174,70	7,10	3,10	1,64	1,46	100,00
Moda	21,00	174,70	7,10	3,20	1,67	1,53	100,00
Desvio Médio	0,79	42,48	0,20	0,48	0,28	0,20	68,25
Desvio Padrão	0,87	47,60	0,22	0,54	0,32	0,23	73,40
Variância	0,76	2265,39	0,05	0,29	0,10	0,05	5388,16
Assimetria	0,49	-0,94	-0,86	-0,92	-0,94	-0,88	0,68
Curtose	-1,68	-1,24	-1,27	-1,25	-1,24	-1,26	-1,72

Tabela G4 Dados estatísticos para análise de custo de tratamento do lodo condicionado com polímero 3, aniônico de alto peso molecular e baixa carga

Dados Estatísticos	Poli (kg/tms)	Custo Polímero (R\$/tms)	Custo Polímero (R\$/kg)	Custo Total Produtos (R\$/tms)	Custo Total Produtos (R\$/kg)	Tempo Filtração p/ 100 mL (s)
Contagem	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Mínimo	2,34	24,16	9,42	24,16	9,42	300,00
Máximo	9,00	84,82	10,31	84,82	10,31	300,00
Média	5,43	54,12	10,00	54,12	10,00	300,00
Mediana	5,23	53,97	10,31	53,97	10,31	300,00
Moda	3,00		10,31		10,31	300,00
Desvio Médio	1,62	15,94	0,40	15,94	0,40	0
Desvio Padrão	1,94	18,98	0,43	18,98	0,43	0
Variância	3,78	360,05	0,19	360,05	0,19	0
Assimetria	0,17	0,10	-0,68	0,10	-0,68	0
Curtose	-1,03	-1,15	-1,72	-1,15	-1,72	0

Tabela G5 Dados estatísticos para lodo condicionado com polímero 4, aniônico de alto peso molecular e média carga

Dados Estatísticos	T (°C)	Lodo Bruto E = (mv)	pH Lodo Bruto	ST(%ms)	SF(%ms)	SV(%ms)	Gradiente (S -1)
Contagem	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00
Mínimo	19,00	-44,10	6,67	2,00	0,98	1,02	100,00
Máximo	21,00	75,80	6,78	2,30	1,06	1,24	100,00
Média	20,43	-9,84	6,75	2,21	1,04	1,18	100,00
Mediana	21,00	-44,10	6,78	2,30	1,06	1,24	100,00
Moda	21,00	-44,10	6,78	2,30	1,06	1,24	100,00
Desvio Médio	0,82	48,94	0,04	0,12	0,03	0,09	0,00
Desvio Padrão	0,94	56,21	0,05	0,14	0,04	0,10	0,00
Variância	0,88	3159,56	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00
Assimetria	-1,07	1,07	-1,07	-1,07	-1,07	-1,07	
Curtose	-1,03	-1,03	-1,03	-1,03	-1,03	-1,03	

Tabela G-6 Dados estatísticos para análise de custo de tratamento do lodo condicionado com polímero 4, aniônico de alto peso molecular e média carga

Dados Estatísticos	Poli (kg/tms)	Custo Polímero (R\$/tms)	Custo Polímero (R\$/kg)	Custo Total Produtos (Reais /tms)	Custo Total Produtos (Reais /kg)	Tempo Filtração p/ 100 mL (s)
Contagem	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00
Mínimo	2,17	22,41	10,31	22,41	10,31	300,00
Máximo	12,00	123,72	10,31	123,72	10,31	300,00
Média	6,34	65,32	10,31	65,32	10,31	300,00
Mediana	5,72	58,95	10,31	58,95	10,31	300,00
Moda			10,31		10,31	300,00
Desvio Médio	2,50	25,72	0,00	25,72	0,00	
Desvio Padrão	3,06	31,55	0,00	31,55	0,00	
Variância	9,37	995,61	0,00	995,61	0,00	
Assimetria	0,53	0,53		0,53		
Curtose	-0,79	-0,79		-0,79		

Tabela G7 Dados estatísticos para lodo condicionado com polímero 8, aniônico de alto peso molecular e baixa carga

Dados Estatísticos	pH Lodo Bruto	pH Lodo Oxidado KMnO ₄	ST(%ms)	SF(%ms)	SV(%ms)
Contagem	10,00	2,00	10,00	10,00	10,00
Mínimo	6,49	6,58	20,00	2,00	0,93
Máximo	7,10	6,58	32,00	3,20	1,67
Média	6,98	6,58	29,60	2,96	1,52
Mediana	7,10	6,58	32,00	3,20	1,67
Moda	7,10	6,58	32,00	3,20	1,67
Desvio Médio	0,20	0,00	3,84	0,38	0,24
Desvio Padrão	0,26	0,00	5,06	0,51	0,31
Variância	0,07	0,00	25,60	0,26	0,10
Assimetria	-1,78		-1,78	-1,78	-1,78
Curtose	1,41		1,41	1,41	1,41

Tabela G8 Dados estatísticos para análise de custo de tratamento do lodo condicionado com polímero 8, aniônico de alto peso molecular e baixa carga

Dados Estatísticos	Poli (kg/tms)	Custo Polímero (R\$/tms)	Custo Polímero (R\$/kg)	Custo Cloro (R\$/tms)
Contagem	10,00	10,00	10,00	10,00
Mínimo	100,00	1,00	9,42	9,42
Máximo	100,00	7,81	80,55	10,31
Média	100,00	3,82	39,07	10,13
Mediana	100,00	3,52	36,25	10,31
Moda	100,00			10,31
Desvio Médio	0,00	1,81	18,92	0,28
Desvio Padrão	0,00	2,22	23,18	0,37
Variância	0,00	4,93	537,20	0,14
Assimetria		0,51	0,49	-1,78
Curtose		-0,72	-0,75	1,41

Tabela G8 (Cont.) Dados estatísticos para análise de custo de tratamento do lodo condicionado com polímero 8, aniônico de alto peso molecular e baixa carga

Dados Estatísticos	Custo Permanganato de Potássio (R\$/kg)	Custo Total Produtos (R\$/tms)	Custo Total Produtos (Reais/kg)	Tempo Filtração p/ 100 mL (s)
Contagem	2,00	2,00	10,00	10,00
Mínimo	12,14	10,00	16,11	10,31
Máximo	12,14	10,00	80,55	19,42
Média	12,14	10,00	41,50	12,13
Mediana	12,14	10,00	36,25	10,31
Moda	12,14	10,00		10,31
Desvio Médio	0,00	0,00	16,74	2,92
Desvio Padrão	0,00	0,00	20,71	3,84
Variância	0,00	0,00	428,83	14,77
Assimetria			0,68	1,78
Curtose			-0,38	1,41

Tabela G9 Dados estatísticos para oxidação do lodo com cloro e permanganato seguido de condicionamento com polímero 2, aniônico de alto peso molecular e média carga

Dados Estatísticos	Cloro (kg/tms)	KMnO ₄ (kg/tms)	T (°C)	Lodo Bruto E = (mv)	Lodo Oxidado KMnO ₄ E = (mv)	Lodo Oxidado Cloro E = (mv)
Contagem	9,00	4,00	35,00	35,00	4,00	9,00
Mínimo	1,23	1,18	19,00	-73,80	10,60	10,40
Máximo	3,38	1,21	21,00	170,00	19,50	219,00
Média	2,41	1,19	20,26	35,00	15,05	158,93
Mediana	2,10	1,19	20,00	-44,10	15,05	200,00
Moda	2,10	1,21	21,00	170,00	10,60	200,00
Desvio Médio	0,73	0,02	0,68	93,46	4,45	66,01
Desvio Padrão	0,85	0,02	0,78	100,73	5,14	85,03
Variância	0,73	0,00	0,61	10146,26	26,40	7230,42
Assimetria	-0,24	0,00	-0,50	0,33	0,00	-1,54
Curtose	-1,52	-6,00	-1,16	-1,68	-6,00	0,60

Tabela G10 Dados estatísticos para lodo condicionado com polímero 2, aniônico de alto peso molecular e média carga

Dados Estatísticos	pH Lodo Bruto	pH Lodo Oxidado KMnO ₄	pH Lodo Oxidado Cloro	ST(%ms)	SF(%ms)	SV(%ms)	Gradiente (S -1)
Contagem	35,00	4,00	9,00	35,00	35,00	35,00	35,00
Mínimo	6,49	6,58	6,10	1,14	0,51	0,63	100,00
Máximo	6,78	6,65	6,36	3,20	1,63	1,57	250,00
Média	6,63	6,62	6,19	1,96	0,93	1,03	117,14
Mediana	6,60	6,62	6,16	2,00	0,98	1,07	100,00
Moda	6,60	6,58	6,16	2,00	0,51	0,63	100,00
Desvio Médio	0,09	0,04	0,08	0,47	0,24	0,23	30,37
Desvio Padrão	0,10	0,04	0,10	0,64	0,34	0,30	48,42
Variância	0,01	0,00	0,01	0,41	0,11	0,09	2344,54
Assimetria	0,16	0,00	1,32	0,29	0,53	0,07	2,53
Curtose	-1,04	-6,00	0,35	-0,29	0,16	-0,75	4,69

Tabela G11 Dados estatísticos para análise de custo de tratamento do lodo condicionado com polímero 2, aniônico de alto peso molecular e média carga

Dados Estatísticos	Poli (kg/tms)	Custo Polímero (R\$/tms)	Custo Polímero (R\$/kg)	Custo Cloro (R\$/tms)	Custo Cloro (R\$/kg)
Contagem	35,00	35,00	35,00	9,00	9,00
Mínimo	1,00	9,42	9,42	2,94	2,39
Máximo	9,78	100,86	10,31	8,08	2,39
Média	4,05	40,49	9,80	5,75	2,39
Mediana	3,26	33,62	9,42	5,02	2,39
Moda	2,00	18,85	9,42	5,02	2,39
Desvio Médio	1,93	20,58	0,43	1,74	0,00
Desvio Padrão	2,44	25,73	0,44	2,04	0,00
Variância	5,96	661,83	0,20	4,16	0,00
Assimetria	0,83	0,88	0,30	-0,24	
Curtose	-0,18	-0,17	-2,03	-1,52	

Tabela G11 (Cont.) Dados estatísticos para análise de custo de tratamento do lodo condicionado com polímero 2, aniônico de alto peso molecular e média carga

Dados Estatísticos	Custo Permanganato de Potássio (R\$/tms)	Custo Permanganato de Potássio (R\$/kg)	Custo Total Produtos (R\$/tms)	Custo Total Produtos (R\$/kg)	Tempo Filtração p/ 100 mL (s)
Contagem	6,00	4,00	35,00	35,00	35,00
Mínimo	0,00	10,00	9,42	9,42	231,00
Máximo	12,14	10,00	100,86	19,42	300,00
Média	7,96	10,00	43,33	11,56	296,63
Mediana	11,75	10,00	35,78	10,31	300,00
Moda	12,14	10,00	18,85	10,31	300,00
Desvio Médio	5,31	0,00	18,68	1,93	6,36
Desvio Padrão	6,17	0,00	23,69	2,99	14,10
Variância	38,09	0,00	561,19	8,92	198,95
Assimetria	-0,96		0,98	2,16	-4,18
Curtose	-1,88		0,08	3,54	17,01

Tabela G12 Dados estatísticos para lodo condicionado com polímero 5, catiônico de peso molecular muito alto e baixa carga

Dados Estatísticos	T (°C)	Lodo Bruto E = (mV)	pH Lodo Bruto	ST(%ms)	SF(%ms)	SV(%ms)	Gradiente (S -1)
Contagem	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00
Mínimo	19,00	-44,10	6,67	2,00	0,78	1,02	100,00
Máximo	21,00	75,80	6,78	2,30	1,06	1,24	100,00
Média	20,33	35,83	6,71	2,10	0,94	1,16	100,00
Mediana	21,00	75,80	6,67	2,00	0,98	1,22	100,00
Moda	21,00	75,80	6,67	2,00	0,98	1,02	100,00
Desvio Médio	0,89	53,29	0,05	0,13	0,11	0,09	
Desvio Padrão	0,97	57,92	0,05	0,14	0,12	0,10	
Variância	0,93	3354,40	0,00	0,02	0,01	0,01	
Assimetria	-0,76	-0,76	0,76	0,76	-0,51	-0,74	
Curtose	-1,58	-1,58	-1,58	-1,58	-1,58	-1,58	

Tabela G13 Dados estatísticos para análise de custo de tratamento do lodo condicionado com polímero 5, catiônico de peso molecular muito alto e baixa carga

Dados Estatísticos	Poli (kg/tms)	Custo Polímero (R\$/tms)	Custo Polímero (R\$/kg)	Custo Total Produtos (Reais /tms)	Custo Total Produtos (Reais /kg)	Tempo Filtração p/ 100 mL (s)
Contagem	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00
Mínimo	6,00	61,86	10,31	61,86	10,31	18,06
Máximo	13,04	134,48	10,31	134,48	10,31	300,00
Média	9,67	99,68	10,31	99,68	10,31	117,51
Mediana	10,00	103,10	10,31	103,10	10,31	101,72
Moda	7,00	72,17	10,31	72,17	10,31	300,00
Desvio Médio	1,78	18,35	0,00	18,35		74,37
Desvio Padrão	2,11	21,74	0,00	21,74		97,33
Variância	4,45	472,80	0,00	472,80		9472,55
Assimetria	0,00	0,00		0,00		0,96
Curtose	-1,09	-1,09		-1,09		-0,22

Tabela G14 Dados estatísticos para lodo oxidado com cloro e permanganato seguido de condicionamento com polímero 6, catiônico de alto peso molecular e média carga

Dados Estatísticos	pH Lodo Bruto	pH Lodo Oxidado KMnO ₄	pH Lodo Oxidado Cloro	ST(%m.s)	SF(%m.s)	SV(%m.s)
Contagem	36,00	12,00	3,00	36,00	36,00	36,00
Mínimo	6,49	6,42	6,16	2,00	0,78	1,02
Máximo	6,67	6,65	6,16	3,20	1,63	1,57
Média	6,57	6,56	6,16	2,23	1,04	1,19
Mediana	6,54	6,58	6,16	2,00	0,93	1,08
Moda	6,49	6,58	6,16	2,00	0,93	1,07
Desvio Médio	0,08	0,07	0,00	0,38	0,23	0,16
Desvio Padrão	0,09	0,09	0,00	0,48	0,30	0,20
Variância	0,01	0,01	0,00	0,23	0,09	0,04
Assimetria	0,19	-0,85		1,61	1,40	1,20
Curtose	-1,94	-0,65		0,63	0,35	-0,10

Tabela G14 (Cont.) Dados estatísticos para lodo oxidado com cloro e permanganato seguido de condicionamento com polímero 6, catiônico de alto peso molecular e média carga

Dados Estatísticos	Cloro kg/(tms)	KMnO ₄ (kg/tms)	T (°C)	Lodo Bruto E = (mV)	Lodo Oxidado KMnO ₄ E = (mV)	Lodo Oxidado Cloro E = (mV)	Tempo Filtração p/ 100 mL (s)
Contagem	3,00	12,00	36,00	36,00	12,00	3,00	36,00
Mínimo	3,38	1,18	19,00	-73,80	-10,40	10,40	13,72
Máximo	3,38	1,28	21,00	75,80	19,50	10,40	300,00
Média	3,38	1,22	20,47	-9,32	7,58	10,40	136,18
Mediana	3,38	1,21	21,00	-57,30	10,60	10,40	107,50
Moda	3,38	1,21	21,00	75,80	10,60	10,40	300,00
Desvio Médio	0,00	0,03	0,67	66,21	8,99	0,00	97,09
Desvio Padrão	0,00	0,04	0,77	69,09	11,48	0,00	111,69
Variância	0,00	0,00	0,60	4773,19	131,89	0,00	12474,52
Assimetria	-2,45	0,50	-1,08	0,46	-0,88		0,51
Curtose		-0,79	-0,41	-1,87	-0,64		-1,39

Tabela G15 Dados estatísticos para análise de custo de tratamento do lodo condicionado com polímero 6, catiônico de alto peso molecular e média carga

Dados Estatísticos	Poli (kg/tms)	Custo Polímero (R\$/tms)	Custo Polímero (R\$/kg)	Custo Cloro (R\$/tms)	Custo Cloro (R\$/kg)
Contagem	36,00	36,00	36,00	3,00	3,00
Mínimo	2,00	19,64	9,82	8,08	2,39
Máximo	11,00	113,41	10,31	8,08	2,39
Média	5,50	54,82	9,93	8,08	2,39
Mediana	5,00	49,09	9,82	8,08	2,39
Moda	4,00	39,27	9,82	8,08	2,39
Desvio Médio	1,92	19,53	0,17	0,00	0,00
Desvio Padrão	2,30	23,60	0,21	0,00	0,00
Variância	5,29	556,93	0,04	0,00	0,00
Assimetria	0,57	0,65	1,40		
Curtose	-0,44	-0,23	-0,06		

Tabela G15 (Cont.) Dados estatísticos para análise de custo de tratamento do lodo condicionado com polímero 6, catiônico de alto peso molecular e média carga

Dados Estatísticos	Custo Permanganato de Potássio (R\$/tms)	Custo Permanganato de Potássio (R\$/kg)	Custo Total Produtos (R\$/tms)	Custo Total Produtos (R\$/kg)
Contagem	15,00	12,00	36,00	36,00
Mínimo	0,00	10,00	27,71	9,82
Máximo	12,75	10,00	113,41	19,82
Média	9,76	10,00	59,56	13,46
Mediana	12,14	10,00	51,79	10,31
Moda	12,14	10,00	39,27	9,82
Desvio Médio	3,90	0,00	17,80	4,24
Desvio Padrão	5,06	0,00	21,57	4,60
Variância	25,61	0,00	465,17	21,19
Assimetria	-1,65		0,68	0,68
Curtose	0,87		-0,25	-1,56

Tabela G16 Dados estatísticos para lodo oxidado com cloro e permanganato seguido de condicionamento com polímero 1, catiônico de alto peso molecular e baixa carga

Dados Estatísticos	pH Lodo Bruto	pH Lodo Oxidado KMnO₄	pH Lodo Oxidado Cloro	ST(%ms)	SF(%ms)	SV(%ms)
Contagem	77,00	15,00	17,00	77,00	77,00	77,00
Mínimo	6,49	6,42	6,10	1,14	0,51	0,63
Máximo	7,18	6,65	6,36	3,20	1,64	1,57
Média	6,65	6,55	6,20	2,04	0,97	1,07
Mediana	6,60	6,58	6,16	2,00	0,93	1,07
Moda	6,49	6,58	6,16	2,00	0,51	0,63
Desvio Médio	0,13	0,08	0,09	0,51	0,29	0,24
Desvio Padrão	0,19	0,10	0,11	0,69	0,39	0,32
Variância	0,04	0,01	0,01	0,48	0,15	0,10
Assimetria	1,91	-0,46	0,79	0,30	0,61	-0,09
Curtose	3,16	-1,56	-1,21	-0,79	-0,68	-0,99

Tabela G16 (Cont.) Dados estatísticos para lodo oxidado com cloro e permanganato seguido de condicionamento com polímero 1, catiônico de alto peso molecular e baixa carga

Dados Estatísticos	Cloro (kg/tms)	KMnO ₄ (kg/tms)	T (°C)	Lodo Bruto E = (mV)	Lodo Oxidado KMnO ₄ E = (mV)	Lodo Oxidado Cloro E = (mV)
Contagem	17,00	15,00	77,00	77,00	15,00	17,00
Mínimo	1,23	1,18	19,00	-73,80	-10,40	10,40
Máximo	3,38	1,28	21,00	179,20	19,50	219,00
Média	2,30	1,22	20,25	47,87	5,97	166,84
Mediana	2,10	1,21	20,00	75,80	10,60	200,00
Moda	1,23	1,21	20,00	170,00	10,60	185,80
Desvio Médio	0,74	0,03	0,60	98,21	10,92	55,21
Desvio Padrão	0,86	0,04	0,69	105,31	12,54	75,66
Variância	0,74	0,00	0,47	11090,77	157,20	5724,90
Assimetria	-0,06	0,22	-0,26	0,08	-0,48	-1,75
Curtose	-1,64	-1,49	-1,09	-1,78	-1,56	1,44

Tabela G17 Dados estatísticos para análise de custo de tratamento do lodo condicionado com polímero 1, catiônico de alto peso molecular e baixa carga

Dados Estatísticos	Poli (kg/tms)	Custo Polímero (R\$/tms)	Custo Polímero (R\$/kg)	Custo Cloro (R\$/tms)	Custo Cloro (R\$/kg)
Contagem	77,00	77,00	77,00	17,00	17,00
Mínimo	3,00	29,45	9,82	2,94	2,39
Máximo	13,04	134,48	10,31	8,08	2,39
Média	8,12	80,54	9,91	5,49	2,39
Mediana	8,00	78,54	9,82	5,02	2,39
Moda	6,00	58,91	9,82	2,94	2,39
Desvio Médio	1,91	19,38	0,15	1,78	0,00
Desvio Padrão	2,37	23,99	0,19	2,05	0,00
Variância	5,63	575,69	0,04	4,21	0,00
Assimetria	0,19	0,23	1,68	-0,06	
Curtose	-0,56	-0,53	0,85	-1,64	

Tabela G17 (Cont.) Dados estatísticos para análise de custo de tratamento do lodo condicionado com polímero 1, catiônico de alto peso molecular e baixa carga

Dados Estatísticos	Custo Permanganato de Potássio (R\$/tms)	Custo Permanganato de Potássio (R\$/kg)	Custo Total Produtos (R\$/tms)	Custo Total Produtos (R\$/kg)	Tempo Filtração p/ 100 mL (s)
Contagem	19,00	15,00	77,00	77,00	77,00
Mínimo	0,00	10,00	38,00	9,82	11,09
Máximo	12,75	10,00	134,48	19,82	300,00
Média	9,66	10,00	83,76	12,38	59,16
Mediana	12,14	10,00	82,17	10,31	39,00
Moda	12,14	10,00	78,54	9,82	300,00
Desvio Médio	4,07	0,00	17,99	2,90	39,79
Desvio Padrão	5,14	0,00	22,20	3,79	68,42
Variância	26,41	0,00	492,87	14,39	4681,92
Assimetria	-1,53		0,18	1,36	2,93
Curtose	0,39		-0,49	0,14	7,91

ANEXO H

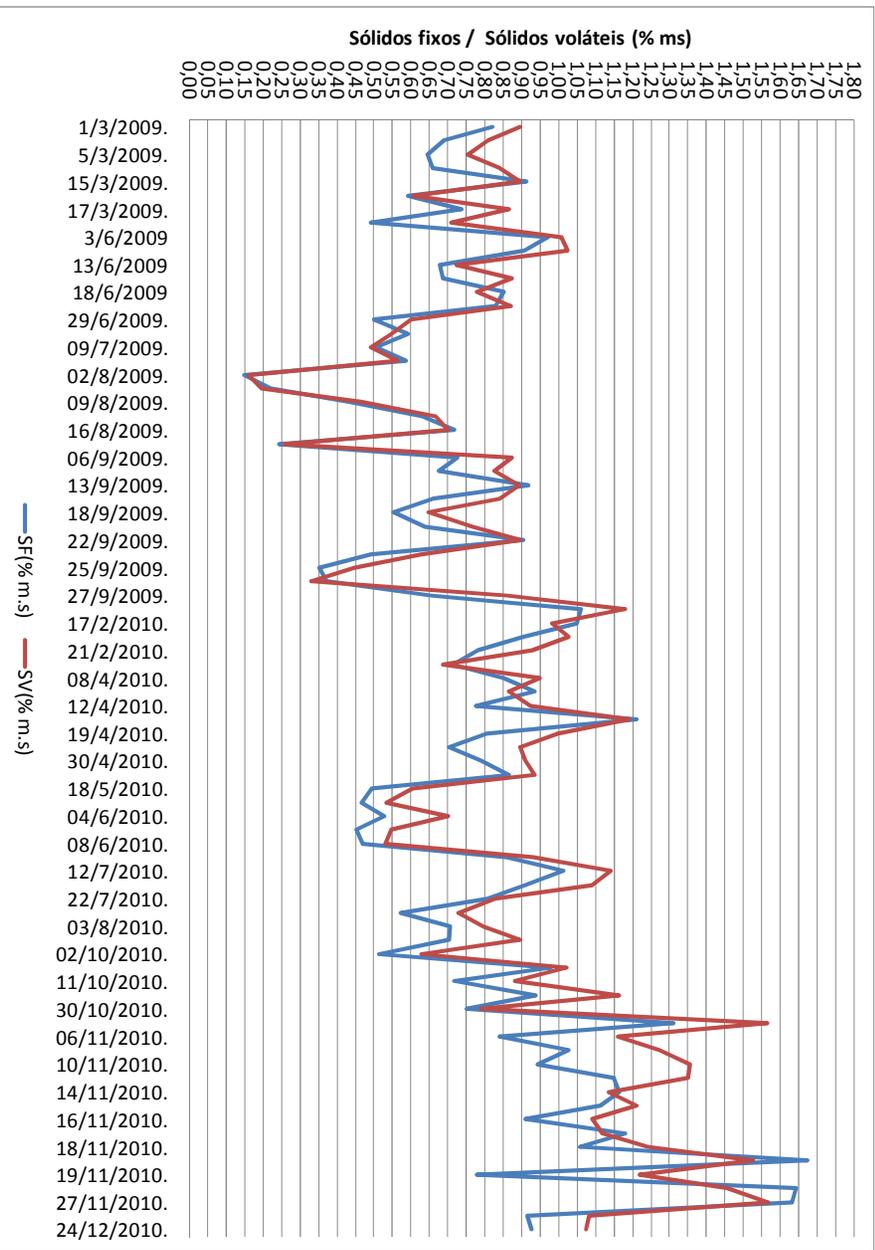


Figura H1 Variação sazonal de sólidos fixos e voláteis em lodo de decantadores