MARCELO KENJI MIKI

**UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS PARA
CONDICIONAMENTO DE LODO DE ETE PARA
DESIDRATAÇÃO EM FILTRO PRENSA DE PLACAS**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Engenharia.

São Paulo

1998

MARCELO KENJI MIKI

**UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS PARA
CONDICIONAMENTO DE LODO DE ETE PARA
DESIDRATAÇÃO EM FILTRO PRENSA DE PLACAS**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Engenharia.

Área de Concentração:
Engenharia Hidráulica e Sanitária

Orientador:
Prof. Tit. Pedro Além Sobrinho

São Paulo

1998

Miki, Marcelo Kenji

Utilização de polímeros para condicionamento de lodo de ETE para desidratação em filtro prensa de placas. São Paulo, 1998.
405p. 2V

Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
Departamento de Engenharia Hidráulica.

1. Lodo de ETE - Tratamento I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Hidráulica II.t

“Uma vida sem busca não é digna de ser vivida”.
Sócrates

AGRADECIMENTOS

Ao Menino Jesus e a sua Mãe, Maria Santíssima, pelo constante carinho e envio de graças que me acompanham por toda eternidade.

Ao meu orientador Professor Pedro Além Sobrinho pela compreensão, incentivo e direcionamento dados para a concretização deste trabalho.

Aos meus pais, meu irmão, meus tios Soroku Kawakami e Massae Kawakami pelo constante apoio dado ao longo de toda minha vida.

Ao pessoal da ETE Barueri, que me deu todo apoio logístico para a realização dos ensaios deste trabalho, em especial ao engenheiro Américo de Oliveira Sampaio, responsável pela ETE.

Ao pessoal da Netzsch, pelo suporte técnico dado nos ensaios do filtro prensa piloto feito com profissionalismo e dedicação, em especial ao engenheiro Idemilson Fritzke e ao técnico Ademir Assis de Oliveira.

A todos os meus superiores da SABESP que ao longo dos anos me apoiaram para a realização da pós-graduação, em especial à engenheira Silvana de Almeida Nogueira Cotrim que me possibilitou a compatibilização do meu trabalho profissional com a atividade acadêmica.

Aos meus amigos Angélica Yumi Hirata, Nilton Akihiko Furukawa e Rosane Ebert, com quem troquei várias idéias na realização deste trabalho.

SUMÁRIO

Lista de tabelas

Lista de figuras

Lista de símbolos

Resumo

“Abstract”

1	Introdução.....	1
2	Objetivos.....	4
3	Revisão de Literatura.....	5
3.1	Lodos de Estações de Tratamento de Esgotos - ETEs convencionais.....	5
3.1.1	Fontes de lodos de esgotos.....	5
3.1.2	Quantidades de lodos.....	7
3.1.3	Características de produção dos lodos digeridos.....	8
3.1.4	Características reológicas dos lodos digeridos.....	9
3.1.4.1	Fundamentos teóricos.....	9
3.1.4.2	Comportamento reológico do lodo de ETEs	12
3.2	Condicionamento.....	13
3.2.1	Generalidades.....	13
3.2.2	Fatores que afetam o condicionamento do lodo.....	14
3.2.2.1	Fatores físicos que afetam o condicionamento de lodo.....	14
3.2.2.2	Fatores químicos que afetam o condicionamento de lodo.....	16
3.2.2.3	Fatores biológicos que afetam o condicionamento de lodo.....	20
3.3	Condicionamento químico inorgânico	21
3.3.1	Generalidades.....	21
3.3.2	Propriedades dos condicionadores químicos inorgânicos	21
3.3.3	Cal.....	22
3.3.3.1	Generalidades.....	22
3.3.3.2	Características da cal.....	23
3.3.3.3	Comparação entre a cal virgem e a cal hidratada	26
3.3.4	Cloreto férrico – FeCl_3	26
3.3.5	Processo químico do condicionamento	27
3.3.5.1	Sais de ferro.....	27
3.3.5.2	Sais férricos com cal.....	30
3.4	Condicionamento com produtos químicos orgânicos.....	31
3.4.1	Generalidades.....	31
3.4.2	Polímeros.....	31
3.4.2.1	Polímeros sólidos.....	33
3.4.2.2	Polímeros líquidos.....	36
3.4.2.3	Polímeros em emulsão.....	37
3.4.3	Aplicações dos modelos químicos coloidais	37

3.4.4	Mecanismos de reação de polímeros com as partículas	39
3.4.5	Propriedades dos condicionadores químicos orgânicos.....	43
3.4.5.1	Características de carga dos polímeros.....	43
3.4.5.2	Peso Molecular	45
3.4.5.3	Densidade de Carga	46
3.4.6	Fatores que afetam o condicionamento com polímeros.....	46
3.4.6.1	Tipo de Polímero	46
3.4.6.2	Concentração de sólidos	47
3.4.6.3	Digestão do lodo.....	48
3.4.6.4	Conteúdo de lodo secundário	49
3.4.6.5	Efeito da mistura no condicionamento dos lodos.....	50
3.4.7	Preparação e aplicação dos polímeros.....	53
3.4.8	Principais ensaios para a determinação das características de desidratação do lodo.....	53
3.5	Filtro prensa de placas	55
3.5.1	Generalidades.....	55
3.5.2	Princípios de operação.....	56
3.5.3	Aspectos construtivos do filtro prensa	58
3.5.4	Critérios de filtração	62
3.5.5	Classificação dos filtros prensa com relação às placas	65
3.5.5	Materiais empregados nas placas do filtro prensa.....	69
3.5.6	Elementos filtrantes	72
3.5.6.1	Tipos de fios.....	72
3.5.6.2	Tipos de tecidos.....	73
3.5.6.3	Aspectos de fabricação de tecidos.....	73
3.5.6.4	Propriedades físico-químicas dos tecidos.....	74
3.5.6.5	Especificação do elemento filtrante.....	77
3.5.6.6	Tipo de confecção do tecido.....	79
3.5.6.7	Cuidados especiais para os tecidos.....	81
3.5.7	Bombas utilizadas em sistemas de alimentação e dosagem.....	82
3.5.7.1	Bomba de pistão	82
3.5.7.2	Bomba de cavidades progressivas	86
3.5.8	Sistemas de dosagem e mistura de polímero.....	95
3.5.8.1	Generalidades.....	95
3.5.8.2	Sistema de dosagem em linha em bomba de cavidade progressiva	98
3.5.8.3	Sistema de dosagem com bomba pistão	99
3.5.8.4	Sistema de dosagem com vazões proporcionais.....	100
3.5.8.5	Sistema com dosagem proporcional à densidade dos sólidos.....	102
3.5.8.6	Sistema com medidor do tamanho do floco	102
3.5.9	Resolução de problemas relacionados com o filtro prensa	104
4	Descrição dos ensaios utilizados.....	108
4.1	Lodo utilizado.....	108
4.2	Polímeros utilizados	108
4.3	Ensaio para escolha dos polímeros.....	111
4.3.1	Preparo da solução de polímero em emulsão e líquida	111
4.3.2	Preparo da solução de polímero em pó.....	113
4.3.3	Mistura para o condicionamento de lodos.....	114
4.3.4	Teste de resistência específica.....	117

4.3.5	Teste do tempo de filtração	122
4.4	Ensaio de desidratação de lodo com o tubo de filtração.....	123
4.5	Ensaio em escala piloto do filtro prensa diafragma.....	125
5	Apresentação dos resultados.....	139
5.1	Ensaio de caracterização reológica do lodo.....	139
5.2	Ensaio de resistência específica	140
5.3	Ensaio do tempo de filtração.....	142
5.4	Ensaio com tubo de filtração.....	143
5.5	Ensaio utilizando filtro prensa piloto.....	145
6	Discussão dos resultados	153
6.1	Caracterização reológica do lodo	153
6.2	Resistência específica.....	156
6.3	Teste do tempo de filtração	161
6.4	Tubo de filtração.....	163
6.5	Filtro prensa piloto	164
7	Conclusões e recomendações.....	179
	Anexo A – Resultados do ensaio de caracterização reológica do lodo	183
	Anexo B – Resultados dos ensaios de resistência específica do lodo	189
	Anexo C – Resultados dos ensaios do teste do tempo de filtração	342
	Anexo D – Resultados dos ensaios do tubo de filtração	352
	Anexo E – Resultados dos ensaios do filtro prensa piloto	355
	Referências bibliográficas.....	400

Lista de tabelas

Tabela 3.3.1 - Características da cal em função do conteúdo de CaO (em%).....	24
Tabela 3.4.1 - Categorias de peso molecular.....	46
Tabela 3.5.1 Comparação do filtro prensa com outros equipamentos de desidratação.....	56
Tabela 3.5.2 - Características físicas dos tecidos	75
Tabela 3.5.3 - Características de resistência química dos tecidos	76
Tabela 3.5.4 - Especificação de tecido em função do objetivo de filtração.....	77
Tabela 3.5.4 - Especificação de tecido em função do objetivo de filtração (continuação).....	78
Tabela 3.5.5 - Classificação da abertura do tecido em função da permeabilidade ao ar	78
Tabela 3.5.6 - Especificação de tecido em função do tamanho da placa do filtro prensa	78
Tabela 3.5.7 - Tipo de confecção do tecido em função do material da placa.....	79
Tabela 3.5.8 - Recomendações de lavagem do tecido	81
Tabela 3.5.9 – Guia de resolução de problemas em bombas pistão	85
Tabela 3.5.9 – Guia de resolução de problemas em bombas pistão (continuação).....	86
Tabela 3.5.10 - Guia de resolução de problemas em bombas de cavidade progressiva	90
Tabela 3.5.10 - Guia de resolução de problemas em bombas de cavidade progressiva (continuação)	91
Tabela 3.5.10 - Guia de resolução de problemas em bombas de cavidade progressiva (continuação)	92
Tabela 3.5.10 - Guia de resolução de problemas em bombas de cavidade progressiva (continuação)	93
Tabela 3.5.10 - Guia de resolução de problemas em bombas de cavidade progressiva (continuação)	94
Tabela 3.5.10 - Guia de resolução de problemas em bombas de cavidade progressiva (continuação)	95
Tabela 3.5.11 – Guia de resolução de problemas em filtro prensa.....	104
Tabela 3.5.11 – Guia de resolução de problemas em filtro prensa (continuação).....	105
Tabela 3.5.11 – Guia de resolução de problemas em filtro prensa (continuação).....	106
Tabela 3.5.11 – Guia de resolução de problemas em filtro prensa (continuação).....	107
Tabela 4.1 – Características do lodo digerido da ETE Barueri.....	108
Tabela 4.2 – Características dos polímeros testados	109
Tabela 4.2 – Características dos polímeros testados (continuação)	110
Tabela 5.2 – Resumo dos resultados dos ensaios de resistência específica.....	141
Tabela 5.3 – Resumo dos resultados dos ensaios do tempo de filtração	142
Tabela 5.3 – Resumo dos resultados dos ensaios do tempo de filtração (continuação).....	143
Tabela 5.4.1 Características de telas utilizadas nos ensaios com tubo de filtração.....	144

Tabela 5.4.2 Resumo dos resultados dos ensaios com tubo de filtração.....	144
Tabela 5.5.1 –Ensaio do filtro prensa piloto para ajuste e calibração do equipamento	146
Tabela 5.5.2 – Resumo dos ensaios do filtro prensa piloto	147
Tabela 5.5.2 – Resumo dos ensaios do filtro prensa piloto (continuação).....	148
Tabela 6.5.1 – Dosagens e características da torta conforme o tipo de condicionamento	168
Tabela 6.5.2 – Resumo dos custos de produtos químicos por tipo de condicionamento	172
Tabela 6.5.3 – Resumo da produção de lodo por condicionamento com polímero em pó.....	176
Tabela 6.5.4 – Resumo da produção de biosólidos por condicionamento com polímero em pó após secagem térmica.....	178
Tabela A.1 – Dados obtidos do ensaio de caracterização reológica do lodo.....	185
Tabela A.2 – Linearização dos dados obtidos do ensaio de caracterização reológica do lodo.....	186

Lista de figuras

Figura 3.1.1 – Fluxograma do processo de tratamento de lodo de interesse para este trabalho.....	6
Figura 3.1.2 – Tipos de curvas de escoamento dos fluidos.....	10
Figura 3.2.1 – Distribuição do tamanho das partículas	15
Figura 3.4.1 – Estrutura do monômero de poliacrilamida	43
Figura 3.5.1 – Princípio de operação do filtro prensa de placas.....	57
Figura 3.5.2 – Estrutura de filtro prensa do tipo “Overhead”.....	58
Figura 3.5.3 – Filtro prensa do tipo “Sidebar”.....	59
Figura 3.5.4: – Tipos de fechamento de placas conforme o tipo de estrutura	59
Figura 3.5.5 – Dispositivo auxiliar para soltura das tortas.....	60
Figura 3.5.6 – Dispositivos de lavagem automática de telas	61
Figura 3.5.7 – Ciclo do filtro prensa de membrana	68
Figura 3.5.8 – Placa de filtro prensa de polipropileno.....	69
Figura 3.5.9 – Placa de filtro prensa em aço e moldura de borracha.....	71
Figura 3.5.10 – Detalhe da superfície de filtração da placa.....	72
Figura 3.5.11 – Funcionamento da bomba de pistão	83
Figura 3.5.12 – Bomba do tipo pistão.....	84
Figura 3.5.13 – Princípio de funcionamento da bomba de cavidades progressivas.....	87
Figura 3.5.14 – Bomba de cavidade progressiva em corte	88
Figura 3.5.15 – Instalação de filtro prensa com condicionamento com polímero	96
Figura 4.1 – Polímeros testados de diferentes marcas e formas físicas.....	110
Figura 4.2 – Preparação da solução de polímero.....	112
Figura 4.3 – Aparelho de Jar-test utilizado.....	114
Figura 4.4 – Injeção de polímero no lodo.....	116
Figura 4.5 – Principais equipamentos para resistência específica.....	118
Figura 4.6 – Introdução do lodo condicionado no funil de Buchner	119
Figura 4.7 – Acompanhamento do filtrado recolhido no cilindro volumétrico.....	120
Figura 4.8 – Gráfico de resistência específica	122
Figura 4.10 – Filtro prensa piloto	126
Figura 4.11 – Tanque reservatório de lodo de 1000 L com agitador.....	128
Figura 4.12 – Tanques de preparação de polímero: à direita tanque de solução de estoque e à esquerda tanque de solução de aplicação.....	128
Figura 4.13 – Tanque de aplicação de polímero.....	129
Figura 4.14 – Medidores de vazão eletromagnéticos	130
Figura 4.15 – Medidor de vazão de lodo	131
Figura 4.16 – Medidor de vazão de solução de aplicação de polímero.....	132
Figura 4.17 – Quadro de comando elétrico	133
Figura 4.18 – Pacote de placas do filtro prensa	133
Figura 4.19 – Lateral do filtro prensa utilizado	134
Figura 4.20 – Entrada de alimentação central de lodo condicionado	135
Figura 5.5.1 – Canaleta coletando o filtrado da desidratação.....	149
Figura 5.5.2 – Abertura das placas do filtro prensa.....	150

Figura 5.5.3 – Placas do filtro prensa abertas.....	150
Figura 5.5.4 – Torta de lodo formada na câmara do filtro prensa.....	151
Figura 5.5.5 – Carrinho de coleta de torta de lodo	152
Figura 5.5.6 – Detalhe da torta de lodo	152
Figura 6.5.1 – Medidores de vazão de solução de polímero e de lodo.....	165
Figura A.1– Curva do comportamento reológico do lodo	185
Figura A.2 – Curva do comportamento reológico do lodo com os dados linearizados.....	186
Figura B.1 – Curva da dosagem de polímero pela resistência específica do ensaio B.1	191
Figura B.1.1.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.1.1	193
Figura B.1.1.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.1.1	193
Figura B.1.2.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.1.2.....	195
Figura B.1.2.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.1.2.....	195
Figura B.1.3.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.1.3.....	197
Figura B.1.3.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.1.3.....	197
Figura B.1.4.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.1.4.....	199
Figura B.1.4.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.1.4.....	199
Figura B.1.5.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.1.5.....	201
Figura B.1.5.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.1.5.....	201
Figura B.1.6.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.1.6.....	203
Figura B.1.6.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.1.6.....	203
Figura B.2 – Curva da dosagem de polímero pela resistência específica do ensaio B.2	205
Figura B.2.1.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.2.1	207
Figura B.2.1.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.2.1	207
Figura B.2.2.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.2.2.....	209
Figura B.2.2.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.2.2.....	209
Figura B.2.3.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.2.3.....	211
Figura B.2.3.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.2.3.....	211
Figura B.2.4.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.2.4.....	213
Figura B.2.4.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.2.4.....	213
Figura B.2.5.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.2.5.....	215
Figura B.2.5.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.2.5.....	215
Figura B.2.6.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.2.6.....	217
Figura B.2.6.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.2.6.....	217
Figura B.3 – Curva da dosagem de polímero pela resistência específica do ensaio B.3	219
Figura B.3.1.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.3.1	221
Figura B.3.1.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.3.1	221
Figura B.3.2.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.3.2.....	223
Figura B.3.2.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.3.2.....	223
Figura B.3.3.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.3.3.....	225
Figura B.3.3.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.3.3.....	225
Figura B.3.4.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.3.4.....	227
Figura B.3.4.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.3.4.....	227
Figura B.3.5.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.3.5.....	229
Figura B.3.5.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.3.5.....	229

Figura B.4 – Curva da dosagem de polímero pela resistência específica do ensaio B.4.....	231
Figura B.4.1.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.4.1	233
Figura B.4.1.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.4.1	233
Figura B.4.2.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.4.2	235
Figura B.4.2.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.4.2	235
Figura B.4.3.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.4.3	237
Figura B.4.3.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.4.3	237
Figura B.4.4.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.4.4	239
Figura B.4.4.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.4.4	239
Figura B.4.5.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.4.5	241
Figura B.4.5.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.4.5	241
Figura B.4.6.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.4.6	243
Figura B.4.6.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.4.6	243
Figura B.5 – Curva da dosagem de polímero pela resistência específica do ensaio B.5.....	245
Figura B.5.1.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.5.1	247
Figura B.5.1.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.5.1	247
Figura B.5.2.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.5.2	249
Figura B.5.2.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.5.2	249
Figura B.5.3.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.5.3	251
Figura B.5.3.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.5.3	251
Figura B.5.4.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.5.4	253
Figura B.5.4.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.5.4	253
Figura B.5.5.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.5.5	255
Figura B.5.5.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.5.5	255
Figura B.5.6.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.5.6	257
Figura B.5.6.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.5.6	257
Figura B.6 – Curva da dosagem de polímero pela resistência específica do ensaio B.6.....	259
Figura B.6.1.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.6.1	261
Figura B.6.1.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.6.1	261
Figura B.6.2.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.6.2	263
Figura B.6.2.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.6.2	263
Figura B.6.3.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.6.3	265
Figura B.6.3.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.6.3	265
Figura B.6.4.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.6.4	267
Figura B.6.4.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.6.4	267
Figura B.6.5.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.6.5	269
Figura B.6.5.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.6.5	269
Figura B.7 – Curva da dosagem de polímero pela resistência específica do ensaio B.7.....	271
Figura B.7.1.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.7.1	273
Figura B.7.1.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.7.1	273
Figura B.7.2.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.7.2	275
Figura B.7.2.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.7.2	275
Figura B.7.3.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.7.3	277
Figura B.7.3.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.7.3	277

Figura B.8 – Curva da dosagem de polímero pela resistência específica do ensaio B.8	279
Figura B.8.1.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.8.1	281
Figura B.8.1.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.8.1	281
Figura B.8.2.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.8.2	283
Figura B.8.2.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.8.2	283
Figura B.8.3.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.8.3	285
Figura B.8.3.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.8.3	285
Figura B.8.4.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.8.4	287
Figura B.8.4.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.8.4	287
Figura B.8.5.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.8.5	289
Figura B.8.5.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.8.5	289
Figura B.9 – Curva da dosagem de polímero pela resistência específica do ensaio B.9	291
Figura B.9.1.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.9.1	293
Figura B.9.1.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.9.1	293
Figura B.9.2.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.9.2	295
Figura B.9.2.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.9.2	295
Figura B.9.3.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.9.3	297
Figura B.9.3.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.9.3	297
Figura B.9.4.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.9.4	299
Figura B.9.4.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.9.4	299
Figura B.9.5.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.9.5	301
Figura B.9.5.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.9.5	301
Figura B.10 – Curva da dosagem de polímero pela resistência específica do ensaio B.10	303
Figura B.10.1.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.10.1	305
Figura B.10.1.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.10.1	305
Figura B.10.2.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.10.2	307
Figura B.10.2.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.10.2	307
Figura B.10.3.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.10.3	309
Figura B.10.3.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.10.3	309
Figura B.10.4.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.10.4	311
Figura B.10.4.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.10.4	311
Figura B.10.5.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.10.5	313
Figura B.10.5.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.10.5	313
Figura B.10.6.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.10.6	315
Figura B.10.6.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.10.6	315
Figura B.11 – Curva da dosagem de polímero pela resistência específica do ensaio B.11	317
Figura B.11.1.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.11.1	319

Figura B.11.1.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º	
B.11.1	319
Figura B.11.2.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.11.2.....	321
Figura B.11.2.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º	
B.11.2	321
Figura B.11.3.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.11.3.....	323
Figura B.11.3.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º	
B.11.3	323
Figura B.11.4.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.11.4	325
Figura B.11.4.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º	
B.11.4	325
Figura B.11.5.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.11.5	327
Figura B.11.5.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º	
B.11.5	327
Figura B.11.6.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.11.6	329
Figura B.11.6.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º	
B.11.6	329
Figura B.12 – Curva da dosagem de polímero pela resistência específica do ensaio B.12	331
Figura B.12.1.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.12.1	333
Figura B.12.1.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º	
B.12.1	333
Figura B.12.2.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.12.2	335
Figura B.12.2.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º	
B.12.2	335
Figura B.12.3.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.12.3	337
Figura B.12.3.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º	
B.12.3	337
Figura B.12.4.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.12.4	339
Figura B.12.4.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º	
B.12.4	339
Figura B.12.5.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.12.5	341
Figura B.12.5.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º	
B.12.5	341
Figura C.1 – Curva de dosagem de polímero por tempo de filtração do ensaio C.1	345
Figura C.2 – Curva de dosagem de polímero por tempo de filtração do ensaio C.2	347
Figura C.3 – Curva de dosagem de polímero por tempo de filtração do ensaio C.3	349
Figura C.4 – Curva de dosagem de polímero por tempo de filtração do ensaio C.4	351
Figura E.1.1 – Curva da pressão x tempo do teste E.1	357
Figura E.1.2 – Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.1	357
Figura E.2.1 – Curva da pressão x tempo do teste E.2	359
Figura E.2.2 – Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.2	359
Figura E.3.1 – Curva da pressão x tempo do teste E.3	361
Figura E.3.2 – Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.3	361

Figura E.4.1 – Curva da pressão x tempo do teste E.4	363
Figura E.4.2 – Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.4	363
Figura E.5.1 – Curva da pressão x tempo do teste E.5	365
Figura E.5.2 – Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.5	365
Figura E.6.1 – Curva da pressão x tempo do teste E.6	367
Figura E.6.2 – Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.6	367
Figura E.7.1 – Curva da pressão x tempo do teste E.7	369
Figura E.7.2 – Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.7	369
Figura E.8.1 – Curva da pressão x tempo do teste E.8	371
Figura E.8.2 – Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.8	371
Figura E.9.1 – Curva da pressão x tempo do teste E.9	373
Figura E.9.2 – Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.9	373
Figura E.10.1 – Curva da pressão x tempo do teste E.10	375
Figura E.10.2 – Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.11	375
Figura E.11.1 – Curva da pressão x tempo do teste E.10	377
Figura E.11.2 – Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.11	377
Figura E.12.1 – Curva da pressão x tempo do teste E.12	379
Figura E.12.2 – Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.12	379
Figura E.13.1 – Curva da pressão x tempo do teste E.13	381
Figura E.13.2 – Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.13	381
Figura E.14.1 – Curva da pressão x tempo do teste E.14	383
Figura E.14.2 – Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.14	383
Figura E.15.1 – Curva da pressão x tempo do teste E.15	385
Figura E.15.2 – Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.15	385
Figura E.16.1 – Curva da pressão x tempo do teste E.16	387
Figura E.16.2 – Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.16	387
Figura E.17.1 – Curva da pressão x tempo do teste E.17	389
Figura E.17.2 – Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.17	389
Figura E.18.1 – Curva da pressão x tempo do teste E.18	391
Figura E.18.2 – Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.18	391
Figura E.19.1 – Curva da pressão x tempo do teste E.19	393
Figura E.19.2 – Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.19	393
Figura E.20.1 – Curva da pressão x tempo do teste E.20	395
Figura E.20.2 – Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.20	395
Figura E.21.1 – Curva da pressão x tempo do teste E.21	397
Figura E.21.2 – Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.21	397
Figura E.22.1 – Curva da pressão x tempo do teste E.22	399
Figura E.22.2 – Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.22	399

Lista de símbolos

A	área do meio filtrante [L^2]
b	inclinação do trecho linear do gráfico t/V versus V [TL^{-6}]
c	massa de sólidos da torta seca por unidade de volume de filtrado [ML^3]
C_1	concentração da solução de polímero [ML^{-3}]
C_2	concentração final do lodo condicionado [ML^{-3}]
CL	concentração inicial de sólidos do lodo [ML^{-3}]
CT	concentração de sólidos da torta [ML^{-3}]
dv/dy	gradiente de velocidade [T^{-1}]
G	gradiente médio de velocidade [T^{-1}]
K	índice de consistência [-]
n	expoente do comportamento do escoamento [-]
N	velocidade angular de rotação da pá [T^{-1}]
P	pressão de vácuo [$ML^{-1}T^{-1}$]
r	resistência específica do lodo condicionado [LM-1]
R	resistência específica do lodo condicionado [LM-1]
SF	concentração de sólidos fixos [ML^{-3}]
SST	concentração de sólidos suspensos totais [ML^{-3}]
ST	concentração de sólidos totais [ML^{-3}]
t	tempo de filtração [T]
t	tempo de mistura [T]
T	torque imposto ao sistema de mistura [ML]
V	volume de filtrado [L^3]
v	volume de filtrado [L^3]
V_1	volume de polímero adicionado [L^3]
V_2	volume final resultante de lodo condicionado [L^3]
W	potência aplicada dividida pelo volume na câmara [$ML^{-1}T^{-1}$]
ρ	densidade [ML^{-3}]
μ	viscosidade [$ML^{-1}T^{-1}$]
μ	viscosidade do filtrado [$ML^{-1}T^{-1}$]
μ_{ap}	viscosidade aparente [$ML^{-1}T^{-1}$]
τ	tensão de cisalhamento [$ML^{-1}T^{-2}$]
τ_0	tensão inicial de cisalhamento [$ML^{-1}T^{-2}$]
η_p	coeficiente de rigidez ou viscosidade plástica [$ML^{-1}T^{-1}$]
ν	viscosidade cinemática [L^2T^{-1}]

RESUMO

Este estudo procurou investigar a utilização de polímeros para condicionamento de lodo de ETE para desidratação em filtro prensa de placa e verificar as eventuais vantagens em relação ao condicionamento com cal e cloreto férrico.

Para isso foram realizadas pesquisa bibliográfica, consulta a fornecedores de polímeros e de equipamentos e trabalhos experimentais em laboratório e em escala piloto com lodo gerado nos digestores anaeróbios da ETE Barueri da SABESP que mostrava interesse em fazer o condicionamento do lodo com polímeros. Atualmente, na ETE Barueri o condicionamento de lodo é feito com cal e cloreto férrico, com dosagens em torno de 25% e 10% respectivamente e a desidratação em filtro prensa de placas, com tempo de ciclo de 4 horas, produz tortas com 40% de teor de sólidos e densidade de 1,20 kg/L. Nos experimentos foram utilizados polímeros catiônicos de alto peso molecular. O equipamento piloto utilizado foi um filtro prensa de placa do tipo membrana diafragma com dez placas de 800 x 800 mm.

Nos ensaios do filtro prensa piloto, com a utilização de polímero em pó para o condicionamento de lodo, indicou-se uma redução nos custos de produtos químicos consumidos em relação ao condicionamento com cal e cloreto férrico. O condicionamento com polímero em pó e cloreto férrico, com dosagens respectivamente de 4,83 kg/ton e 6,3%, resultou numa torta com teor de sólidos de 31% e densidade de 1,13 kg/L. Já o condicionamento feito somente com polímero em pó, com dosagem de 5,38 kg/ton, resultou numa torta com teor de sólidos de 30% e densidade de 1,08 kg/L, porém apresentou problemas na soltura das tortas. A utilização de polímeros permitiu trabalhar em taxas iniciais de filtração mais altas, resultando num tempo de filtração em torno de 120 minutos, implicando em tempos de ciclo mais curtos.

ABSTRACT

This study investigated the utilization of polymers for the conditioning of the sludge generated at Wastewater Treatment Plants (WTP) for dewatering at filter presses, verifying the eventual advantages in comparison with the conditioning with lime and ferric chloride.

Specific bibliography was researched, polymer and equipment suppliers were consulted and experimental studies were carried out at the laboratory and in a pilot scale. The sludge was generated at the anaerobic digesters of Barueri WTP operated by SABESP which has shown interest in this method. Currently, at Barueri WTP the sludge conditioning is performed with lime and ferric chloride at dosages around 25% and 10%, respectively. The dewatering is processed by filter presses during a cycle period of 4 hours, producing cakes with 40% of solids and a density of 1,20 kg/L. The experimental studies were carried out with high molecular weight cationic polymers. The pilot equipment consisted of a filter press with a diaphragm membrane with 10 plates measuring 800 x 800 mm each.

During the tests at the pilot filter press, when dry polymers for sludge conditioning were utilized, it was verified that the cost of chemical products consumed was reduced in comparison with the conditioning with lime and ferric chloride. The sludge conditioning with dry polymers and ferric chloride at respective dosages of 4,83 kg/ton and 6,3% resulted in cakes with 31% of solids and density of 1,38 kg/L. On the other hand, the sludge conditioned only with dry polymers at a dosage of 5,38 kg/ton resulted in cakes with 30% of solids and density of 1,08 kg/L, but the cake release from the plates was difficult. The utilization of polymers allowed higher initial filtration rates resulting in a 120 minute filtration period with a consequent reduction of the cycle time.

1 Introdução

A desidratação de lodo digerido de ETEs em filtro prensa de placas é um processo reconhecido entre os mais eficientes devido ao alto teor de sólidos resultante na torta final. Tradicionalmente em filtro prensa tem-se utilizado cloreto férrico e cal para condicionamento de lodo. Com o uso destes condicionadores tem-se conseguido bons resultados em termos de redução de umidade, no entanto há a grande desvantagem de se incorporar uma quantidade considerável de sólidos secos na torta de lodo final. Pelo fato desse condicionamento inorgânico ser feito em batelada, o controle da dosagem dos produtos químicos é relativamente simples.

Alternativamente, o condicionamento de lodo pode ser feito com o uso de polímeros. A utilização do condicionamento com polímeros em filtro prensa não é uma prática comum no Brasil e mesmo na América do Norte a sua adoção é recente. Já nos países europeus, em especial a Inglaterra e a Alemanha, esta tecnologia tem sido empregada há mais tempo.

Uma das principais dificuldades na adoção do uso de polímeros no condicionamento de lodo para desidratação em filtro prensa reside no fato deste equipamento trabalhar de forma não contínua, ou seja, em batelada. Durante o ciclo de operação, as condições de vazão de lodo processado e pressão no interior do filtro sofrem mudanças. Um outro fator a ser considerado reside no fato do condicionamento com polímero ser feito normalmente em linha, ou seja, na tubulação de alimentação próxima à entrada do equipamento de desidratação. Portanto na operação do filtro prensa este condicionamento com polímero deve ser feito de forma contínua durante o ciclo em que as condições operacionais sofrem mudanças gradativas. Estas condições de operação associadas ao fato dos polímeros trabalharem em dosagens muito pequenas e serem

sensíveis a pequenas variações faz com que a adoção do condicionamento do lodo com polímeros para desidratação em filtro prensa seja uma tarefa complexa. Esta complexidade não é encontrada nos outros equipamentos de desidratação de lodo que trabalham de forma contínua, como as centrífugas e os filtros prensa de esteira.

Através dos esforços de pesquisa e desenvolvimento empreendidos tanto pelos fabricantes de polímeros como de filtro prensa foi que esta tecnologia tornou-se viável. Sabia-se que era possível a utilização do polímero para o condicionamento em filtro prensa, mas não se sabia como fazer este condicionamento de maneira satisfatória.

Entre as vantagens citadas na literatura na adoção do polímero para condicionamento pode-se citar um menor investimento de capital para os equipamentos de preparo de produtos químicos, redução nos custos de produtos químicos consumidos, facilidade de preparo dos produtos químicos, manuseio de produto não corrosivo etc.

Para a realização deste trabalho procurou-se fazer uma revisão da literatura, que se mostrou escassa neste assunto que se complementaram com a execução de experimentos em escala laboratorial e piloto. Este trabalho também possuía um interesse em comum com a ETE Barueri, pois havia uma necessidade de ampliação das capacidades dos filtros prensas de placas. Uma das alternativas recomendadas para o aumento da capacidade dos filtros prensa existentes na ETE Barueri seria a utilização de polímeros para condicionamento do lodo. Além deste interesse comum da ETE Barueri com este trabalho, houve um interesse por parte da empresa Netzsch que investiu na aquisição de um equipamento de filtro prensa piloto com membrana. O maior interesse da firma Netzsch foi a realização de testes com o lodo digerido produzido aqui no Brasil e obter parâmetros operacionais. Com estes parâmetros operacionais foi possível para a Netzsch projetar de maneira mais otimizada os filtro prensa do tipo membrana da ETE

São Miguel, que foram previstos para trabalhar com condicionamento de lodos com polímeros. Houve também o próprio interesse dos fornecedores de polímeros para este trabalho devido a novas oportunidades de mercado que poderiam surgir em consequência da troca de produtos químicos de cal e cloreto férrico por polímeros.

2 Objetivos

Considerando-se a necessidade de um maior aprofundamento no tema, os objetivos estabelecidos foram:

- Realização de pesquisa bibliográfica referente ao tema bem como a pesquisa em fornecedores de polímeros e equipamentos de filtro prensa, devido à escassez de artigos técnicos correlacionados ao assunto;
- Realização de ensaios de laboratório para escolha dos melhores polímeros para condicionamento de lodo digerido, bem como a determinação da faixa de dosagem a ser aplicada para posterior desidratação;
- Realização de ensaios em escala piloto para verificar a viabilidade técnica da utilização de polímeros no condicionamento de lodos para desidratação em filtro prensa de placas, bem como verificar as condições operacionais obtidas com este tipo de tecnologia;
- Estimar preliminarmente a viabilidade do ponto de vista econômico a utilização de polímeros no condicionamento de lodo para desidratação em filtro prensa de placa.

3 Revisão de Literatura

3.1 Lodos de Estações de Tratamento de Esgotos - ETEs convencionais

3.1.1 Fontes de lodos de esgotos

Os lodos de esgotos são geralmente classificados de acordo com o estágio do sistema de tratamento em que foram originados e desta forma são normalmente referidos como primário, secundário ou digerido.

Portanto, o lodo primário é aquele originado no decantador primário. A concentração de sólidos totais dos lodos nesta fase do processo deve estar em torno de 1 – 6%. Para que a concentração de sólidos totais aumente ainda mais (de 4 a 10%) o lodo deve sofrer um adensamento, normalmente por gravidade. O adensamento pode reduzir até a metade do volume original de lodo e portanto reduzir as instalações posteriores de tratamento da fase sólida. Este lodo bruto pode ser adensado e desidratado com relativa facilidade, desde que este não se torne séptico. O lodo primário é altamente putrescível, gera maus odores e contém alta concentração de patógenos, que podem causar vários tipos de doenças se em contato humano.

O lodo secundário é aquele que é resultante da conversão biológica dos produtos solúveis do efluente primário bem como as partículas que escapam do tratamento primário. O lodo secundário é gerado nos processos de tratamento de lodos ativados, filtro biológico etc. Normalmente o lodo secundário é difícil de adensar e desidratar.

Os lodos primário e secundário podem ainda ser designados como não digeridos (bruto).

O lodo digerido, objeto de estudo deste trabalho, é o lodo bruto que sofre a estabilização biológica, normalmente pela via anaeróbia. Os produtos da digestão anaeróbia são o gás

carbônico, gás metano e água; como consequência deste processo há uma redução na concentração de sólidos voláteis.

O lodo também pode ser designado como lodo químico tanto se for originado de um tratamento físico-químico de esgoto como também se for resultante da adição de um sal metálico num sistema de tratamento convencional para remoção de fósforo.

O fluxo do lodo ao longo do processo de tratamento da fase sólida de interesse para este trabalho está esquematizado adiante.

Figura 3.1.1 – Fluxograma do processo de tratamento de lodo de interesse para este trabalho

3.1.2 Quantidades de lodos

Para propósitos de projeto, o ideal seria considerar a quantidade de lodo baseada na medida real da vazão produzida. No entanto, esta consideração não é nem prática e nem possível. De modo alternativo, podem ser utilizados dados para obtenção da produção de lodo através da massa de lodo produzida por habitante e por dia. Estas estimativas podem ser úteis para considerações preliminares, mas não são adequadas para projeto. Outro método mais prático e consistente de estimativa das quantidades de lodo é executar o balanço de massa através das várias unidades de processo e desenvolver modelos matemáticos que incorporem os princípios de eficiência de processo e coeficientes de produção ou ambos. Esta aproximação permite que tanto as características do esgoto como as variáveis do processo possam influenciar as quantidades previstas.

O lodo adicional gerado através da adição de sais metálicos para remoção de fósforo pode ser estimado com base em relações estequiométricas. No entanto este método deve ser utilizado com precaução, pois pode haver uma subestimação das quantidades de lodo geradas. Por causa deste problema, aconselha-se a realização de testes em escala de bancada em conjunto com as determinações estequiométricas de produção de lodo.

A produção de lodo pode ser afetada por muitas variáveis. A produção de lodo primário é afetada pela concentração de sólidos afluente, taxa de escoamento superficial e eficiência do decantador primário, temperatura e natureza do esgoto. A produção de lodo secundário é função do método de tratamento (lodo ativado, filtro biológico etc), tempo de detenção dos sólidos, natureza do substrato (sólidos suspensos e DBO) e eficiência do decantador primário. Uma vez estabelecidas as variáveis de processo para

o sistema de tratamento da fase líquida, a produção total de lodo é fixada para o final de plano do projeto.

Os produtos químicos adicionados para remoção de fósforo causam um aumento inevitável na produção de lodo. Este incremento é função do produto químico e da dosagem utilizada. A adição de produtos químicos de condicionamento do lodo pode aumentar os sólidos secos da torta final e obviamente aumentar o volume. Os polímeros não aumentam a quantidade de sólidos secos, enquanto os sais de ferro e a cal podem aumentar a quantidade de sólidos secos de 20 a 30%. Por outro lado, os polímeros geralmente adicionam mais água no processo de condicionamento que os condicionadores inorgânicos. O impacto econômico destes adicionais de umidade e teor de sólidos secos somente pode ser determinado avaliando-se as características da torta após a desidratação; a característica mais importante da torta é o teor de sólidos totais.

3.1.3 Características de produção dos lodos digeridos

Conforme METCALF & EDDY (1991), a concentração de sólidos totais do lodo digerido situa-se numa faixa entre 2,5 a 7,0%, sendo o valor mais típico de 3,5%.

Também conforme METCALF & EDDY (1991), a redução típica dos sólidos voláteis nos digestores anaeróbios encontra-se numa faixa de 45 a 60%. Esta eficiência na digestão anaeróbia afeta o condicionamento, como será visto mais adiante.

Conforme MALINA (1993), num sistema de digestão anaeróbia a faixa ótima de pH do lodo encontra-se entre 6,8 a 7,4. O pH situa-se nesta faixa graças ao efeito tampão proporcionado pela alcalinidade produzida no digestor. Na faixa ótima de pH, a porcentagem de dióxido de carbono no gás produzido no digestor situa-se entre 30 a 35% em volume e a alcalinidade situa-se entre 1500 a 3000 mg/L de CaCO_3 . A

alcalinidade devida ao bicarbonato é aproximadamente igual à alcalinidade total do sistema anaeróbio.

Conforme o WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (1996), o tempo médio de detenção do lodo no digestor de alta taxa aquecido a 30 °C situa-se numa faixa entre 15 a 20 dias. Com tempos menores de digestão, as bactérias metanogênicas não se reproduzem de maneira rápida o suficiente para balancear o sistema. Além disso, em tempos de detenção mais curtos reduz-se a capacidade tampão do sistema. Nos EUA, a maioria dos digestores trabalha na faixa mesofílica de temperatura entre 32 a 38°C. Em algumas ETEs, onde se quer melhorar a operação de desidratação, trabalha-se na faixa termofílica de temperatura entre 50 a 60°C. Além da faixa de trabalho operacional, a temperatura no digestor não deve variar mais que 0,6°C por dia. Cada grupo dos microrganismos metanogênicos tem uma temperatura ótima de crescimento. Se a temperatura sofrer significativas oscilações, nenhum grupo de microrganismos desenvolverá uma população suficientemente grande para otimizar o processo.

3.1.4 Características reológicas dos lodos digeridos

3.1.4.1 Fundamentos teóricos

A reologia é a ciência que estuda o escoamento e a deformação da matéria. A importância prática de se conhecer o comportamento reológico do lodo reside principalmente nas operações de transporte através de estações elevatórias, pois os esforços resultantes envolvidos exigem métodos de dimensionamento de equipamentos diferentes dos utilizados em água. Uma outra importância que muitos pesquisadores fazem referência é com relação a mistura no processo de condicionamento químico do lodo.

Conforme BADINO JÚNIOR (1991), os fluido newtonianos são definidos como aqueles que exibem uma relação direta entre a tensão de cisalhamento (τ) e o gradiente de velocidade (dv/dy) em escoamento laminar, como proposto por Newton:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \quad \text{equação (1)}$$

onde μ é a viscosidade, que é um parâmetro independente do gradiente de velocidade, sendo afetado pela temperatura e pressão para um dado fluido. A curva da tensão de cisalhamento – “ τ ” versus gradiente de velocidade “ dv/dy ” em escoamento laminar é conhecida como “curva de escoamento”, conforme OLIVEIRA JÚNIOR (1977).

O comportamento reológico dos vários tipos de fluidos pode ser observado através das curvas de escoamento representadas na figura 3.1.2.

Figura 3.1.2 – Tipos de curvas de escoamento dos fluidos

Fonte: Oliveira Jr, S. (1977)

Como consequência da definição, o termo não-newtoniano compreende todos os materiais que não obedecem à proporcionalidade direta entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação dv/dy descrita pela lei de Newton. Ou seja, para cada valor da tensão de cisalhamento existe uma viscosidade correspondente.

De maneira análoga aos fluidos newtonianos, costuma-se definir também uma viscosidade aparente para os fluidos não-newtonianos.

Conforme BADINO JÚNIOR (1991), esta viscosidade aparente para os fluidos pseudoplásticos e dilatantes é dada por:

$$\boldsymbol{m}_{\text{ap}} = K \left(\frac{dv}{dy} \right)^{n-1} \quad \text{equação (2)}$$

onde K é o índice de consistência.

A maioria dos materiais não-newtonianos encontram-se na categoria dos fluidos pseudoplásticos.

Normalmente o gráfico logarítmico de τ por dv/dy para estes materiais é linear numa larga faixa de gradientes de velocidade. O expoente do comportamento do escoamento “n” é a inclinação no gráfico logarítmico de τ por dv/dy , que varia de um até próximo de zero com o aumento da pseudoplasticidade; o índice de consistência “K” é calculado da intersecção da curva com o eixo dos τ para dv/dy unitário, sendo, em geral “K” muito mais sensível que “n” com relação à variação da temperatura.

Como “n” é menor que a unidade para fluidos pseudoplásticos, a equação (2) mostra que a viscosidade aparente diminui com o aumento do gradiente de velocidade.

Quando n é maior que 1 o fluido é classificado como dilatante.

Conforme OLIVEIRA JÚNIOR (1977), dois fenômenos têm sido observados com materiais dilatantes. A dilatação volumétrica denota um aumento no volume total sob

cisalhamento, ao passo que a dilatação reológica refere-se a um aumento na viscosidade aparente elevando-se o gradiente de velocidade. É esta última característica que está mais associada aos fluidos dilatantes, embora tais materiais sejam menos comuns que os fluidos pseudoplásticos.

Conforme BADINO JÚNIOR (1991), os fluidos de Bingham ou fluidos plásticos são os mais simples dos fluidos não-newtonianos pois só diferem dos fluido newtonianos na relação linear entre τ e dv/dy . Para esses fluidos uma determinada tensão inicial (τ_0) de cisalhamento é necessária para o escoamento. A equação reológica para esses fluidos é dada pela equação (3).

$$\tau - \tau_0 = \eta_p (dv/dy) \quad \text{equação (3)}$$

onde

η_p é o coeficiente de rigidez ou viscosidade plástica.

Conforme TAGUCHI (1971) apud BADINO JÚNIOR (1991), o comportamento de um fluido newtoniano pode ser determinado com um viscosímetro comercial, tipo cilindros concêntricos, de cone e prato ou de capilar, ou também em caso de suspensões de sólidos simples, através de correlações em função da fração volumétrica de sólidos.

3.1.4.2 Comportamento reológico do lodo de ETEs

BABBIT; CALDWELL (1939) apud CARTHEW et al. (1983) relataram que o comportamento reológico do lodo digerido é o de um plástico de Bingham. Entre alguns fatores que afetam o comportamento reológico do lodo foram citados a concentração de sólidos suspensos, o conteúdo de gás, o tamanho e a distribuição das partículas dos sólidos suspensos.

O estudo feito por CARTHEW et al. (1983) discute o bombeamento de misturas de lodo bruto (mistura de primário com secundário) em longas distâncias. Como conclusões verificou-se que comportamento reológico do lodo bruto difere significativamente do lodo digerido e que em projetos de tubulações de transporte a longa distância deve-se realizar estudos específicos de comportamento reológico do lodo investigado, pelo fato dos dados existentes serem muito variáveis.

3.2 Condicionamento

3.2.1 Generalidades

Condicionamento é um processo para melhorar as características de separação das fases sólido-líquida do lodo, seja por meios físicos ou químicos. Conforme HAUG et al. (1992), o condicionamento de lodos neutraliza ou desestabiliza as forças químicas ou físicas atuantes nas partículas coloidais e no material particulado em suspensão imersos em meio líquido. Este processo de desestabilização permite que as partículas pequenas se juntem para formar agregados maiores, ou seja, os flocos.

Normalmente, os processos de tratamento posteriores ao condicionamento, que se beneficiam com esta formação do floco, são o adensamento e a desidratação mecânica. Um outro uso do condicionamento é no pré-tratamento físico-químico para aumentar a eficiência do decantador primário.

O condicionamento a ser visto aqui é o referente a desidratação mecânica de lodos de ETEs. É através do condicionamento, que a operação de desidratação consegue reduzir significativamente a umidade do lodo gerado nas ETEs. Conforme o WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (1988), o condicionamento químico (que é o mais comumente utilizado) seguido da desidratação, pode auxiliar a redução da umidade

do lodo de 90 a 99% para 65 a 80%, dependendo da natureza dos sólidos tratados. Já o condicionamento físico, como por exemplo o tratamento térmico, pode produzir teores menores de umidade.

Os métodos de condicionamento químico incluem o uso de produtos químicos inorgânicos ou orgânicos (ou a combinação de ambos). Os produtos químicos inorgânicos correntemente usados são os sais férricos, ferrosos e de alumínio e óxido ou hidróxido de cálcio. Já os produtos químicos orgânicos normalmente utilizados incluem o extenso grupo de polieletrólitos orgânicos - polímeros, que têm sido usados extensivamente no tratamento de água e esgoto.

3.2.2 Fatores que afetam o condicionamento do lodo

Os fatores que afetam o condicionamento de lodos aqui citados serão aqueles mais genéricos e básicos para compreensão dos fenômenos envolvidos. Mais adiante serão discutidos os fatores específicos que afetam o condicionamento de lodos de ETEs com polímeros.

3.2.2.1 Fatores físicos que afetam o condicionamento de lodo

a) distribuição e tamanho das partículas

Conforme UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA (1979), o tamanho da partícula é considerado como o principal fator que afeta a desidratação de lodos. À medida que o tamanho da partícula diminui, a relação entre a superfície e o volume aumenta exponencialmente. Este aumento da área superficial implica numa maior capacidade de hidratação, maior consumo de produtos químicos e

um aumento na resistência à desidratação. A figura 3.2.1 mostra os tamanhos relativos de partículas dos materiais comumente encontrados nos esgotos.

Figura 3.2.1 – Distribuição do tamanho das partículas

Fonte: U.S EPA (1979)

Os esgotos sanitários contêm quantidades significativas de colóides e finos que, devido aos seus tamanhos (1 a 10 microns), irão praticamente escapar do tratamento primário caso não seja feito nenhum pré-tratamento químico para ocorrer a coagulação e floculação. Os processos de tratamento biológico, além de removerem a matéria orgânica biodegradável, também removem parcialmente os colóides e os finos dos esgotos. Justamente por isso os lodos secundários são difíceis de adensar e desidratar e consomem muitos produtos químicos.

Tem-se então que o objetivo primário do condicionamento é aumentar o tamanho da partícula combinando as pequenas em agregados maiores.

Ou seja, qualquer processo que reduza o tamanho das partículas provocará um efeito negativo no condicionamento. Em termos práticos, o transporte de lodos através de

bombas pode provocar um cisalhamento das partículas e torná-las menores. As operações de mistura no condicionamento também podem provocar uma quebra das partículas dependendo da intensidade imposta.

b) grau de mistura

Como será visto mais adiante no condicionamento com produtos orgânicos, a intensidade da mistura afeta a dispersão do polímero no lodo, sendo um dos fatores de maior importância

Outra influência da mistura se dá na preparação das soluções de aplicação de polímero, que deve ser suficiente para abrir e não fragmentar as cadeias. A preparação incorreta da solução de aplicação de polímero danifica o desempenho do condicionamento de lodos.

3.2.2.2 Fatores químicos que afetam o condicionamento de lodo

a) pH e alcalinidade

Conforme o WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (1988), o pH e a alcalinidade são os parâmetros químicos mais importantes e que são mais fáceis de medir que afetam o condicionamento do lodo. Em qualquer processo de condicionamento de lodo, o mecanismo que causa a coagulação é a interação do coagulante com a superfície dos colóides do lodo. A natureza da carga superficial e a carga do coagulante são ambas função do pH. Além disso, o pH determina que espécies químicas estão presentes.

A alcalinidade é uma propriedade importante do lodo para o condicionamento inorgânico. Os condicionadores inorgânicos comportam-se como ácido quando

adicionados na água, isto é, estes condicionadores reduzem o pH da mistura lodo-coagulante. Por essa razão a dosagem de ferro ou alumínio e a alcalinidade do lodo determinam o pH do processo de condicionamento. Este pH determina as espécies predominantes de coagulante que estarão presentes, assim como a natureza da superfície coloidal carregada. Para os lodos digeridos anaerobiamente com alta alcalinidade verifica-se uma necessidade de suprir maiores doses de coagulante.

b) concentração de sólidos

Conforme o WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (1988), o condicionamento (coagulação e floculação) pode ser visto como uma neutralização de carga coloidal superficial pela adsorção de cargas opostas de polímeros orgânicos ou complexos inorgânicos. Portanto, para uma dada distribuição do tamanho de partículas, o consumo de produtos químicos aumenta à medida que a concentração de sólidos aumenta, para que ocorra uma efetiva cobertura superficial (em bases volumétricas). No entanto expressando-se o consumo de produtos químicos em termos de massa de coagulante por massa de sólidos secos, quanto maior a concentração de sólidos menores poderão ser as dosagens. Por esta razão e também por ser mais fácil de se comparar consumos de produtos químicos de uma instalação para outra, expressa-se o consumo de produtos químicos em termos de quantidade de condicionador por quantidade de sólidos secos do lodo. Para o condicionamento inorgânico normalmente este consumo é expresso em porcentagem de sólidos totais do produto químico por sólidos totais do lodo. E no condicionamento orgânico o consumo é normalmente expresso em termos de quilograma de polímero consumido por tonelada de sólidos totais de lodo.

c) carga superficial

Conforme UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA (1979), as partículas de lodo de maneira geral repelem-se umas às outras ao invés de se atraírem. Esta repulsão pode ser devida aos efeitos elétricos ou de hidratação. Na hidratação, uma ou mais camadas de água impedem a aproximação das partículas de lodo. Além disso, as partículas dos sólidos são carregadas negativamente e portanto tendem a se repelir. O condicionamento é utilizado justamente para superar os efeitos da hidratação e da repulsão eletrostática.

O condicionamento pode ser considerado um processo com duas etapas, que consistem na desestabilização e a floculação. Na desestabilização, as características das superfícies das partículas são alteradas de tal maneira que será possível a aderência de uma à outra. Esta desestabilização ocorre com a adição dos produtos químicos orgânicos ou inorgânicos. Já a floculação corresponde ao processo onde ocorrem os contatos entre as partículas desestabilizadas, sob uma agitação controlada.

Através de estudos conduzidos por GRONEMAN (1975), verificou-se que a irradiação do lodo com raios gama provocou uma redução da carga eletrostática negativa das partículas coloidais de uma amostra de lodo digerido de ETE. O efeito disto foi uma redução na resistência específica do lodo irradiado. Verificou-se, portanto, o efeito da carga superficial no condicionamento de lodo através de um estudo bem específico, que se situava dentro de uma série de investigações realizadas para a utilização da radiação para a melhoria do meio ambiente.

d) natureza da associação água-sólidos no lodo

Conforme descrito por GRANDIN (1992), teoricamente a água presente nos lodos pode se dividir em:

- água livre;
- água inter-flocos;
- água adsorvida nos flocos;
- água inter-partículas;
- água adsorvida nas partículas;
- água de partícula.

A água livre refere-se à parcela de água que fica separada quando os flocos de lodo, de maior peso específico, sofrem sedimentação ou adensamento devido à ação da força da gravidade após determinado tempo de repouso. A quantidade de água removida deste modo depende da fragilidade estrutural dos flocos e de suas características de sedimentação.

A água inter-flocos refere-se a parcela de água que permanece presa entre os flocos após o término do período de sedimentação ou adensamento por gravidade. Esta parcela de água é facilmente removida pela aplicação de pressão ou vácuo através dos flocos. Um processo convencional de desidratação remove a maioria desta água inter-flocos por conta de um entupimento pouco significativo do meio filtrante e da torta de lodo.

A água adsorvida no floco refere-se à parcela de água adsorvida sobre a superfície do floco e que devido a tensão superficial e rigidez estrutural dos flocos só pode ser retirada quando é aplicada uma adequada pressão ou vácuo. Esta retirada é feita sem a ruptura dos flocos de lodo. No caso da ocorrência de fragmentação dos flocos de lodo, a parcela de água adsorvida não é identificada em quantidades significativas.

A água inter-partículas refere-se à parcela de água presa dentro dessas partículas. Esta água pode ser retirada através da ruptura dos flocos de lodo com aplicação de elevada pressão ou vácuo às partículas fragmentadas.

A água adsorvida na partícula refere-se à parcela de água adsorvida sobre a superfície da partícula por tensão superficial ou sucção capilar, sendo difícil de retirar mecanicamente.

A água de partícula refere-se à parcela de água íntima e quimicamente ligada às partículas inorgânicas, quimicamente ligada às células, ou fisicamente ligadas às partículas orgânicas. Este tipo de água só pode ser retirada por combustão.

Deve-se ressaltar que não existem técnicas capazes de caracterizar os tipos de água mencionados acima e, neste sentido, muitos esforços têm sido direcionados pelos pesquisadores para investigar este campo.

3.2.2.3 Fatores biológicos que afetam o condicionamento de lodo

Conforme o WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (1988), a fonte de lodo e a natureza dos sólidos originados de um processo unitário afetam o condicionamento.

A fonte de lodo é um bom indicador de consumo de produtos químicos para condicionamento. Normalmente, com relação ao consumo de produtos químicos nas operações de condicionamento químico para adensamento e desidratação, os lodos primários consomem quantidades menores que os lodos secundários, enquanto que os lodos secundários originados em leitos de filme fixo consomem quantidades menores que os lodos originados do crescimento em suspensão. Os lodos digeridos aerobiamente e anaerobiamente consomem quantidades condicionadores comparáveis aos lodos secundários.

Normalmente os lodos químicos ou misturas de químico com biológico são mais variáveis que as categorias tradicionais de lodo primário e secundário, por isso não é possível compará-los como uma classe. Embora estes lodos químicos sejam difíceis de classificar com respeito à magnitude das quantidades de produtos químicos consumidos, as suas condições de condicionamento são frequentemente de qualidade diferente dos lodos primário e secundário. Normalmente os lodos primário e secundário requerem polímeros catiônicos, ao passo que os lodos químicos requerem os polímeros aniônicos.

3.3 Condicionamento químico inorgânico

3.3.1 Generalidades

O condicionamento químico inorgânico tem sido utilizado para desidratação mecânica de lodo por muitos anos.

As principais aplicações deste tipo de condicionamento são para desidratação de lodo em filtro prensa de placa e filtro à vácuo.

Os produtos químicos normalmente utilizados no condicionamento de lodos de estações de tratamento de esgotos são a cal e o cloreto férrico.

3.3.2 Propriedades dos condicionadores químicos inorgânicos

A cal e o cloreto férrico líquido possuem a propriedade de condicionar vários tipos de lodos e são facilmente disponíveis no mercado.

Outros agentes condicionadores menos utilizados incluem o sulfato ferroso líquido, cloreto férrico anidro, sulfato de alumínio e cloreto de alumínio.

Conforme o WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (1988), as vantagens e desvantagens do uso de produtos inorgânicos contra os orgânicos devem ser

consideradas no ato da escolha do agente condicionador. Tradicionalmente, as quantidades de produtos químicos inorgânicos requeridas para condicionamento são maiores que os polímeros orgânicos. Este fator torna-se extremamente importante quando considerado o método de disposição final. Por exemplo, a utilização de cal e cloreto férrico pode acrescentar de 20 a 40% em massa seca (e conseqüentemente um volume associado) ao montante de torta gerado para disposição. Esta massa e volume adicionais podem exercer ações indevidas na vida útil de um aterro ou no local de disposição final para aplicação no solo.

Uma segunda consideração a ser feita é o impacto dos agentes condicionadores na capacidade calorífica do lodo quando for utilizada a incineração ou qualquer outra forma de aquecimento. Sabe-se que o cloreto férrico e a cal adicionam precipitados aos sólidos do lodo que não se consomem no aquecimento. No entanto na escolha dos agentes condicionadores, deve-se ter em conta que o que determina a combustibilidade da torta é a proporção de água em relação aos sólidos secos da torta desidratada e não a presença ou ausência de precipitados químicos.

3.3.3 Cal

3.3.3.1 Generalidades

A cal é utilizada extensamente nas operações de ETEs para o controle de pH. É comercialmente disponível em duas formas secas preponderantes - cal virgem (CaO) e cal hidratada (Ca(OH)_2). Em outras formas a cal é cáustica, tende ao pó quando pulverizado e tende a precipitar quando em suspensão, formando uma crosta de carbonato de cálcio nos recipientes de transporte.

Como agente condicionador de lodo, a cal é normalmente utilizada para elevar o pH decaído por causa da adição de cloreto férrico. Além do controle de pH, a cal providencia um certo grau de redução de odor e a eliminação de agentes patogênicos.

Conforme o WATER ENVIRONMENT FEDERATION (1991), os patógenos e os microrganismos do lodo podem ser tanto inativados como destruídos em condições de pH maior ou igual a 12, tempo de contato adequado (pelo menos 2 horas) e mistura homogênea com a cal.

Conforme o WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (1988), em doses maiores de cal pode-se ter um ganho através da formação de precipitados de carbonato de cálcio (CaCO_3) e hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2). Estes precipitados aumentam a capacidade de drenagem do lodo agindo mais como um agente intumecedor, aumentando a porosidade do lodo durante a resistência a compressão. Em pH elevado pode-se ter um parcela não dissolvida de Ca(OH)_2 no lodo.

3.3.3.2 Características da cal

A cal virgem (CaO) é uma fonte conveniente de álcali usada para o ajuste e controle de pH. A pureza típica como CaO é da ordem de 85 a 95%. Normalmente é chamada de cal calcinada pois sua fabricação é feita através da queima de pedras britadas de cal (carbonato de cálcio, CaCO_3) em fornos de calcinação a altas temperaturas. Durante o processo de calcinação, o dióxido de carbono (CO_2) é expelido restando somente o óxido de cálcio (CaO). Normalmente é comercializado na forma de pedra para minimizar o desprendimento de pó durante o seu manuseio.

Raramente a cal virgem é aplicada diretamente na forma seca, com exceção da estabilização de torta de lodo. Ao invés disso, normalmente é aplicada em suspensão

com água e convertida numa forma hidratada mais reativa (hidróxido de cálcio, Ca(OH)_2) antes de sua aplicação. A reação é comumente referida como extinção e envolve calor como parte da reação.

A cal virgem levemente queimada com alto grau de pureza irá produzir uma extinção muito rápida resultando numa suspensão de hidróxido de cálcio de alta reatividade. De maneira oposta, a cal virgem bem queimada com baixo grau de pureza, irá produzir pouca extinção, resultando numa suspensão menos reativa. Para que se tenha a máxima eficiência de extinção para os produtos com baixo grau de pureza são necessários um melhor controle na hidratação e um tamanho mínimo de partícula de hidróxido de cálcio. As informações de velocidade de extinção e o grau de queima em função do conteúdo de CaO estão apresentadas na tabela 3.3.1.

Tabela 3.3.1 Características da cal em função do conteúdo de CaO (em%)

Conteúdo de CaO (%)	Grau de queima	Velocidade de extinção
Alto	leve	muito rápida
	normal	média
	acima de forte	média a baixa
Médio	leve	rápida a média
	normal	média
	acima de forte	baixa
Baixo	leve	rápida a média
	normal	média
	acima de forte	lenta a muito lenta

Fonte: Water Pollution Control Federation (1988)

O contato prolongado da cal virgem com o CO_2 na umidade do ar irá causar sua hidratação, tornando-a menos reativa. Do mesmo modo, o ar ou o uso excessivo de água dura (alcalinidade maior que 180 mg/L, expresso em CaCO_3) na suspensão hidratada irá estimular a deposição de uma camada de carbonato que pode eventualmente levar a problemas de entupimento em bombas e tubulações de transporte.

A cal virgem pode ser classificada por sua distribuição de tamanho de partículas entre 6 a 19 mm. Não são aceitáveis os resíduos dos fornos ou cal virgem recondicionada. Se for inevitável o manuseio excessivo, então a cal virgem de 19mm deve ser comprada antes de sua quebra em partículas menores. Os grãos maiores de cal virgem são com frequência mais reativos, produzem menos areia e possuem uma superfície de contato menor para a hidratação com o ar.

Para controle de qualidade, a cal virgem deve ser altamente reativa, com rápida extinção e capaz de desintegrar, sem produzir quantidades significativas de material não extinto ou dissolvidos não desejáveis. A cal de média extinção somente é marginalmente aceita. A cal de baixa extinção é inaceitável.

A cal hidratada é uma forma em pó de partículas de Ca(OH)_2 . Sua composição e características dependem da qualidade da cal virgem de origem. Todavia, durante o seu processo de classificação comercial, a hidratação providencia um produto com menos impurezas que o produto de cal virgem original. A cal hidratada não deve ser comercializada se o conteúdo de CaO for menor que 62%. Também é desejável uma uniformidade da distribuição do tamanho de partículas.

3.3.3.3 Comparação entre a cal virgem e a cal hidratada

A escolha entre a cal virgem e a cal hidratada depende de fatores tais como: o tipo de aplicação, os custos materiais, as operações de estocagem e as taxas de aplicação. A cal hidratada tem geralmente um custo 30% maior que a cal virgem, essencialmente devido aos maiores custos de produção e transporte. Em locais onde utiliza-se pouca cal, é preferível utilizar a cal hidratada por não necessitar a extinção. As operações de estocagem e mistura são relativamente simples, normalmente envolvendo uma quantidade mínima de trabalho manual, uma área reservada de estocagem para guardar as sacas e um silo para estocagem. Os tanques de mistura e as bombas de transporte da suspensão são necessárias para permitir a aplicação. A cal hidratada é mais estável que a cal virgem, portanto, as precauções de estocagem são mais facilmente satisfeitas. No entanto devido a sua característica em pó, o manuseio é mais difícil. Para aplicações de cal superiores a 2 ou 3 toneladas por dia, a cal virgem a granel é normalmente mais econômica.

3.3.4 Cloreto férrico – FeCl_3

O cloreto férrico (FeCl_3) é normalmente utilizado para condicionar os sólidos do esgoto. O FeCl_3 é vendido tipicamente na forma líquida em solução entre 30 a 40 % e possui uma cor laranja-marrom. Na forma líquida o FeCl_3 é corrosivo; conseqüentemente é necessário um cuidado nas operações de manuseio e estocagem.

A coagulação provocada pelo cloreto férrico é dependente do pH e trabalha melhor acima do valor 6. Para valor de pH abaixo de 6, o floco formado é instável, prejudicando a desidratação do lodo. Por esta razão, a cal é usada para elevar o pH do

lodo de modo a otimizar o uso do FeCl_3 . Somente em poucos casos o FeCl_3 tem melhor eficácia em pH menor que 6.

3.3.5 Processo químico do condicionamento

Conforme o WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (1988), a química do condicionamento inorgânico de lodo é uma combinação das propriedades químicas do lodo, as interações coloidais ou de superfície e as reações químicas dos coagulantes inorgânicos utilizados. Como já dito anteriormente, os elementos básicos da química do lodo incluem o tipo de lodo, pH e alcalinidade. A teoria clássica envolvida na coagulação e floculação inclui os processos de adsorção mais a neutralização de carga, compressão da dupla camada, formação de precipitado e adsorção mais ligação em ponte. Outros conceitos adicionais são referentes a química de ácido e base, solubilidade e precipitação e formação de complexos. Estes três fenômenos químicos são a parte central de qualquer explicação sobre a ação exercida pelos coagulantes inorgânicos.

Os coagulantes inorgânicos mais importantes são os sais férrico, ferroso e de alumínio e óxido ou hidróxido de cálcio. Embora o cátion associado com um coagulante em particular seja de importância primária, os ânions associados (normalmente cloreto ou sulfato) são também importantes. Normalmente os sais férricos são mais efetivos que os sais ferrosos e os sais de cloretos são mais efetivos que os sais de sulfato. Além disso, os sais de ferro são mais efetivos com a adição de cal do que sem cal.

3.3.5.1 Sais de ferro

As principais reações químicas envolvidas no condicionamento com sais de ferro são as de complexação e a precipitação. Conforme o WATER POLLUTION CONTROL

FEDERATION (1988), a adição de íon férrico em água resulta numa sequência de reações de hidrólise, que produzem uma variedade de complexos de hidróxido de ferro III e espécies de sólidos férricos. A sequência das reações químicas envolvidas são:

Em alguns casos, são formados derivados dos complexos de hidróxido que produzem espécies maiores e mais positivamente carregadas, por exemplo:

Conforme o WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (1988), pode-se fazer observações importantes a respeito dos complexos de hidróxido de ferro III. Em primeiro lugar, estas espécies são agentes efetivos de condicionamento e são provavelmente responsáveis pela eficácia dos sais de ferro na ausência de cal. Em segundo lugar, estas espécies são solúveis e efetuam a coagulação pela adsorção mais a neutralização de carga. E em terceiro lugar, estas espécies podem ser formadas em quantidades significativas em lodos com pH variando de 4 a 7. Isto ocorre porque os complexos solúveis de hidróxidos de ferro III são formados como intermediários na sequência de reações (equações 1-4) e depois transformados em precipitados $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_3(\text{OH})_3$ (ou $\text{Fe}(\text{OH})_3$).

O pH e a alcalinidade são as principais características químicas que controlam a eficácia da coagulação com íons férricos. Para valores baixos de pH, há a preponderância da formação de complexos positivamente carregados de hidróxido de ferro III e para valores altos de pH ocorre um favorecimento na formação de espécies sólidas de Fe(OH)_3 .

Pelo fato dos complexos de hidróxido de ferro III serem os coagulantes efetivos, os melhores resultados de condicionamento, quando usados isoladamente sem a cal, são obtidos em lodos com valores baixos de pH. A alcalinidade é importante no condicionamento de lodo com composto férrico pois sua ação se dá no controle do pH do lodo durante processo de condicionamento. O pH do lodo durante o condicionamento sofre mudanças devido à interação entre a dosagem de íons férricos adicionados e a alcalinidade presente relatada através da equação 7:

O íon férrico funciona como um ácido (ver equações 1-5) e diminui o pH, enquanto a alcalinidade atua para mantê-lo constante. Para um dado lodo, o pH decresce após a adição de dosagens crescentes de compostos férricos. Além disso, podem ser formados produtos intermediários de complexos de hidróxidos de ferro III durante a sequência normal de coagulação. Isto pode ocorrer mesmo em condições adversas de equilíbrio de pH, cujo valor inicial está acima do nível em que estas espécies predominam.

3.3.5.2 Sais férricos com cal

Embora os complexos de hidróxidos de ferro III sejam coagulantes efetivos, a vasta maioria dos lodos de esgoto não podem ser adequadamente condicionada sem cal. Como resultante, a forma mais comum de condicionamento inorgânico de lodo é a adição de cloreto férrico seguido de cal. A adição de cloreto férrico seguida de cal proporciona o aumento significativo na capacidade de desidratação. A combinação de cloreto férrico e cal produz a mesma capacidade de desidratação do que o uso de cloreto férrico isoladamente, ocorrendo uma menor dosagem de produtos e que resulta num custo menor.

A química dos compostos férricos apresentada anteriormente aplica-se ao condicionamento com cal e cloreto férrico, mas a adição de cal altera a totalidade do processo químico. Conforme o WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (1988), ao invés da coagulação por adsorção dos complexos de hidróxidos de ferro III em colóides de lodo negativamente carregados, a coagulação parece resultar de uma compressão de dupla camada pela alta concentração de Ca^{2+} do lodo altamente carregado com carga negativa e colóides de $\text{Fe}(\text{OH})_2$. Os elementos responsáveis pelo condicionamento são valores de pH entre 11 e 12, alta concentração de Ca^{2+} (10^{-2}M) e a presença de espécies sólidas de compostos férricos. Após a adição de cloreto férrico e cal, o resultado global obtido acaba resultando num aumento da eficácia das doses iniciais de cloreto férrico. Uma implicação prática é que o cloreto férrico deve ser adicionado antes da cal e em pontos de adição separados, pois a aplicação de cloreto férrico e cal em lodo adensado ao mesmo tempo e no mesmo tanque (ou próximo) produz efeitos adversos ao condicionamento. Neste tipo de condicionamento, as

dosagens de cal (em termos de CaO) normalmente são de 2 a 4 vezes as dosagens de cloreto férrico, de modo a se alcançar valores de pH entre 11 e 12.

A escolha do sal férrico para o condicionamento é mais significativa quando o sal férrico é seguida pela adição de cal que no uso do sal férrico isoladamente. O sulfato férrico seguido da cal não produz um resultado tão bom quanto o cloreto férrico seguido da cal, e além disso, os lodos condicionados com sulfato férrico e a cal deterioram-se mais rápido. Conforme o WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (1988), a deterioração da capacidade de desidratação do lodo com o tempo parece estar associado com a formação de sulfato de cálcio insolúvel. O efeito adverso imediato do íon sulfato no processo de condicionamento também pode ser causado pela precipitação de sulfato de cálcio.

3.4 Condicionamento com produtos químicos orgânicos

3.4.1 Generalidades

A tecnologia e a utilização de polímeros sintéticos na engenharia sanitária têm crescido de forma acentuada nos últimos anos. A causa para isto pode ser atribuída tanto às maiores preocupações e pressões governamentais na questão ambiental como na busca de soluções mais econômicas nos processos de tratamento através da utilização destes produtos. O desenvolvimento tecnológico ocorre naturalmente nos centros de pesquisa das indústrias dos polímeros.

3.4.2 Polímeros

Conforme HESPANHOL (1982), os termos polieletrólito e polímero são utilizados corriqueiramente como sinônimos, com certa justificativa. Estritamente falando, um

polieletrólito é um polímero que contém grupos ionizáveis, normalmente um ou mais que se repetem por unidade.

Conforme SCHWOYER (1981), muitas vezes o termo polímero vem acompanhado da palavra sintético, isto é, fabricado através da ação humana. Isto acontece para diferenciar dos polímeros naturais, por exemplo aqueles que são derivados do amido.

Conforme o WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (1988), os polieletrólitos orgânicos apresentam muitas vantagens sobre os coagulantes inorgânicos como agentes condicionadores de lodo, por apresentarem as seguintes características:

- proporcionam redução nos custos de condicionamento;
- geram menor produção em volume e em massa de sólidos adensados e desidratados, devido a redução ou eliminação de sólidos acrescentados;
- exercem influência nos processos posteriores de tratamento do lodo, como por exemplo, a incineração;
- eliminam os problemas relacionados com o manuseio e estocagem de cal, corrosão devido aos sais de ferro, construções civis para o condicionamento inorgânico e o desgaste associado com os condicionadores inorgânicos.

Os polieletrólitos orgânicos (polímeros) são moléculas grandes, solúveis em água desenvolvidas a partir de pequenos elementos construtivos, denominados monômeros, repetidos numa longa cadeia. Os polieletrólitos podem usar um ou mais métodos para adquirir características específicas de desempenho.

A característica mais importante para comparação de desempenho é a combinação de peso molecular e carga da molécula do polímero. A carga é desenvolvida pelos grupos orgânicos ionizáveis distribuídos através dos diferentes sítios da molécula de polímero.

Para proporcionar o condicionamento do lodo, estes sítios carregados devem manter suas atividades durante o processo.

Entretanto em condições de campo, a medida de carga é praticamente impossível. Conseqüentemente, a carga relativa produzida (algumas vezes chamada de carga de aplicação) pode ser usada para medir a capacidade de carga de um polímero em particular.

Os polímeros de condicionamento de lodo mais comuns podem ser classificados de acordo com a característica de carga do composto (aniônico, não-iônico, ou catiônico), peso molecular e forma físicas. De acordo com o WATER ENVIRONMENT FEDERATION (1991) os polímeros estão disponíveis em cinco formas físicas de apresentação: sólida/pó, líquida, emulsão, gel e em solução do tipo “mannich”. Dessas formas físicas as mais comuns são a sólida, líquida e emulsão.

3.4.2.1 Polímeros sólidos

Conforme SCHWOYER (1981), a existência de polímeros de alto peso molecular na forma sólida pode ser atribuída principalmente ao fator econômico. Na utilização dos polímeros na engenharia sanitária é desejável que estes apresentem as seguintes propriedades: estejam em solução, serem fáceis de diluir para aplicação e não requererem equipamentos elaborados para dissolução ou inversão. Entretanto, a viscosidade das soluções de polímero de alto peso molecular em água é extremamente dependente da concentração. Para a maioria destes polímeros, as soluções com concentrações acima de 1% apresentam viscosidades tão altas que podem impedir o transporte através de bombas. Por outro lado, preparar e transportar soluções de polímero com 99% ou mais de água é inviável economicamente.

Há pelo menos três tipos de polímeros sólidos de alto peso molecular: grânulos, flocos e esféricos.

a) Polímeros sólidos em grânulos

De acordo com SCHWOYER (1981), a síntese de polímeros de alto peso molecular em soluções aquosas concentradas resulta num gel rígido, duro e emborrachado com consistência similar a uma borracha de apagar. O isolamento do polímero do estado de gel pode ser feito de várias maneiras. Em primeiro lugar pode-se citar o processo de precipitação, no qual a água é extraída das partículas de gel finamente pulverizadas por um solvente secundário (no qual o polímero é insolúvel, mas completamente miscível em água), resultando num polímero sólido na forma granular. Por causa da consistência emborrachada e pegajosa das partículas de gel, o processo de separação normalmente é difícil, sendo necessário uma pulverização destas partículas, obtida de diversas formas através de aparelhos cortantes para redução do tamanho. Uma vez pulverizadas e extraídas, as partículas podem ser secas e pulverizadas ainda mais, caso seja conveniente.

Os solventes secundários (não solventes de polímeros) usados mais freqüentemente são o metanol e a acetona, embora existam outros. Os polímeros fabricados a partir dos solventes secundários normalmente contêm pequenas quantidades de água e de solvente. A presença de pequenas quantidades de solvente secundário pode ser benéfica para a estabilização dos polímeros contra a perda de peso molecular, que normalmente ocorre na diluição da solução mãe para preparação da solução de aplicação em baixas concentrações.

Um segundo método de fabricação em grânulos é através do corte do gel emborrachado em partículas finamente divididas e secas na ausência de um solvente secundário. Nesta técnica de fabricação são adicionados sais para a polimerização, tornando os grãos menos pegajosos e mais fáceis de serem manuseados.

Um terceiro método é a polimerização por precipitação. Acreditava-se que este método não proporcionava polímeros de alto peso molecular, no entanto tecnologias mais modernas refutaram esta crença. Neste método, os monômeros são dissolvidos em água e num outro solvente solúvel em água. O polímero uma vez formado é insolúvel nestes dois solventes e em condições próprias precipita em formas granulares finamente divididas. O solvente secundário, como por exemplo a acetona, pode chegar a 70% ou mais do solvente total. A adição de algumas substâncias pode auxiliar na separação dos polímeros precipitados em formas mais fáceis de serem recuperados.

O processo de precipitação pode ser usado somente em meio de solução de sais aquosa. Neste processo, o polímero precipitado pode ser usado diretamente como suspensão estável ou então o polímero pode ser isolado por coagulação da suspensão.

b) polímeros sólidos em flocos

Conforme SCHWOYER (1981), o processo de fabricação deste polímero é feito tratando-se o gel de maneira diferente da descrita anteriormente, utilizando-se a secagem direta, resultando num produto em forma de flocos. Para este processo, requer-se uma polimerização em baixas concentrações para se reduzir uma dureza do gel. Neste processo, são requeridas altas temperaturas para expelir o solvente aquoso. Embora este processo seja mais econômico que o método de extração por solvente, o polímero acaba

sofrendo uma degradação. A adição de sais inorgânicos no meio de polimerização pode minimizar a degradação sob aquecimento.

c) polímeros sólidos esféricos

A tecnologia de preparação de polieletrólitos na forma esférica é bem conhecida há anos. No passado vários fabricantes comercializavam polímeros nesta forma, no entanto houve uma grande retirada do mercado devido a falhas de processo no controle do peso molecular e a pouca solubilidade resultante. Mais recentemente, foram obtidos avanços tecnológicos que permitiram a reintrodução destes polímeros no mercado da engenharia sanitária.

3.4.2.2 Polímeros líquidos

A principal vantagem no fornecimento de polímero líquido é a facilidade de preparação. Ao passo que os produtos sólidos devem ser dispersos e misturados cuidadosamente antes da completa dissolução, a diluição de uma solução concentrada é relativamente simples.

No entanto também ocorrem problemas na utilização destes polieletrólitos. No caso dos polímeros sólidos, os principais problemas são as frações insolúveis (chamadas de “olho de peixe”), taxa de diluição e outras dificuldades associadas com a preparação da solução. Com as soluções, o principal problema é relacionado à estabilidade devido a reações provocadas por bactérias ou mesmo reações químicas.

Normalmente estes polímeros são de baixo a médio peso molecular. A maioria destes produtos apresenta uma vida útil em torno de 1 ano. Alguns fabricantes limitam alguns

de seus produtos até mesmo em 90 dias. De modo a prevenir usos indevidos, deve-se sempre requisitar informações sobre o tempo de estabilidade do produto.

3.4.2.3 Polímeros em emulsão

Os polímeros em emulsão são também mais fáceis de preparar e também apresentam problemas relacionados com a estabilidade. Apresentam aparência que vão do quase transparente ao leitoso. A tecnologia envolvida na fabricação das emulsões permite produzir polímeros de alto peso molecular e com alto teor de sólidos.

Através desta tecnologia é possível atingir níveis de 25 a 50% de teor de sólidos ativos e sem apresentar problemas relativos a viscosidade.

Podem existir ainda dois tipos de emulsão no mercado; os que requerem um surfactante ativador para a inversão e o auto-inversor, onde o surfactante inversor já está presente na emulsão.

Na preparação da solução de aplicação, também deve-se tomar certos cuidados, como nunca deixar o polímero em contato prévio com a umidade, pois acaba ocorrendo inversões prematuras e nunca exercer misturas que excedam a energia necessária para inversão.

3.4.3 Aplicações dos modelos químicos coloidais

A maioria das partículas nas soluções aquosas, incluindo as do lodo, carregam cargas negativas. Nos processos de condicionamento do lodo, normalmente estão envolvidas reações entre os constituintes hidrófobos e a fase da água. As forças moleculares que estabilizam as partículas estão balanceadas entre o soluto (agente condicionante) e o adsorvente (por exemplo, colóides e outras partículas).

Conforme o WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (1988), estas forças são:

- ligações eletrostáticas entre as partículas;
- atrações de Van der Waals;
- ligações químicas, incluindo troca catiônica, ligações polímero-OH e pontes de hidrogênio;
- ligação física.

O método mais comum utilizado para desestabilizar partículas hidrófobas de uma suspensão coloidal é através da adição de eletrólitos. Os modelos clássicos da química coloidal consideram o efeito dos eletrólitos de duas maneiras: primeiro, compressão da carga da partícula (reduzindo a zona de influência da carga coloidal) e segundo, formação de espécies poliméricas (polímeros de hidróxidos metálicos). Este segundo efeito é chamado algumas vezes de coagulação/floculação por varredura.

Os modelos clássicos da química coloidal não se aplicam adequadamente para explicar os mecanismos do condicionamento orgânico com polímeros.

Conforme o WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (1988), as dosagens típicas dos sais metálicos inorgânicos para desestabilizar os lodos são da ordem de 100 a 250 kg/ton em sólidos secos. Em contraste, o condicionamento com polímeros pode ser somente da ordem de 5 a 15 kg/ton em sólidos secos.

Os colóides propriamente ditos, em suspensões aquosas, tendem a apresentar características uniformes, o que inclui a distribuição de carga e tamanho de partícula. Desse modo, o comportamento dos colóides pode ser previsto no condicionamento químico. No entanto, os lodos gerados nos tratamentos de esgotos apresentam características distintas dos colóides e tendem a ser mais variáveis nas características e

portanto apresentam pequenas variações nas necessidades de condicionamento. Fatores como conteúdo de sólidos biológicos, concentração de sólidos, tempos de estocagem, pH e alcalinidade, exercem influência nos processos de condicionamento de lodo. Portanto, os conceitos operacionais no condicionamento de lodo são geralmente mais aplicáveis que os modelos teóricos obtidos do tratamento de água.

Conforme o WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (1988), o modelo de condicionamento do lodo na varredura utiliza o conceito de que as partículas são desestabilizadas através da formação de um precipitado. Os coagulantes inorgânicos, tais como sulfato de alumínio, cloreto férrico, carbonato de magnésio e cal, trabalham desta maneira. Em alguns aspectos, este modelo pode descrever de maneira análoga alguns casos de condicionamento de lodo com polímero. Alguns estudos mostraram que a melhor floculação de lodo nem sempre corresponde à mínima redução de carga potencial.

O modelo de coagulação por varredura é de limitada aplicabilidade no condicionamento do lodo. Os colóides constituem uma parte relativamente pequena na mistura do lodo.

3.4.4 Mecanismos de reação de polímeros com as partículas

Conforme o UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA (1979), há 6 mecanismos que podem ser identificados no condicionamento dos sólidos do lodo. As reações de 1 a 6 a seguir ilustram estes mecanismos.

Reação 1: Adsorção inicial do polímero

O contato inicial do polímero com as partículas de sólidos do lodo ocorre através de uma rápida dispersão. As atrações de cargas entre os sítios carregados do polímero e as partículas carregadas contrariamente são normalmente mais fortes que as forças de repulsão dos componentes de carga semelhante existentes na cadeia do polímero. A reação ocorre tipicamente na fase dos sólidos dispersos da suspensão de lodo; quando as partículas entram em contato com as moléculas dispersas de polímero, elas são atraídas em conjunto.

Reação 2. Formação do floco

Para ocorrer o contato entre as partículas desestabilizadas é necessário um certo grau de mistura. Nesta fase, as cargas eletrostáticas estão neutralizadas, as partículas estão atraídas de uma maneira fraca e a estrutura do floco também pode ser frágil (reações 5 e 6).

Num sistema de lodo bem condicionado, não é necessário um excesso de polímero para completar a formação do floco.

Reação 3. Adsorção secundária de polímero

Esta condição é resultante da adsorção parcial do polímero com as partículas do lodo. Ao invés dos fragmentos de captura do polímero estarem se ligando com outras partículas, estes fragmentos se voltam para a mesma partícula. Esta condição normalmente resulta de um condicionamento insuficiente no qual há pouco polímero disponível para satisfazer a capacidade de neutralização de carga das partículas do lodo. As partículas estabilizadas de novo, resultantes desta reação, dificilmente se desestabilizarão para a formação de flocos. Por isso, efetuar um novo condicionamento num lodo condicionado de modo insuficiente irá ser falho. As mudanças que devem ocorrer para condicionamento devem ser somente as que tornarem completa a reação.

Reação 4: Adsorção inicial com excesso de polímero (condicionamento excessivo)

Uma partícula estabilizada desta maneira dificilmente se desestabilizará de novo como o que ocorreu na reação 3; em muitos casos, será necessário um condicionamento diferente para a formação do floco antes que ocorra o condicionamento excessivo. Há diversas causas para um condicionamento excessivo:

- a dosagem de polímero é muito alta - estar atento com um entupimento do meio de filtração e com uma alta concentração de sólidos no filtrado;
- a concentração de polímero é muito alta - a viscosidade do polímero dificulta uma dispersão eficiente no lodo;

- a mistura de lodo com polímero é inadequada - a razão típica tem sido relatada como um tempo de contato curto, ou uma combinação destas causas.

Se houver suspeita de um condicionamento excessivo, deve-se interromper a dosagem e aumentar a água de diluição.

Reação 5: Quebra do floco

Assim como na reação 3, esta reação não é eficiente pois há uma sobrecarga no lodo menos condicionado em lugar do lodo bem condicionado. Neste caso é necessário uma mudança no condicionamento de modo a não haver tempos de agitação muito extensos ou misturas intensas. Pode-se optar também por procurar outro polímero para superar este problema.

Reação 6: Readsorção secundária de polímero

Esta condição é observada com frequência no filtrado de filtro prensa de esteira ou no centrifugado de centrífugas, onde os sólidos de lodo remanescentes formam-se novos flocos à medida que ocorre a sedimentação dos sólidos.

As duas primeiras reações são desejáveis e representam o que ocorre normalmente na prática. As outras quatro reações apresentam as consequências indesejáveis no caso de dosagens elevadas de polímeros ou também de lodos floculados em condições de altas tensões de cisalhamento.

3.4.5 Propriedades dos condicionadores químicos orgânicos

3.4.5.1 Características de carga dos polímeros

Os polímeros orgânicos utilizados na engenharia sanitária são cadeias de unidades individuais, denominadas monômeros, que podem ser dispostas linearmente ou em configuração ramificada. Normalmente, os grupos funcionais possuem a carga que lhe dão as características. Para cargas negativas os polímeros são denominados aniônicos; para cargas positivas os polímeros são denominados catiônicos; e os que apresentam carga resultante neutra são denominados não-iônicos.

a) Polímeros catiônicos

Como normalmente o tratamento de esgotos lida mais com sólidos de carga negativa, os polímeros mais utilizados são justamente os de carga oposta, ou seja, os catiônicos.

O monômero utilizado normalmente para condicionamento é a acrilamida e apresenta carga não-iônica.

Figura 3.4.1 - Estrutura do monômero de poliacrilamida

Fonte: Water Environment Research Foundation (1993)

Para se tornar um floculante, a poliacrilamida deve se submeter a uma reação para adquirir carga positiva.

Um dos processos para obtenção de carga é a chamada reação de Mannich. Devido a sua natureza, os polímeros obtido da reação de Mannich perdem sua carga positiva quando utilizados em lodos com pH maior que 7,2. Recentemente foi criada uma nova tecnologia para a reação de Mannich que originou os chamados co-polímeros de poliacrilamida. Estes polímeros possuem a vantagem de serem mais estáveis em valores de pH altos.

A poliacrilamida tem sido utilizada na fabricação de polímeros catiônicos em formas de emulsão, sólidos ou em gel. Muitos dos polímeros catiônicos, sólidos ou em emulsão, fabricados atualmente são feitos de co-polímeros de poliacrilamida. Estes polímeros, além de permanecerem estáveis em altos valores de pH, também apresentam desempenho superior aos fabricados com as poliacrilamidas normais em vários tipos de lodos.

Outros monômeros têm sido utilizados, mas não com a mesma frequência e desempenho que a acrilamida.

b) Polímeros aniônicos

Como já mencionado anteriormente, a maioria dos lodos de estações de tratamento de esgotos possuem carga negativa ou aniônica. Este fato limita em muito o uso de polímeros aniônicos. Estes polímeros têm sido utilizados com efetividade em lodos primários com adição de cloreto férrico, para aumentar a sedimentabilidade e aumentar o rendimento do tratamento primário. Em algumas aplicações, podem ser utilizados em conjunto com polímeros catiônicos.

Da mesma maneira que os polímeros catiônicos, a matéria prima de fabricação é a poliacrilamida. Para adquirir carga negativa, a poliacrilamida também deve ser submetida a reações. Normalmente, esses polímeros apresentam alto peso molecular com densidades de carga médias. São disponíveis na forma sólida, emulsão ou em gel.

c) Polímeros não-iônicos

Teoricamente estes polímeros não apresentam carga. No entanto devido às dificuldades de produzir um produto sem carga, a maioria dos polímeros não-iônicos apresentam carga levemente aniônica.

O uso destes polímeros no condicionamento de lodos de estações de tratamento de esgotos é muito limitado. Normalmente quando possuem alguma efetividade em operações de adensamento ou desidratação, são facilmente superados pelos polímeros catiônicos.

A matéria prima também é a poliacrilamida e normalmente possuem alto peso molecular. São disponíveis na forma de sólidos, emulsão ou gel.

3.4.5.2 Peso Molecular

O peso molecular de um polímero corresponde ao comprimento da cadeia (inclusive as ramificações) que contém os sítios de carga. O peso molecular influencia outros fatores do polímero, tais como: solubilidade, viscosidade e densidade de carga. Embora haja exceções, em geral os produtos de peso molecular mais baixo tendem a ser mais solúveis, menos viscosos e com maior densidade de carga em água. Os produtos normalmente encontrados no condicionamento de lodo podem ser categorizados quanto

ao peso molecular em: baixo, médio, alto e muito alto. A faixa de variação está mostrada na tabela 3.4.1 a seguir.

Tabela 3.4.1 - Categorias de peso molecular

Termo	Faixa de peso molecular
baixo	0 – 100.000
médio	100.000 – 500.000
alto	500.000 – 6.000.000
muito alto	6.000.000 – 18.000.000

Fonte: Water Pollution Control Federation (1987)

3.4.5.3 Densidade de Carga

Densidade de carga é a medida da quantidade de sítios de uma cadeia que possuem a carga associada ao polímero. Para os polímeros catiônicos, todos os sítios carregados positivamente são passíveis de serem medidos. Os sítios remanescentes ou possuem carga neutra ou negativa. A densidade de carga é expressa em termos de sítios disponíveis. O nível de carga varia do baixo ao alto.

3.4.6 Fatores que afetam o condicionamento com polímeros

3.4.6.1 Tipo de Polímero

Como já mencionado anteriormente pelo fato do lodo possuir partículas altamente carregadas negativamente, os polímeros mais apropriados para o condicionamento são os de carga oposta, ou seja, os catiônicos.

COLE, A.I.; SINGER, P.C. (1985) procuraram delimitar melhor quais seriam os melhores polímeros para condicionamento de lodos digeridos e chegaram à seguinte conclusão: os polímeros catiônicos com peso molecular superior a 10^6 mostraram-se mais eficazes. No entanto a densidade de carga não se mostrou um fator tão preponderante.

3.4.6.2 Concentração de sólidos

A concentração de sólidos totais afeta dois aspectos fundamentais do condicionamento com polímero. Quanto maior a concentração de sólidos maior será a faixa de dosagem de condicionamento, isto é, quanto maior a concentração de sólidos menos susceptível é o processo de superdosagem. Por outro lado, quanto maior é a concentração de sólidos torna-se mais difícil efetuar uma mistura efetiva do lodo com o polímero. Normalmente o polímero é diluído e o resultado final é um de lodo condicionado menos espesso para as instalações posteriores de desidratação. A importância desta diluição depende do aparelho de desidratação utilizado.

Como já mencionado anteriormente, a distribuição do tamanho de partículas é uma característica de grande influência no condicionamento. Dependendo da fonte de lodo, ocorre uma determinada distribuição da fração coloidal e supracoloidal das partículas no lodo. O teor de sólidos do lodo também exerce uma grande influência no condicionamento e pode ser mais controlável em termos de operação do que a distribuição do tamanho de partículas.

Na maioria dos casos relatados na literatura, o aumento no teor de sólidos do lodo a ser condicionado diminui o consumo de polímero, em base seca. Desta forma as operações de adensamento e digestão devem estar otimizadas para proporcionar os maiores teores

de sólidos possíveis de modo a resultar em menores gastos de produtos químicos no condicionamento. A determinação das dosagens de produtos químicos são estabelecidas em função de testes de bancada. Estes ajustes de dosagem são feitos a partir do resultados do teor de sólidos do lodo a ser condicionado. Normalmente o teor de sólidos é determinado através de balança de infra-vermelho de alta precisão, pois há a necessidade de se ter os resultados de maneira rápida, o que não aconteceria se fosse determinado através de secagem em estufa. No manejo da balança de infra-vermelho deve-se ter o cuidado de se colocar a amostra o mais homogeneizada possível e isenta de grãos de areia, de modo o resultado ser mais o representativo possível.

3.4.6.3 Digestão do lodo

LAWLER et al. (1986) realizaram um estudo sobre a influência da digestão anaeróbia do lodo em termos de distribuição do tamanho das partículas e da desidratação. Chegaram à conclusão de que uma digestão eficaz de lodo proporciona um aumento na capacidade de desidratação. Como variáveis operacionais que influenciam na digestão podem ser citados: temperatura, tempo de detenção, teor de sólidos na entrada do digestor, porcentagem de mistura entre lodo primário e secundário.

A explicação para isso pode ser dada da seguinte maneira. A digestão anaeróbia atua na distribuição do tamanho das partículas. Quando a digestão é eficaz, partículas de todos os tamanhos são destruídas. No entanto, preferencialmente há a remoção das partículas de menor tamanho e gerando portanto uma perda de área específica e consequentemente um ganho na desidratação. De modo oposto, quando a digestão é deficiente, as partículas grandes são destruídas criando um maior número de partículas menores. Com isso há um aumento de área específica e piorando a desidratação.

A recomendação prática deste estudo foi de que o dimensionamento e a operação dos digestores não devem se limitar à estabilização, mas também à influência na desidratação, podendo otimizar o uso de produtos químicos.

LOWE; SHAW (1992) realizaram um estudo sobre o desenvolvimento do filtro prensa de membrana para a desidratação de lodos de ETEs. Na apresentação do histórico do desenvolvimento da tecnologia do filtro prensa de membrana, uma citação chamou a atenção. Relata-se nesse estudo que no final da década de 60 e começo da década de 70 o lodo começou a ser aquecido para digestão nas ETEs do Reino Unido. Este aquecimento provocou uma melhoria nas condições de condicionamento do lodo. Ou seja, esta citação entra em coerência com o outro estudo anteriormente citado através de uma comprovação prática.

3.4.6.4 Conteúdo de lodo secundário

Conforme o WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (1988), o conteúdo de lodo secundário, originado no sistema de lodos ativados, altera de maneira significativa o condicionamento e a desidratação. Normalmente é impraticável a desidratação destes lodos sem o devido condicionamento. Existem casos de estações de tratamento de esgotos que recebem uma contribuição maior de lodos secundários vindos de indústrias e descarregados diretamente nos processos de adensamento e desidratação. Foi verificado que nestes casos sempre há um aumento no consumo de produtos químicos, devido às novas características do lodo.

LARSON et al. (1995) realizaram estudos de desidratação de lodo digerido em filtro prensa de câmara condicionados com polímeros e concluíram que um aumento na

proporção de lodo secundário no lodo digerido provoca um aumento no consumo de polímeros e também uma torta final mais úmida.

BOND; PESEK (1996) incluíram entre os fatores mais significativos que afetam o condicionamento de polímero a concentração de sólidos voláteis. Quanto maior a concentração de sólidos voláteis maior será o consumo de polímero.

3.4.6.5 Efeito da mistura no condicionamento dos lodos

Sabe-se no entanto que a mistura, apesar de não estar corretamente quantificada, exerce uma influência muito grande no condicionamento.

Um dos primeiros estudos a relatar o efeito da mistura no condicionamento de lodos foi desenvolvido por NOVAK; BJORN-ERIK (1980). Este estudo verificou que a intensidade de mistura exercia uma influência no condicionamento com polímeros de lodos originados no tratamento secundário. Como conclusão mais interessante pode ser citada que a dosagem ideal de polímeros depende da concentração de sólidos, da velocidade de mistura e do tempo de mistura.

O trabalho desenvolvido por WERLE; NOVAK (1984), apesar da quantificação inexata da energia mistura, procurou evidenciar a importância da energia de mistura no condicionamento de lodos de diferentes origens (tratamento de água e tratamento de esgotos em nível primário e secundário).

Outro trabalho de importância para o assunto de condicionamento foi o desenvolvido por LYNCH; NOVAK (1991). Este trabalho procurou verificar a influência da intensidade mistura no condicionamento de polímero na desidratação de lodos digeridos anaerobiamente em filtro prensa. Também se procurou quantificar a energia de mistura através do fator Gt , onde G é o gradiente de velocidade e t o tempo de mistura.

O estudo desenvolvido por LANGER; KLUTE (1993) trouxe grandes contribuições práticas. Neste trabalho, os pesquisadores investigaram o efeito da mistura rápida no condicionamento de lodos digeridos anaerobiamente com polímeros. Dentre observações obtidas neste estudo podem ser citadas algumas:

- os equipamentos de mistura estática, que atuam através do aumento da perda de carga hidráulica, são menos eficientes que os equipamentos de mistura em linha, que funcionam com motores (ou bombas) acopladas;
- uma mistura deficiente de lodo com polímero pode ser compensada através de uma maior dosagem de polímero. Quanto menor a dosagem de polímero, maiores devem ser os cuidados com a mistura;
- uma mistura deficiente de lodo com polímero não pode ser compensada satisfatoriamente aumentando-se tão somente o tempo de mistura. Ou seja, o que comanda uma boa mistura é a intensidade de mistura inicial do lodo com o polímero, não havendo compensações aumentando-se o tempo de mistura;
- o controle da mistura foi feito observando-se os tamanhos dos flocos. Nas intensidades de mistura satisfatórias para condicionamento foi notado que os flocos não eram volumosos e sim reduzidos e também não prejudicavam a desidratação.

Este artigo acaba indo contra os outros estudos que afirmavam que a mistura poderia ser controlada aumentando-se o tempo de mistura.

Mais recentemente CAMPBELL et al. (1996) realizaram um estudo de otimização da mistura de polímero em escala real. O ponto de partida foi a observação de que normalmente os testes de laboratório resultavam em dosagens menores de polímero do que em escala real. A suposição feita foi de que as condições de mistura eram bem diferentes e eram as que comandavam o processo. Através de um equipamento de

mistura, disponível no mercado com o nome de Optifloc, conseguiu-se melhores misturas e conseqüentemente uma redução no consumo de polímeros.

Um fato chamou a atenção neste estudo. A adoção do equipamento de mistura, que proporcionava maiores intensidades, tornava os flocos condicionados menores, mais compactos e esféricos. A primeira reação dos operadores do equipamento de desidratação (no caso um filtro prensa de esteira) foi de que o tamanho de floco não estava bom e que o resultado não seria satisfatório. No entanto não houve prejuízo de operação como derramamento lateral de lodo na esteira e sim ganhos, como a redução no consumo de polímeros e em alguns casos houve tortas mais secas.

Estes dois últimos estudos mostraram a importância do tamanho dos flocos formados na mistura do condicionamento de lodos. E este controle do tamanho dos flocos formados tem sido na prática a forma de se monitorar a mistura no condicionamento. Com isso deixa-se de lado a preocupação de se impor uma mistura com energia conhecida e passa-se a controlar o efeito da mistura provocada inicialmente através do tamanho dos flocos formados e depois ajustando a mistura conforme a necessidade. Isto é, se os flocos estão grandes impõe-se uma mistura mais intensa e caso os flocos estejam pequenos diminui-se a intensidade de mistura.

Esta influência do tamanho dos flocos levou ao desenvolvimento de equipamentos automatizados que controlam a distribuição do tamanho das partículas através de sensores ópticos. Um destes equipamentos encontrados no mercado é o Floccmaster, que será descrito posteriormente.

3.4.7 Preparação e aplicação dos polímeros

O preparo e a aplicação dos polímeros é uma tarefa que envolve considerações de projeto, equipamentos disponíveis e necessidades específicas no cuidado dos polímeros.

Estas considerações devem ser feitas de modo a evitar os seguintes problemas:

- dissolução incompleta dos polímeros;
- existência de partículas não dissolvidas (“olhos de peixe”);
- mistura excessiva;
- dosagem de aplicação excessiva;
- umedecimento prematuro dos polímeros;
- estocagem inadequada dos polímeros em áreas úmidas;
- equipamentos e instalações subdimensionados, não permitindo as aplicações de dosagens necessárias.

3.4.8 Principais ensaios para a determinação das características de desidratação do lodo

A seleção dos condicionadores orgânicos e inorgânicos pode ser feita em escala laboratorial, escala piloto ou mesmo em escala real. Os testes em escala laboratorial devem ser feitos com amostras de lodo fresco, pois o armazenamento prolongado pode afetar as propriedades do lodo e conduzir a resultados errôneos. Deve-se também tomar o cuidado de não se armazenar a solução de aplicação de polímero por um tempo prolongado, para que também não ocorra a deterioração.

Existem vários testes de laboratório descritos na literatura para a seleção de condicionadores químicos. Conforme HAUG et al. (1992), os testes mais utilizados são

o teste do funil de Buchner e o teste do tempo de sucção capilar ou CST – “capillary suction time”.

Conforme SCHWOYER (1992), o CST indica o tempo necessário que a fração líquida do lodo leva para percorrer uma determinada distância num meio poroso ou mais comumente num pedaço de papel de filtro. A grande vantagem deste método seria a rapidez com que é feito, quando comparado com o método da resistência específica. O aparelho utilizado consiste num reservatório cilíndrico de lodo que fica em cima de uma base com um papel de filtro. A água que atravessa o papel é detectada por dois sensores, que fornece o início e o fim da medida de tempo.

O CST tem como inconveniente trabalhar com amostras muito pequenas de lodo condicionado. No condicionamento orgânico a rápida formação dos flocos de lodo dificulta a amostragem, ocorrendo uma separação muito distinta da fração líquida. Normalmente ao verter o recipiente com lodo condicionado com polímero no reservatório cilíndrico do aparelho de CST ocorre uma seleção da amostra sendo que a maior parte será de clarificado. Como alternativa pode-se fazer a retirada de um pequeno volume amostra de lodo condicionado com o auxílio de uma pipeta ou seringa de boca larga e então despejar no reservatório cilíndrico. Para esta alternativa, acaba ocorrendo uma seleção de tamanho dos flocos amostrados devido à abertura do amostrador.

Conforme o WATER ENVIRONMENT FEDERATION (1992) o teste do funil de Buchner é utilizado para determinar a resistência específica de um lodo em filtração ou desidratação. Para que ocorra esta filtração, acopla-se uma bomba para a promoção de uma vácuo e conseqüentemente a filtração. Para a determinação da resistência específica são necessárias as medidas de tempo e volume de filtrado, teor de sólidos do

lodo a ser condicionado e teor de sólidos da torta final formada. Como a resistência específica é função da dosagem de condicionador, pode-se determinar através deste teste a dosagem ótima.

Uma variante deste ensaio é teste do tempo de filtração. Neste ensaio de execução bem mais simples toma-se como medida somente o tempo necessário para filtrar um determinado volume de amostra.

3.5 Filtro prensa de placas

3.5.1 Generalidades

O filtro prensa para desidratação de lodos surgiu inicialmente para atender a indústria de açúcar na separação dos sucos através das telas de filtração. A primeira unidade para desidratação de lodo municipal em larga escala nos Estados Unidos surgiu no começo da década de 1920.

Outras aplicações do filtro prensa podem ser citadas: em galvanoplastia na desidratação de lodos de hidróxidos de metais provenientes da neutralização de efluentes ácidos; em indústrias de cerâmica, mineração e cimento na preparação de massas cerâmicas e de porcelana, na desidratação de argila, caulim, pasta de cimento e nas diversas polpas de minério; em indústrias alimentícias e de bebidas na clarificação de xaropes, sucos, vinhos etc; na compactação de fermento alimentícios, leveduras em geral, levedo de cerveja etc; em indústrias químicas e petroquímicas nas clarificações de suspensões químicas, na separação de cristais, na filtração de carvão em pó; em indústrias farmacêuticas na clarificação de suspensões protéicas, de vacinas industriais etc.

Em termos de utilização no tratamento de esgotos, os filtros prensa são mais populares na Europa do que nos Estados Unidos, onde o que predominam são as centrífugas.

Tanto é que os principais fabricantes são a Netzsch da Alemanha e a Edwards & Jones da Inglaterra.

Na Europa a proibição de lançamento de lodo no mar fez com que os países procurassem outras alternativas para a disposição final, sendo interessante para isso uma redução dos volumes gerados. No caso da alternativa de disposição final ser um aterro, os órgãos receptores (municipal, estadual ou particular) têm exigido teores de sólidos de pelo menos 35 ou até 40%.

Em relação aos outros equipamentos de desidratação o filtro prensa apresenta certas vantagens e desvantagens apresentadas sumariamente na tabela 3.5.1.

Tabela 3.5.1 Comparação do filtro prensa com outros equipamentos de desidratação

Vantagens	Desvantagens
Maior concentração de sólidos em comparação com os outros equipamentos	Operação em batelada
	Alto custo de operação
	Alto investimento inicial
	Necessidade de uma estrutura especial de suporte
	Grande área de implantação

Fonte: EPA (1979)

3.5.2 Princípios de operação

O filtro prensa é composto por diversas placas individuais, as quais são revestidas com panos de filtragem e formam um pacote de placas.

Cada placa possui uma cavidade nos dois lados a qual juntamente com a placa vizinha, formará uma câmara.

O lodo condicionado é bombeado para dentro do filtro prensa, passando através dos orifícios de alimentação das placas ao longo de todo o comprimento do pacote de placas e entrando no interior das câmaras. Normalmente a alimentação da placa realiza-se pelo centro. A medida que se forma a torta de lodo, ocorrendo o preenchimento do interior da câmara, a pressão sobe gradualmente até atingir um valor máximo.

O filtrado é transportado sobre a superfície das placas até os canais de filtragem, os quais encontram-se no canto das placas e daí transportado de cada câmara através de tubulações com registros e cotovelos.

O princípio de operação do filtro prensa de placas está ilustrado na figura 3.5.1 a seguir.

Figura 3.5.1 Princípio de operação do filtro prensa de placas

Fonte: Catálogo da Netzsch

3.5.3 Aspectos construtivos do filtro prensa

Com relação à estrutura do filtro prensa, as placas poderão estar suspensas por uma viga superior – “Overhead” ou suspensas sob tirantes laterais – “Sidebar”, conforme ilustrado nas figuras 3.5.2 e 3.5.3. A escolha do tipo de estrutura depende do tamanho do filtro prensa. Normalmente os menores filtros prensa são do tipo “Sidebar” enquanto os maiores são do tipo “Overhead”. O filtro prensa do tipo “Overhead” possui a vantagem das instalações serem mais acessíveis com relação à operação e manutenção. O pacote de placas será comprimido hidraulicamente através de um ou mais pistões. A pressão de fechamento das placas comporta aproximadamente 300 bar, numa pressão de filtração de no máximo 15 bar.

Figura 3.5.2 Estrutura de filtro prensa do tipo “Overhead”

Fonte: Catálogo da Netzsch

Figura 3.5.3 Filtro prensa do tipo “Sidebar”

Fonte: Catálogo da Edwards & Jones

Dependendo do tipo de estrutura do filtro prensa o fechamento do pacote de placas poderá ser feito sob tração ou compressão, conforme ilustrado na figura 3.5.4.

"Overhead":
Pacote de placas é
fechado sob tração

"Overhead":
Pacote de placas é
fechado sob
compressão

"Sidebar":
Pacote de placas
é fechado sob
compressão

Figura 3.5.4: Tipos de fechamento de placas conforme o tipo de estrutura

Fonte: Catálogo da Netzsch

Para o esvaziamento, o filtro prensa poderá ser equipado adicionalmente com um dispositivo de deslocamento de placas automático, o qual desloca as placas de filtragem individualmente (ou em sistema múltiplo) de tal maneira, que as tortas situadas entre as placas cairão fora por gravidade após a separação das placas. Os resíduos de tortas remanescentes poderão ser afastados através de um dispositivo automático para descarga de torta, conforme ilustrado na figura 3.5.5. Em caso normal, isto sucede-se manualmente com auxílio de uma espátula. Se houver necessidade de se colocar as mãos entre as placas para descolar os resíduos das tortas, o transporte das placas é interrompido automaticamente por segurança através de um sensor de luz.

Figura 3.5.5 Dispositivo auxiliar para soltura das tortas

Fonte: Catálogo da Netzsch

Para a limpeza dos elementos filtrantes do filtro prensa podem ser colocados equipamentos para limpeza com jato de água. Sobre as superfícies das placas também podem ser colocado um sistema de tubos que lavam sob pressão de até 100 bar. Estes dispositivos auxiliares de limpeza das telas estão ilustrados na figura 3.5.6.

O equipamento de limpeza é automatizado em conjunto com o dispositivo de deslocamento de placas.

Figura 3.5.6 Dispositivos de lavagem automática de telas

Fonte: Catálogo da Edwards & Jones

Conforme MAYER (1996), uma das alternativas de se otimizar o ciclo de operação de um filtro prensa é através da adoção de um sistema automático de descarga de tortas. Para grandes instalações de filtro prensa, o número de câmaras pode atingir 100 unidades. Num caso como este, a descarga manual pode levar cerca de 1 hora, considerando que o tempo de descarga por câmara seja somente de 30 segundos. A adoção de um sistema automático de descarga de tortas num filtro prensa com placas de 1500 mm e 90 câmaras reduziu o tempo de descarga das tortas de 50 para 10 minutos e consequentemente o tempo de ciclo foi de 90 para 70 minutos. O número de ciclos em 10 horas de turno passou de 6 para 8, representando um ganho de 33%.

3.5.4 Critérios de filtração

a) Taxa específica de filtração

O ciclo de trabalho de um filtro prensa é um processo descontínuo, sendo necessário para seu controle certos critérios de operação. Um destes critérios é a taxa específica de filtração que é o volume de filtrado por superfície de filtragem e unidade de tempo, sendo normalmente expresso em L/m^2h . A taxa específica de filtração sofre grandes alterações ao longo do ciclo de filtração, começando por um valor máximo na fase de enchimento (câmara vazia) até um valor mínimo no final da fase de compressão, quando a torta está formada.

Num lodo digerido com 5% de teor de sólidos, a taxa de filtração específica pode atingir um valor inicial de $200 L/m^2 h$ e no final do ciclo apresentar um valor de $5-30 L/m^2 h$. Estes valores de taxa de filtração dependem do teor de sólidos do lodo e da porosidade da torta, podendo por isso atingir valores maiores que os apresentados. Por outro lado,

teoricamente a filtração naturalmente ocorre até a taxa de filtração atingir um valor igual a $0 \text{ L/m}^2 \text{ h}$.

A taxa de filtração não deve apresentar valores superiores a $1000 \text{ L/m}^2 \text{ h}$, devido a limitações hidráulicas de construção no canal de escoamento do filtrado.

b) Pressão de filtração

Normalmente os filtros prensa do tipo câmara e diafragma são dimensionados para uma pressão de filtração de até 15 bar.

A pressão de filtração máxima também pode variar dependendo do produto processado e da condição de temperatura de trabalho.

A pressão de filtração deve aumentar de maneira gradativa, a fim de formar uma camada de torta porosa e permeável.

O aumento da pressão até o valor máximo pode ocorrer de maneira relativamente rápida devido à resistência de filtração causada pelo crescimento da torta.

A influencia da velocidade de pressurização na formação da torta foi observada por SLIGAR (1984), que verificou um melhor desempenho do filtro prensa quando a pressão sobe de maneira escalonada. A adoção deste tipo de procedimento permitiu a obtenção de tortas mais secas, devido a um volume maior de lodo na alimentação das câmaras e também uma redução no tempo de ciclo. BASKERVILLE; KOMOREK (1971) também já haviam procurado verificar a influencia da pressão no desempenho do filtro prensa, no entanto este estudo só não pode ser mais conclusivo pois a qualidade do lodo condicionado sofreu variações durante os testes em termos de resistência específica. Por isso, os resultados apresentados foram contraditórios. No entanto apesar destas variações, houve indícios de que um aumento gradativo de pressão seria

vantajoso pois o filtrado apresentou menores concentrações de sólidos suspensos e a torta também soltou mais fácil. Em termos práticos, somente as bombas de cavidade progressiva são capazes de fazer a alimentação de lodo com aumento gradativo de pressão.

c) Formação da torta

Para iniciar um ciclo de filtração, as câmaras são preenchidas uma a uma com lodo, o que resulta primeiramente numa ausência de pressão, pois a lona de filtração não opõe nenhuma resistência à passagem de água.

Temporariamente esta fase de enchimento sem pressão depende:

- Da vazão da bomba de alimentação;
- Da carga hidráulica do filtro prensa;
- Do teor de sólidos do lodo.

Os sólidos do lodo que permanecem nas lonas de filtração formam gradativamente uma camada que serve também como elemento filtrante retendo as partículas de sólidos. Ou seja, ao longo do ciclo a tendência é ter um filtrado cada vez mais limpo com menor quantidade de sólidos suspensos.

Esta camada grossa formada de sólidos aumenta a resistência à passagem de água, levando a um aumento da pressão de filtração e uma diminuição do rendimento da filtração.

A formação da camada de torta influencia decisivamente no rendimento da filtração, no tempo de filtração e na umidade residual da torta.

Uma torta fofa, porosa e permeável garante um bom resultado, enquanto que uma camada fortemente impermeável conduz a resultados indesejados de filtração.

As condições para uma boa alimentação de torta são:

- Sistemas de alimentação apropriados e ajustáveis;
- Escolha de bons elementos filtrantes;
- Condicionamento adequado de lodo.

Em algumas aplicações recomenda-se a formação inicial de uma pré capa com um meio inorgânico para que a torta se desprenda mais facilmente da tela.

O entupimento das telas de filtração pode ser causado por um condicionamento deficiente ou por altas taxas de aplicação, resultando em tortas úmidas. O polímero utilizado no condicionamento deve produzir um lodo floculado que suporte o cisalhamento imposto na bomba do sistema de alimentação e a alta pressão resultante nas câmaras. A quebra da estrutura do floco condicionado irá resultar numa torta com baixa qualidade.

3.5.5 Classificação dos filtros prensa com relação às placas

Os filtros prensa são classificados com relação às placas em :

- Tipo quadro/placa;
- Tipo câmara;
- Tipo diafragma.

a) Tipo quadro/placa

O desenvolvimento do filtro prensa iniciou-se com o tipo quadro/placa, onde as placas e quadros estão alternados no pacote do filtro prensa.

Este tipo de filtro opera com pressões limitadas até 7 bar e ainda é empregado em filtrações de clarificação e polimento de suspensões e produtos alimentícios.

Esses filtros prensa garantem ótimos resultados na lavagem das tortas com água ou solventes para a retirada de componentes valiosos ou indesejados nas tortas.

Além dos elementos filtrantes sintéticos, permitem a utilização de elementos filtrantes de papel, possibilitando uma desbacterização/desgerminação para diferentes produtos.

b) Tipo câmara

Devido ao desenvolvimento tecnológico da placa câmara, o filtro prensa pode operar com pressões de até 15 bar, permitindo obter maior concentração de sólidos nas tortas geradas.

Este tipo de filtro prensa permite a operação automática de remoção da torta, bem como a lavagem eficiente das lonas. São ideais para desidratação de suspensões, polpas e lodos provenientes do tratamento de indústrias alimentícias.

c) Tipo diafragma/membrana

Embora o filtro prensa de câmara possuísse a habilidade de produzir tortas com um teor de sólidos consideravelmente alto, o tempo de ciclo normalmente era sempre maior que 4 horas. Por ser um processo não contínuo, ou seja em batelada, implicava-se sempre num maior número de unidades de filtro prensa por tonelada seca de lodo tratado. Consequentemente dificultava-se ainda mais a operação de desprendimento de torta e manutenção dos tecidos de filtração. Diante deste quadro, os filtros prensa perderam em

muito a aceitação diante de outros processos contínuos como as centrífugas e os filtros prensa de esteira, apesar destes equipamentos não produzirem tortas com os mesmos teores de sólidos.

Conforme LOWE (1992), o desenvolvimento da tecnologia de filtro prensa de membrana surgiu inicialmente na indústria química. Após o sucesso obtido neste segmento de indústria a aplicação partiu rapidamente para as cervejarias e em seguida para na desidratação de lodos de ETEs.

Trata-se de um filtro prensa convencional com câmaras ocas, cujas placas estão revestidas por um diafragma elástico.

Uma vez completadas as câmaras com o lodo, a bomba de alimentação é desligada e o diafragma é pressurizado de maneira hidráulica (água) ou pneumática (ar) afim de extrair mais filtrado progressivamente.

A pressão de filtração pode chegar a 10 ou 12 bar e a pressão para compressão do diafragma é limitada em 15 bar.

Com esta técnica pode-se aumentar de 70 a 80% o rendimento do filtrado, ou seja, gerando tortas com maior teor de sólidos; diminuindo custos com posterior secagem e consequentemente reduzindo o consumo de combustíveis em muitos casos, diminuindo sensivelmente os custos com transporte e armazenamento.

Com o filtro prensa do tipo diafragma, o processo de separação sólidos/líquido poderá ser reduzido no tempo, ou seja, a capacidade específica poderá ser aumentada.

O ciclo de operação do filtro prensa membrana está ilustrado a seguir na figura 3.5.7.

1. Filtro prensa preparado para início

- começo do ciclo do filtro prensa;
bombas de alimentação ligadas.

2. Alimentação de lodo

- o lodo é pressurizado na câmara de filtração, formando a torta.

3. Compressão da membrana

- após a alimentação de lodo, a membrana é inflada com ar ou água, produzindo a torta.

4. Descarga das tortas

- o filtro prensa abre o pacote de placas, descarregando as tortas..

Figura 3.5.7 **Ciclo do filtro prensa de membrana**

Fonte: Catálogo da Edwards & Jones

3.5.5 Materiais empregados nas placas do filtro prensa

No passado o material das placas de filtragem era, de uma maneira geral, de ferro fundido, ferro modular ou alumínio.

Atualmente pode-se utilizar placas em polipropileno e nekulit (poliuretano rígido), ilustrado na figura 3.5.8. Estes materiais obtiveram larga utilização e atualmente são empregados em inúmeras aplicações, inclusive na indústria alimentícia.

Figura 3.5.8 – Placa de filtro prensa de polipropileno

Fonte: Catálogo da Klico

As placas de polipropileno apresentam as seguintes vantagens:

- Menor peso em relação às placas de aço;
- Suportam altos gradientes de temperatura sem apresentar fadiga prematura;
- Possuem alta elasticidade, tenacidade e alongamento de ruptura, influenciando de modo positivo a sua longa vida útil.

No entanto estas placas apresentam como maior desvantagem a menor resistência mecânica quando comparadas com as placas de aço. Portanto, nas condições de operação do filtro prensa com placas de polipropileno não deverão ser permitidos esforços inadequados. Estes esforços inadequados nas placas, que podem vir de um mal posicionamento das placas antes do fechamento, poderão gerar micro-fissuras e que aliadas com as altas pressões poderão se romper de forma abrupta, ou seja, sem aviso.

Outro material de confecção que pode ser utilizado é o aço, que apesar de possuir um maior peso apresenta uma resistência mecânica bem superior. Para que o aço não sofra ataques químicos, a superfície da placa é revestida com uma moldura de borracha. No caso de placas com membranas, a borracha deve ser flexível para o enchimento. No entanto as placas de aço são bem mais caras que as placas de polipropileno. Além disso, a estrutura de apoio do filtro prensa com pacote de placas de aço deverá suportar um peso muito superior ao pacote com placas de polipropileno, ou seja, representa um custo de investimento inicial muito superior. A figura 3.5.9 ilustra as placas de aço com moldura de borracha.

Figura 3.5.9 – Placa de filtro prensa em aço e moldura de borracha

Fonte: Catálogo da Edwards & Jones

A superfície da placa na região de filtração, tanto a de borracha como a de propileno, apresenta ranhuras que formam os canais de drenagem. Existem diversos tipos de configurações de canal de drenagem, que devem direcionar o fluxo de filtrado rapidamente para os drenos. A figura 3.5.10 ilustra o detalhe da superfície de filtração de uma placa de aço com moldura de borracha.

Figura 3.5.10 – Detalhe da superfície de filtração da placa

Fonte: Catálogo da Edwards & Jones

3.5.6 Elementos filtrantes

No início, quase a totalidade dos tecidos de filtro prensa eram de fibra de algodão. Com a evolução dos materiais das indústrias químicas teve início a fabricação de tecidos com fibras sintéticas. As primeiras fibras utilizadas foram as de nylon, depois o poliéster e por último o polipropileno. Pela sua versatilidade, o polipropileno é o líder deste mercado.

3.5.6.1 Tipos de fios

Existem 3 tipos de fios disponíveis no mercado: monofilamento, multifilamento e fibra cortada.

O monofilamento, como o próprio nome diz, trata-se de um único fio (como por exemplo a linha de pesca). O multifilamento é formado por filamentos extrusados em feiras de forma contínua. Dependendo do tipo de fio, esta feira pode ter até 200 filamentos. A fibra cortada é um fio preparado com pequenos monofilamentos chamados fibras, com comprimento variando de 3,0 a 8,0 cm que são entrelaçados

mecanicamente, formando um fio. Este processo tenta imitar a fibra natural como é o algodão.

Com estes três tipos de fios são fabricados inúmeros modelos de tecidos, cada um atendendo uma filtragem específica

3.5.6.2 Tipos de tecidos

Os tecidos utilizados na filtração são do tipo de tecidos planos. Quanto à orientação dos fios, o sentido longitudinal denomina-se urdume e o transversal trama. Em qualquer tecido, a posição dos fios são sempre ortogonais entre si.

Nos filtros prensas, a maioria dos tecidos utilizados são o tipo tela ou sarja.

Nesse tipo tela, a ligação entre os fios é feita da seguinte maneira: o fio do urdume passa por baixo do fio da trama. Ao encontrar o próximo, este passa por cima e assim por diante.

No tipo sarja o fio do urdume ultrapassa três fios da trama. O próximo com defasagem de um fio de trama, repete o desenho, assim sucessivamente. O aspecto final é de um desenho em diagonal.

3.5.6.3 Aspectos de fabricação de tecidos

O perfeito funcionamento de um filtro prensa exige um tecido confeccionado rigorosamente dentro da especificação, para suportar as condições extremas de pressão, temperatura e ataques químicos. Para isso cada rolo de tecido deve ser analisado quanto a sua aparência e quanto a outros itens de controle mais específicos, como

permeabilidade ao ar, gramatura, espessura, constituição, qualidade dos fios, resistência à tração, encolhimento etc.

Dentre estes itens controlados, o que mais se destaca é a permeabilidade ao ar. Não é nada interessante possuir um tecido com permeabilidade ao ar variável na superfície. O efeito provocado no filtro prensa com tecido com muita variação de permeabilidade ao ar se dá da seguinte forma: formação desigual da torta, quebra das placas em consequência de formação de pressões internas diferenciadas, lavagens deficientes e secagem com ar deficiente.

O ensaio de resistência à tração controla o alongamento dos tecidos, principalmente aqueles com alta taxa de deformação. O alongamento do tecido não é desejável no filtro prensa, pois provoca o aparecimento de dobras na parte inferior do tecido e consequentemente o esmagamento na área de fechamento.

O ensaio de encolhimento é feito submetendo o tecido à fervura.

3.5.6.4 Propriedades físico-químicas dos tecidos

Para a correta especificação de um tecido numa determinada aplicação é fundamental o conhecimento das propriedades físico-químicas. As tabelas a seguir apresentam as propriedades mais importantes para a correta especificação.

Tabela 3.5.2 - Características físicas dos tecidos

Propriedade	Nylon	Poliéster	Polipropileno
Densidade (kg/L)	1,14	1,38	0,91
Resistência à tração Tração a seco (kgf/mm ²)	41 - 67	45 - 75	35 - 62
Resistência relativa Molhado (%)	-10	-10	Inalterado
Alongamento na ruptura a seco (%)	20 – 35	15 - 30	20 - 50
Alongamento na ruptura molhada (%)	+ 10	Inalterado	Inalterado
Absorção de umidade relativa a 20 ⁰ C	3,8	0,4	0
Resistência a temperatura de trabalho(°C)	115	150	90 – 110
Resistência a intempéries	regular	muito boa	fraca
Resistência à abrasão	excelente	boa	regular

Fonte: Lovizzaro, P. (1995)

Tabela 3.5.3 - Características de resistência química dos tecidos

Agente Químico	Nylon	Poliéster	Polipropileno
Ácidos			
Ácido forte	NR	NR	AA
Ácido fraco	NR	B	
Álcalis			
Base forte	A	NR	A
Base fraca	A	C	A
Agentes oxidantes			
Água oxigenada	C	A	A
Hipoclorito de sódio	B	C	B
Sais inorgânicos			
Cloreto de cálcio	NR	A	A
Cloreto férrico	NR	A	A
Sulfato de níquel	NR	B	A
Sulfato de zinco	NR	A	A
Solventes			
Acetona	B	A	C
Benzeno	B	A	C
Clorofórmio	A	A	NR
Percloroetileno	B	A	NR
Tolueno	A	A	NR
Xileno	B	A	NR

A = excelente, B = regular, C = fraco, NR = não resiste

Fonte: Lovizzaro, P. (1995)

3.5.6.5 Especificação do elemento filtrante

A correta indicação do elemento filtrante baseia-se muitas vezes na experiência adquirida ao longo dos anos, não existindo regras básicas seguras para a escolha.

Alguns processos funcionam bem com diversos tipos de tecidos, enquanto outros muitas vezes só possuem uma única opção. Por isso as experiências anteriores são importantes. No entanto caso não haja dados disponíveis, deve-se estabelecer um caminho de escolha. Como roteiro básico para especificação dos elementos filtrantes, deve-se seguir os seguintes passos:

- Levantamento das condições físicas e químicas;
- Especificar o objetivo da filtração;
- Verificar o tamanho do equipamento, com relação às dimensões das placas;
- Verificar a existência de experiências similares anteriores.

As tabelas a seguir foram construídas para auxiliar na escolha dos elementos filtrantes. Conforme pode ser observado na tabela 3.5.4, a especificação de tecido para lodo de esgoto refere-se ao objetivo de filtrar produto com características de entupimento.

Tabela 3.5.4 - Especificação de tecido em função do objetivo de filtração

Objetivo	Abertura do tecido	Tipo de fio
Filtrado límpido sem recirculação	Fechado	M / FC
Filtrado límpido com recirculação	Médio	M
Produto com características de entupimento	Médio / aberto	M / MO

MO: monofilamento, M: multifilamento e FC: fibra cortada

Fonte: Lovizzaro, P. (1995)

Tabela 3.5.4 - Especificação de tecido em função do objetivo de filtragem (continuação)

Objetivo	Abertura do tecido	Tipo de fio
Com auxiliar filtrante	Fechado / Médio	FC / M
Com carvão ativo	Fechado	FC / M
Minérios	Médio / Aberto	M / MO
Produtos coloidais	Fechado	M / FC

MO: monofilamento, M: multifilamento e FC: fibra cortada

Fonte: Lovizzaro, P. (1995)

Tabela 3.5.5 - Classificação da abertura do tecido em função da permeabilidade ao ar

Tecido	Faixa de permeabilidade ao ar (m³/min m²)
Fechado	< 0,6
Médio	0,6 – 5,0
Aberto	> 5,0

Fonte: Lovizzaro, P. (1995)

Tabela 3.5.6 - Especificação de tecido em função do tamanho da placa do filtro prensa

Tamanho da placa (mm)	Gramatura mínima (g/m²)
250 – 500	300
630 – 800	330 - 380
1000 – 1200	400 - 450
1500	500

Fonte: Lovizzaro, P. (1995)

Na tabela 3.5.6, a gramatura mínima indicada serve como orientação e está baseada em filtros com placas de polipropileno, produto não abrasivo (como o lodo de ETE) e temperatura ambiente. Para outros tipos de placas e de produtos a indicação do tecido deve ser feita caso a caso. Tecidos de monofilamentos podem conseguir o mesmo desempenho com gramaturas menores.

Estabelecidas as condições de contorno, já se tem os dados para a definição do tipo de tecido filtrante. Para os filtros prensas, os tecidos recomendados são os lisos, que soltam bem a torta. Por isso, as opções são os tecidos multifilamento e o monofilamento.

3.5.6.6 Tipo de confecção do tecido

Após a definição do tecido, parte-se para a definição do tipo de confecção, que pode ser: simples, com reforço e emborrachada.

Tabela 3.5.7 - Tipo de confecção do tecido em função do material da placa

Tipo de placa	Tipo de confecção
Ferro fundido	Com reforço Emborrachada
Polipropileno	Simples Emborrachada
Nekulit	Simples Com reforço
Fibra	Com reforço Emborrachada
Madeira	Com reforço Emborrachada

Fonte: Lovizzaro, P. (1995)

No passado, os filtros prensas com placas de ferro fundido exigiam o uso de tecidos com reforço de feltro. Neste tipo de placa, o reforço possui a função de amortecer o fechamento das placas e evitar o esmagamento do tecido. Com isso evitava-se o aparecimento de vazamentos laterais.

Depois surgiu o aparecimento das placas de Nekulit, que possuem um acabamento inferior a das placas de polipropileno. Ainda seria necessário tecidos que evitassem o vazamento lateral, sendo necessário para isso a adoção de reforços ou lonas emborrachadas.

Hoje em dia, após a evolução na fabricação das placas, tanto as de Nekulit como as de polipropileno, utilizam-se lonas com reforço ou emborrachadas apenas como opção. No entanto ainda existem situações em que é necessário o uso de lonas emborrachadas. São os casos onde se entra em contato com meios solventes, gases tóxicos e óleos.

A duração e o desempenho de um tecido de filtração depende da manutenção a que é submetida. A tabela 3.5.8 procura dar algumas recomendações de tempo e ciclos de lavagem. Cabe fazer algumas observações com relação às informações desta tabela. Em primeiro lugar, deve-se sempre levar em conta o material do tecido para ver a compatibilidade com o tipo de lavagem. Em segundo lugar, o uso de grande quantidade de cal acelera o processo de entupimento do tecido, exigindo um prazo menor para a lavagem química. Em terceiro lugar, na lavagem de alta pressão pode haver danificação do tecido caso a pressão seja exagerada ou a utilização de bicos dos lavadores inadequados.

Caso seja verificado o entupimento prematuro dos tecidos, deve-se estudar a adoção de tecidos especiais. Cabe lembrar ainda, que o excesso de lavagens e o uso constante de espátula para raspagem dos tecido diminuem a vida útil.

Tabela 3.5.8 - Recomendações de lavagem do tecido

Tipo de lavagem	Condicionamento de lodos de esgotos com cal	Minérios flotados ou lixiviados	Produtos químicos em geral
Lavagem com água (alta pressão)	A cada 15 dias	A cada 15 dias	--
Limpeza da área de fechamento das placas com espátula	1 vez por semana	Quando possível, 1 vez por dia	1 vez por semana
Lavagem com água (baixa pressão)	1 vez por semana	1 vez por semana	Depende do produto
Lavagem química com HCl (5%)	1 vez a cada 2 meses	Depende do minério	Depende do produto

Fonte: Lovizzaro, P. (1995)

3.5.6.7 Cuidados especiais para os tecidos

Os tecidos de polipropileno não resistem ao raios ultra violeta. Desta forma recomenda-se que os filtros não fiquem expostos aos raios solares. Quando não for possível contornar esta situação devem ser providenciadas as seguintes medidas:

- Trocar o tecido para poliéster como primeira opção ou nylon como segunda;
- Não se podendo trocar de tecido, proteger as bordas com pintura anti ultra violeta;
- Cobrir o filtro com lona plástica preta.

No caso de transporte e armazenagem, sempre manusear os tecidos de modo a não ter dobras. A dobra cria um vinco no tecido e alguns casos são de difícil remoção.

Na armazenagem em galpões por longo período, principalmente para os tecidos de polipropileno, estes devem estar protegidos das luzes fluorescentes e embaladas em sacos plásticos pretos.

3.5.7 Bombas utilizadas em sistemas de alimentação e dosagem

Devido às suas características reológicas, os lodos de esgoto requerem bombas com características próprias para o seu transporte.

3.5.7.1 Bomba de pistão

Este tipo de bomba trabalha com o auxílio de uma unidade externa composta de pistão e manivela. A excentricidade da manivela é ajustável, proporcionando um comprimento de braço variável e conseqüentemente um deslocamento positivo variável na ação da bomba. As válvulas de retenção, normalmente do tipo esfera, são dispostas em pares na entrada e na saída da bomba. A figura 3.5.11 possibilita a visualização do funcionamento da bomba pistão.

Conforme UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA (1979), as bombas de pistão possuem capacidade constante independentemente da altura manométrica de recalque e podem transportar lodos com teores de sólidos até 15%, desde que especificamente projetadas para este serviço. De maneira geral, as bombas de pistão são viáveis economicamente em instalações que requerem vazões até 32 L/s, altura de descarga de 15 m e 15% de teor de sólidos do lodo. Estas bombas requerem exames rotineiros diários de manutenção, que normalmente são de custo baixo e fácil manutenção.

Figura 3.5.11 Funcionamento da bomba de pistão

Fonte: Environmental Protection Agency (1979)

A haste de conexão da bomba fica afixada no pistão e que por sua vez fica no interior de uma guia. Esta guia deve ser preenchida com óleo de lubrificação para o trabalho. Tanto a parte externa do pistão quanto o cilindro interior mais a gaxeta devem estar sempre úmidos. Para este propósito, coloca-se um reservatório em forma de anel localizado acima da gaxeta. Este reservatório é alimentado constantemente com água limpa. Qualquer falha na gaxeta irá provocar o espalhamento de lodo na área ao redor.

As bombas de pistão podem operar com alturas de sucção de até 3 m; no entanto para estas alturas de sucção a concentração de sólidos pode diminuir a capacidade de bombeamento. O uso desta bomba com uma pressão de sucção maior que a da descarga não é prática comum pois o fluxo irá forçar a válvula esfera de entrada. Com a finalidade de reduzir ruídos e vibrações são utilizadas câmaras de ar na entrada e na saída da bomba. Estas câmaras também amortecem as pulsações do fluxo intermitente.

Quando forem utilizadas câmaras de amortecimento de pulsação, elas devem ser vitrificadas para evitar corrosão por sulfeto de hidrogênio. Na operação desta bomba, a tubulação de descarga não deve estar obstruída, caso contrário podem ocorrer danos na bomba, no motor ou na tubulação. Evita-se a ocorrência destes danos, colocando-se uma válvula de retenção.

Uma vantagem a ser mencionada para este tipo de bomba refere-se à possibilidade de passagem de sólidos mais grosseiros, pois os orifícios de entrada e saída da bomba de pistão são suficientemente grandes para que não ocorram obstruções.

No Reino Unido as bombas de pistão mais famosas são da marca Willett, ilustrados na figura 3.5.12. Os modelos mais novos destas bombas operam com dois pistões, amortecendo a pulsação da vazão.

Figura 3.5.12 Bomba do tipo pistão

Fonte: Catálogo da Edwards & Jones

Uma variante da bomba pistão é a bomba diafragma. Esta bomba utiliza uma membrana flexível que é empurrada ou puxada para contrair ou aumentar uma cavidade delimitada. No entanto os fabricantes de filtros prensa deixaram de utilizar as bombas diafragma por ser uma tecnologia mais antiquada.

A tabela 3.5.9 a seguir apresenta um guia para resolução de alguns dos problemas relacionados com a bomba pistão.

Tabela 3.5.9 – Guia de resolução de problemas em bombas pistão

Problemas	Causas	Soluções
Rotação incorreta	Conexões incorretas	Verificar a conexão especificada em projeto e reconectar de acordo com as instruções;
Sem vazão de lodo	Obstrução na válvula de retenção ou não instalada; Vazamentos de ar na linha de sucção; Válvula fechada, linha entupida;	Abrir as câmaras da válvulas e inspecionar; Verificar a linha com água limpa durante o succionamento; Inspecionar válvulas e linha de descarga de lodo;
Baixa capacidade	Comprimento do braço da bomba muito curto; Vazamentos de ar na linha de sucção;	Aumentar a distância do braço de ataque da bomba Verificar a linha com água limpa durante o succionamento;
Força excessiva	Gaxetas muito apertadas;	Verificar a gaxeta e apertar;

Fonte: Water Environment Research Foundation (1996)

Tabela 3.5.9 – Guia de resolução de problemas em bombas pistão (continuação)

Problemas	Causas	Soluções
Falha no fusível mecânico	Pressão excessiva de descarga	Apertar com o torque adequado; Limpar as faces da flange e o excêntrico com querosene e remontar; Verificar a gaxeta e reajustar de acordo com as instruções; Remover os calços como requerido;
	Parafusos do excêntrico soltos	
	Faces da flange sujas;	
	Gaxeta da bomba muito apertada;	
Superaquecimento das engrenagens e dos mancais	Abertura do excêntrico do mancal muito grande;	Verificar o nível do óleo nas engrenagens; Se estiver correto, drenar e preencher de novo com óleo novo de graduação recomendada. Ajustar o lubrificador do excêntrico na taxa prescrita;
	Lubrificação inadequada;	
	Lubrificação excessiva;	

Fonte: Water Environment Research Foundation (1996)

3.5.7.2 Bomba de cavidades progressivas

As bombas de cavidades progressivas são baseadas no princípio de Moineau e que podem ser vistas nas figuras 3.5.13 e 3.5.14. Este princípio consiste basicamente da

rotação de um elemento da bomba, denominado rotor, em um elemento estacionário, denominado estator. O rotor tem a forma de uma rosca simples, sendo construído em diferentes materiais metálicos (como exemplos: aço temperado, aço inox com cromo duro, ligas especiais e “hastelloy”) e o estator tem na parte interna a forma de uma rosca de duas entradas com passo longo e grande profundidade, podendo ser feito em diferentes elastômeros ou em materiais sólidos (como exemplos: diversos tipos de borrachas do tipo natural ou sintética moldada em tubo, materiais sintéticos como teflon, poliamida, PVC ou ainda como ferro fundido, aço inox).

No movimento de rotação excêntrico do rotor dentro do estator, criam-se câmaras progressivas vedadas, que permitem ao fluido ser conduzido da câmara de entrada à câmara de saída, resultando em um deslocamento positivo contínuo sem pulsações e proporcional à rotação da bomba.

Figura 3.5.13 - Princípio de funcionamento da bomba de cavidades progressivas

Fonte: Catálogo da Netzsch

1 - Flange final	3 - Estator	5 - Eixo de acoplamento	7 - Vedação do eixo	9 - Eixo de acionamento
2 - Rotor	4 - Articulações	6 - Carcaça	8 - Mancal	

Figura 3.5.14 – Bomba de cavidade progressiva em corte

Fonte: Catálogo da Netzsch

Este tipo de geometria permite à bomba transportar meios com grandes partículas em suspensão, altamente viscosos ou com alta concentração de sólidos e abrasivos, inclusive com temperaturas baixas até temperaturas altas.

A altura manométrica total produzida pela bomba de deslocamento positivo é dividida igualmente entre o número de cavidades entre o rotor e o estator. A pressão diferencial

existente nas cavidades relaciona-se diretamente com o desgaste do rotor e do estator devido a um ligeiro golpe causada por esta diferença. Este desgaste é o principal responsável pelo custo de manutenção para este tipo de bomba, independente do modelo utilizado. Os custos de manutenção são reduzidos, especificando uma bomba com pressão de trabalho de uma classe superior (um estágio extra) que o utilizado para fluidos limpos. Isto cria cavidades extras, reduz a pressão diferencial entre as cavidades e conseqüentemente reduz os desgastes do rotor e do estator. Recomenda-se também que a velocidade da bomba não exceda 325 rpm no transporte do lodo e que não haja concentrações significativas de areia.

A bomba não deve trabalhar a seco, pois pode ser danificada em questão de minutos. A tubulação de sucção deve estar disposta de maneira a manter a entrada da bomba sempre molhada ou então utilizar dispositivos de proteção contra trabalho a seco.

Como o eixo do rotor possui um movimento excêntrico, necessita-se de uma articulação entre os eixos do rotor e do motor. Existem vários tipos de articulações entre os vários fabricantes de bomba, que empreendem esforços contínuos em novos projetos e materiais.

Como características deste tipo de bomba, pode-se citar: fluxo contínuo com pulsação mínima, precisão no controle do fluxo, vazão proporcional à rotação, dosagem com precisão, compatibilidade com alta viscosidade e alto teor de sólidos, compatibilidade no transporte de meios abrasivos, volume não afetado com a variação do teor de sólidos, volume praticamente não afetado na alteração de pressão, volume praticamente não afetado pela viscosidade, baixo valor de NPSH requerido, fluxo reversível, permite operar com altas pressões, alto rendimento mesmo em baixas velocidades, não necessita de válvulas, alta capacidade de aspiração.

A seguir está apresentada a tabela contendo um guia de orientação rápida para operadores para identificar problemas e determinar as suas soluções.

Tabela 3.5.10 - Guia de resolução de problemas em bombas de cavidade progressiva

Problemas	Causas	Soluções
Bomba sem rotação	Suprimento inadequado de energia;	Verificar os dados do motor; a voltagem, fase e frequência;
	Material estranho na bomba;	Remover o material estranho;
	Fricção excessiva devido a bomba e o rotor serem novos;	Preencher com líquido e acionar a bomba. Se o problema permanecer, lubrificar o estator com glicerina;
	Dilatação do estator devido a alta temperatura do líquido a ser transportado;	Reduzir a temperatura do líquido transportado ou usar um rotor de um tamanho menor;
	Bloqueio devido ao teor de sólidos do líquido	Diminuir a proporção do teor de sólidos do líquido a ser transportado;
	Sedimentação do líquido transportado e endurecimento após o desligamento da bomba;	Limpar e enxaguar a bomba após cada uso;

Fonte: Water Environment Research Foundation (1996)

Tabela 3.5.10 - Guia de resolução de problemas em bombas de cavidade progressiva (continuação)

Problemas	Causas	Soluções
Ausência de vazão de descarga;	Ar na tubulação de sucção;	Apertar as conexões para fechar as frestas;
	Velocidade da bomba muito baixa;	Aumentar a velocidade da bomba;
	Estator com desgaste excessivo;	Trocar o estator;
	Rotor com desgaste excessivo;	Trocar o rotor;
	Sentido de rotação invertido;	Reverter a polaridade do motor;
vazão de descarga baixa;	Suprimento inadequado de energia;	Verificar os dados do motor; a voltagem, fase e frequência;
	Ar na tubulação de sucção;	Apertar as conexões para fechar as frestas;
	Velocidade da bomba muito baixa;	Aumentar a velocidade da bomba;
	Estator com desgaste excessivo;	Trocar o estator;
	Rotor com desgaste excessivo;	Trocar o rotor;
	Pressão de descarga muito alta;	Abrir a válvula de descarga; remover a obstrução
	Vazamentos na tubulação de sucção;	Apertar as conexões das tubulações;
	Vazamentos nas gaxetas;	Apertar as gaxetas; trocar as gaxetas;

Fonte: Water Environment Research Foundation (1996)

Tabela 3.5.10 - Guia de resolução de problemas em bombas de cavidade progressiva (continuação)

Problemas	Causas	Soluções
Flutuação na vazão de descarga;	Material frágil do estator;	Trocar o estator;
	Ar na tubulação de sucção;	Apertar as conexões para fechar as frestas;
	Vazamentos na tubulação de sucção;	Apertar as conexões das tubulações;
	Vazamentos nas gaxetas;	Apertar as gaxetas; Trocar as gaxetas;
Sobrecarga no motor da bomba;	Suprimento inadequado de energia;	Verificar os dados do motor; verificar a voltagem, fase e frequência;
	Material estranho na bomba;	Remover o material estranho;
	Fricção excessiva devido a bomba e o rotor serem novos;	Preencher com líquido e acionar a bomba. Se o problema permanecer, lubrificar o estator com glicerina;
	Dilatação do estator devido a alta temperatura do líquido a ser transportado;	Reduzir a temperatura do líquido transportado ou usar um rotor de um tamanho menor;
	Bloqueio devido ao teor de sólidos do líquido	Diminuir a proporção do teor de sólidos do líquido a ser transportado;

Fonte: Water Environment Research Foundation (1996)

Tabela 3.5.10 - Guia de resolução de problemas em bombas de cavidade progressiva (continuação)

Problemas	Causas	Soluções
Sobrecarga no motor da bomba;	Sedimentação do líquido transportado e endurecimento após o desligamento da bomba;	Limpar e enxaguar a bomba após cada uso;
	Bomba funcionando a seco;	Preencher a bomba com líquido;
	Pressão de descarga muito alta;	Abrir a válvula de descarga; remover a obstrução
	Líquido a ser transportado com viscosidade ou massa específica muito altas;	Medir e comparar com a especificação;
	Gaxetas muito apertadas;	Soltar as gaxetas;
	Eixo do rotor inclinado;	Trocar o eixo do rotor;
Ruído na bomba;	Bomba funcionando a seco;	Preencher a bomba com líquido;
	Estator com desgaste excessivo;	Trocar o estator;
	Rotor com desgaste excessivo;	Trocar o rotor;
	Vazamentos na tubulação de sucção;	Apertar as conexões das tubulações;
	Material frágil do estator;	Trocar o estator;
	Eixo do rotor inclinado;	Trocar o eixo do rotor;
	Eixo e motor desalinhados;	Alinhar o eixo e o motor;
	Junta flexível do eixo desgastado;	Reparar ou trocar a junta;
	Mancal do eixo de acoplamento;	Trocar o mancal;

Fonte: Water Environment Research Foundation (1996)

Tabela 3.5.10 - Guia de resolução de problemas em bombas de cavidade progressiva (continuação)

Problemas	Causas	Soluções
Vazamentos na gaxeta do eixo da bomba	Sedimentação do líquido transportado e endurecimento após o desligamento da bomba;	Limpar e enxaguar a bomba após cada uso;
	Sentido de rotação invertido;	Reverter a polaridade do motor;
	Mancal do eixo de acoplamento;	Trocar o mancal;
	Gaxeta incorreta;	Mudar o material da gaxeta;
	Gaxetas frouxas;	Apertar as gaxetas;
Desgaste rápido do estator;	Bloqueio devido ao teor de sólidos do líquido	Diminuir a proporção do teor de sólidos do líquido a ser transportado;
	Sedimentação do líquido transportado e endurecimento após o desligamento da bomba;	Limpar e enxaguar a bomba após cada uso;
	Bomba funcionando a seco;	Preencher a bomba com líquido;
	Rotor com desgaste excessivo;	Trocar o rotor;
	Pressão de descarga muito alta;	Abrir a válvula de descarga; Remover a obstrução
	Material frágil do estator;	Trocar o estator;

Fonte: Water Environment Research Foundation (1996)

Tabela 3.5.10 - Guia de resolução de problemas em bombas de cavidade progressiva (continuação)

Problemas	Causas	Soluções
Desgaste rápido do rotor;	Sedimentação do líquido transportado e endurecimento após o desligamento da bomba;	Limpar e enxaguar a bomba após cada uso;
	Pressão de descarga muito alta;	Abrir a válvula de descarga; Remover a obstrução
	Material frágil do estator;	Trocar o estator;

Fonte: Water Environment Research Foundation (1996)

3.5.8 Sistemas de dosagem e mistura de polímero

3.5.8.1 Generalidades

O sistema de condicionamento de lodo com polímeros possui grandes diferenças quando comparado com o utilizado pelos produtos químicos inorgânicos, principalmente no que diz respeito à dosagem e à mistura de produtos químicos.

Enquanto o condicionamento com cal e cloreto férrico é feito em bateladas, o condicionamento com polímeros é feito em linha, conforme observado por WHITE; BASKERVILLE (1974). No condicionamento inorgânico o lodo é condicionado e uma quantidade remanescente fica sempre à espera enquanto ocorre a filtração. Este tempo de estocagem é totalmente eliminado quando se usa o condicionamento em linha. A utilização do condicionamento em linha também traz a vantagens de eliminar a

necessidade de construção civil para os tanques para dosagem e mistura em novas instalações.

A figura 3.5.15 ilustra uma instalação típica de filtro prensa do tipo membrana com condicionamento de lodo com polímero.

Figura 3.5.15 – Instalação de filtro prensa com condicionamento com polímero

Fonte: Catálogo da Netzsch

Mesmo que haja uma instalação para se fazer o condicionamento em batelada com polímero, este processo não é recomendado. A ação de floculação do polímero no lodo é muito rápida não sendo necessário um tempo de agitação prolongado, como ocorre quando se utiliza cloreto férrico e cal. Desta forma um condicionamento em batelada com polímero levaria a uma rápida formação de flocos que tenderiam a se separar da

fase líquida. Esta separação de fases não seria benéfica para a filtração pois no início do ciclo haveria uma quantidade de sólidos muito maior que no término, que seria essencialmente água. Para compensar esta separação de fases deveria se homogeneizar o lodo condicionado através da introdução de uma mistura. Esta mistura traria como consequência a quebra dos flocos do lodo condicionado, devido ao tempo excessivo de agitação e provocando assim a perda da capacidade de filtração.

Conforme CARTER (1992), a primeira instalação de filtro prensa com polímero na América do Norte, que obteve sucesso, foi a da estação de tratamento de esgotos de Duffin Creek na província de Ontário, Canadá, em 1985. O mesmo autor relatou na época que o condicionamento de lodo para desidratação em filtro prensa com polímeros em filtro prensa estava sendo utilizado em seis ETEs dos Estados Unidos e cinco do Canadá. Relatou-se neste trabalho que os filtros prensas do tipo membrana de East End, que operavam com lodo primário, tiveram um consumo de 2,3 kg de polímero em pó por tonelada seca de lodo e resultaram em tortas com 34,4% de teor de sólidos. Já os filtros prensa de Duffin Creek, que operavam com lodo digerido anaeróbio, tiveram um consumo de 8,6 kg de polímero em pó por tonelada de lodo seco e resultaram em tortas com 29,4% de teor de sólidos.

Conforme LARSON et al. (1995) relatou-se a experiência da ETE de Milwaukee nos Estados Unidos a troca do condicionamento do lodo digerido de inorgânico para orgânico nos filtro prensa existentes. Foram obtidas tortas com teor de sólidos entre 32 e 38%.

Outra experiência recente foi relatada por BERK et al. (1996). Em 1996 foi feita a conversão em escala real para sistema de condicionamento com polímeros dos filtro prensa existentes da ETE de Las Vegas em Nevada, Estados Unidos. O lodo processado

era uma combinação de lodo primário com lodo secundário. O condicionamento do lodo não substituiu a cal e o cloreto férrico, apenas contribuiu para a diminuição do consumo de produtos químicos. O consumo de cal diminuiu de 88% e de cloreto de 45%, com um consumo de 4 kg/ton de polímero

Serão descritos a seguir os sistemas de dosagem e mistura de polímeros em filtro prensa em ordem de complexidade tecnológica. Nos últimos anos houve grandes avanços nesta área devido aos esforços empreendidos tanto pelos fabricantes de filtro prensa como de polímeros. Em alguns casos o desenvolvimento tecnológico foi graças ao esforço conjunto destes dois tipos de instituições.

3.5.8.2 Sistema de dosagem em linha em bomba de cavidade progressiva

Este sistema simples é utilizado em filtros prensa alimentados por bomba de cavidade progressiva com velocidade fixa e acoplado com tanque de pressão. A adição de polímero pode ser feita com alimentação constante na entrada lateral da bomba. A bomba de polímero possui uma ligação elétrica com a bomba de lodo, possibilitando assim o acionamento em conjunto.

A desvantagem deste sistema é a retirada da capacidade da bomba de lodo devido à adição de um volume de polímero. Para contornar este problema pode se acoplar uma bomba dosadora de polímero na saída da bomba de lodo, no entanto com uma potência maior devido ao efeito da pressão. Este sistema também possui a desvantagem de ocorrer uma superdose de polímero no final do ciclo devido ao aumento da pressão e conseqüente decaimento da velocidade da bomba de lodo.

Este sistema foi o mesmo utilizado nos experimento realizados por WHITE; BASKERVILLE (1974).

3.5.8.3 Sistema de dosagem com bomba pistão

No Reino Unido, o sistema mais antigo utilizado é com a bomba pistão do tipo Willett.

A utilização da bomba Willett com condicionamento com polímeros foi no passado a opção mais versátil. A mistura é feita através da injeção de polímero na válvula de entrada da bomba de lodo e em seguida no interior e na saída. Esta injeção de polímero é feita por uma outra bomba pistão. A dosagem pode ser controlada através do ajuste do braço da bomba pistão de polímero, que conforme o comprimento do braço de ataque proporciona-se mais ou menos volume de solução de polímero bombeado. Normalmente nas instalações do Reino Unido, não é necessária a inclusão de um dispositivo de mistura em linha na tubulação posterior ao bombeamento, pelo fato da mistura na bomba ser suficiente para o condicionamento.

As bombas Willett são mais utilizadas para pequenas instalações de filtro prensa. Para as grandes instalações do Reino Unido, são utilizadas as bombas de cavidade progressiva em conjunto com as bombas Willett. Nestes sistemas, as bombas de cavidade progressiva são utilizadas para o início do ciclo de filtração, ou seja alta vazão e baixa pressão, enquanto as bombas Willett são utilizadas para baixa vazão e alta pressão. De modo a ilustrar, pode-se citar que o maior modelo desta bomba é o tipo duplo com as seguintes características: vazão máxima de 3600 L/min, pressão máxima de operação de 20 bar e motor de 225 kW.

A desvantagens deste tipo de bomba são a dificuldade de se controlar a energia de mistura imposta no sistema e também o fato de não se poder controlar a subida de pressão gradativa na alimentação do filtro prensa. Uma outra dificuldade ocorre caso se queira fazer a dosagem no recalque da linha de alimentação de entrada do filtro prensa,

pois a vazão da bomba pistão se dá por pulsos. Ou seja, estes pulsos dificultam a implantação de uma dosagem proporcional de polímero na linha de lodo.

Conforme LARSON (1995), na ETE de Milwaukee, Estados Unidos, a conversão do sistema de condicionamento do lodo digerido de inorgânico para orgânico do filtro prensa foi feito em cima das bombas pistão existentes. O melhor ponto de injeção de polímero encontrado foi na sucção da bomba, pois as válvulas esfera na entrada das bombas auxiliavam na mistura do polímero e do lodo. Foi relatado que a modificação com condicionamento com polímero em escala real possibilitou atingir tortas com teores de sólidos entre 36 a 38%. Outro relato importante foi o fato do filtro prensa operar por várias semanas sem a necessidade de lavagem. Durante os estudos para a conversão dos filtros prensa tomou-se o cuidado de se observar o tamanho do flocos condicionados, pois estes flocos indicavam as melhores condições de mistura e dosagem dos polímeros.

3.5.8.4 Sistema de dosagem com vazões proporcionais

O sistema de dosagem com vazões proporcionais é o mais simples e efetivo dos equipamentos de segunda geração.

A dosagem de polímero, através de uma bomba dosadora do tipo de cavidade progressiva, pode ser feita tanto na linha de sucção como na de recalque de lodo. A bomba dosadora de polímero e a bomba de alimentação de lodo deverão, ao longo do ciclo, obedecer uma proporcionalidade de vazões constante de modo a concentração resultante ser sempre a mesma. Ou seja, conforme diminui a capacidade de filtração e aumenta a pressão, ocorrerá uma diminuição na vazão de alimentação e

consequentemente deverá haver também uma diminuição na vazão da bomba dosadora de polímero na mesma proporção.

Caso a dosagem seja feita na tubulação de sucção, normalmente uma bomba com uma capacidade de pressão de 2 bar é suficiente. Neste caso a dosagem é feita próxima a bomba de alimentação de lodo. Esta disposição tem a vantagem de misturar o polímero com o lodo de maneira intensa na região da bomba dos elementos de transporte (rotor e estator).

No caso da dosagem ser feita na linha de recalque requer-se bombas com capacidade de pressão de no mínimo 15 bar.

A maior dificuldade operacional deste sistema é a dosagem de polímero na fase final do ciclo de filtração, quando as vazões são menores. Para proporcionar intensidades de mistura adequadas de lodo com polímero nestas situações onde as vazões são pequenas é necessário a instalação de um dispositivo de mistura. Este dispositivo pode ser uma válvula que se fecha gradualmente a medida que a vazão diminui, provocando uma perda de carga hidráulica e alterando a velocidade de escoamento. Outro dispositivo seria um misturador em linha, que conforme a diminuição da vazão introduz-se a rotação necessária para o efetivo condicionamento.

Uma outra forma de mistura para este tipo de sistema é a injeção de polímero através de bicos, que são dispostos perpendicularmente a tubulação. Estes injetores constituem-se de cones associados a molas, os quais estão posicionados numa superfície cônica e vedam naturalmente quando o fluxo cessa, de modo a não entrar lodo no dispositivo misturador e entupí-lo. Quando ocorre a injeção de polímero, devido a pressão da própria bomba os cones se afastam deixando uma fenda anular de modo a permitir a passagem.

3.5.8.5 Sistema com dosagem proporcional à densidade dos sólidos

Este sistema é similar ao de vazões proporcionais com a diferença de possuir um medidor de densidade de lodo.

A proporcionalidade de vazões é corrigida conforme o teor de sólidos, que é obtido através da medição da densidade.

Este sistema de dosagem de polímero em filtro prensa, foi desenvolvido pela Allied Colloids em conjunto com a AC GMBh e recebe o nome comercial de Polykon.

O medidor de densidade de lodo funciona através de um desvio da linha de lodo para o medidor de densidade de lodo acoplado com uma bomba de cavidade progressiva. Com isso pode-se obter instantaneamente o valor da densidade de lodo sem a interrupção do ciclo do filtro prensa. Este medidor de densidade de sólidos, que possui a precisão requerida para funcionar de maneira satisfatória, utiliza a radiação do Césio 137 para funcionamento.

3.5.8.6 Sistema com medidor do tamanho do floco

Os maiores fabricantes de filtro prensa vêm optando por adotar este tipo de controlador de dosagem de polímero. Este sistema foi desenvolvido na Alemanha.

Este sistema consta basicamente de três elementos:

- Um computador;
- Um dispositivo óptico de medida – Floconsonde;
- Uma válvula de mistura.

As medidas de vazão de lodo, tamanho e estrutura do floco são enviadas para o computador que processa as informações e então ajusta os parâmetros operacionais, tais como:

- Vazão de alimentação de lodo;

- Dosagem de polímero;
- Energia de mistura.

O aparelho denominado Flocsonde é um medidor óptico que determina o tamanho e a estrutura do floco numa massa líquida. Este aparelho consiste de um transmissor de luz, um sistema receptor e uma célula medidora na qual estão dispostos dois corpos de vidro com formas especialmente definidas. Este arranjo é montado de tal forma para permitir a seleção dos sólidos no líquido. Desta forma o aparelho faz a medição óptica transversalmente à direção do fluxo. Após o reconhecimento do tamanho e da estrutura do floco, envia-se um sinal para o computador processar a informação.

Como normalmente a vazão e o teor de sólidos do lodo não são constantes ao longo do ciclo, a energia de mistura no condicionamento com polímeros também não é constante. Para superar estas deficiências, instala-se uma válvula de mistura que se fecha a medida que a vazão abaixa. Esta válvula de mistura procura garantir uma energia de mistura uniforme ao longo do ciclo.

Mais recentemente a firma alemã Knauer desenvolveu um aperfeiçoamento deste sistema de dosagem. Além de possuir um medidor óptico de floco, o sistema desenvolvido pela Knauer, ao invés de uma válvula de mistura, possui um misturador com uma pá na região da tubulação em que ocorre a dosagem de polímero. Esta pá possui em seu eixo de rotação pequenos orifícios por onde a solução de aplicação de polímero é injetada. À medida que a solução de aplicação de polímero é injetada, forma-se uma película (filme) em cima da pá. Desta forma procura-se que todas as partículas do lodo entrem em contato com a solução de aplicação de polímero. Através deste novo sistema de mistura, a solução de aplicação de polímero pode ser preparada mais concentrada, ou seja, em torno de 0,5 a 1%. Espera-se com esta tecnologia uma torta

mais seca que a convencional, por se introduzir uma quantidade menor de água no lodo e também um menor consumo de polímeros. Este pacote de equipamento possui o nome comercial de Floccmaster e uma das implicações é não se necessitar mais de um tanque de diluição de polímero. A ETE São Miguel Paulista está prevista para receber filtros prensa com esta tecnologia.

3.5.9 Resolução de problemas relacionados com o filtro prensa

Para a resolução dos problemas mais comuns relacionados com a manutenção e a operação do filtro prensa está apresentada a tabela 3.5.11 para consulta rápida.

Tabela 3.5.11 – Guia de resolução de problemas em filtro prensa

Indicadores/ Observações	causa provável	Verificar e monitorar	Soluções
Falha na vedação das placas	Pressão hidráulica de fechamento muito baixa;	Pressão recomendada pelo fabricante;	Ajustar conforme especificações;
	Pressão de alimentação muito alta;	Pressão de alimentação da bomba;	Ajustar para a faixa adequada de pressão;
	Sobras ou sólidos na superfície de vedação das placas;	Superfícies de vedação;	Inspecionar as superfícies de vedação durante a descarga e quando houver limpeza das placas;

Fonte: Water Environment Research Foundation (1996)

Tabela 3.5.11 – Guia de resolução de problemas em filtro prensa (continuação)

Indicadores/ Observações	causa provável	Verificar e monitorar	Soluções
Dificuldade no desprendimento da torta na abertura das placas – torta úmida	Capa inadequada;	Alimentação de entrada;	Aumentar a capa;
Dificuldade no desprendimento da torta na abertura das placas – torta úmida	Condicionamento inadequado;	Tipo de condicionador e dosagem;	Mudar o tipo de condicionador ou a dosagem baseado na série histórica ou do teste de bancada de filtração à vácuo;
	Tempo de filtração muito curto;	Tempo de filtração, taxa de filtração e pressão de alimentação;	Estender o tempo de ciclo de filtração;
Tempo de ciclo de filtração excessivo	Lodo condicionado guardado por muito tempo;	Tempo decorrido desde o condicionamento;	Não guardar o lodo por muito tempo ou adicionar cal antes do uso;

Fonte: Water Environment Research Foundation (1996)

Tabela 3.5.11 – Guia de resolução de problemas em filtro prensa (continuação)

Indicadores/ Observações	causa provável	Verificar e monitorar	Soluções
Tempo de ciclo de filtração excessivo	Alimentação de lodo com teor de sólidos muito baixo;	Operação dos processos de adensamento de lodos;	Aumentar o adensamento de sólidos para aumentar o teor de sólidos na alimentação do filtro prensa;
Filtrado sujo	Tela de filtração rasgada ou tela utilizada com alta porosidade;	Inspecionar todas as telas;	Reparar ou trocar as telas danificadas;
	Alta pressão de alimentação;	Checar os dados históricos de operação;	Ajustar a pressão de alimentação dentro das especificações;
Entupimento de tela	Taxas de alimentação iniciais muito altas;	Taxa de bombeamento;	Desenvolver a formação da torta mais lentamente;
	Tela com baixa porosidade;	Inspecionar todas as telas e consultar com o fabricante;	Trocar as telas incorretas;

Fonte: Water Environment Research Foundation (1996)

Tabela 3.5.11 – Guia de resolução de problemas em filtro prensa (continuação)

Indicadores/ Observações	causa provável	Verificar e monitorar	Soluções
Torta com umidade excessiva	Condicionamento inadequado;	Dosagem de condicionamento;	Mudar a dosagem de produtos químicos;
	Ciclo de filtração muito curto;	Correlacionar a taxa de filtração com a umidade da torta;	Aumentar o ciclo de filtração;
Lodo espirrando para fora do filtro prensa	Obstrução, como sobras, no filtro prensa forçando a passagem de lodo entre as placas;	Pressão de alimentação;	Desligar a alimentação da bomba, acionar a pressão de fechamento; Reiniciar a pressão de alimentação; limpar os grumos das placas no final do ciclo;
	ciclo de formação de torta completa;	pressão de alimentação, taxa de filtração e tempo de filtração.	Desligar o filtro prensa e descarregar a torta.

Fonte: Water Environment Research Foundation (1996)

4 Descrição dos ensaios utilizados

4.1 Lodo utilizado

O lodo utilizado foi gerado nos digestores anaeróbios da ETE Barueri da Sabesp, que possui capacidade para tratamento de 7 m³/s através do processo de lodos ativados convencional.

As características básicas do lodo digerido estão apresentadas na tabela 4.1 a seguir.

Tabela 4.1 – Características do lodo digerido da ETE Barueri

Sólidos Totais (mg/L)	23.614
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	10.736
Sólidos Totais Fixos/Sólidos Totais (%)	45
pH	7,0
Acidez (mg CaCO₃/L)	89
Alcalinidade (mg CaCO₃/L)	2110
Relação acidez/alcalinidade	0,04
Temperatura média no digestor (°C)	27
Tempo de detenção médio no digestor (dias)	26
Remoção de Sólidos Voláteis (%)	25

Fonte: ETE Barueri (período: jan. 1997 a set.1997)

4.2 Polímeros utilizados

Os polímeros utilizados foram escolhidos entre os maiores fabricantes mundiais: Allied Colloids, Cytec, Floerger, Nalco e Stockhausen, cujas características estão apresentadas

na tabela 4.2. Estes polímeros testados apresentavam diferentes formas físicas, conforme ilustrado na figura 4.1.

Tabela 4.2 – Características dos polímeros testados

Marca	Modelo	Forma física	Peso Molecular (10⁶)	Densidade de Carga (%)
Allied	Percol 755	Pó	8	60
Allied	Percol 764	Pó	7	40
Allied	Zetag 63	Pó	7	42
Allied	Zetag 89	Pó	11	80
Cytec	498	Pó	4	55
Cytec	1591	Líquido	6	5
Cytec	Magnifloc SD 2081	Líquido	5	55
Cytec	Excel 5000	Emulsão	11 - 14	80
Cytec	Excel 5040	Emulsão	11 - 14	40
Floerger	9044	Pó	10 – 12	35 - 40
Floerger	9014	Pó	13 – 15	10 - 15
Floerger	9032	Pó	13 – 15	45 – 50
Floerger	Floc 40	Pó	13 – 15	40

Tabela 4.2 – Características dos polímeros testados (continuação)

Marca	Modelo	Forma Física	Peso Molecular (10^6)	Densidade de Carga (%)
Nalco	9909	Pó	*	*
Stockhausen	630	Pó	8	40
Stockhausen	690	Pó	8	85
Stockhausen	655 BC	Pó	8	70
Stockhausen	644 BC	Pó	8	55
Stockhausen	K 144 L	Emulsão	10	80
Stockhausen	Gamus PL 34	Pó	9	60
Stockhausen	Gamus PL 56	Pó	6	70
Stockhausen	Gamus PL 46	Pó	6	60

* não fornecido

Figura 4.1 – Polímeros testados de diferentes marcas e formas físicas

Os polímeros testados foram limitados aos catiônicos, conforme orientações dos fornecedores. Esta informação também foi citada no artigo escrito por COLE; SINGER (1985).

4.3 Ensaios para escolha dos polímeros

4.3.1 Preparo da solução de polímero em emulsão e líquida

a) Materiais e equipamentos

- seringas de plástico de 5 e 10 mL;
- balança analítica de precisão;
- balão volumétrico de 500 mL;
- becker de 1000 mL;
- agitador manual;

b) Procedimentos

- misturou-se a amostra de polímero até ficar homogênea;
- utilizou-se uma seringa para preparação da solução, colocando-a no prato da balança analítica e tarou-se a medida;
- retirou-se um volume de polímero de forma que o peso do polímero resultasse em 5 g na balança analítica e anotou-se o volume retirado na seringa;
- separou-se um volume de 500 mL de água num balão volumétrico e colocou-se este volume de água num becker de 1000 mL;
- com uma seringa limpa retirou-se do becker um volume de água igual ao volume retirado de polímero que resultou 5 g;
- inseriu-se o agitador manual dentro do becker com água ;

- ligou-se o agitador na velocidade máxima e injetou-se rapidamente o polímero da seringa, tomando o cuidado despejar o conteúdo no vórtice formado e evitando que caísse tanto nas paredes do recipiente como no próprio agitador, conforme ilustrado na figura 4.2;
- ligou-se o cronômetro e deixou-se misturando entre 10 e 15 segundos para o polímero em emulsão e em torno de 30 segundos para o polímero líquido;
- limpou-se o agitador inserindo em água limpa por aproximadamente 30 segundos por pelo menos duas vezes;
- a solução resultante de 500 mL apresentou concentração de 10.000 mg/L (ou 1%);

Figura 4.2 – Preparação da solução de polímero

4.3.2 Preparo da solução de polímero em pó

a) Materiais e equipamentos

- balança analítica de precisão;
- balão volumétrico de 500 mL;
- becker de 1000 mL;
- aparelho de jar-test;
- medidor de rotação;

b) Procedimentos

- pesou-se cuidadosamente 1 g do polímero em pó em balança analítica de precisão sobre um pedaço de papel. Esta medida foi feita o mais rápido possível, pois o polímero é altamente higroscópico e retira a umidade do ar, alterando esta medida;
- separou-se um volume de 500 mL de água num balão volumétrico e colocou-se este volume de água num becker de 1000 mL;
- colocou-se o becker com água no aparelho de jar-test e imergiu-se a haste giratória na água;
- ligou-se o aparelho de jar-test e através de um medidor de rotação aplicou-se uma rotação aproximada de 250 rpm;
- despejou-se cuidadosamente o polímero no vórtice formado e de modo que os grãos entrassem em contato separadamente na água, de modo a evitar a aglutinação;
- a introdução dos grãos foi feita de modo a não permitir que entrassem em contato com a parede do becker e também com a haste giratória. Normalmente estas superfícies apresentam-se molhadas e caso entrem em contato com o polímero não haverá a completa dissolução na solução;

- caso houvesse a formação dos chamados “olhos de peixe”, descartaria-se a solução e o ensaio seria refeito;
- continuou-se misturando por aproximadamente 1 hora até que a solução se apresentasse homogênea;
- a solução resultante de 500 mL apresentou concentração 2000 mg/L (0,2%).

4.3.3 Mistura para o condicionamento de lodos

a) Materiais e equipamentos

- aparelho de jar test, ilustrado na figura 4.3;
- beckers de vidro de 1000 mL;
- proveta de 500 ou 250 mL;
- cronômetro;
- seringas de plástico de 5, 10 e 20 mL;

Figura 4.3 – Aparelho de Jar-test utilizado

b) Procedimentos

- agitou-se bem o recipiente onde se encontrava o lodo e retirou-se uma amostra;
- para que fossem mantidas as mesmas condições externas de mistura, optou-se por fixá-las da seguinte maneira: volume no becker de lodo mais a solução de polímero em 500 mL, tempo total de mistura igual a 1 minuto e rotação de mistura aproximadamente igual a 250 rpm;
- para que fosse fixado o volume no becker de lodo mais a solução de polímero em 500 mL, determinou-se os seguintes cálculos:

- determinou-se a concentração final após a introdução da solução de polímero com a seguinte fórmula:

$$C_1 \times V_1 / V_2 = C_2;$$

Onde:

C_1 = concentração da solução de polímero (mg/L);

C_2 = concentração final do lodo condicionado (mg/L);

V_1 = volume de polímero adicionado (mL);

V_2 = volume final resultante de lodo condicionado, fixado em 500 mL.

- Nos testes de resistência específica, a concentração da solução de polímero foi fixada em 10.000 mg/L para polímeros líquidos e em emulsão e em 2000 mg/L para polímeros em pó;
- Calculou-se a concentração final da solução de lodo condicionado para os volumes fixados de solução de polímero;
- Para cada volume fixado de polímero, calculou-se o volume necessário de lodo de modo que a soma dos dois resulte em 500 mL.

- separou-se o volume de lodo necessário medindo-se através de uma proveta e transferindo-se para o becker de 1000 mL;
- separou-se o volume de solução de polímero necessário através de uma seringa;
- colocou-se o becker com o lodo no aparelho de jar test e posicionou-se as pás de modo a se localizar aproximadamente no meio da lâmina de lodo;
- ligou-se o aparelho de jar test e através do medidor de rotação fixou-se uma rotação de 250 rpm;
- injetou-se rapidamente o polímero da seringa no becker e acionou-se ao mesmo tempo o cronômetro, conforme ilustrado na figura 4.4;
- deixou-se misturando por 1 minuto.

Figura 4.4 – Injeção de polímero no lodo

4.3.4 Teste de resistência específica

A metodologia adotada para avaliar os polímeros quanto à drenagem do lodo condicionado foi o teste da resistência específica no funil de Buchner.

a) Materiais e equipamentos

Os principais equipamentos utilizados estão ilustrados na figura 4.5 e estão descritos a seguir:

1. beakers de vidro de 400 e 1000 mL;
2. cilindro volumétrico de 250 mL em vidro com gargalo;
3. adaptador de vidro com armação lateral;
4. adaptador de borracha para cilindro volumétrico com orifício para funil de Buchner;
5. funil de Buchner;
6. papel de filtro Whatman nº 40;
7. mangueira;
8. bomba de vácuo de ¼ HP;
9. medidor de vácuo (0 a 76 mm Hg);
10. válvulas de regulação de vácuo;
11. cronômetro;

Figura 4.5 – Principais equipamentos para resistência específica

b) Procedimentos

- retirou-se uma amostra de 100 mL de lodo e mediu-se os sólidos totais e fixos;
- condicionou-se o lodo com o polímero no aparelho de jar-test conforme descrito anteriormente;
- cobriu-se o funil de Buchner com o papel de filtro;
- fechou-se a válvula e ajustou-se o vácuo para 15 polegadas de Hg apertando-se a mangueira;
- coletou-se 250 mL de lodo condicionado num becker de 400 mL;
- adicionou-se 250 ml do lodo condicionado no funil de Buchner, conforme ilustrado na figura 4.6;
- soltou-se a mangueira e acionou-se o cronômetro;

- registrou-se o volume de filtrado no cilindro volumétrico, conforme ilustrado na figura 4.7 e o tempo até a interrupção do vácuo ou quando a taxa de coleta de filtrado caísse aproximadamente em 1 mL por minuto;
- secou-se uma amostra da torta formada em estufa a 103 °C para determinação do teor de sólidos final.

Figura 4.6 – Introdução do lodo condicionado no funil de Buchner

Figura 4.7 – Acompanhamento do filtrado recolhido no cilindro volumétrico

c) Expressão dos resultados

O cálculo da resistência específica foi determinado conforme descrito a seguir:

- para cada ensaio no funil de Buchner, montou-se uma tabela com os dados de tempo $= t$ (em segundos), volume $= V$ (em mL) e t/V (s/mL);
- correlacionou-se os dados plotando o gráfico de t/V por V ;
- traçou-se a reta média em seu trecho linear, desprezando-se os pontos finais e iniciais que não apresentassem comportamento linear. A inclinação da reta obtida foi denominada b , conforme ilustrado na figura 4.8;
- condições específicas do teste:
 - área do meio filtrante, $A = 3,318 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ (diâmetro igual a 6,5 cm);

- pressão de vácuo, $P = 50.800 \text{ N.m}^{-2}$ (15 polegadas de Hg);
- viscosidade do filtrado, $\mu = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ Pa.s}$, conforme VESILIND (1979);

- determinação de c

A massa de sólidos da torta seca por unidade de volume de filtrado, c , poderia ter sido determinada por 2 métodos:

1. medindo-se as concentrações de sólidos do lodo e da torta e usá-los na equação

$$c = \frac{CT \cdot CL}{100 (CT - CL)}$$

onde:

c = massa de sólidos da torta seca por unidade de volume de filtrado (g/mL) ou (g/cm³);

CL = concentração inicial de sólidos do lodo (%) ou (g/100 mL);

CT = concentração de sólidos da torta (%) ou (g/100 mL);

2. dividindo-se a massa de torta seca pelo volume final de filtrado

O volume final de filtrado será aquele em que estiver associado ao término do comportamento linear do gráfico t/V por V e não ao volume correspondente ao término do ensaio, que é quando ocorre a queda brusca de pressão devido ao fissuramento da torta ou quando a taxa de filtrado for menor que 1 mL por minuto, conforme ilustrado na figura 4.8. A dificuldade da adoção deste método é estabelecer quando realmente ocorre a mudança do comportamento linear para parabólico. Muitas vezes esta dificuldade não torna prático a adoção deste método.

A resistência específica é dada então por :

$$r = \frac{2 \cdot PA \cdot b}{m \cdot c}$$

Figura 4.8 - Gráfico de resistência específica

4.3.5 Teste do tempo de filtração

O teste do tempo de filtração é uma simplificação do teste de resistência específica, onde são tomados somente o tempo final de filtração e uma análise qualitativa do filtrado.

Uma variante deste ensaio é o teste de drenagem por gravidade, no qual não se aplica o vácuo no aparelho de teste. Este ensaio é muito prático para os fornecedores de polímeros, pois o equipamento necessário para a realização dos testes é portátil. O funil de filtração normalmente não requer um papel de suporte para filtração, sendo mais utilizado uma tela grosseira ou ainda uma tela com abertura de $200 \mu\text{m}$.

a) Materiais e equipamentos

1. beakers de vidro de 400 e 1000 mL;
2. cilindro volumétrico de 250 mL em vidro com gargalo;
3. adaptador de vidro com armação lateral;

4. adaptador de borracha para cilindro volumétrico com orifício para funil de Buchner;
5. funil de Buchner;
6. papel de filtro Whatman nº 40;
7. mangueira;
8. bomba de vácuo de ¼ HP;
9. medidor de vácuo (0 a 76 mm Hg);
10. válvulas de regulação de vácuo;
11. cronômetro;

b) Procedimentos

- retirou-se uma amostra de 100 mL de lodo e mediu-se os sólidos totais e fixos;
- condicionou-se o lodo com o polímero no aparelho de jar-test conforme descrito anteriormente;
- cobriu-se o funil de Buchner com o papel de filtro;
- fechou-se a válvula e ajustar o vácuo para 15 polegadas de Hg apertando-se a mangueira;
- coletou-se 250 mL de lodo condicionado num becker de 400 mL;
- adicionou-se 250 ml do lodo condicionado no funil de Buchner;
- soltou-se a mangueira e acionou-se o cronômetro;
- registrou-se o tempo de filtração.

4.4 Ensaio de desidratação de lodo com o tubo de filtragem

O ensaio de desidratação de lodo com o tubo de filtragem teve como objetivo verificar o melhor tecido de filtragem em condições de pressão similares às existentes no filtro prensa.

a) Materiais e equipamentos

- tubo de filtração (pressurizado) diâmetro interno de 5,6 cm e diâmetro externo de 6,5 cm;
- mangueira de ar comprimido (0-16 bar);
- manômetro (0-16 bar);
- válvula reguladora de pressão;
- tampa superior do tubo;
- anel de vedação;
- tampa inferior do tubo;
- meio filtrante com diâmetro da área efetiva igual a 7 cm e diâmetro da área total de 8 cm;
- suporte do meio filtrante com diâmetro da área perfurada igual a 6 cm e diâmetro da área total igual a 8 cm;
- recipiente de coleta do filtrado.

b) Procedimentos

- para a amostra de lodo determinou-se os sólidos totais;
- realizou-se a mistura de condicionamento de lodo com o polímero conforme visto anteriormente;
- encaixou-se o tecido de filtração testado no suporte;
- despejou-se o lodo condicionado na abertura da tampa superior;
- tampou-se a abertura superior;
- abriu-se lentamente a válvula reguladora de pressão;
- recolheu-se o filtrado e determinou-se os sólidos suspensos totais ;

- filtrou-se até a vazão de líquido se apresentar mínima ou quando a pressão de ar comprimido sofresse uma queda devido a uma passagem de ar mais intensa através dos poros e da fratura da torta;
- fechar a válvula reguladora de pressão;
- retirar uma amostra da torta formada e determinar o teor de sólidos totais.

4.5 Ensaio em escala piloto do filtro prensa diafragma

a) Generalidades

O equipamento piloto consistia de um filtro prensa do tipo membrana diafragma e com possibilidade de dosagem em linha de polímero. Este equipamento mostrava-se muito superior em termos tecnológicos quando comparado com o filtro prensa piloto do tipo câmara, formato 250 x 250 mm, disponível no Laboratório de Saneamento da Escola Politécnica da USP e que era a primeira opção de trabalho antes da disponibilidade do equipamento piloto. A primeira dificuldade em se utilizar o filtro de 250 x 250 mm foi adaptação de uma bomba de dosagem em linha e um misturador. Mesmo que fossem feitas estas modificações, previu-se que o lodo condicionado com polímero iria se sedimentar no tanque de pressão existente antes da entrada das câmaras de filtração. Este tanque de pressão normalmente existe somente nos equipamentos pequenos de filtro prensa, como o de formato de 250 x 250 mm. Já no equipamento piloto este tanque não existe, sendo feito a dosagem e mistura do polímero e imediatamente o preenchimento das câmaras do filtro prensa.

b) Descrição das unidades da instalação piloto

O filtro prensa membrana piloto foi cedido pela firma Netzsch, que estava montado em cima de uma estrutura móvel, conforme ilustrado na figura 4.10.

Figura 4.10 – Filtro prensa piloto

As unidades componentes estão descritas a seguir.

- reservatório para armazenagem de lodos com capacidade de 1000 L e com agitador do tipo lento (figura 4.11);
- 2 reservatórios para preparo da solução de estoque de polímero com capacidade de 180 L (figura 4.12);
- reservatório para preparo da solução de aplicação de polímero com capacidade de 500 L e com agitador de velocidade média (figuras 4.12 e 4.13);

- bomba Nemo modelo 3NU 06 ($0,25 \text{ m}^3/\text{h}$) para transferência do polímero do reservatório de estoque para a diluição no reservatório de aplicação;
- bomba Nemo mod. 2NE 15 ($0,03 - 0,5 \text{ m}^3/\text{h}$) para dosagem de polímero em linha;
- bomba Nemo mod. 6NE 15 ($0,1 - 16 \text{ m}^3/\text{h}$) para alimentação do filtro prensa;
- bomba Nemo mod. 4NE 15 ($0,1 - 1,0 \text{ m}^3/\text{h}$) para pressurização dos diafragmas;
- 2 transmissores de pressão eletrônicos com saída de sinal analógico e faixa de pressão de 0 a 15 bar;
- 2 medidores de vazão eletromagnéticos com saída de sinal analógico para determinar a vazão de lodo e polímero a ser dosado, permitindo desta forma a dosagem proporcional (figuras 4.14, 4.15 e 4.16);
- quadro de comando elétrico contendo todos os elementos de força, sinalizadores e régua de bones para os componentes. Inclui programador lógico, software e placa ilustrativa com fluxograma na porta do painel (figura 4.17);
- válvula de mistura em linha para a dispersão do polímero com o lodo;
- filtro prensa formato 800x800 mm com 10 câmaras, sistema de fechamento automático, abertura automática das placas do tipo diafragma (figuras 4.18, 4.19 e 4.20). Área total de filtração igual a $8,19 \text{ m}^2$ e volume total das câmaras igual 123 L.

Todos os componentes da unidade estavam montados e interligados através de tubulações e fiação elétrica do quadro de comando, permitindo uma operação automática. Tensão de trabalho de 220/380/440 V.

Figura 4.11 – Tanque reservatório de lodo de 1000 L com agitador

Figura 4.12 – Tanques de preparação de polímero: à direita tanque de solução de estoque e à esquerda tanque de solução de aplicação

Figura 4.13 – Tanque de aplicação de polímero

Figura 4.14 - Medidores de vazão eletromagnéticos

Figura 4.15 - Medidor de vazão de lodo

Figura 4.16 - Medidor de vazão de solução de aplicação de polímero

Figura 4.17 - Quadro de comando elétrico

Figura 4.18 – Pacote de placas do filtro prensa

Figura 4.19 – Lateral do filtro prensa utilizado

Figura 4.20 – Entrada de alimentação central de lodo condicionado

c) **Procedimentos**

- Encheu-se o tanque reservatório externo de 1000 L com lodo digerido;
- Recolheu-se uma amostra de lodo e levou-se para o laboratório para determinação do pH, sólidos totais, sólidos totais fixos e teor de sólidos totais por equipamento infra-vermelho;
- Determinou-se o teor de sólidos pelo equipamento de infra-vermelho;
- Se fosse feito o pré-condicionamento com FeCl_3 , selecionaria-se uma dosagem de mistura em termos de sólidos e determinaria-se o volume de FeCl_3 adicionado sobre o volume de lodo. Como hipóteses de cálculo adotaria-se o teor de sólidos totais obtido do equipamento infra-vermelho e caso houvesse aplicação de solução de FeCl_3 , as características deste produto eram solução a 40% e densidade igual a 1,428 kg/L;
- Acionou-se a bomba de transporte de lodo para transferir do tanque reservatório para o tanque de lodo da unidade piloto. Caso houvesse pré-condicionamento com FeCl_3 acionaria-se também a bomba dosadora de FeCl_3 de modo que houvesse uma mistura prévia na própria tubulação com o misturador estático em linha, controlando-se sempre os volumes adicionados para que resultasse na dosagem pré-estabelecida. Após a transferência de todo o lodo, ligou-se o misturador para possibilitar o pré-condicionamento com FeCl_3 e também para houvesse uma completa homogeneização;
- Estabeleceu-se uma faixa provável de dosagem de polímero e da concentração da solução de aplicação de modo que a vazão da bomba de lodo e a vazão da bomba de polímero trabalhassem próximo de suas máximas capacidades. A concentração da

solução de aplicação de polímero também teve que atender as especificações do fornecedor.

- Pesou-se a quantia desejada de polímero e dilui-se lentamente no tanque de preparo de polímero previamente cheio de água com o misturador ligado. Após adicionar todo o polímero, misturar de modo a abrir completamente a cadeia do polímero;
- Transferir a solução de polímero do tanque de preparação para o tanque de diluição. Completar o volume do tanque de diluição com água e deixar o misturador acionado até a completa dissolução do polímero conforme recomendação do fornecedor;
- Desviar o fluxo de entrada do filtro prensa para a mangueira externa e estabelecer as vazões máximas de operação da bomba de lodo e de polímero de modo a se obter uma proporcionalidade entre as duas bombas de modo a resultar numa dosagem pré-estabelecida de polímero. Corrigir esta proporcionalidade tomando-se uma amostra da mangueira externa e verificando a floculação do lodo condicionado através do controle do tamanho dos flocos formados;
- Estabelecer a pressão final de alimentação do lodo na painel de controle;
- Estabelecer as condições de pressurização escalonada para alimentação do lodo no painel de controle: pressão de início de escalonamento, intervalo de tempo de subida de pressão, intervalo de subida de pressão;
- Acionar a bomba de alimentação de lodo e de polímero para início do ciclo do filtro prensa;
- Tomar amostras de filtrado ao longo do ciclo em intervalos de 15 minutos;
- Verificar ao longo do ciclo a formação dos flocos através do visor de vidro localizado antes da entrada do pacote de placas;

- Interromper a alimentação de lodo quando: a taxa total de filtração atingir uma faixa de 15-20 L/m² h ou quando as bombas não mais obedecerem uma proporcionalidade de vazão devido a uma limitação operacional de faixa de trabalho mínimo;
- Acionar a pressurização das membranas ligando as bombas de alimentação até 15 bar, recolhendo o volume de filtrado;
- Interromper a pressurização quando a vazão recolhida de filtrado for insignificante ou após estabelecido um tempo mínimo de 20 minutos;
- Abrir o pacote de placas uma a uma automaticamente e verificar o desprendimento das tortas de lodo dos elementos filtrantes;
- Recolher amostras da torta de lodo, tanto das bordas como na parte mais central da placa;
- Levar as amostras de filtrado e torta de lodo para o laboratório. Determinar a densidade da torta e iniciar a análise do teor de sólidos da torta. Para o filtrado realizar as análise de pH, sólidos totais e sólidos suspensos totais. Com os dados das análises do lodo de entrada, calcular a captura de sólidos, que é dada por:

$$\text{Captura, \%} = 100 \times \frac{\left(\frac{\text{Sólidos Totais da Torta}}{\text{Sólidos Totais do Lodo Digerido}} \right) \left(\frac{\text{Sólidos Totais do Lodo Digerido} - \text{Sólidos Suspensos Totais do Filtrado}}{\text{Sólidos Totais da Torta} - \text{Sólidos Suspensos Totais do Filtrado}} \right)}{\left(\frac{\text{Sólidos Totais do Lodo Digerido}}{\text{Sólidos Totais da Torta}} \right) \left(\frac{\text{Sólidos Totais da Torta} - \text{Sólidos Suspensos Totais do Filtrado}}{\text{Sólidos Totais do Filtrado}} \right)}$$

5 Apresentação dos resultados

5.1 Ensaio de caracterização reológica do lodo

Os ensaios de caracterização reológica do lodo foram conduzidos no laboratório da engenharia química da Escola Politécnica da USP. As amostras de lodo foram transportadas da ETE Barueri para esse laboratório para a condução do ensaios.

Esta caracterização reológica do lodo foi feita no aparelho denominado reômetro, que fez o levantamento das curvas de escoamento das amostras de lodo digerido. Neste aparelho para cada gradiente de velocidade – dv/dy proporcionado à amostra de lodo digerido obteve-se uma tensão de cisalhamento - τ correspondente.

Os resultados obtidos estão dispostos no Anexo A. Na tabela A.1 do Anexo A estão apresentados os valores obtidos de dv/dy e τ que permitiram que fossem montadas as curvas de escoamento das amostras de lodo.

Através da observação do comportamento da curva de escoamento e posterior linearização dos dados obtidos, obteve-se a equação do comportamento reológico do lodo que apresenta a correlação entre a viscosidade aparente - μ_{ap} e o gradiente de velocidade – dv/dy .

A equação resultante foi:

$$\mu_{ap} = 0,897 \frac{dv}{dy}^{0,510-1} = 0,897 \frac{dv}{dy}^{-0,490}$$

Cujas unidades são:

- μ_{ap} : g/cm.s
- K : g/cm.s²⁻ⁿ = g/cm.s^{2-0,510} = g/cm.s^{-0,490}
- dv/dy : s⁻¹

5.2 Ensaios de resistência específica

Para os ensaios de resistência específica foram montadas tabelas com os dados de tempo de filtração e o volume filtrado e seus respectivos gráficos. Para os trechos lineares dos gráficos montados, traçaram-se as retas médias e obtiveram-se os parâmetros de coeficiente de correlação linear e inclinação da reta média – b.

Através dos dados obtidos do ensaio de inclinação da reta média, do teor de sólidos do lodo e da torta calculou-se a resistência específica, conforme descrito no capítulo 4.3.4.

Com os valores de resistência específica obtidos e as respectivas dosagens de polímero correspondentes montaram-se os gráficos correlacionando estes dois valores. Com isto foi possível verificar as dosagens ótimas de polímero.

A Tabela 5.2 contém o resumo dos ensaios de resistência específica e está apresentada a seguir.

Tabela 5.2 – Resumo dos resultados dos ensaios de resistência específica

Ensaio	Polímero			Lodo		Resistência	Tempo de Filtração para 100 mL (s)
	Fabricante	Modelo	Dosagem Ótima (%)	ST (mg/L)	SF (mg/L)	Específica (cm/g)	
B.1	Stockhausen/ Gamus	PL-34	0,71%	31.272	12.640	1,18E+09	57
B.2	Cytec	Excel 5000	1,47%	22.534	8.876	3,40E+08	13
B.3	Cytec	1591C	1,60%	22.944	8.814	6,73E+10	290
B.4	Stockhausen/ Gamus	PL-34	0,77%	22.674	8.938	1,69E+09	17
B.5	Cytec	Excel 5000	1,46%	22.674	8.938	2,56E+08	16
B.6	Cytec	7128	1,13%	23.020	8.590	3,11E+09	61
B.7	Cytec	SD 2081	1,46%	23.020	8.590	6,63E+10	172
B.8	Stockhausen/ Gamus	PL-56	1,04%	21.418	8.528	8,41E+08	16
B.9	Stockhausen/ Gamus	C 498	1,04%	21.418	8.528	1,67E+09	21
B.10	Stockhausen/ Gamus	PL-46	0,55%	23.158	8.792	1,44E+09	15
B.11	Nalco	9909	0,35%	23.768	9.624	1,99E+09	22
B.12	Cytec	Excel 5000	1,01%	23.768	9.624	3,52E+09	14

5.3 Ensaios do tempo de filtração

Nos testes do tempo de filtração procurou-se um número maior de fornecedores de polímeros, buscando-se com isso uma diversidade maior de produtos e também de experiências técnicas no ramo. Os outros fabricantes de polímeros escolhidos para os testes foram a Allied Colloids e a SNF – Floerger. Nestes testes do tempo de filtração trabalhou-se também diretamente com o fabricante de produtos da Stockhausen, pois nos testes de resistência específica trabalhou-se com a firma Gamus que era um distribuidor e possuía uma variedade menor de produtos.

A Tabela 5.3 contendo o resumo dos resultados dos ensaios do tempo de filtração está apresentada a seguir. Estes ensaios foram feitos com a mesma amostra de lodo.

Tabela 5.3 – Resumo dos resultados dos ensaios do tempo de filtração

Fabricante	Polímero			Tempo de Filtração para 100 mL (s)
	Modelo	Concentração Ótima (%)	Concentração Ótima (mg/L)	
Allied	Percol 764	0,40%	100	8
Allied	Percol 755	0,40%	100	5
Allied	Zetag 63	0,49%	120	5,5
Allied	Zetag 89	0,49%	120	6
Floerger	9044	0,40%	100	7
Floerger	9014	0,40%	120	9,5
Floerger	9032	0,49%	120	6,5

Tabela 5.3 – Resumo dos resultados dos ensaios do tempo de filtração
(continuação)

Fabricante	Polímero			Tempo de Filtração para 100 mL (s)
	Modelo	Concentração Ótima (%)	Concentração Ótima (mg/L)	
Stockhausen	Praestol 655	0,40%	100	7
Stockhausen	Praestol 644	0,40%	100	6,5
Stockhausen	Praestol 690	0,49%	120	12
Stockhausen	Praestol 630	0,40%	100	8
Stockhausen	K444L	0,26%	200	7
Cytec	Excel 5000	0,35%	350	9

5.4 Ensaios com tubo de filtragem

Os ensaios com tubo de filtragem foram feitos para a indicação das melhores telas de filtração com lodo digerido e polímero. Escolheu-se o polímero Cytec/Excel 5000 com uma dosagem de 600 mg/L ou 5,51 kg/ton em termos de sólidos secos, pois este polímero apresentou os melhores resultados em termos de resistência específica.

As amostras de telas testadas foram fornecidas pela Netzsch e possuíam as características apresentadas conforme a tabela 5.4.1.

Tabela 5.4.1 Características de telas utilizadas nos ensaios com tubo de filtragem

Código	Material	Tipo de fio	Acabamento	Peso (g/m³)	Espessura (mm)	Permea- bilidade* m³/m²/min
252	poli- propileno	Mono- filamento	Calandrado	240	0,5	8 - 13
259	poli- propileno	Mono- filamento	Calandrado	300	0,4	0,6 - 1,6
269	poli- propileno	Feltro agulhado	Vitrificado	450	1,0	1,2 - 1,9
268	poli- propileno	Mono- filamento	Cetim	262	0,5	25 - 37
270	poli- propileno	fibra comum	Vitrificado	450	1,3	9 – 12
355	poli- propileno	Mono- filamento	Rips	280	0,4	6

* permeabilidade a ½ polegada de coluna de água

Tabela 5.4.2 Resumo dos resultados dos ensaios com tubo de filtragem

Teste	Tela	Torta	Filtrado		
		Teor de Sólidos	ST (mg/L)	SST (mg/L)	Captura de Sólidos
1	269	15%	1040	64	99,8%
2	259	16%	520	76	99,8%
3	252	18%	536	76	99,8%
4	270	18%	540	80	99,8%
5	268	17%	495	120	99,6%
6	355	17%	488	80	99,8%

5.5 Ensaios utilizando filtro prensa piloto

A execução dos ensaios utilizando o filtro prensa piloto deu-se em duas etapas. Na primeira etapa os ensaios serviram basicamente para o ajuste e calibração do equipamento piloto. Na segunda etapa, foram feitos os ensaios com os polímeros escolhidos nos ensaios de resistência específica e tempo de filtração. Além dos polímeros com melhor desempenho, foram feitos ensaios com outros polímeros de modo a verificar as diferenças entre as escalas piloto e laboratorial.

Os resultados da primeira etapa estão apresentados a seguir na tabela 5.5.1. Como se tratou apenas de ensaios preliminares de ajuste e calibração do equipamento, os dados estão apresentados de forma resumida.

Os resultados individualizados da segunda etapa encontram-se no Anexo E. A Tabela 5.5.2 apresentada a seguir contém o resumo dos resultados dos ensaios utilizando o filtro prensa piloto.

Tabela 5.5.1 –Ensaio do filtro prensa piloto para ajuste e calibração do equipamento

Teste	Características do Lodo				FeCl ₃ (%)	Características do polímero					filtrado captura (%)	torta			tempo de filtração (min)
	pH	ST (mg/L)	SF (mg/L)	SF/ST (%)		marca	tipo	conc. de aplicação (%)	conc. da mistura (mg/L)	conc. da mistura (kg/ton)		teor de sólidos (%)	densidade (kg/L)	despren- dimento da tela	
1	-	30.562	13.242	43%	2,6%	Cytec	Excel 5000	0,5%	734	6,25	99,8%	25%	1,08	bom	150
2	-	33.212	14.936	45%	2,4%	Cytec	Excel 5000	0,4%	637	4,99	99,7%	26%	1,12	bom	160
3	-	16.134	12.226	76%	4,4%	Stockhausen	PL34	0,15%	144	8,93	99,4%	30%	1,27	bom	155
4	-	24.086	17.084	71%	2,8%	Cytec	Excel 5000	0,4%	446	4,82	99,6%	30%	1,30	bom	210
5	-	20.646	11.396	55%	6,8%	Stockhausen	PL34	0,15%	138	6,69	99,5%	32%	-	bom	180

Tabela 5.5.2 – Resumo dos ensaios do filtro prensa piloto

Teste	Características do Lodo				FeCl ₃ (%)	Características do polímero					filtrado captura (%)	torta			tempo de filtração (min)
	pH	ST (mg/L)	SF (mg/L)	SF/ST (%)		marca	tipo	conc. de aplicação (%)	conc. da mistura (mg/L)	conc. da mistura (kg/ton)		teor de sólidos (%)	densidade (kg/L)	despren- dimento da tela	
E.1	-	34.238	18.248	53%	5,5%	Cytec	Excel 5000	0,5%	704	5,35	-	37%	-	bom	130
E.2	-	33.206	18.632	56%	-	Cytec	Excel 5000	0,5%	700	5,48	-	32%	-	bom	110
E.3	-	27.046	15.320	57%	6,3%	Cytec	Excel 5000	0,5%	699	6,73	-	35%	-	bom	140
E.4	-	26.864	14.864	55%	6,4%	Floerger	9014	0,1%	116	4,32	99,2%	32%	1,08	bom	135
E.5	6,8	23.378	12.960	55%	-	Floerger	9014	0,1%	107	4,58	99,2%	29%	1,08	regular	140
E.6	-	23.186	12.822	55%	-	Stockhausen	655	0,1%	152	6,57	99,6%	29%	1,10	regular	120
E.7	-	38.852	21.438	55%	4,4%	Stockhausen	655	0,1%	161	4,13	98,7%	32%	1,10	bom	130
E.8	-	25.502	13.840	54%	6,3%	Stockhausen	655	0,1%	153	6,06	98,2%	35%	1,12	bom	115
E.9	-	16.062	4.224	26%	8,9%	Allied	755	0,05%	75	4,67	90,2%	31%	1,16	bom	130
E.10	7,4	22.986	12.462	54%	7,5%	Stockhausen	K144L	0,5%	639	9,46	99,4%	31%	1,12	bom	110
E.11	6,9	26.332	15.130	57%	5,4%	Cytec	Excel 5000	0,5%	588	5,81	99,2%	31%	1,13	bom	100

Tabela 5.5.2 – Resumo dos ensaios do filtro prensa piloto (continuação)

Teste	Características do Lodo				FeCl ₃ (%)	Características do polímero					filtrado captura (%)	torta			tempo de filtração (min)
	pH	ST (mg/L)	STF (mg/L)	SF/ST (%)		marca	tipo	conc. de aplicação (%)	conc. da mistura (mg/L)	conc. da mistura (kg/ton)		teor de sólidos (%)	densidade (kg/L)	despren- dimento da tela	
E.12	6,8	24.934	14.482	58%	-	Cytec	Excel 5000	0,5%	644	6,72	99,9%	26%	1,09	regular	100
E.13	6,8	28.306	15.378	54%	6,7%	Cytec	Excel 5040	0,5%	683	7,97	99,1%	32%	1,13	bom	115
E.14	6,9	26.198	14.630	56%	-	Cytec	Excel 5040	0,5%	484	6,10	99,7%	29%	1,03	regular	115
E.15	6,9	31.748	17.680	56%	5,4%	Cytec	Excel 5000	0,5%	663	5,44	82,6%	31%	1,11	bom	120
E.16	7,3	27.388	19.640	72%	5,2%	Allied	755	0,15%	126	4,60	95,3%	31%	1,14	bom	150
E.17	7,4	27.092	18.848	70%	5,3%	Allied	764	0,10%	108	3,98	99,4%	29%	1,11	bom	150
E.18	7,5	30.844	22.152	72%	6,1%	Floerger	9044	0,10%	164	5,33	99,4%	29%	1,15	bom	130
E.19	7,4	30.856	16.840	55%	6,5%	Stockhausen	644	0,10%	159	5,17	99,3%	30%	1,13	bom	125
E.20	7,4	27.444	12.564	46%	7,3%	Stockhausen	644	0,10%	148	5,41	99,3%	29%	1,14	bom	120
E.21	7,4	29.560	17.960	61%	6,8%	Stockhausen	644	0,10%	138	4,67	99,5%	30%	1,17	bom	120
E.22	7,5	32.124	20.740	65%	-	Stockhausen	644	0,10%	161	5,00	99,8%	31%	1,05	regular	105

Como parte da apresentação dos resultados está apresentado a seguir um registro fotográfico de um ensaio para ilustrar melhor as experiências realizadas no filtro prensa piloto.

Figura 5.5.1 – Canaleta coletando o filtrado da desidratação

Figura 5.5.2 – Abertura das placas do filtro prensa

Figura 5.5.3 – Placas do filtro prensa abertas

Figura 5.5.4 – Torta de lodo formada na câmara do filtro prensa

Figura 5.5.5 – Carrinho de coleta de torta de lodo

Figura 5.5.6 – Detalhe da torta de lodo

6 Discussão dos resultados

6.1 Caracterização reológica do lodo

Os ensaios de caracterização reológica limitaram-se a amostras recolhidas num mesmo dia, não sendo realizadas campanhas de coletas mais extensas. Não havia a disponibilidade de utilização para campanhas prolongadas de testes no reômetro.

Através da observação dos formatos das curvas apresentadas na figura A.1 do Anexo A verificou-se que o comportamento do lodo digerido foi pseudoplástico. Após a linearização dos dados obtidos obteve-se coeficientes de regressão linear em torno de 0,98, sustentando a hipótese de que o lodo teve comportamento pseudoplástico.

Esta constatação difere da encontrada por BABBIT; CALDWELL (1939) apud CARTHEW et al. (1983) que relataram que o lodo apresenta um comportamento de plástico de Bingham. A contra-prova só poderia ser feita caso houvesse uma campanha mais prolongada para realmente questionar a validade desta caracterização.

No entanto, quer seja pseudoplástico, quer seja plástico de Bingham, o fato do lodo ser não-newtoniano implica certas considerações na quantificação da energia de mistura, apresentadas a seguir.

Boa parte das equações existentes de mistura para condicionamento de lodos baseiam-se no estudo de floculação no tratamento de água feito por CAMP (1953). Neste estudo a equação que determina a mistura é mostrada a seguir:

$$G = \sqrt{\frac{W}{\mu}}$$

Equação (6.1)

Onde G é o gradiente médio de velocidade, W é a potência aplicada dividida pelo volume na câmara e μ é a viscosidade absoluta do fluido.

Outro estudo que influenciou nas equações de mistura para condicionamento de lodos foi feito por LETTERMAN et al. (1973). Este estudo também foi desenvolvido para a floculação no tratamento de água e trouxe como contribuição o desenvolvimento de uma equação para a determinação do gradiente de velocidade numa câmara com dimensões conhecidas agitadas por diferentes tipos de misturadores com configurações pré-estabelecidas. A equação resultante deste estudo está apresentada a seguir:

$$G = \sqrt{\frac{2\rho g N T}{60 V \nu}}$$

Equação (6.2)

Onde:

N é a velocidade angular de rotação da pá (s^{-1})

T é o torque imposto ao sistema (Kg m)

g é a aceleração da gravidade (m/s^2)

V é o volume de fluido (m^3)

ν é a viscosidade cinemática (m^2/s)

ρ é a densidade da água (kg/m^3)

Em outro estudo feito por WERLE; NOVAK (1984) procurou-se quantificar a energia de mistura através da multiplicação do gradiente de velocidade – G pelo tempo de mistura – t , Gt . O gradiente de velocidade G foi calculado conforme a equação proposta por LETTERMAN et al. (1973). Ou seja, o lodo não foi considerado como um fluido não newtoniano, ou seja, a viscosidade foi considerada constante.

Este estudo acabou influenciando outras pesquisas, carregando assim os seus erros conceituais, com relação à intensidade de mistura - Gt . Pode-se citar os trabalhos desenvolvidos por NOVAK; PRENDEVILLE (1988) e LYNCH; NOVAK (1991). Esta

última referência citada investigou o efeito da mistura no condicionamento de lodo com polímero para desidratação em filtro prensa.

Para a correta quantificação da energia de mistura deveria ser levado em conta o comportamento reológico do lodo. No entanto a viscosidade aparente do lodo varia conforme a tensão de cisalhamento imposta na mistura. Ou seja, para cada valor de tensão de cisalhamento aplicada tem-se uma viscosidade aparente correspondente. Desta forma a primeira etapa seria a quantificação da tensão de cisalhamento e em seguida a determinação da viscosidade aparente e finalmente o gradiente de mistura. Cria-se assim um outro problema que é a quantificação da tensão de cisalhamento.

Na engenharia química, o cálculo da potência de mistura transferida a um fluido é feita através de ábacos para diferentes impelidores e em um recipiente com dimensões conhecidas. Os ábacos mais conhecidos são os de RUSHTON, conforme BADINO JÚNIOR (1991).

Já no trabalho de WANG (1996) foi feito o desenvolvimento da quantificação da energia de mistura no ensaio de jar-test levando em conta as características reológicas do lodo de estações de tratamento de água. Nesse trabalho foi verificado que a viscosidade do lodo varia com o teor de sólidos e o gradiente médio de velocidades.

Para que fossem feitas as quantificações dos gradientes médios de velocidade, haveria a necessidade de se medir a viscosidade do lodo em cada ensaio de resistência específica, o que não foi possível devido a limitação de disponibilidade do uso do reômetro.

No estudo desenvolvido por WANG (1996) o cálculo da intensidade de mistura foi desenvolvido antes da introdução do polímero no lodo. Ou seja, a rigor a correta quantificação da energia de mistura deveria levar em conta a introdução do polímero no lodo, bem como as consequências da floculação que se ocorrem até o término da mistura. Estas considerações tornam extremamente difícil a correta quantificação da

energia de mistura, pois o lodo condicionado resulta em diferentes frações, a saber: lodo floculado, água separada e uma eventual solução de polímero em excesso, solução essa com um comportamento reológico específico.

Devido as dificuldades relatadas não mais se procurou quantificar a energia de mistura no jar-test para os ensaios de resistência específica, resultando somente numa caracterização reológica do lodo digerido.

6.2 Resistência específica

Nos ensaios de resistência específica foram montados os gráficos de v (cm^3) por t/v (s/cm^3) e traçadas as retas médias nos trechos lineares para a obtenção da inclinação da reta, correspondente ao valor de b . No início dos ensaios iniciais foi escolhido o papel de filtro Whatman no. 40 para a realização dos testes de resistência específica. Conforme WANG (1996) a seleção do papel de filtro para filtração de lodo deve basear-se não somente na linearidade do trecho reto da curva t/V versus V , como também na velocidade de filtração e na eficiência de retenção de partícula. Como estas condições foram atendidas nos ensaios iniciais trabalhou-se com este papel em todos os ensaios.

No entanto dos 67 testes de resistência específica realizados 14 (em torno de 20%) não apresentaram coeficientes de correlação próximos de 1 no trecho reto da curva t/V versus V . Os gráficos que não apresentaram coeficientes de correlação próximos de 1 foram os das seguintes figuras: B.2.4.2, B.2.5.2, B.5.3.2, B.5.4.2, B.5.5.2, B.5.6.2, B.8.3.2, B.8.4.2, B.8.5.2, B.9.5.2, B.10.4.2, B.10.5.2 e B.10.6.2, que estão apresentadas no Anexo B.

Estes casos ocorreram na maior parte dos casos para os polímeros que apresentavam tempos de filtração bem curtos (tempo de filtração menores que 25 s para 100 mL de

filtrado), o que dificultou a leitura e precisão dos dados obtidos. Já nos testes no. 9.5 e 10.5 uma hipótese para explicar a não linearidade foi o fato desses testes estarem trabalhando em condições de superdosagem, o que favoreceu a colmatação do papel de filtro.

Foram feitas observações com relação aspecto visual do condicionamento de lodo com polímeros.

A primeira observação foi que a boa separação visual do lodo floculado e do sobrenadante não implicou em baixa resistência específica. Alguns polímeros testados previamente apresentaram uma boa separação visual dos flocos condicionado, no entanto simplesmente não filtraram. Ou seja, sequer foi possível quantificar a resistência específica pois não houve filtração.

A segunda observação visual deteve-se na constatação de diferentes formas e tamanhos dos flocos formados através do condicionamento. Esta característica visual implicava em desempenhos diferentes no teste de resistência específica, sendo que normalmente em situações onde se apresentavam flocos grandes a tendência era uma resistência específica mais alta e para flocos pequenos e mais compactos apresentavam uma menor resistência específica.

Uma das recomendações feitas pelos fornecedores de polímeros durante os testes realizados era justamente com relação ao tamanho dos flocos formados através do condicionamento do lodo com polímeros e que estes flocos deveriam ser pequenos para filtro prensa. No estudo desenvolvido por CAMPBELL et al. (1996) a otimização da mistura de polímero com lodo resultou em flocos pequenos para filtro prensa de esteira. Antes da otimização desenvolvida nesse trabalho, os operadores de responsáveis pelo condicionamento do lodo com polímero para desidratação no filtro prensa de esteira julgavam que os flocos formados deveriam ter tamanho parecido com um grão de

pipoca, mas após esse trabalho verificou-se que o tamanho e formato ideal dos flocos formados deveriam ser parecidos com um grão de arroz.¹. Essas recomendações também foram feitas pelos técnicos da Netzsch da Alemanha, que apesar de não ser uma linguagem científica é perfeitamente compreensível e prática para os operadores de ETEs.

Caso o condicionamento fosse feito para centrífugas, os fornecedores de polímeros recomendam que os flocos formados sejam maiores que o grão de arroz. Uma hipótese para explicar esta recomendação é o fato da centrífuga impor um cisalhamento muito grande no lodo condicionado, ocorrendo então a quebra dos flocos formados. Ou seja, haveria uma mistura adicional do lodo com polímero no momento em que entrassem na centrífuga, reduzindo o tamanho dos flocos grandes formados para próximo da condição ideal.

Estas características visuais não foram sistematicamente anotadas nas planilhas de resultados dos testes, sendo somente de caráter qualitativo.

Verificou-se através dos ensaios de resistência específica que o condicionamento com polímero trabalha com dosagens significativamente menores em termos de sólidos totais quando comparados com o condicionamento inorgânico. Os valores obtidos para as dosagens ótimas em termos de sólidos totais situaram-se numa faixa de 0,35 a 1,60%. As faixas de dosagens também são extremamente estreitas, sendo que pequenos aumentos de dosagem produzem efeitos extremamente significativos para o condicionamento e a desidratação. O polímero Cytec/Excel 5000 apresentou uma característica favorável para condicionamento, pois dosagens acima da ótima não trouxeram efeitos negativos significativos na filtração do lodo, somente um gasto

¹ CAMPBELL, H.W. Comunicação pessoal, 1997.

desnecessário de produtos químicos. Esta verificação foi feita, na maior parte dos casos, observando-se os gráficos de dosagem versus resistência específica das figuras B.2 e B.5 do Anexo B, que não apresentaram uma curva parabólica bem distinta como para os outros polímeros.

Da Tabela 5.2 pode-se observar os seguintes fatos mais específicos:

- Um estudo comparativo ideal entre todos os polímeros testados deveria ter sido com a mesma amostra de lodo, pois para cada amostra há uma certa diferença de conteúdo que afeta o desempenho do condicionamento. Como o teste de resistência toma um tempo muito longo, só foi possível realizar no máximo dois ensaios por dia. Ou seja, para a mesma amostra de lodo só foi possível realizar testes com dois tipos de polímeros. Em alguns casos, não foi possível realizar mais que um ensaio por dia, ou seja, para uma amostra de lodo só foi possível testar um polímero.
- As características do lodo sofreram poucas alterações em termos de sólidos totais e totais de fixos. Tendo em consideração este fato, pôde-se fazer uma comparação entre os ensaios, apesar do lodo não ser efetivamente o mesmo. Somente no ensaio B.1, que avaliou o polímero PL-34, o lodo apresentou uma concentração de sólidos totais igual a 31.272 mg/L, ou seja, superior aos demais ensaios, que apresentaram uma concentração de sólidos totais em torno de 22.000 mg/L. Entre os ensaios realizados, o polímero Cytec/Excel 5000 apresentou os valores mais baixos de resistência específica, sendo um dos escolhidos para a realização dos ensaios em escala piloto. Nos ensaios B.2 e B.5 os valores de resistência específica obtidos foram respectivamente de $3,40 \times 10^8$ e $2,56 \times 10^8$ cm/g. Somente no ensaio B.12 o valor foi bem mais alto, sendo a resistência específica igual a $1,74 \times 10^9$ cm/g. Na comparação entre os polímeros Cytec/Excel 5000 e Nalco/9909, que utilizou a mesma amostra de lodo, apesar da dosagem ótima do polímero Nalco/9909 ter

resultado num valor mais baixo de resistência específica do lodo condicionado, o seu comportamento foi instável conforme foi observado no gráfico da figura B.11 do Anexo B. Por ter apresentado um comportamento anômalo, o polímero Nalco/9909 foi descartado para a realização do ensaio em escala piloto.

- Montou-se uma coluna com o tempo de filtração para o volume de filtrado igual a 100 mL. Observou-se que os tempos de filtração proporcionados pelo polímero Cytec/Excel 5000 nos ensaios B.2, B.5 e B.12 eram bem curtos e apresentaram os valores respectivos de 13, 16 e 14 segundos. Desta forma tanto os valores de resistência específica como de tempo de filtração apresentaram os valores mais baixos para o condicionamento de lodo com o polímero Cytec/Excel 5000.
- Constatou-se que foi mais conveniente a adoção do teste do tempo de filtração que o de resistência específica. No teste do tempo de filtração, que será considerado a seguir, não existe a necessidade de se medir nem o teor de sólidos do lodo a ser condicionado nem da torta resultante. Uma outra vantagem seria com relação à interrupção do teste. No teste de resistência específica a interrupção se dá quando a vazão de filtração fica menor que 1 mL por minuto, o que pode levar num tempo total de ensaio muito longo. Já o teste do tempo de filtração pode ser interrompido após se atingir o volume de 100 mL de filtrado.
- Foram testados somente os polímeros catiônicos com peso molecular superior a 10^6 . No entanto esta é uma condição necessária porém não suficiente para um condicionamento eficaz, pois alguns destes polímeros testados apresentaram desempenhos insatisfatórios.

6.3 Teste do tempo de filtração

Em função dos resultados obtidos dos ensaios de resistência específica, verificou-se que o tempo de filtração também proporcionava uma indicação do melhor polímero para condicionamento e era de execução bem mais simplificada.

Portanto optou-se por adotar este ensaio para a seleção de novos polímeros adequados para o condicionamento de lodo digerido. Com isso pode-se estender para um número maior de amostras de polímeros e como também de fabricantes.

Os ensaios apresentados foram feitos para um lote de amostra de lodo digerido, ou seja, com as mesmas características físico-químicas.

Optou-se por escolher os polímeros mais adequados para condicionamento de lodo indicados pelo fabricante. Também foi feito um ensaio com o polímero que apresentou a menor resistência específica para efeito comparativo.

No ensaio C.1 foram avaliados os polímeros da marca Allied. Observou-se através do gráfico de dosagem versus tempo de filtração da Figura C.1 do Anexo C que o polímero Zetag 89 apresentou um incremento grande no tempo de filtração indo de 6 para 158 segundos quando se aumentou a dosagem de 120 para 140 mg/L. Desta forma apesar de ter apresentado um tempo de filtração baixo de 6 segundos para dosagem ótima de polímero, seu comportamento não foi desejável por exibir uma faixa muito estreita de dosagem de trabalho. O melhor polímero deste ensaio foi o Percol 755 por ter apresentado o menor tempo de filtração, igual a 5 segundos e numa dosagem igualmente baixa de 100 mg/L (ou 0,40% em sólidos totais).

No ensaio C.2 foram avaliados os polímeros da marca Stockhausen. No ensaio C.2 o polímero escolhido foi o Praestol 644, que apresentou o menor tempo de filtração igual a 6,5 segundos na menor dosagem igual a 100 mg/L (ou 0,40% em sólidos totais).

No ensaio C.3 foram avaliados os polímeros da marca Floerger. No ensaio C.3 o polímero escolhido foi o 9044, que apresentou tempo de filtração igual a 7 segundos na menor dosagem igual a 100 mg/L (ou 0,40% em sólidos totais). O polímero 9032 apresentou um tempo de filtração ligeiramente inferior de 6,5 segundos, no entanto apresentou uma dosagem superior de 120 mg/L (ou 0,49% em sólidos totais).

Já o ensaio C.4 apenas procurou confrontar o polímero Excel 5000 escolhido no teste de resistência específica com um outro similar de outro fornecedor, apresentando inclusive a mesma forma física (em emulsão). Pelo ensaio verificou-se a necessidade de incluir o polímero K444L nos testes em escala piloto, por apresentar um baixo tempo de filtração igual a 7 segundos na dosagem ótima de 20 mg/L (ou 0,26% em sólidos totais).

Os tempos de filtração obtidos na dosagens ótimas, com valores de até 5 segundos, foram bem menores que os obtidos anteriormente nos ensaios de resistência específica, quando o mínimo obtido foi de 13 segundos. Uma hipótese para explicar este acontecimento foi o fato de se utilizar nestes ensaios do tempo de filtração soluções com dosagens mais diluídas de polímero, fazendo com houvesse melhores condições de se dispersar o polímero no lodo, tanto para a solução de aplicação de polímero em emulsão como pó. Nos ensaios do tempo de filtração, foram utilizadas soluções de aplicação com dosagens de 1.000 mg/L (ou 0,1%) para os polímeros em pó e dosagens de 5.000 mg/L (ou 0,5%) para os polímeros em emulsão. Enquanto que nos ensaios de resistência específica as soluções de aplicação possuíam dosagens de 2000 mg/L (ou 0,2%) para os polímeros em pó e dosagens de 10.000 mg/L (ou 1,0%) para os polímeros em emulsão. Outro fato que sustenta esta hipótese é a observação dos valores do tempo de filtração da tabela 5.2 dos ensaios de resistência específica. O polímero Excel 5000 apresentou tempos de filtração para a dosagem ótima entre 13 a 16 segundos, com concentração da solução de aplicação igual a 10.000 mg/L (ou 1,0%). Já no ensaio C.4 o tempo de

filtração para a dosagem ótima foi de 9 segundos, para concentração da solução de aplicação igual a 5.000 mg/L (ou 0,5%). Ou seja, houve uma melhora significativa no tempo de filtração com uma solução de aplicação de polímero mais diluída.

Estes mesmos dados mostraram que a concentração da solução de polímero influenciou na mistura do condicionamento do jar-test e consequentemente na filtrabilidade do lodo. Uma outra alternativa para melhorar a dispersão do polímero no lodo seria a alteração das condições externas de mistura, ou seja, alterando-se a rotação de mistura e o tempo de agitação.

6.4 Tubo de filtragem

O ensaio do tubo de filtragem permitiu somente dar um indicativo de telas. A escolha final das telas foi feita em cima de testes preliminares em escala piloto.

No início do ensaio procurou-se abrir cuidadosamente a válvula de saída do lodo para que não ocorresse uma vazão inicial muito alta e consequentemente uma passagem de sólidos muito grande pela tela. Desta forma este ensaio ficou sujeito a esta abertura lenta da válvula de saída de lodo, sendo portanto uma variável difícil de ser padronizada. A formação da torta impede gradativamente que haja maiores perdas de sólidos durante a realização do ensaio. Desta forma esta velocidade de formação da torta também é uma variável de difícil controle.

Nos testes preliminares em escala piloto foi escolhida a tela 252, cujas características estão apresentadas na tabela 5.4.1, por apresentar uma melhor soltura das tortas formadas e um filtrado com uma cor mais clara. Não foi feita uma sistematização destes dados preliminares, justamente por ter coincidido com o ajuste do equipamento piloto. Ou seja, os dados preliminares gerados apesar de não serem representativos possibilitou

uma escolha de tela mais adequada para as condições de trabalho do equipamento piloto.

Pelos resultados obtidos no teste do tubo de filtragem não pôde-se afirmar qual seria a tela mais recomendada para o filtro prensa piloto, pois apresentaram resultados muito próximos.

Cabe fazer também a observação de que foi testada uma tela com tipo de fio de feltro agulhado. Este tipo de fio não foi recomendado pelo fabricante para a realização de ensaios com lodo digerido. O motivo seria que este tipo de tela acaba acumulando os sólidos no interior do tecido. No entanto acabou-se testando somente para a verificação do comportamento. Caso não houvesse esta recomendação, esta tela poderia ter sido recomendada pois apresentou resultados semelhantes aos outros tipos.

6.5 Filtro prensa piloto

Na primeira etapa do ensaio com filtro prensa piloto verificou-se a necessidade de ajustar a instalação de dosagem de polímero, pois no final do ciclo ocorriam superdoses devido à falta de sensibilidade do medidor de vazão de polímero. A primeira ação foi escolher um novo medidor de vazão mais adequado para a faixa de trabalho. A segunda ação foi instalar adequadamente o medidor de vazão na linha de alimentação do polímero. Foi verificada a necessidade de instalar o medidor de vazão de solução de polímero numa seção menor da tubulação, para possibilitar uma melhor leitura. Desta forma foi feita uma tubulação com um estreitamento de seção e posterior alargamento, com o medidor de vazão de solução de polímero instalado no meio. A figura 6.5.1 mostra na parte superior o medidor de vazão de solução de polímero com a tubulação sofrendo um alargamento na extremidade direita. Isto possibilitou um melhor ajuste de

dosagem de polímero, permanecendo praticamente constante inclusive no final do ciclo, quando as vazões são mais baixas.

Com relação ao polímeros verificou-se que apesar do polímero Cytec/Excel 5000 ter apresentado uma menor resistência específica em relação polímero Stockhausen/Gamus PL34, não houve em escala piloto a mesma diferença de desempenho quando analisados os teores de sólidos das tortas nesta etapa do testes. Isto reforça a hipótese de que a concentração da solução de aplicação de polímero utilizada nos testes de resistência específica influenciou nos resultados e que a comparação entre polímeros com diferentes formas físicas, como emulsão e pó, deve ser feita cuidadosamente com diferentes diluições para de aplicação.

Figura 6.5.1 – Medidores de vazão de solução de polímero e de lodo

Na segunda etapa de trabalho com o filtro prensa piloto foram feitos vários ensaios com vários tipos de polímeros, escolhidos principalmente através dos testes de tempo de filtração. Foram feitos ensaios com polímeros dos fornecedores Allied, Cytec, Floerger e Stockhausen para verificar o desempenho em escala real. As principais observações estão feitas a seguir:

- Verificou-se que a utilização prévia de cloreto férrico para condicionamento do lodo melhorou o desprendimento da torta da tela no momento da abertura das placas e também aumentou um pouco o teor de sólidos da torta, em 1% com polímero em pó e em 2% para polímero em emulsão. Já com a utilização isolada de polímero, sempre era necessário uma ajuda com uma espátula para o desprendimento da torta. Esta dificuldade da torta de lodo se soltar das telas do filtro prensa pode inviabilizar o condicionamento do lodo feito somente com polímero, particularmente com o lodo produzido atualmente nos digestores da ETE Barueri. Conforme relatos feitos por fornecedores de filtro prensa no exterior, pode-se diminuir ou mesmo eliminar o cloreto férrico melhorando-se as condições de digestão do lodo e consequentemente provocando uma diminuição na fração de sólidos voláteis do lodo. As dosagens de cloreto férrico para o condicionamento do lodo com as atuais características foram fixadas em torno de 6%, sendo necessário novas tentativas para se diminuir estas dosagens;
- Desconsiderando o valor do ensaio E.15, que apresentou um valor muito abaixo dos outros (82,6%) e portanto não se caracteriza como representativo, a captura de sólidos obteve um valor médio de 98,6%;
- O tempo de filtração médio de todos os ensaios foi de 123 minutos. O tempo de filtração médio nos filtros prensa da ETE Barueri, que trabalham com condicionamento inorgânico, varia entre 180 a 270 minutos. Os tempos mais baixos

são obtidos após a lavagem ácida das telas, procedimento necessário devido à ação de obstrução causada pela cal, que ocorre progressivamente a cada ciclo de operação. Esta lavagem ácida é desnecessária quando utilizado o condicionamento orgânico. A lavagem ácida das telas nos filtro prensas da ETE Barueri com condicionamento do lodo com cal e cloreto férrico está programada a cada 6 meses, ou seja, a cada 1000 ciclos aproximadamente. Já a lavagem das telas somente com água é feita a cada 40 ciclos. A recomendação para lavagem das telas com condicionamento do lodo com polímeros é a cada 100 ciclos. Ou seja, isto também representa um ganho na capacidade de desidratação de lodo devido à existência de número menor de tempos fora de serviço.

- Verificou-se ao final do ciclo de vários ensaios que os flocos do lodo começavam a crescer, mostrando uma insuficiência de energia de mistura da válvula. Também nos momentos finais do ciclo o medidor de vazão de polímero começava a perder a sensibilidade, ocorrendo oscilações que prejudicava o condicionamento.
- Os valores obtidos de taxa de filtração não foram calculados de maneira correta. Para o cálculo correto da taxa de filtração seria necessário o valor da vazão de filtrado. Este valor não estava disponível pois não havia medidor de vazão do filtrado, somente os valores de vazão de solução de aplicação de polímero e de lodo estavam disponíveis. Desta forma calculou-se valores de taxas de filtração modificadas que eram a soma das vazões de lodo e solução de polímero dividida pela somatória das áreas das placas. No entanto estes valores modificados da taxa de filtração, ou ainda taxa de aplicação de vazão, merecem uma certa atenção. Por exemplo, os valores médios destas taxas de filtração modificadas no início do ciclo e no final foram de 141 e 20 L/m² h. Na ETE Barueri a vazão máxima da bomba de alimentação do filtro prensa é de 90 m³/h e a área de filtração total é de 1050 m²

(150 câmaras, superfície de filtração por placa igual a 7m^2). Portanto o valor desta taxa de filtração modificada possui um valor máximo de $86\text{ L/m}^2\text{ h}$ para o condicionamento inorgânico. Ou seja, comparando com a taxa de filtração modificada máxima de $141\text{ L/m}^2\text{ h}$ do condicionamento orgânico verifica-se que a filtração com polímero trabalha em faixas muito mais altas, em torno de 60% superiores. Este valor mais alto de taxa de aplicação de vazão para o condicionamento orgânico implica em bombas de alimentação com vazões superiores às utilizadas em sistemas com condicionamento inorgânico. Este fato também implica em tempos de filtração mais curtos para o condicionamento orgânico. Portanto numa conversão de um sistema de desidratação de filtro prensa com condicionamento inorgânico para orgânico, as bombas de alimentação devem ser trocadas ou adaptadas para trabalhar em vazões mais altas.

- Para a estimativa de custos de produtos químicos e de produção de lodo, montou-se a tabela 6.5.1 com os dados específicos de dosagens, teor de sólidos e densidade da torta, conforme a forma física do polímero, ou seja em pó ou emulsão.

Tabela 6.5.1 – Dosagens e características da torta conforme o tipo de condicionamento

Tipo de Condicionamento	Dosagem de Polímero (kg/ton de lodo)	Dosagem de Fe Cl_3 (%)	Teor de sólidos da torta (%)	Densidade da Torta (kg/L)
Polímero em pó + Fe Cl_3	4,83	6,3	31	1,13
Polímero em pó	5,38	----	30	1,08
Polímero em emulsão + Fe Cl_3	6,79	6,1	31	1,10
Polímero em emulsão	6,10	----	29	1,06

- Cabe aqui também um estudo comparativo em termos dos custos de produtos químicos consumidos nos condicionamento orgânico e inorgânico. Os custos do polímero em pó estão na ordem de R\$ 6,60/kg e do polímero em emulsão em R\$ 3,40/kg de produto (em sua forma natural de emulsão). Por outro lado, os custos dos produtos químicos de condicionamento inorgânico são de R\$ 0,11/kg de cal (89% de pureza) e R\$ 0,12/kg de solução de cloreto férrico (40% de teor de sólidos).

Tomando o caso da ETE Barueri para ilustração prática de condicionamento inorgânico tem-se:

- dosagens médias de cal e cloreto férrico são de 25% e 10% respectivamente em massa seca;
- torta gerada através de condicionamento inorgânico com valor médio de 40% de teor de sólidos e densidade de 1,20 kg/L;
- Custo do condicionamento inorgânico por tonelada de lodo seco:

1 tonelada de lodo = 1000 kg de lodo → 250 kg de cal

250 kg de cal pura → considerando 89% de pureza → 280,9 kg de cal

280,9 kg de cal → $280,9 \times 0,11 = \text{R\$ } 30,90$

100 kg de cloreto férrico → considerando solução de cloreto férrico a 40% → 250 kg de solução de cloreto férrico

250 kg de solução de cloreto férrico → $250 \times 0,12 = \text{R\$ } 30,00$

Portanto,

Custo de condicionamento inorgânico com cal e cloreto férrico por tonelada de lodo seco = R\$ 60,90/ton de lodo seco

Para o condicionamento orgânico foram considerados os resultados da tabela 6.5.1. A seguir estão apresentados os cálculos dos custos dos produtos químicos, cujos resultados estão apresentados na tabela 6.5.2.

- Custo do condicionamento com polímero em pó e FeCl_3 por tonelada de lodo seco:

Dosagem de polímero em pó = 4,83 kg/ton de lodo seco

Custo de condicionamento com polímero em pó = R\$ 31,88

Dosagem de FeCl_3 = 6,3%

63 kg de cloreto férrico → considerando solução de cloreto férrico a 40% → 157,5 kg de solução de cloreto férrico

157,5 kg de solução de cloreto férrico → $157,5 \times 0,12 = \text{R\$ } 18,90$

Custo de condicionamento com FeCl_3 = R\$ 18,90/ton de lodo seco

Portanto,

Custo do condicionamento com polímero em pó e FeCl_3 por tonelada de lodo seco = R\$ 31,88 + R\$ 18,90 = R\$ 50,78

- Custo do condicionamento somente com polímero em pó por tonelada de lodo seco:

Dosagem de polímero em pó = 5,38 kg/ton de lodo seco

Portanto,

Custo de condicionamento somente com polímero em pó por tonelada de lodo seco = R\$ 35,51

- Custo do condicionamento com polímero em emulsão e FeCl_3 por tonelada de lodo seco:

Dosagem de polímero em emulsão = 6,79 kg/ton de lodo seco ou 24,40 kg de emulsão/ton de lodo (levando em conta o teor de sólidos dos polímeros em emulsão testados)

Custo de condicionamento com polímero em emulsão por tonelada de lodo seco = $24,40 \times \text{R\$ } 3,40 = \text{R\$ } 83,98$

Dosagem de $\text{FeCl}_3 = 6,1\%$

61 kg de cloreto férrico → considerando solução de cloreto férrico a 40% → 152,5 kg de solução de cloreto férrico

152,5 kg de solução de cloreto férrico → $152,5 \times 0,12 = \text{R\$ } 18,30$

Custo de condicionamento com $\text{FeCl}_3 = \text{R\$ } 18,30/\text{ton de lodo seco}$

Portanto,

Custo do condicionamento com polímero em emulsão e FeCl_3 por tonelada de lodo seco = $\text{R\$ } 83,98 + \text{R\$ } 18,30 = \text{R\$ } 102,28$

- Custo do condicionamento somente com polímero em emulsão por tonelada de lodo seco:

Dosagem de polímero em emulsão = 6,10 kg/ton de lodo seco ou 23,46 kg de emulsão/ton de lodo (levando em conta o teor de sólidos dos polímeros em emulsão testados)

Portanto,

Custo de condicionamento somente com polímero em emulsão por tonelada de lodo seco = $23,46 * 3,40 = \text{R\$ } 79,76$

Tabela 6.5.2 – Resumo dos custos de produtos químicos por tipo de condicionamento

Tipo de Condicionamento	Custo por tonelada seca de lodo (R\$/ton de lodo seco)
Cal + Fe Cl ₃	60,90
Polímero em pó + Fe Cl ₃	50,78
Polímero em pó	35,51
Polímero em emulsão + Fe Cl ₃	102,28
Polímero em emulsão	79,76

A utilização do polímero em emulsão mostrou ser economicamente inviável por superar o custo do condicionamento inorgânico, mesmo quando utilizado isoladamente sem cloreto férrico.

Já a utilização do polímero em pó mostrou vantagens econômicas com relação aos custos de produtos químicos, mesmo quando utilizado o cloreto férrico como auxiliar do condicionamento com polímero. A economia do custo do condicionamento com polímero em pó e cloreto férrico em relação ao condicionamento com cal e cloreto férrico foi de 17%. Já a economia do custo do condicionamento somente com polímero em pó em relação ao condicionamento com cal e cloreto férrico foi de 42%.

- Além dos benefícios econômicos vindos da redução do consumo de produtos químicos, o condicionamento orgânico traz outros ganhos para as novas instalações de filtro prensa. A adoção do sistema de dosagem em linha de polímero para condicionamento de lodo digerido elimina a necessidade dos tanques de mistura e do silo de cal.
- Outra questão importante é com relação a produção de lodo, tanto em termos volumétricos como em massa.

De novo tomando o caso do condicionamento inorgânico do lodo digerido da ETE Barueri.

- Produção de torta através de condicionamento com cal e FeCl_3 por tonelada de lodo seco:

1000 kg de lodo seco $\rightarrow$ 250 kg de cal pura $\rightarrow$ dividido por 89% de pureza $\rightarrow$ 280,9 kg de cal bruta

1000 kg de lodo seco $\rightarrow$ 100 kg de cloreto férrico

1000 kg de lodo seco $\rightarrow$ 280,9 kg de cal bruta + 100 kg de cloreto férrico

1380,9 kg de sólidos secos totais

Torta de condicionamento inorgânico possui um valor médio de 40% de teor de sólidos e densidade de 1,20 kg/L

Produção de torta em kg

$1380,9/40\% = 3452,25$ kg de torta

Produção de torta em L

$3452,25/1,20 = 2876,88$ L

Para o condicionamento orgânico, tomou-se como base os resultados no filtro prensa piloto somente para o polímero em pó, devido às vantagens econômicas. A seguir estão apresentados os cálculos da produção de lodo, cujos resultados estão apresentados na tabela 6.5.3.

- Produção de torta através de condicionamento com polímero em pó e FeCl_3 por tonelada de lodo seco:

1000 kg de lodo seco $\rightarrow$ 4,83 kg de polímero em pó

1000 kg de lodo seco $\rightarrow$ 63 kg de FeCl_3

Considerando os valores da tabela 6.5.1, obteve-se uma torta com 31% de teor de sólidos e densidade de 1,13 kg/L.

Produção de torta em kg por tonelada de lodo seco

$1000 + 4,83 + 63 = 1067,83$ kg de sólidos secos totais $\rightarrow$

$1067,83/31\% \rightarrow 3444,61$ kg

Produção de torta em L por tonelada de lodo seco

$3444,61$ kg de torta $\rightarrow 3444,61/1,13 \rightarrow 3048,33$ L

- Produção de torta através de condicionamento somente com polímero em pó por tonelada de lodo seco:

1000 kg de lodo seco $\rightarrow$ 5,38 kg de polímero em pó

Considerando os valores da tabela 6.5.1, obteve-se uma torta com 30% de teor de sólidos e densidade de 1,08 kg/L.

Produção de torta em kg por tonelada de lodo seco

$1000 + 5,38 = 1005,38$ kg de sólidos secos totais $\rightarrow 1005,38/30\% \rightarrow$

3351,27 kg

Produção de torta em L por tonelada de lodo seco

$3351,27$ kg de torta $\rightarrow 3351,27/1,08 \rightarrow 3103,03$ L

Tabela 6.5.3 – Resumo da produção de lodo por condicionamento com polímero em pó

Tipo de Condicionamento	Produção em massa por tonelada seca de lodo original (kg)	Produção volumétrica por tonelada seca de lodo original (L)
Cal + Fe Cl ₃	3452,25	2876,88
Polímero em pó + Fe Cl ₃	3444,61	3048,33
Polímero em pó	3351,27	3103,03

Com estes dados verifica-se que a produção de torta em massa variou muito pouco. As produções de lodo em massa sofreram reduções de 0,22% e 2,93% respectivamente para condicionamento com polímero em pó e cloreto férrico e condicionamento somente com polímero em pó. Já a produção de torta em volume sofreram acréscimos de 5,96% e 7,86% respectivamente para condicionamento com polímero em pó e cloreto férrico e condicionamento somente com polímero em pó. O transporte da torta de lodo para o aterro sanitário é feito com base no peso de lodo transportado e não com relação ao volume. Desta forma não haveria impacto econômico da produção de lodo na adoção do condicionamento com polímero em pó. Ou seja, apesar do condicionamento orgânico com polímero não incorporar uma quantidade apreciável de inertes no lodo, a torta resultante acaba possuindo mais água. Neste balanço acabou ocorrendo um certo equilíbrio em termos de produção de torta em massa.

No entanto, para a Região Metropolitana de São Paulo – RMSP existem recomendações para a adoção da secagem térmica na fase posterior de desidratação do lodo. Este equipamento de secagem térmica permite que o lodo resulte em 90% de teor de sólidos e consequentemente reduzindo o volume transportado de lodo. Como outros benefícios pode-se citar a eliminação dos patógenos presentes no lodo e a redução dos odores liberados. Para a ETE São Miguel da RMSP já está prevista a construção de um secador térmico e conforme dito anteriormente a adoção do condicionamento de lodo com polímeros nos filtro prensas.

Levando em conta este fato, cabe ainda fazer novas considerações em termos de produção de lodo, ou ainda, de biosólidos.

De novo tomando o caso do condicionamento inorgânico do lodo digerido da ETE Barueri.

- Produção de biosólidos através de condicionamento com cal e FeCl_3 por tonelada de lodo seco:

1380,9 kg de sólidos secos totais $\rightarrow$ 1380,9/90%

$\rightarrow$ 1534,33 kg de biosólidos;

De novo tomando como base os dados os resultados gerados no filtro prensa piloto.

- Produção de biosólidos através de condicionamento com polímero em pó e FeCl_3 por tonelada de lodo seco:

1067,83 kg de sólidos secos totais $\rightarrow$ 1067,83/90% $\rightarrow$ 1186,48 kg

$\rightarrow$ 1186,48 kg de biosólidos;

- Produção de biosólidos através de condicionamento somente com polímero em pó por tonelada de lodo seco:

1005,38 kg de sólidos secos totais $\rightarrow 1005,38/90\% \rightarrow 1117,09$ kg
 $\rightarrow 1117,09$ kg de biosólidos;

Tabela 6.5.4 – Resumo da produção de biosólidos por condicionamento com polímero em pó após secagem térmica

Tipo de Condicionamento	Produção de biosólidos em massa por tonelada seca de lodo original (kg)
Cal + Fe Cl ₃	1534,33 kg
Polímero em pó + Fe Cl ₃	1186,48 kg
Polímero em pó	1117,09 kg

Através dos resultados obtidos verificou-se uma redução em termos de produção em massa de biosólidos na utilização do polímero em relação ao condicionamento com cal e cloreto férrico. Estas reduções na utilização do polímero em pó mais cloreto férrico e polímero em pó isoladamente foram de 23% e 27% respectivamente. Trata-se portanto de mais um impacto econômico na adoção desta tecnologia.

7 Conclusões e recomendações

- Para o condicionamento orgânico do lodo digerido verificou-se que nem todos os polímeros catiônicos com peso molecular superior a 10^6 proporcionaram um lodo condicionado com boas características de filtrabilidade, sendo necessário a execução dos ensaios laboratoriais, como o tempo de filtração, para a escolha adequada dos polímeros.
- As dosagens de polímeros no condicionamento apresentaram valores extremamente baixas quando comparadas às dosagens dos produtos inorgânicos como cloreto férrico e cal. No entanto estas dosagens foram também mais sensíveis a pequenas variações. Nos ensaios de resistência específica as dosagens de polímero situaram-se numa faixa de 0,35 a 1,60%.
- O condicionamento orgânico proporcionou taxas iniciais de filtração maiores em relação ao condicionamento inorgânico no filtro prensa. Esta taxa inicial de filtração maior implicou em tempos de filtração mais curtos e consequentemente tempos de ciclo menores, otimizando assim a utilização do equipamento. No filtro prensa piloto o tempo de filtração médio dos ensaios obtidos foi de 123 minutos.
- Uma das formas de se fazer o controle da dosagem no condicionamento é através da verificação do tamanho e distribuição do tamanho dos flocos de lodo condicionado. Nos ensaios realizados no filtro prensa piloto com lodo digerido de ETE, trabalhou-se com flocos de lodo condicionado predominantemente com tamanho de um grão de arroz, obtendo-se resultados satisfatórios.
- No ensaio do filtro prensa piloto verificou-se que a captura de sólidos com condicionamento de lodo com polímeros obteve um valor médio de 98,6%;

- A utilização de polímero em emulsão para o condicionamento do lodo digerido obteve um custo alto de produtos químicos, não se mostrando como uma opção atual de adoção.
- A utilização de polímero em pó para o condicionamento do lodo digerido apresentou vantagens econômicas nos custos de produtos químicos consumidos. A redução dos custos de produtos químicos consumidos para condicionamento de lodo digerido em relação ao método tradicional com cloreto férrico e cal foi de 17% para o condicionamento com o polímero em pó e cloreto férrico e de 42% para o condicionamento somente com o polímero em pó, embora este último caso não se tenha observado um bom desprendimento da torta das telas, para o lodo utilizado.
- Nos ensaios do filtro prensa piloto com membrana, o condicionamento com polímero em pó mais cloreto férrico apresentou dosagens respectivamente de 4,83 kg/ton e 6,3% e resultou numa torta com teor de sólidos de 31% e densidade de 1,13 kg/L. Já o condicionamento feito somente com polímero em pó apresentou uma dosagem de 5,38 kg/ton e resultou numa torta com teor de sólidos de 30% e densidade de 1,08 kg/L.
- Em termos de produção de torta gerada, tanto em volume como em massa, verificou-se que não há impactos significativos destes valores quando se trabalha com polímeros. O condicionamento do lodo feito com polímeros em pó, em relação ao condicionamento com cloreto férrico e cal, reduziu a produção em massa de 0,22% para condicionamento com polímero em pó e cloreto férrico e de 2,93% para condicionamento somente com polímero em pó.
- Levando em conta a adoção da secagem térmica após a desidratação, a utilização dos polímeros para condicionamento traz benefícios em termos de produção de biosólidos em relação ao condicionamento com cloreto férrico e cal. As reduções na

produção de biosólidos após a secagem térmica com a utilização do polímero em pó mais cloreto férrico e polímero em pó isoladamente foram respectivamente de 23% e 27%;

- A utilização de cloreto férrico antes da aplicação da solução de polímero no condicionamento do lodo trouxe benefícios em termos da melhor soltura da torta da tela e em teores de sólidos da torta um pouco mais elevados. A melhor soltura da torta implica em menores tempos de descarga, diminuindo o tempo de ciclo. Este efeito é extremamente significativo em filtro prensa com um grande número de câmaras.
- Recomenda-se realizar novos ensaios no filtro prensa piloto de modo a otimizar as dosagens utilizadas de cloreto férrico e verificar até que limite estes benefícios ainda são significativos.
- Recomenda-se realizar novos ensaios no filtro prensa piloto com lodo digerido anaerobiamente na faixa de mesofílica de temperatura (entre 32 a 35 °C) e verificar a influência da digestão do lodo no condicionamento com polímeros, na necessidade de utilização de cloreto férrico e no desprendimento da torta da tela.
- Recomenda-se realizar novos ensaios no filtro prensa piloto sem a utilização da membrana diafragma para verificar os ganhos que se têm com esta tecnologia em termos de teor de sólidos da torta e soltura da torta da tela.
- Recomenda-se realizar novos ensaios no filtro prensa piloto com equipamentos automatizados de dosagem, mistura de solução de polímero em concentrações de aplicação mais altas (de 0,5% a 1%) e controle óptico do tamanho dos flocos formados, de modo a verificar os ganhos em termos de custos de produtos químicos consumidos, bem como do desempenho do filtro prensa em termos de teor de sólidos da torta, captura de sólidos e tempo de ciclo.

ANEXOS

Anexo A - Ensaio de Caracterização reológica do lodo

A.1 Condições do teste

aparelho utilizado:

- Reômetro Brookfield Engineering Labs Inc
- mod. LV-DVIII
- cilindros concêntricos 18/13R

Lodo Digerido 1

ST = 18.764 mg/L

STV = 10.532 mg/L

Lodo Digerido 2

ST = 18.096 mg/L

STV = 10.350 mg/L

Lodo Digerido 3

ST = 10.950 mg/L

STV = 5.660 mg/L

A.2 Dados obtidos

γ (s ⁻¹)	τ (dina/cm ²)		
	Lodo 1	Lodo 2	Lodo 3
1,32	2,81	0,91	0,32
2,64	3,37	1,39	0,59
5,28	4,59	2,18	0,87
10,60	6,85	2,69	1,46
13,20	7,68	3,37	1,78
19,80	9,38	4,87	2,14
26,40	11,00	5,54	2,85
33,00	11,40	6,06	2,77
39,60	12,10	6,69	3,21
52,80	12,10	6,53	3,72
66,00	13,10	6,93	3,92
79,20	14,60	7,76	4,16
92,40	15,60	8,08	5,27
106,00	16,50	8,87	5,58
119,00	17,60	9,58	5,82
132,00	18,40	10,20	5,98
158,00	20,80	12,20	6,41
185,00	22,50	12,90	7,05

Tabela A.1 - Dados obtidos do ensaio de caracterização reológica do lodo

Figura A.1 - Curva do comportamento reológico do lodo

A.3 Linearização

log G	log T		
	Lodo 1	Lodo 2	Lodo 3
0,12	0,45	-0,04	-0,49
0,42	0,53	0,14	-0,23
0,72	0,66	0,34	-0,06
1,03	0,84	0,43	0,16
1,12	0,89	0,53	0,25
1,30	0,97	0,69	0,33
1,42	1,04	0,74	0,45
1,52	1,06	0,78	0,44
1,60	1,08	0,83	0,51
1,72	1,08	0,81	0,57
1,82	1,12	0,84	0,59
1,90	1,16	0,89	0,62
1,97	1,19	0,91	0,72
2,03	1,22	0,95	0,75
2,08	1,25	0,98	0,76
2,12	1,26	1,01	0,78
2,20	1,32	1,09	0,81
2,27	1,35	1,11	0,85

Tabela A.3 - Linearização dos dados obtidos de caracterização reológica do lodo

Figura A.3 - Curva do comportamento reológico do lodo com os dados linearizados

A.4 Resultados da regressão linear

Resultado da regressão 1:

Constante	0,3944135
Erro Padrão da Est Y	0,02903119
R ao Quadrado	0,98847233
Núm. de observações	18
Graus de Liberdade	16

Coeficiente(s) X	0,41583956
Erro Padrão do Coeficiente	0,01122676

Resultado da regressão 2:

Constante	-0,05182533
Erro Padrão da Est Y	0,04344556
R ao Quadrado	0,98296734
Núm. de observações	18
Graus de Liberdade	16

Coeficiente(s) X	0,51053244
Erro Padrão do Coeficiente	0,016801

Resultado da regressão 3:

Constante	-0,48357326
Erro Padrão da Est Y	0,0400279
R ao Quadrado	0,98960569
Núm. de observações	18
Graus de Liberdade	16

Coeficiente(s) X	0,60415137
Erro Padrão do Coeficiente	0,01547934

A.5 Resultados Finais

Lodo	log K	n
1	0,394	0,416
2	-0,052	0,511
3	-0,484	0,604
	-0,047	0,510

K =	0,897
n =	0,510

Onde K é o índice de consistência (em dina.s/cm^{2-n}) e n é o índice do comportamento de escoamento.

Equação resultante:

$$\mathbf{m}_{\text{ap}} = 0,897 \mathbf{g}^{0,510-1} = 0,897 \mathbf{g}^{-0,490}$$

Cujas unidades são:

- $\mu_{\text{ap}} : \text{g/cm.s}$
- $\mathbf{K} : \text{g/cm.s}^{2-n} = \text{g/cm.s}^{2-0,510} = \text{g/cm.s}^{-0,490}$
- $\gamma : \text{s}^{-1}$

Anexo B - Ensaio de resistência específica do lodo

Ensaio nº B.1**Data:** 28/08/96**Lodo**

tipo: digerido anaerobiamente

ST: 31.272 mg/L

SF: 12.640 mg/L

Polímero

PL-34/Gamus (em pó)

conc. de aplicação: 2.000 mg/L

ST do polímero: 100%

Dosagens e Concentrações utilizadas no Jar-Test

	testes					
	B.1.1	B.1.2	B.1.3	B.1.4	B.1.5	B.1.6
conc. da mistura (mg/L)	80	120	160	200	240	320
conc. da mistura (base seca)	0,27%	0,41%	0,56%	0,71%	0,87%	1,22%
vol. lodo (mL)	480	470	460	450	440	420
vol. polímero (mL)	20	30	40	50	60	80

Intensidade de Mistura: 250 rpm em 1 minuto**Meio Filtrante:** papel Whatman nº 40

Polímero: PL-34/Gamus

TESTE	DOSAGEM (%)	R.E. (cm/g)
B.1.1	0,27%	3,94E+11
B.1.2	0,41%	7,61E+10
B.1.3	0,56%	5,74E+09
B.1.4	0,71%	1,18E+09
B.1.5	0,87%	1,37E+09
B.1.6	1,22%	1,00E+10

Obs: ponto 1.1 desprezado para melhor visualização

Figura B.1 -Curva da dosagem de polímero pela resistência específica do ensaio B.1

Teste nº B.1.1**Data:28/08/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
20	1,65	33
30	3,03	91
40	5,13	205
50	7,60	380
60	10,12	607
70	12,91	904
74	14,19	1050
78	15,13	1180
80	15,81	1265
82	16,27	1334
84	17,01	1429
86	17,47	1502
88	17,93	1578
90	18,44	1660
92	18,93	1742
94	19,79	1860
96	20,50	1968
98	21,20	2078
100	21,60	2160
102	22,25	2270
104	22,95	2387

Lodo:

ST: 31.272 mg/L

SF: 12.640 mg/L

Polímero: PL-34/Gamus

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 80 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 0,27%

vol. polímero: 20 mL

vol. lodo: 480 mL

Tortap_{cápsula} = 74,3702 gp₀ = 108,3191 gp₁ = 76,1924 g

Teor de sólidos = 5,4%

53.675 mg/L

b = 0,2727 s/cm⁶ **r²** = 0,9973**C** = 0,0749 g/cm³**R** = 3,94E+11 cm/g

Figura B.1.1.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.1.1

Figura B.1.1.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.1.1

Teste nº B.1.2**Data: 28/08/96**

v (cm³)	t / v (s / cm³)	t (s)
30	0,57	17
40	0,85	34
50	1,14	57
60	1,50	90
70	1,86	130
80	2,21	177
90	2,58	232
100	3,00	300
110	3,45	380
120	4,11	493
130	4,90	637
140	6,01	841
150	7,80	1170
152	8,28	1258
154	8,90	1370
156	9,41	1468
158	10,06	1589

Lodo:

ST: 31.272 mg/L

SF: 12.640 mg/L

Polímero: PL-34/Gamus

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 120 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 0,41%

vol. polímero: 30 mL

vol. lodo: 470 mL

Tortap_{cápsula} = 88,8198 gp₀ = 131,9558 gp₁ = 92,3090 g

Teor de sólidos = 8,1%

80.888 mg/L

b = 0,0359 s/cm⁶ **r**² = 0,9982**C** = 0,0510 g/cm³**R** = 7,61E+10 cm/g

Figura B.1.2.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.1.2

Figura B.1.2.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.1.2

Teste nº B.1.3**Data: 28/08/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,23	7
40	0,28	11
50	0,28	14
60	0,30	18
70	0,33	23
80	0,36	29
90	0,39	35
100	0,42	42
110	0,46	51
120	0,53	63
130	0,58	76
140	0,70	98
150	0,86	129
160	1,42	227
162	1,68	272
164	2,09	343
166	2,62	435
168	3,18	534

Lodo:

ST: 31.272 mg/L

SF: 12.640 mg/L

Polímero: PL-34/Gamus

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 160 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 0,56%

vol. polímero: 40 mL

vol. lodo: 460 mL

Tortap_{cápsula} = 95,3822 gp₀ = 128,6081 gp₁ = 98,3257 g

Teor de sólidos = 8,9%

88.591 mg/L

b = 0,0026 s/cm⁶ **r²** = 0,9825**C** = 0,0483 g/cm³**R** = 5,74E+09 cm/g

Figura B.1.3.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.1.3

Figura B.1.3.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.1.3

Teste nº B.1.4**Data: 28/08/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,47	14
40	0,45	18
50	0,48	24
60	0,50	30
70	0,51	36
80	0,54	43
90	0,56	50
100	0,57	57
110	0,58	64
120	0,59	71
130	0,62	80
140	0,63	88
150	0,65	98
160	0,74	119
170	1,39	236
172	1,65	283
174	1,93	335
176	2,34	411
178	2,81	500
180	3,57	642

Lodo:

ST: 31.272 mg/L

SF: 12.640 mg/L

Polímero: PL-34/Gamus

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 200 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 0,71%

vol. polímero: 50 mL

vol. lodo: 450 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} = 94,7994 \text{ g}$ $p_0 = 129,5182 \text{ g}$ $p_1 = 97,8208 \text{ g}$

Teor de sólidos = 8,7%

87.025 mg/L

 $b = 1,72\text{E-}03 \text{ s/cm}^6 \quad r^2 = 0,9910$ $C = 0,0488 \text{ g/cm}^3$ $R = 3,81\text{E+}09 \text{ cm/g}$

Figura B.1.4.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.1.4

Figura B.1.4.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.1.4

Teste nº B.1.5**Data: 28/08/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,47	14
40	0,48	19
50	0,48	24
60	0,48	29
70	0,50	35
80	0,50	40
90	0,51	46
100	0,52	52
110	0,52	57
120	0,53	63
130	0,52	68
140	0,53	74
150	0,55	82
160	0,69	111
164	0,92	151
166	1,11	185
168	1,33	224
170	1,68	285
172	2,03	350
174	2,58	449

Lodo:

ST: 31.272 mg/L

SF: 12.640 mg/L

Polímero: PL-34/Gamus

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 240 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 0,87%

vol. polímero: 60 mL

vol. lodo: 440 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} = 79,7975 \text{ g}$ $p_0 = 120,3220 \text{ g}$ $p_1 = 83,4735 \text{ g}$

Teor de sólidos = 9,1%

90.711 mg/L

 $b = 6,05\text{E-}04 \text{ s/cm}^6 \quad r^2 = 0,9584$ $C = 0,0477 \text{ g/cm}^3$ $R = 1,37\text{E+}09 \text{ cm/g}$

Figura B.1.5.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.1.5

Figura B.1.5.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear dos itens n.º B.1.5

Teste n.º B.1.6**Data: 28/08/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	1,60	48
40	1,63	65
50	1,68	84
60	1,75	105
70	1,79	125
80	1,83	146
90	1,89	170
100	1,94	194
110	1,97	217
120	1,98	237
130	1,96	255
140	1,94	272
150	1,94	291
160	1,96	313
170	2,60	442
172	2,97	510
174	3,32	578
176	3,78	665
178	4,29	763
180	4,88	878

Lodo:

ST: 31.272 mg/L

SF: 12.640 mg/L

Polímero: PL-34/Gamus

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 320 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 1,22%

vol. polímero: 80 mL

vol. lodo: 420 mL

Tortap_{cápsula} = 79,9474 gp₀ = 119,3380 gp₁ = 83,2838 g

Teor de sólidos = 8,5%

84.700 mg/L

b = 4,58E-03 s/cm⁶ **r**² = 0,9846**C** = 0,0496 g/cm³**R** = 1,00E+10 cm/g

Figura B.1.6.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.1.6

Figura B.1.6.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear dos itens n.º B.1.6

Ensaio nº B.2

Data: 30/08/96

Lodo

tipo: digerido anaerobiamente

ST: 22.534 mg/L

SF: 8.876 mg/L

Polímero

Excel 5000 (líquido)

conc. de aplicação: 10.000 mg/L

ST do polímero: 38%

Dosagens e Concentrações utilizadas no Jar-Test

	testes					
	B.2.1	B.2.2	B.2.3	B.2.4	B.2.5	B.2.6
conc. da mistura (mg/L)	600	700	800	900	1000	1200
conc. da mistura (base seca)	1,08%	1,27%	1,47%	1,67%	1,87%	2,30%
dosagem (kg de poli./ton lodo)*	10,76	12,69	14,66	16,68	18,74	23,00
vol. lodo (mL)	470	465	460	455	450	440
vol. polímero (mL)	30	35	40	45	50	60

Intensidade de Mistura: 250 rpm em 1 minuto**meio filtrante:** papel Whatman nº 40*** base seca**

Polímero: Excel 5000/Cytec

TESTE	DOSAGEM (%)	R.E. (cm/g)
B.2.1	1,08%	3,68E+10
B.2.2	1,27%	2,42E+09
B.2.3	1,47%	3,40E+08
B.2.4	1,67%	3,48E+08
B.2.5	1,87%	6,51E+08
B.2.6	2,30%	9,42E+08

Figura B.2 -Curva da dosagem de polímero pela resistência específica do ensaio B.2

Teste nº B.2.1**Data:30/08/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,20	6
40	0,25	10
50	0,30	15
60	0,35	21
70	0,43	30
80	0,51	41
90	0,59	53
100	0,72	72
110	0,82	90
120	0,92	110
130	1,04	135
140	1,17	164
150	1,35	202
160	1,60	256
170	2,05	348
172	2,17	373
174	2,30	400
176	2,43	428
178	2,60	462
180	2,78	501
182	2,97	540
184	3,32	610
186	3,69	686
188	4,21	791

Lodo:

ST: 22.534 mg/L

SF: 8.876 mg/L

Polímero: Excel 5000

concentração de aplicação: 10.000 mg/L

concentração da mistura: 600 mg/L

ST do polímero: 38%

conc. mistura (base seca) : 1,08%

vol. polímero: 30 mL

vol. lodo: 470 mL

Tortap_{cápsula} = 78,9224 gp₀ = 114,9928 gp₁ = 82,1258 g

Teor de sólidos = 8,9%

88.810 mg/L

b = 0,0103 s/cm⁶ **r²** = 0,9935**C** = 0,0302 g/cm³**R** = 3,68E+10 cm/g

Figura B.2.1.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.2.1

Figura B.2.1.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.2.1

Teste nº B.2.2**Data: 30/08/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,17	5
50	0,18	9
70	0,20	14
90	0,21	19
110	0,23	25
130	0,24	31
150	0,25	37
170	0,25	43
180	0,33	59
182	0,38	69
184	0,47	86
186	0,57	106
188	0,70	132
190	0,88	168
192	1,14	218
194	1,47	285

Lodo:

ST: 22.534 mg/L

SF: 8.876 mg/L

Polímero: Excel 5000

concentração de aplicação: 10.000 mg/L

concentração da mistura: 700 mg/L

ST do polímero: 38%

conc. mistura (base seca) : 1,27%

vol. polímero: 35 mL

vol. lodo: 465 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} = 92,6761 \text{ g}$ $p_0 = 116,4071 \text{ g}$ $p_1 = 95,2414 \text{ g}$

Teor de sólidos = 10,8%

108.099 mg/L

 $\mathbf{b} = 6,36\text{E-}04 \text{ s/cm}^6 \quad \mathbf{r}^2 = 0,9793$ $\mathbf{C} = 0,0285 \text{ g/cm}^3$ $\mathbf{R} = 2,42\text{E+}09 \text{ cm/g}$

Figura B.2.2.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.2.2

Figura B.2.2.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.2.2

Teste nº B.2.3**Data: 30/08/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
40	0,13	5
70	0,13	9
100	0,13	13
120	0,13	16
140	0,14	19
150	0,13	20
170	0,17	29
180	0,31	56
186	0,64	119
188	0,77	144
190	1,07	203
192	1,44	277
194	1,93	374
196	2,71	531

Lodo:

ST: 22.534 mg/L

SF: 8.876 mg/L

Polímero: Excel 5000

concentração de aplicação: 10.000 mg/L

concentração da mistura: 800 mg/L

ST do polímero: 38%

conc. mistura (base seca) : 1,47%

vol. polímero: 40 mL

vol. lodo: 460 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} = 87,3943 \text{ g}$ $p_0 = 113,8548 \text{ g}$ $p_1 = 90,4629 \text{ g}$

Teor de sólidos = 11,6%

115.969 mg/L

 $\mathbf{b} = 8,79\text{E-}05 \text{ s/cm}^6 \quad \mathbf{r}^2 = 0,9073$ $\mathbf{C} = 0,0280 \text{ g/cm}^3$ $\mathbf{R} = 3,40\text{E+}08 \text{ cm/g}$

Figura B.2.3.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.2.3

Figura B.2.3.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.2.3

Teste nº B.2.4**Data: 30/08/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,13	4
50	0,14	7
80	0,14	11
100	0,14	14
130	0,14	18
160	0,15	24
180	0,18	33
184	0,27	50
186	0,33	61
190	0,42	80
192	0,52	99
194	0,68	131
196	0,90	177
198	1,28	253

Lodo:

ST: 22.534 mg/L

SF: 8.876 mg/L

Polímero: Excel 5000

concentração de aplicação: 10.000 mg/L

concentração da mistura: 900 mg/L

ST do polímero: 38%

conc. mistura (base seca) : 1,67%

vol. polímero: 45 mL

vol. lodo: 455 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} = 79,2777 \text{ g}$ $p_0 = 103,5987 \text{ g}$ $p_1 = 82,1284 \text{ g}$

Teor de sólidos = 11,7%

117.211 mg/L

 $b = 8,96\text{E-}05 \text{ s/cm}^6 \quad r^2 = 0,6235$ $C = 0,0279 \text{ g/cm}^3$ $R = 3,48\text{E+}08 \text{ cm/g}$

Figura B.2.4.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.2.4

Figura B.2.4.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.2.4

Teste nº B.2.5**Data: 30/08/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,13	4
50	0,14	7
80	0,14	11
110	0,14	15
140	0,14	20
170	0,16	28
180	0,33	60
184	0,53	98
186	0,73	136
188	1,01	190
190	1,58	301
192	2,19	420

Lodo:

ST: 22.534 mg/L

SF: 8.876 mg/L

Polímero: Excel 5000

concentração de aplicação: 10.000 mg/L

concentração da mistura: 1000 mg/L

ST do polímero: 38%

conc. mistura (base seca) : 1,87%

vol. polímero: 50 mL

vol. lodo: 450 mL

TortaP_{cápsula} = 79,3912 gP₀ = 100,6183 gP₁ = 82,0205 g

Teor de sólidos = 12,4%

123.865 mg/L

b = 1,66E-04 s/cm⁶ **r**² = 0,6081**C** = 0,0275 g/cm³**R** = 6,51E+08 cm/g

Figura B.2.5.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.2.5

Figura B.2.5.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.2.5

Teste nº B.2.6**Data: 30/08/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,13	4
50	0,14	7
70	0,14	10
90	0,16	14
110	0,15	17
130	0,16	21
150	0,16	24
170	0,16	28
180	0,19	34
190	0,38	72
192	0,47	90
194	0,64	124
196	0,89	174
198	1,27	252

Lodo:

ST: 22.534 mg/L

SF: 8.876 mg/L

Polímero: Excel 5000

concentração de aplicação: 10.000 mg/L

concentração da mistura: 1200 mg/L

ST do polímero: 38%

conc. mistura (base seca) : 2,30%

vol. polímero: 60 mL

vol. lodo: 440 mL

Torta

Pcápsula = 89,4626 g

p₀ = 108,4230 gp₁ = 91,7730 g

Teor de sólidos = 12,2%

121.854 mg/L

b = 2,41E-04 s/cm⁶ **r**² = 0,9100**C** = 0,0276 g/cm³**R** = 9,42E+08 cm/g

Figura B.2.6.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.2.6

Figura B.2.6.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.2.6

Ensaio nº B.3**Data:** 11/09/96**Lodo**

tipo: digerido anaerobiamente

ST: 22.944 mg/L

SF: 8.814 mg/L

Polímero

Cytec/1591 C (líquido)

conc. de aplicação: 10.000 mg/L

ST do polímero: 37%

Dosagens e Concentrações utilizadas no Jar-Test

	testes				
	B.3.1	B.3.2	B.3.3	B.3.4	B.3.5
conc. da mistura (mg/L)	800	900	1000	1200	1400
conc. da mistura (base seca)	1,40%	1,60%	1,79%	2,20%	2,63%
vol. lodo (mL)	460	455	450	440	430
vol. polímero (mL)	40	45	50	60	70

Intensidade de Mistura: 250 rpm em 1 minuto**Meio Filtrante:** papel Whatman nº 40

Polímero: Cytec/1591 C

TESTE	DOSAGEM (%)	R.E. (cm/g)
B.3.1	1,40%	1,38E+11
B.3.2	1,60%	6,73E+10
B.3.3	1,79%	7,53E+10
B.3.4	2,20%	7,75E+10
B.3.5	2,63%	7,26E+10

Figura B.3 - Curva de dosagem de polímero pela resistência específica do ensaio B.3

Teste n.º B.3.1**Data:11/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s) (s)
30	1,07	32
40	1,25	50
50	1,48	74
60	1,75	105
70	2,09	146
80	2,60	208
90	3,11	280
100	3,55	355
110	4,09	450
120	4,69	563
130	5,38	699
140	6,34	888
150	7,67	1150
152	8,06	1225
154	8,44	1300
156	8,82	1376
158	9,27	1465
160	9,86	1577
162	10,38	1682
164	11,10	1820

Lodo:

ST: 22.944 mg/L

SF: 8.814 mg/L

Polímero: Cytec/1591 C

concentração de aplicação: 10.000 mg/L

concentração da mistura: 800 mg/L

ST do polímero: 37%

conc. mistura (base seca) : 1,40%

vol. polímero: 40 mL

vol. lodo: 460 mL

Torta

Pcápsula = 74,3701 g

p₀ = 105,9905 gp₁ = 76,3155 g

Teor de sólidos = 6,2%

61.524 mg/L

b = 0,0465 s/cm⁶ **r²** = 0,9903**C** = 0,0366 g/cm³**R** = 1,38E+11 cm/g

Figura B.3.1.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.3.1

Figura B.3.1.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.3.1

Teste n.º B.3.2**Data: 11/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
20	1,35	27
30	1,43	43
40	1,53	61
50	1,74	87
60	2,03	122
70	2,26	158
80	2,45	196
90	2,66	239
100	2,90	290
110	3,12	343
120	3,33	399
130	3,68	479
140	4,25	595
150	5,25	787
152	5,74	872
154	6,05	931
156	6,43	1003
158	6,81	1076
160	7,38	1180
162	7,86	1274
164	8,41	1380
166	9,13	1515

Lodo:

ST: 22.944 mg/L

SF: 8.814 mg/L

Polímero: Cytec/1591 C

concentração de aplicação: 10.000 mg/L

concentração da mistura: 900 mg/L

ST do polímero: 37%

conc. mistura (base seca) : 1,60%

vol. polímero: 45 mL

vol. lodo: 455 mL

Tortap_{cápsula} = 78,6615 gp₀ = 117,4735 gp₁ = 81,1081 g

Teor de sólidos = 6,3%

63.037 mg/L

b = 0,0224 s/cm⁶ **r**² = 0,9984**C** = 0,0361 g/cm³**R** = 6,73E+10 cm/g

Figura B.3.2.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.3.2

Figura B.3.2.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.3.2

Teste n.º B.3.3**Data: 11/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
20	1,25	25
30	1,27	38
40	1,43	57
50	1,64	82
60	1,95	117
70	2,20	154
80	2,46	197
90	2,74	247
100	3,00	300
110	3,26	359
120	3,58	430
130	4,15	539
140	5,01	701
150	6,47	971
152	6,83	1038
154	7,20	1109
156	7,58	1183
158	8,00	1264
160	8,66	1386

Lodo:

ST: 22.944 mg/L

SF: 8.814 mg/L

Polímero: Cytec/1591 C

concentração de aplicação: 10.000 mg/L

concentração da mistura: 1000 mg/L

ST do polímero: 37%

conc. mistura (base seca) : 1,79%

vol. polímero: 50 mL

vol. lodo: 450 mL

Tortap_{cápsula} = 88,8984 gp₀ = 116,7275 gp₁ = 90,5801 g

Teor de sólidos = 6,0%

60.430 mg/L

b = 0,0257 s/cm⁶ **r**² = 0,9971**C** = 0,0370 g/cm³**R** = 7,53E+10 cm/g

Figura B.3.3.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.3.3

Figura B.3.3.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.3.3

Teste n.º B.3.4**Data: 11/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
20	1,65	33
30	1,67	50
40	1,68	67
50	1,88	94
60	2,12	127
70	2,31	162
80	2,51	201
90	2,80	252
100	3,06	306
110	3,41	375
120	3,72	446
130	4,03	524
140	4,71	660
150	6,01	902
152	6,51	990
154	6,97	1074
156	7,44	1160
158	8,05	1272
160	8,74	1398

Lodo:

ST: 22.944 mg/L

SF: 8.814 mg/L

Polímero: Cytec/1591 C

concentração de aplicação: 10.000 mg/L

concentração da mistura: 1200 mg/L

ST do polímero: 37%

conc. mistura (base seca) : 2,20%

vol. polímero: 60 mL

vol. lodo: 440 mL

Tortap_{cápsula} = 83,8860 gp₀ = 118,5554 gp₁ = 86,0366 g

Teor de sólidos = 6,2%

62.032 mg/L

b = 0,0261 s/cm⁶ **r**² = 0,9907**C** = 0,0364 g/cm³**R** = 7,75E+10 cm/g

Figura B.3.4.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.3.4

Figura B.3.4.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.3.4

Teste n.º B.3.5**Data: 11/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
20	2,45	49
30	2,47	74
40	2,58	103
50	2,78	139
60	3,03	182
70	3,23	226
80	3,46	277
90	3,70	333
100	3,97	397
110	4,25	467
120	4,56	547
130	4,85	630
140	5,19	727
150	6,00	900
152	6,26	951
154	6,63	1021
156	7,01	1093
158	7,47	1180
160	7,87	1259
162	8,35	1353
164	8,93	1464
166	9,47	1572
168	10,23	1718

Lodo:

ST: 22.944 mg/L

SF: 8.814 mg/L

Polímero: Cytec/1591 C

concentração de aplicação: 10.000 mg/L

concentração da mistura: 1400 mg/L

ST do polímero: 37%

conc. mistura (base seca) : 2,63%

vol. polímero: 70 mL

vol. lodo: 430 mL

Tortap_{cápsula} = 91,8892 gp₀ = 136,3311 gp₁ = 94,5229 g

Teor de sólidos = 5,9%

59.262 mg/L

b = 0,0251 s/cm⁶ **r**² = 0,9955**C** = 0,0374 g/cm³**R** = 7,26E+10 cm/g

Figura B.3.5.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.3.5

Figura B.3.5.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.3.5

Ensaio nº B.4**Data:** 12/09/96**Lodo**

tipo: digerido anaerobiamente

ST: 22.674 mg/L

SF: 8.938 mg/L

Polímero

PL-34/Gamus (em pó)

conc. de aplicação: 2.000 mg/L

ST do polímero: 100%

Dosagens e Concentrações utilizadas no Jar-Test

	testes					
	B.4.1	B.4.2	B.4.3	B.4.4	B.4.5	B.4.6
conc. da mistura (mg/L)	40	80	120	160	200	240
conc. da mistura (base seca)	0,18%	0,37%	0,56%	0,77%	0,98%	1,20%
dosagem (kg de poli./ton lodo)*	1,80	3,68	5,63	7,67	9,80	12,03
vol. lodo (mL)	490	480	470	460	450	440
vol. polímero (mL)	10	20	30	40	50	60

Intensidade de Mistura: 250 rpm em 1 minuto**Meio Filtrante:** papel Whatman nº 40*** base seca**

Polímero: PL-34/Gamus

TESTE	DOSAGEM (%)	R.E. (cm/g)
B.4.1	0,18%	5,72E+10
B.4.2	0,37%	9,76E+09
B.4.3	0,56%	9,07E+09
B.4.4	0,77%	1,69E+09
B.4.5	0,98%	1,13E+10
B.4.6	1,20%	6,68E+09

Figura B.4 -Curva da dosagem de polímero pela resistência específica do ensaio B.4

Teste nº B.4.1**Data:12/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,27	8
40	0,38	15
50	0,52	26
60	0,70	42
70	0,87	61
80	1,05	84
90	1,21	109
100	1,41	141
110	1,59	175
120	1,85	222
130	2,13	277
140	2,46	344
150	2,93	440
152	3,09	470
154	3,22	496
156	3,40	530
158	3,57	564
160	3,74	599
162	3,90	632
164	4,09	671
166	4,33	718
168	4,62	776
170	4,99	848
172	5,40	929

Lodo:

ST: 22.674 mg/L

SF: 8.938 mg/L

Polímero: PL-34/Gamus

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 40 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 0,18%

vol. polímero: 10 mL

vol. lodo: 490 mL

Tortap_{cápsula} = 82,0166 gp₀ = 114,9988 gp₁ = 84,3980 g

Teor de sólidos = 7,2%

72.203 mg/L

b = 0,0175 s/cm⁶ **r**² = 0,9991**C** = 0,0331 g/cm³**R** = 5,72E+10 cm/g

Figura B.4.1.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.4.1

Figura B.4.1.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.4.1

Teste nº B.4.2**Data: 12/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,17	5
40	0,18	7
50	0,18	9
60	0,20	12
70	0,21	15
80	0,24	19
90	0,27	24
100	0,31	31
110	0,35	39
120	0,40	48
130	0,45	59
140	0,53	74
150	0,68	102
160	0,90	144
162	0,95	154
164	1,04	170
166	1,11	185
168	1,18	199
170	1,31	222
172	1,46	251
174	1,60	278
176	1,75	308
178	2,02	360
180	2,58	464
182	3,11	566

Lodo:

ST: 22.674 mg/L

SF: 8.938 mg/L

Polímero: PL-34/Gamus

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 80 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 0,37%

vol. polímero: 20 mL

vol. lodo: 480 mL

Tortap_{cápsula} = 84,6836 gp₀ = 105,8900 gp₁ = 86,3952 g

Teor de sólidos = 8,1%

80.711 mg/L

b = 0,0028 s/cm⁶ **r**² = 0,9583**C** = 0,0315 g/cm³**R** = 9,76E+09 cm/g

Figura B.4.2.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.4.2

Figura B.4.2.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.4.2

Teste nº B.4.3**Data: 12/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,17	5
40	0,18	7
50	0,18	9
60	0,20	12
70	0,21	15
80	0,23	18
90	0,26	23
100	0,27	27
110	0,30	33
120	0,34	41
130	0,36	47
140	0,40	56
150	0,45	67
160	0,52	83
170	0,68	115
180	1,18	213
182	1,35	246
184	1,64	302
186	2,08	387

Lodo:

ST: 22.674 mg/L

SF: 8.938 mg/L

Polímero: PL-34/Gamus

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 120 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 0,56%

vol. polímero: 30 mL

vol. lodo: 470 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} = 79,3906 \text{ g}$ $p_0 = 104,3306 \text{ g}$ $p_1 = 81,5027 \text{ g}$

Teor de sólidos = 8,5%

84.687 mg/L

 $\mathbf{b} = 0,0026 \text{ s/cm}^6 \quad \mathbf{r}^2 = 0,9701$ $\mathbf{C} = 0,0310 \text{ g/cm}^3$ $\mathbf{R} = 9,07\text{E}+09 \text{ cm/g}$

Figura B.4.3.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.4.3

Figura B.4.3.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.4.3

Teste nº B.4.4**Data: 12/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,13	4
40	0,15	6
50	0,14	7
60	0,15	9
70	0,14	10
80	0,15	12
90	0,17	15
100	0,17	17
110	0,17	19
120	0,18	21
130	0,18	24
140	0,19	26
150	0,20	30
160	0,23	36
170	0,26	45
180	0,36	65
190	0,92	174
192	1,24	239
194	1,85	358

Lodo:

ST: 22.674 mg/L

SF: 8.938 mg/L

Polímero: PL-34/Gamus

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 160 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 0,77%

vol. polímero: 40 mL

vol. lodo: 460 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} = 75,2625 \text{ g}$ $p_0 = 94,7280 \text{ g}$ $p_1 = 77,0463 \text{ g}$

Teor de sólidos = 9,2%

91.639 mg/L

 $b = 4,70\text{E-}04 \text{ s/cm}^6 \quad r^2 = 0,9020$ $C = 0,0301 \text{ g/cm}^3$ $R = 1,69\text{E+}09 \text{ cm/g}$

Figura B.4.4.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.4.4

Figura B.4.4.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.4.4

Teste nº B.4.5**Data: 12/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,37	11
40	0,38	15
50	0,40	20
60	0,42	25
70	0,46	32
80	0,50	40
90	0,53	48
100	0,56	56
110	0,60	66
120	0,63	75
130	0,66	86
140	0,68	95
150	0,69	104
160	0,84	134
170	1,83	311
172	2,53	436

Lodo:

ST: 22.674 mg/L

SF: 8.938 mg/L

Polímero: PL-34/Gamus

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 200 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 0,98%

vol. polímero: 50 mL

vol. lodo: 450 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} = 79,2775 \text{ g}$ $p_0 = 103,0611 \text{ g}$ $p_1 = 81,2369 \text{ g}$

Teor de sólidos = 8,2%
82.385 mg/L

 $\mathbf{b} = 3,27\text{E-}03 \text{ s/cm}^6 \quad \mathbf{r}^2 = 0,9937$ $\mathbf{C} = 0,0313 \text{ g/cm}^3$ $\mathbf{R} = 1,13\text{E+}10 \text{ cm/g}$

Figura B.4.5.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.4.5

Figura B.4.5.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.4.5

Teste nº B.4.6**Data: 12/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	1,03	31
40	1,05	42
50	1,08	54
60	1,10	66
70	1,11	78
80	1,15	92
90	1,16	104
100	1,17	117
110	1,19	131
120	1,21	145
130	1,22	159
140	1,22	171
150	1,21	181
160	1,20	192
170	1,18	201
180	1,21	217
190	1,81	343
192	2,13	409
194	2,59	502

Lodo:

ST: 22.674 mg/L

SF: 8.938 mg/L

Polímero: PL-34/Gamus

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 240 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 1,20%

vol. polímero: 60 mL

vol. lodo: 440 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} = 88,7957 \text{ g}$ $p_0 = 114,9015 \text{ g}$ $p_1 = 91,0237 \text{ g}$

Teor de sólidos = 8,5%

85.345 mg/L

 $\mathbf{b} = 0,0019 \text{ s/cm}^6 \quad \mathbf{r}^2 = 0,9895$ $\mathbf{C} = 0,0309 \text{ g/cm}^3$ $\mathbf{R} = 6,68\text{E}+09 \text{ cm/g}$

Figura B.4.6.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.4.6

Figura B.4.6.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.4.6

Ensaio nº B.5**Data:** 12/09/96**Lodo**

tipo: digerido anaerobiamente

ST: 22.674 mg/L

SF: 8.938 mg/L

Polímero

Excel 5000/Cytec

conc. de aplicação: 10.000 mg/L

ST do polímero: 38%

Dosagens e Concentrações utilizadas no Jar-Test

	testes					
	B.5.1	B.5.2	B.5.3	B.5.4	B.5.5	B.5.6
conc. da mistura (mg/L)	500	600	700	800	900	1000
conc. da mistura (base seca)	0,88%	1,07%	1,26%	1,46%	1,66%	1,86%
dosagem (kg poli./ton lodo) *	8,82	10,70	12,61	14,57	16,58	18,62
vol. lodo (mL)	475	470	465	460	455	450
vol. polímero (mL)	25	30	35	40	45	50

Intensidade de Mistura: 250 rpm em 1 minuto**Meio Filtrante:** papel Whatman nº 40*** base seca**

Polímero: Excel 5000/Cytec

TESTE	DOSAGEM (%)	R.E. (cm/g)
B.5.1	0,88%	2,60E+10
B.5.2	1,07%	1,44E+09
B.5.3	1,26%	4,59E+08
B.5.4	1,46%	2,56E+08
B.5.5	1,66%	1,30E+09
B.5.6	1,86%	4,26E+08

Figura B.5 -Curva da dosagem de polímero pela resistência específica do ensaio B.5

Teste nº B.5.1**Data:12/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,17	5
40	0,20	8
50	0,24	12
60	0,27	16
70	0,34	24
80	0,39	31
90	0,46	41
100	0,53	53
110	0,60	66
120	0,68	82
130	0,77	100
140	0,87	122
150	1,01	152
160	1,26	202
170	1,65	281
172	1,77	304
174	1,90	330
176	2,06	363
178	2,20	392
180	2,49	449
182	2,91	530
184	3,49	642

Lodo:

ST: 22.674 mg/L

SF: 8.938 mg/L

Polímero: Excel 5000

concentração de aplicação: 10.000 mg/L

concentração da mistura: 500 mg/L

ST do polímero: 38%

conc. mistura (base seca) : 0,88%

vol. polímero: 25 mL

vol. lodo: 475 mL

Tortap_{cápsula} = 78,3261 gp₀ = 98,1895 gp₁ = 80,0310 g

Teor de sólidos = 8,6%

85.831 mg/L

b = 0,0074 s/cm⁶ r² = 0,9920**C** = 0,0308 g/cm³**R** = 2,60E+10 cm/g

Figura B.5.1.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.5.1

Figura B.5.1.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.5.1

Teste nº B.5.2**Data: 12/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,17	5
40	0,15	6
50	0,14	7
60	0,13	8
70	0,13	9
80	0,13	10
90	0,12	11
100	0,12	12
110	0,13	14
120	0,13	15
130	0,13	17
140	0,14	19
150	0,14	21
160	0,15	24
170	0,17	29
190	0,29	55
192	0,35	67
194	0,42	82
196	0,53	103
198	0,67	132
200	0,86	171
202	1,14	231
204	1,51	308

Lodo:

ST: 22.674 mg/L

SF: 8.938 mg/L

Polímero: Excel 5000

concentração de aplicação: 10.000 mg/L

concentração da mistura: 600 mg/L

ST do polímero: 38%

conc. mistura (base seca) : 1,07%

vol. polímero: 30 mL

vol. lodo: 470 mL

Tortap_{cápsula} = 82,8819 gp₀ = 100,6705 gp₁ = 84,7221 g

Teor de sólidos = 10,3%

103.448 mg/L

b = 3,88E-04 s/cm⁶ **r**² = 0,8871**C** = 0,0290 g/cm³**R** = 1,44E+09 cm/g

Figura B.5.2.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.5.2

Figura B.5.2.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.5.2

Teste nº 5.3**Data: 12/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,20	6
40	0,23	9
50	0,20	10
60	0,20	12
70	0,19	13
80	0,19	15
90	0,19	17
100	0,19	19
110	0,18	20
120	0,18	22
130	0,19	25
140	0,19	26
150	0,19	28
160	0,19	30
170	0,19	32
180	0,19	34
190	0,22	42
200	0,34	68
202	0,44	89
204	0,56	114
206	0,74	153
208	1,13	234
210	1,46	306

Lodo:

ST: 22.674 mg/L

SF: 8.938 mg/L

Polímero: Excel 5000

concentração de aplicação: 10.000 mg/L

concentração da mistura: 700 mg/L

ST do polímero: 38%

conc. mistura (base seca) : 1,26%

vol. polímero: 35 mL

vol. lodo: 465 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} = 77,7466 \text{ g}$ $p_0 = 92,9942 \text{ g}$ $p_1 = 79,4139 \text{ g}$

Teor de sólidos = 10,9%

109.348 mg/L

 $\mathbf{b} = 1,21\text{E-}04 \text{ s/cm}^6 \quad \mathbf{r}^2 = 0,2339$ $\mathbf{C} = 0,0286 \text{ g/cm}^3$ $\mathbf{R} = 4,59\text{E+}08 \text{ cm/g}$

Figura B.5.3.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.5.3

Figura B.5.3.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.5.3

Teste nº B.5.4**Data: 12/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,17	5
40	0,18	7
50	0,18	9
60	0,17	10
70	0,17	12
80	0,18	14
90	0,17	15
100	0,16	16
110	0,16	18
120	0,17	20
130	0,16	21
140	0,16	23
150	0,17	25
160	0,17	27
170	0,16	28
180	0,17	31
190	0,26	50
192	0,30	58
194	0,36	70
196	0,42	83
198	0,53	104
200	0,67	133
202	0,93	188
204	1,16	236
206	1,58	325

Lodo:

ST: 22.674 mg/L

SF: 8.938 mg/L

Polímero: Excel 5000

concentração de aplicação: 10.000 mg/L

concentração da mistura: 800 mg/L

ST do polímero: 38%

conc. mistura (base seca) : 1,46%

vol. polímero: 40 mL

vol. lodo: 460 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} = 88,7043 \text{ g}$ $p_0 = 110,5866 \text{ g}$ $p_1 = 91,1372 \text{ g}$

Teor de sólidos = 11,1%

111.181 mg/L

 $\mathbf{b} = 6,74\text{E-}05 \text{ s/cm}^6 \quad \mathbf{r}^2 = 0,3368$ $\mathbf{C} = 0,0285 \text{ g/cm}^3$ $\mathbf{R} = 2,56\text{E+}08 \text{ cm/g}$

Figura B.5.4.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.5.4

Figura B.5.4.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.5.4

Teste nº B.5.5**Data: 12/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,17	5
40	0,18	7
50	0,16	8
60	0,17	10
70	0,16	11
80	0,15	12
90	0,16	14
100	0,16	16
110	0,15	17
120	0,15	18
130	0,15	19
140	0,15	21
150	0,15	22
160	0,15	24
170	0,15	26
180	0,18	32
190	0,26	49
200	0,70	139
202	0,96	194
204	1,25	256

Lodo:

ST: 22.674 mg/L

SF: 8.938 mg/L

Polímero: Excel 5000

concentração de aplicação: 10.000 mg/L

concentração da mistura: 900 mg/L

ST do polímero: 38%

conc. mistura (base seca) : 1,66%

vol. polímero: 45 mL

vol. lodo: 455 mL

Tortap_{cápsula} = 88,9619 gp₀ = 110,5041 gp₁ = 91,2397 g

Teor de sólidos = 10,6%

105.737 mg/L

b = 3,46E-04 s/cm⁶ **r**² = 0,4613**C** = 0,0289 g/cm³**R** = 1,30E+09 cm/g

Figura B.5.5.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.5.5

Figura B.5.5.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.5.5

Teste nº B.5.6**Data: 12/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,30	9
40	0,25	10
50	0,24	12
60	0,25	15
70	0,24	17
80	0,24	19
90	0,24	22
100	0,25	25
110	0,25	27
130	0,23	30
140	0,25	35
150	0,25	38
160	0,26	41
170	0,25	43
180	0,26	47
190	0,37	70
200	0,87	173
202	1,12	226
204	1,69	344

Lodo:

ST: 22.674 mg/L

SF: 8.938 mg/L

Polímero: Excel 5000

concentração de aplicação: 10.000 mg/L

concentração da mistura: 1000 mg/L

ST do polímero: 38%

conc. mistura (base seca) : 1,86%

vol. polímero: 50 mL

vol. lodo: 450 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} = 81,2964 \text{ g}$ $p_0 = 104,2107 \text{ g}$ $p_1 = 83,8353 \text{ g}$

Teor de sólidos = 11,1%

110.800 mg/L

 $\mathbf{b} = 1,12\text{E-}04 \text{ s/cm}^6 \quad \mathbf{r}^2 = 0,3513$ $\mathbf{C} = 0,0285 \text{ g/cm}^3$ $\mathbf{R} = 4,26\text{E+}08 \text{ cm/g}$

Figura B.5.6.1 - Gráfico do teste de resistência específica n.º B.5.6

Figura B.5.6.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste n.º B.5.6

Ensaio nº B.6**Data:** 17/09/96**Lodo**

tipo: digerido anaerobiamente

ST: 23.020 mg/L

SF: 8.590 mg/L

Polímero

Nalco 7128

conc. de aplicação: 10.000 mg/L

ST do polímero: 34,7%

Dosagens e Concentrações utilizadas no Jar-Test

	testes				
	B.6.1	B.6.2	B.6.3	B.6.4	B.6.5
conc. da mistura (mg/L)	300	400	500	600	700
conc. da mistura (base seca)	0,47%	0,63%	0,79%	0,96%	1,13%
dosagem (kg polímero/ton lodo)*	4,66	6,28	7,93	9,62	11,35
vol. lodo (mL)	485	480	475	470	465
vol. polímero (mL)	15	20	25	30	35

Intensidade de Mistura: 250 rpm em 1 minuto**Meio Filtrante:** papel Whatman nº 40*** base seca**

Polímero: Nalco 7128

TESTE	DOSAGEM (%)	R.E. (cm/g)
B.6.1	0,47%	1,30E+11
B.6.2	0,63%	1,91E+10
B.6.3	0,79%	5,56E+09
B.6.4	0,96%	8,11E+09
B.6.5	1,13%	3,11E+09

Figura B.6 - Curva de dosagem de polímero pela resistência específica do ensaio B.6

Teste nº B.6.1**Data:17/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
20	0,30	6
30	0,47	14
40	0,68	27
50	0,84	42
60	1,22	73
70	1,53	107
80	1,91	153
90	2,36	212
100	2,87	287
110	3,28	361
120	3,75	450
130	4,23	550
140	4,66	653
150	5,47	820
160	6,26	1001
168	7,35	1235
170	7,88	1339
172	8,30	1428
174	8,87	1544
176	9,44	1661

Lodo:

ST: 23.020 mg/L

SF: 8.590 mg/L

Polímero: Nalco 7128

concentração de aplicação: 10.000 mg/L

concentração da mistura: 300 mg/L

ST do polímero: 34,7%

conc. mistura (base seca) : 0,47%

vol. polímero: 15 mL

vol. lodo: 485 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} = 91,8877 \text{ g}$ $p_0 = 123,2407 \text{ g}$ $p_1 = 94,1335 \text{ g}$

Teor de sólidos = 7,2%

71.630 mg/L

 $b = 0,0407 \text{ s/cm}^6 \quad r^2 = 0,9905$ $C = 0,0339 \text{ g/cm}^3$ $R = 1,30\text{E}+11 \text{ cm/g}$

Figura B.6.1.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.6.1

Figura B.6.1.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.6.1

Teste nº B.6.2**Data: 17/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
20	0,20	4
30	0,23	7
40	0,23	9
50	0,28	14
60	0,32	19
70	0,36	25
80	0,41	33
90	0,47	42
100	0,53	53
110	0,61	67
120	0,70	84
130	0,79	103
140	0,87	122
150	1,07	160
160	1,42	227
170	2,05	349
172	2,31	398
174	2,63	457
176	2,96	521
178	3,42	609
180	3,91	704

Lodo:

ST: 23.020 mg/L

SF: 8.590 mg/L

Polímero: Nalco 7128

concentração de aplicação: 10.000 mg/L

concentração da mistura: 400 mg/L

ST do polímero: 34,7%

conc. mistura (base seca) : 0,63%

vol. polímero: 20 mL

vol. lodo: 480 mL

Tortap_{cápsula} = 88,7041 gp₀ = 112,5019 gp₁ = 90,5945 g

Teor de sólidos = 7,9%

79.436 mg/L

b = 5,71E-03 s/cm⁶ **r**² = 0,9805**C** = 0,0324 g/cm³**R** = 1,91E+10 cm/g

Figura B.6.2.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.6.2

Figura B.6.2.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.6.2

Teste nº B.6.3**Data: 17/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
20	0,20	4
30	0,23	7
40	0,25	10
50	0,26	13
60	0,28	17
70	0,30	21
80	0,30	24
90	0,32	29
100	0,33	33
110	0,35	39
120	0,37	44
130	0,38	50
140	0,42	59
150	0,48	72
160	0,59	94
170	1,06	181
172	1,35	233
174	1,69	294
176	2,11	372
178	2,68	477

Lodo:

ST: 23.020 mg/L

SF: 8.590 mg/L

Polímero: Nalco 7128

concentração de aplicação: 10.000 mg/L

concentração da mistura: 500 mg/L

ST do polímero: 34,7%

conc. mistura (base seca) : 0,79%

vol. polímero: 25 mL

vol. lodo: 475 mL

Tortap_{cápsula} = 97,7437 gp₀ = 117,4429 gp₁ = 99,4201 gTeor de sólidos = 8,5%
85.100 mg/L**b** = 0,0016 s/cm⁶ 0,9829
r² =**C** = 0,0316 g/cm³**R** = 5,56E+09 cm/g

Figura B.6.3.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.6.3

Figura B.6.3.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.6.3

Teste nº B.6.4**Data: 17/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
20	0,55	11
30	0,57	17
40	0,60	24
50	0,64	32
60	0,68	41
70	0,70	49
80	0,73	58
90	0,76	68
100	0,80	80
110	0,82	90
120	0,83	99
130	0,84	109
140	0,85	119
150	0,86	129
160	0,88	140
170	0,92	156
180	1,47	264
182	1,69	307
184	2,13	392

Lodo:

ST: 23.020 mg/L

SF: 8.590 mg/L

Polímero: Nalco 7128

concentração de aplicação: 10.000 mg/L

concentração da mistura: 600 mg/L

ST do polímero: 34,7%

conc. mistura (base seca) : 0,96%

vol. polímero: 30 mL

vol. lodo: 470 mL

Tortap_{cápsula} = 74,3697 gp₀ = 90,0063 gp₁ = 75,6042 g

Teor de sólidos = 7,9%

78.949 mg/L

b = 0,0024 s/cm⁶ **r**² = 0,9624**C** = 0,0325 g/cm³**R** = 8,11E+09 cm/g

Figura B.6.4.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.6.4

Figura B.6.4.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.6.4

Teste nº B.6.5**Data: 17/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,50	15
40	0,53	21
50	0,56	28
60	0,57	34
70	0,59	41
80	0,59	47
90	0,59	53
100	0,61	61
110	0,61	67
120	0,61	73
130	0,62	80
140	0,62	87
150	0,63	94
160	0,68	108
170	0,78	133
178	1,13	202
180	1,34	241
182	1,77	322
184	2,18	401
186	2,73	508

Lodo:

ST: 23.020 mg/L

SF: 8.590 mg/L

Polímero: Nalco 7128

concentração de aplicação: 10.000 mg/L

concentração da mistura: 700 mg/L

ST do polímero: 34,7%

conc. mistura (base seca) : 1,13%

vol. polímero: 35 mL

vol. lodo: 465 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} = 77,7453 \text{ g}$ $p_0 = 89,3535 \text{ g}$ $p_1 = 78,7211 \text{ g}$

Teor de sólidos = 8,4%

84.061 mg/L

 $b = 9,11\text{E-}04 \text{ s/cm}^6 \quad r^2 = 0,8609$ $C = 0,0317 \text{ g/cm}^3$ $R = 3,11\text{E+}09 \text{ cm/g}$

Figura B.6.5.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.6.5

Figura B.6.5.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.6.5

Ensaio nº B.7**Data:** 17/09/96**Lodo**

tipo: digerido anaerobiamente

ST: 23.020 mg/L

SF: 8.590 mg/L

Polímero

Cytec/SD 2081

conc. de aplicação: 10.000 mg/L

ST do polímero: 45%

Dosagens e Concentrações utilizadas no Jar-Test

	testes		
	B.7.1	B.7.2	B.7.3
conc. da mistura (mg/L)	600	700	800
conc. da mistura (base seca)	1,23%	1,46%	1,68%
dosagem (kg polímero/ton lodo)*	12,34	14,55	16,81
vol. lodo (mL)	470	465	460
vol. polímero (mL)	30	35	40

Intensidade de Mistura: 250 rpm em 1 minuto**Meio Filtrante:** papel Whatman nº 40*** base seca**

Polímero: Cytec/SD 2081

TESTE	DOSAGEM (%)	R.E. (cm/g)
7.1	1,23%	6,63E+10
7.2	1,46%	4,04E+10
7.3	1,68%	1,17E+12

Figura B.7 - Curva de dosagem de polímero pela resistência específica do ensaio B.7

Teste nº B.7.1**Data:17/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
20	0,90	18
30	0,90	27
40	1,05	42
50	1,20	60
60	1,32	79
70	1,57	110
80	1,83	146
90	2,23	201
100	2,75	275
110	3,44	378
120	4,69	563
130	6,52	848
140	9,01	1261
142	9,58	1360
144	10,11	1456
146	10,68	1559
148	11,26	1667

Lodo:

ST: 23.020 mg/L

SF: 8.590 mg/L

Polímero: Cytec/SD 2081

concentração de aplicação: 10.000 mg/L

concentração da mistura: 600 mg/L

ST do polímero: 45%

conc. mistura (base seca) : 1,23%

vol. polímero: 30 mL

vol. lodo: 470 mL

Tortap_{cápsula} = 83,8854 gp₀ = 117,8052 gp₁ = 86,2314 g

Teor de sólidos = 6,9%

69.163 mg/L

b = 0,0211 s/cm⁶ **r**² = 0,9549**C** = 0,0345 g/cm³**R** = 6,63E+10 cm/g

Figura B.7.1.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.7.1

Figura B.7.1.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.7.1

Teste nº B.7.2**Data: 17/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
20	0,80	16
30	0,90	27
40	1,03	41
50	1,06	53
60	1,18	71
70	1,36	95
80	1,48	118
90	1,60	144
100	1,72	172
110	1,83	201
120	1,93	232
130	2,02	263
140	2,11	295
150	2,18	327
160	2,67	427
170	3,78	642
172	3,99	687
174	4,38	762
176	4,88	858

Lodo:

ST: 23.020 mg/L

SF: 8.590 mg/L

Polímero: Cytec/SD 2081

concentração de aplicação: 10.000 mg/L

concentração da mistura: 700 mg/L

ST do polímero: 45%

conc. mistura (base seca) : 1,46%

vol. polímero: 35 mL

vol. lodo: 465 mL

Tortap_{cápsula} = 92,6753 gp₀ = 129,6284 gp₁ = 96,0710 g

Teor de sólidos = 9,2%

91.892 mg/L

b = 0,0115 s/cm⁶ **r**² = 0,9944**C** = 0,0307 g/cm³**R** = 4,04E+10 cm/g

Figura B.7.2.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.7.2

Figura B.7.2.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.7.2

Teste nº B.7.3**Data: 17/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
20	3,00	60
30	4,47	134
40	7,18	287
50	11,64	582
58	16,45	954
60	17,32	1039

Lodo:

ST: 23.020 mg/L

SF: 8.590 mg/L

Polímero: Cytec/SD 2081

concentração de aplicação: 10.000 mg/L

concentração da mistura: 800 mg/L

ST do polímero: 45%

conc. mistura (base seca) : 1,68%

vol. polímero: 40 mL

vol. lodo: 460 mL

TortaP_{cápsula} = 79,9120 gp₀ = 110,1106 gp₁ = 81,9866 g

Teor de sólidos = 6,9%

68.699 mg/L

b = 0,3732 s/cm⁶ **r**² = 0,9542**C** = 0,0346 g/cm³**R** = 1,17E+12 cm/g

Figura B.7.3.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.7.3

Figura B.7.3.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.7.3

Ensaio nº B.8**Data:** 19/09/96**Lodo**

tipo: digerido anaerobiamente

ST: 21.418 mg/L

SF: 8.528 mg/L

Polímero

Gamus/PL 56

conc. de aplicação: 2.000 mg/L

ST do polímero: 100%

Dosagens e Concentrações utilizadas no Jar-Test

	testes				
	B.8.1	B.8.2	B.8.3	B.8.4	B.8.5
conc. da mistura (mg/L)	100	120	160	200	240
conc. da mistura (base seca)	0,49%	0,60%	0,81%	1,04%	1,27%
dosagem (kg polímero/ton lodo)*	4,91	5,96	8,12	10,38	12,73
vol. lodo (mL)	475	470	460	450	440
vol. polímero (mL)	25	30	40	50	60

Intensidade de Mistura: 250 rpm em 1 minuto**Meio Filtrante:** papel Whatman nº 40*** base seca**

Polímero: Gamus/PL 56

TESTE	DOSAGEM (%)	R.E. (cm/g)
B.8.1	0,49%	9,82E+10
B.8.2	0,60%	1,21E+10
B.8.3	0,81%	1,19E+09
B.8.4	1,04%	8,41E+08
B.8.5	1,27%	1,35E+09

Figura B.8 - Curva de dosagem de polímero pela resistência específica do ensaio nº B.8

Teste nº B.8.1**Data:19/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,43	13
40	0,60	24
50	0,82	41
60	1,08	65
70	1,33	93
80	1,58	126
90	1,89	170
100	2,21	221
110	2,55	281
120	2,95	354
130	3,45	449
140	4,15	581
150	5,33	799
152	5,54	842
154	5,94	915
156	6,29	982
158	6,70	1058
160	7,26	1162
162	7,83	1268
164	8,43	1382

Lodo:

ST: 21.418 mg/L

SF: 8.528 mg/L

Polímero: Gamus/PL 56

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 100 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 0,49%

vol. polímero: 25 mL

vol. lodo: 475 mL

Tortap_{cápsula} = 82,0159 gp₀ = 110,2788 gp₁ = 84,0365 g

Teor de sólidos = 7,1%

71.493 mg/L

b = 0,0277 s/cm⁶ **r**² = 0,9945**C** = 0,0306 g/cm³**R** = 9,82E+10 cm/g

Figura B.8.1.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.8.1

Figura B.8.1.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.8.1

Teste nº B.8.2**Data: 19/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,20	6
40	0,23	9
50	0,24	12
60	0,28	17
70	0,31	22
80	0,35	28
90	0,38	34
100	0,41	41
110	0,45	50
120	0,49	59
130	0,58	76
140	0,72	101
150	0,97	146
160	1,59	254
162	1,74	282
164	1,95	320
166	2,33	387
168	2,77	465

Lodo:

ST: 21.418 mg/L

SF: 8.528 mg/L

Polímero: Gamus/PL 56

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 120 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 0,60%

vol. polímero: 30 mL

vol. lodo: 470 mL

Tortap_{cápsula} = 79,2764 gp₀ = 103,7929 gp₁ = 81,2527 g

Teor de sólidos = 8,1%

80.611 mg/L

b = 0,0033 s/cm⁶ **r**² = 0,9936**C** = 0,0292 g/cm³**R** = 1,21E+10 cm/g

Figura B.8.2.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.8.2

Figura B.8.2.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.8.2

Teste nº B.8.3**Data: 19/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,17	5
40	0,18	7
50	0,18	9
60	0,17	10
70	0,17	12
80	0,18	14
90	0,18	16
100	0,18	18
110	0,19	21
120	0,19	23
130	0,21	27
140	0,23	32
150	0,27	41
160	0,39	63
168	0,93	157
170	1,36	232
172	1,75	301

Lodo:

ST: 21.418 mg/L

SF: 8.528 mg/L

Polímero: Gamus/PL 56

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 160 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 0,81%

vol. polímero: 40 mL

vol. lodo: 460 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} = 81,2968 \text{ g}$ $p_0 = 107,9430 \text{ g}$ $p_1 = 83,7262 \text{ g}$

Teor de sólidos = 9,1%

91.172 mg/L

 $\mathbf{b} = 3,07\text{E-}04 \text{ s/cm}^6 \quad \mathbf{r}^2 = 0,6881$ $\mathbf{C} = 0,0280 \text{ g/cm}^3$ $\mathbf{R} = 1,19\text{E+}09 \text{ cm/g}$

Figura B.8.3.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.8.3

Figura B.8.3.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.8.3

Teste nº B.8.4**Data: 19/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,13	4
40	0,15	6
50	0,14	7
60	0,15	9
70	0,16	11
80	0,15	12
90	0,16	14
110	0,15	17
120	0,16	19
130	0,15	20
140	0,16	23
150	0,17	26
160	0,19	31
170	0,25	42
180	0,64	116
182	0,82	150
184	1,21	222
186	1,80	335

Lodo:

ST: 21.418 mg/L

STF: 8.528 mg/L

Polímero: Gamus/PL 56

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 200 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 1,04%

vol. polímero: 50 mL

vol. lodo: 450 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} = 87,3937 \text{ g}$ $p_0 = 113,1963 \text{ g}$ $p_1 = 89,8147 \text{ g}$

Teor de sólidos = 9,4%

93.828 mg/L

 $\mathbf{b} = 2,16\text{E-}04 \text{ s/cm}^6 \quad \mathbf{r}^2 = 0,7141$ $\mathbf{C} = 0,0278 \text{ g/cm}^3$ $\mathbf{R} = 8,41\text{E+}08 \text{ cm/g}$

Figura B.8.4.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.8.4

Figura B.8.4.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.8.4

Teste nº B.8.5**Data: 19/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,23	7
40	0,25	10
50	0,24	12
60	0,25	15
70	0,26	18
80	0,26	21
90	0,27	24
100	0,27	27
110	0,26	29
120	0,27	32
130	0,26	34
140	0,26	37
150	0,27	41
160	0,31	49
170	0,56	95
172	0,71	122
174	0,93	161
176	1,27	224
178	1,86	331

Lodo:

ST: 21.418 mg/L

SF: 8.528 mg/L

Polímero: Gamus/PL 56

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 240 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 1,27%

vol. polímero: 60 mL

vol. lodo: 440 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} = 81,7528 \text{ g}$ $p_0 = 108,6727 \text{ g}$ $p_1 = 84,3642 \text{ g}$

Teor de sólidos = 9,7%

97.006 mg/L

 $\mathbf{b} = 3,42\text{E-}04 \text{ s/cm}^6 \quad \mathbf{r}^2 = 0,6987$ $\mathbf{C} = 0,0275 \text{ g/cm}^3$ $\mathbf{R} = 1,35\text{E+}09 \text{ cm/g}$

Figura B.8.5.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.8.5

Figura B.8.5.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.8.5

Ensaio nº B.9**Data:** 19/09/96**Lodo**

tipo: digerido anaerobiamente

ST: 21.418 mg/L

SF: 8.528 mg/L

Polímero

Cytec/C 498

conc. de aplicação: 2.000 mg/L

ST do polímero: 100%

Dosagens e Concentrações utilizadas no Jar-Test

	testes				
	B.9.1	B.9.2	B.9.3	B.9.4	B.9.5
conc. da mistura (mg/L)	120	160	200	240	280
conc. da mistura (base seca)	0,60%	0,81%	1,04%	1,27%	1,52%
dosagem (kg polímero/ton lodo)*	5,96	8,12	10,38	12,73	15,20
vol. lodo (mL)	470	460	450	440	430
vol. polímero (mL)	30	40	50	60	70

Intensidade de Mistura: 250 rpm em 1 minuto**Meio Filtrante:** papel Whatman nº 40*** base seca**

Polímero: Cytec/C498

TESTE	DOSAGEM (%)	R.E. (cm/g)
B.9.1	0,60%	1,96E+10
B.9.2	0,81%	6,47E+09
B.9.3	1,04%	2,21E+09
B.9.4	1,27%	4,73E+09
B.9.5	1,52%	1,67E+09

Figura B.9 - Curva de dosagem de polímero pela resistência específica do ensaio nº B.9

Teste nº B.9.1**Data:19/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,23	7
40	0,28	11
50	0,32	16
60	0,35	21
70	0,39	27
80	0,44	35
90	0,50	45
100	0,55	55
110	0,60	66
120	0,67	80
130	0,75	98
140	0,84	117
150	1,01	151
160	1,44	231
170	2,39	406
172	2,87	494
174	3,37	587

Lodo:

ST: 21.418 mg/L

SF: 8.528 mg/L

Polímero: Cytec/C 498

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 120 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 0,60%

vol. polímero: 30 mL

vol. lodo: 470 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} = 82,7708 \text{ g}$ $p_0 = 110,8077 \text{ g}$ $p_1 = 85,0091 \text{ g}$

Teor de sólidos = 8,0%

79.834 mg/L

 $\mathbf{b} = 0,0053 \text{ s/cm}^6 \quad \mathbf{r}^2 = 0,9802$ $\mathbf{C} = 0,0293 \text{ g/cm}^3$ $\mathbf{R} = 1,96\text{E}+10 \text{ cm/g}$

Figura B.9.1.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.9.1

Figura B.9.1.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.9.1

Teste nº B.9.2**Data: 19/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,17	5
50	0,16	8
70	0,19	13
80	0,20	16
90	0,22	20
100	0,24	24
110	0,25	28
120	0,28	33
130	0,29	38
140	0,33	46
150	0,37	56
160	0,46	74
170	0,64	109
180	1,52	274
182	1,98	361
184	2,61	480

Lodo:

ST: 21.418 mg/L

SF: 8.528 mg/L

Polímero: Cytec/C 498

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 160 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 0,81%

vol. polímero: 40 mL

vol. lodo: 460 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} = 88,8983 \text{ g}$ $p_0 = 121,3586 \text{ g}$ $p_1 = 91,7405 \text{ g}$

Teor de sólidos = 8,8%

87.559 mg/L

 $\mathbf{b} = 0,0017 \text{ s/cm}^6 \quad \mathbf{r}^2 = 0,9946$ $\mathbf{C} = 0,0284 \text{ g/cm}^3$ $\mathbf{R} = 6,47\text{E}+09 \text{ cm/g}$

Figura B.9.2.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.9.2

Figura B.9.2.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.9.2

Teste nº B.9.3**Data: 19/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,20	6
40	0,20	8
50	0,20	10
60	0,18	11
70	0,20	14
80	0,20	16
90	0,21	19
100	0,21	21
110	0,22	24
120	0,23	27
130	0,23	30
140	0,24	33
150	0,24	36
160	0,25	40
170	0,36	62
172	0,45	78
174	0,58	101
176	0,79	139
178	1,19	211
180	1,72	310

Lodo:

ST: 21.418 mg/L

SF: 8.528 mg/L

Polímero: Cytec/C 498

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 200 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 1,04%

vol. polímero: 50 mL

vol. lodo: 450 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} = 79,7973 \text{ g}$ $p_0 = 112,4356 \text{ g}$ $p_1 = 82,4371 \text{ g}$

Teor de sólidos = 8,1%

80.880 mg/L

 $\mathbf{b} = 5,95\text{E-}04 \text{ s/cm}^6 \quad \mathbf{r}^2 = 0,9765$ $\mathbf{C} = 0,0291 \text{ g/cm}^3$ $\mathbf{R} = 2,21\text{E+}09 \text{ cm/g}$

Figura B.9.3.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.9.3

Figura B.9.3.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.9.3

Teste nº B.9.4**Data: 19/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,33	10
40	0,33	13
50	0,32	16
60	0,33	20
70	0,34	24
80	0,36	29
90	0,38	34
100	0,38	38
110	0,40	44
120	0,42	50
130	0,43	56
140	0,44	61
150	0,45	67
160	0,46	73
170	0,48	81
176	0,66	117
178	0,85	152
180	1,15	207
182	1,73	314

Lodo:

ST: 21.418 mg/L

SF: 8.528 mg/L

Polímero: Cytec/C 498

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 240 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 1,27%

vol. polímero: 60 mL

vol. lodo: 440 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} = 88,8198 \text{ g}$ $p_0 = 113,8810 \text{ g}$ $p_1 = 90,8092 \text{ g}$

Teor de sólidos = 7,9%

79.382 mg/L

 $\mathbf{b} = 0,0013 \text{ s/cm}^6 \quad \mathbf{r}^2 = 0,9929$ $\mathbf{C} = 0,0293 \text{ g/cm}^3$ $\mathbf{R} = 4,73\text{E}+09 \text{ cm/g}$

Figura B.9.4.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.9.4

Figura B.9.4.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear nº B.9.4

Teste nº B.9.5**Data: 19/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,33	10
40	0,33	13
50	0,30	15
60	0,32	19
70	0,33	23
80	0,34	27
90	0,33	30
100	0,35	35
110	0,35	39
120	0,35	42
130	0,35	46
140	0,36	50
150	0,35	53
168	0,38	64
170	0,43	73
174	0,56	98
176	0,75	132
178	1,07	190
180	1,67	300

Lodo:

ST: 21.418 mg/L

SF: 8.528 mg/L

Polímero: Cytec/C 498

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 280 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 1,52%

vol. polímero: 70 mL

vol. lodo: 430 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} = 89,4620 \text{ g}$ $p_0 = 120,4260 \text{ g}$ $p_1 = 92,1062 \text{ g}$

Teor de sólidos = 8,5%

85.396 mg/L

 $\mathbf{b} = 4,41\text{E-}04 \text{ s/cm}^6 \quad \mathbf{r}^2 = 0,7741$ $\mathbf{C} = 0,0286 \text{ g/cm}^3$ $\mathbf{R} = 1,67\text{E+}09 \text{ cm/g}$

Figura B.9.5.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.9.5

Figura B.9.5.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear nº B.9.5

Ensaio nº B.10**Data: 25/09/96****Lodo**

tipo: digerido anaerobiamente

ST: 23.158 mg/L

SF: 8.792 mg/L

Polímero

Gamus/PL 46

conc. de aplicação: 2.000 mg/L

ST do polímero: 100%

Dosagens e Concentrações utilizadas no Jar-Test

	testes					
	B.10.1	B.10.2	B.10.3	B.10.4	B.10.5	B.10.6
conc. da mistura (mg/L)	60	80	100	120	137,3	160
conc. da mistura (base seca)	0,27%	0,36%	0,45%	0,55%	0,64%	0,75%
dosagem (kg polímero/ton lodo)*	2,67	3,60	4,55	5,51	6,36	7,51
vol. lodo (mL)	485	480	475	470	475	460
vol. polímero (mL)	15	20	25	30	35	40

Intensidade de Mistura: 250 rpm em 1 minuto**Meio Filtrante:** papel Whatman nº 40*** base seca**

Polímero: Gamus/PL 46

TESTE	DOSAGEM (%)	R.E. (cm/g)
B.10.1	0,27%	2,51E+11
B.10.2	0,36%	1,38E+10
B.10.3	0,45%	5,37E+09
B.10.4	0,55%	1,44E+09
B.10.5	0,65%	8,99E+08
B.10.6	0,75%	7,59E+08

Figura B.10 - Curva de dosagem de polímero pela resistência específica do ensaio B.10

Teste nº B.10.1**Data:25/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
20	0,65	13
30	1,00	30
40	1,60	64
50	2,28	114
60	3,15	189
70	4,00	280
80	4,83	386
90	5,80	522
100	6,60	660
110	7,57	833
120	8,43	1012
130	9,42	1224
132	9,57	1263
134	9,77	1309
136	9,99	1358
138	10,18	1405
140	10,44	1461
142	10,72	1522
144	10,94	1575
146	11,30	1650
148	11,62	1720
150	12,03	1804
152	12,24	1860
154	12,64	1946
156	13,03	2032
158	13,46	2126
160	13,88	2220
162	14,40	2333

Lodo:

ST: 23.158 mg/L

SF: 8.792 mg/L

Polímero: Gamus/PL 46

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 60 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 0,27%

vol. polímero: 15 mL

vol. lodo: 485 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} = 82,0162 \text{ g}$ $p_0 = 126,9771 \text{ g}$ $p_1 = 84,7710 \text{ g}$

Teor de sólidos = 6,1%

61.271 mg/L

 $b = 0,0864 \text{ s/cm}^6 \quad r^2 = 0,9980$ $C = 0,0372 \text{ g/cm}^3$ $R = 2,51\text{E}+11 \text{ cm/g}$

Figura B.10.1.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.10.1

Figura B.10.1.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.10.1

Teste nº B.10.2**Data: 25/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,17	5
40	0,23	9
50	0,26	13
60	0,28	17
70	0,31	22
80	0,38	30
90	0,40	36
100	0,45	45
110	0,48	53
120	0,56	67
130	0,62	81
140	0,80	112
150	1,09	163
160	1,69	270
162	1,86	302
164	2,09	343
166	2,30	382
168	2,78	467

Lodo:

ST: 23.158 mg/L

SF: 8.792 mg/L

Polímero: Gamus/PL 46

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 80 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 0,36%

vol. polímero: 20 mL

vol. lodo: 480 mL

Tortap_{cápsula} = 74,3691 gp₀ = 100,9573 gp₁ = 76,6314 g

Teor de sólidos = 8,5%

85.087 mg/L

b = 0,0041 s/cm⁶ **r**² = 0,9885**C** = 0,0318 g/cm³**R** = 1,38E+10 cm/g

Figura B.10.2.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.10.2

Figura B.10.2.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.10.2

Teste nº B.10.3**Data: 25/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,17	5
40	0,18	7
50	0,18	9
60	0,20	12
70	0,21	15
80	0,23	18
90	0,23	21
100	0,26	26
110	0,27	30
120	0,30	36
130	0,32	42
140	0,37	52
150	0,41	61
160	0,48	76
170	0,62	105
180	0,90	162
188	1,51	284
190	1,93	367
192	2,27	435
194	2,83	549

Lodo:

ST: 23.158 mg/L

SF: 8.792 mg/L

Polímero: Gamus/PL 46

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 100 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 0,45%

vol. polímero: 25 mL

vol. lodo: 475 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} = 88,8971 \text{ g}$ $p_0 = 115,2596 \text{ g}$ $p_1 = 91,2744 \text{ g}$

Teor de sólidos = 9,0%

90.177 mg/L

 $b = 0,0015 \text{ s/cm}^6 \quad r^2 = 0,9733$ $C = 0,0312 \text{ g/cm}^3$ $R = 5,37\text{E}+09 \text{ cm/g}$

Figura B.10.3.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.10.3

Figura B.10.3.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.10.3

Teste nº B.10.4**Data: 25/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,13	4
40	0,15	6
50	0,16	8
70	0,14	10
90	0,14	13
100	0,15	15
110	0,15	17
120	0,16	19
130	0,17	22
140	0,19	26
150	0,21	32
160	0,24	39
170	0,32	54
180	0,51	92
188	1,13	213
190	1,47	280
192	1,94	372

Lodo:

ST: 23.158 mg/L

SF: 8.792 mg/L

Polímero: Gamus/PL 46

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 120 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 0,55%

vol. polímero: 30 mL

vol. lodo: 470 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} =$ 81,2963 g $p_0 =$ 113,2855 g $p_1 =$ 84,2282 g

Teor de sólidos = 9,2%

91.653 mg/L

 $\mathbf{b} =$ 4,12E-04 s/cm⁶ $r^2 =$ 0,5719 $\mathbf{C} =$ 0,0310 g/cm³ $\mathbf{R} =$ 1,44E+09 cm/g

Figura B.10.4.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.10.4

Figura B.10.4.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.10.4

Teste nº B.10.5**Data: 25/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,17	5
40	0,15	6
60	0,13	8
80	0,15	12
90	0,16	14
110	0,15	17
120	0,16	19
130	0,17	22
140	0,18	25
150	0,19	29
160	0,22	35
170	0,27	46
180	0,50	90
184	0,79	145
186	1,26	234
188	1,78	335
190	2,38	452

Lodo:

ST: 23.158 mg/L

SF: 8.792 mg/L

Polímero: Gamus/PL 46

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 140 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 0,65%

vol. polímero: 35 mL

vol. lodo: 465 mL

Torta

Pcápsula = 79,2764 g

p₀ = 104,6287 gp₁ = 81,7685 g

Teor de sólidos = 9,8%

98.299 mg/L

b = 2,52E-04 s/cm⁶ **r**² = 0,5741**C** = 0,0303 g/cm³**R** = 8,99E+08 cm/g

Figura B.10.5.1 -Gráfico do teste de resistência específica nº B.10.5

Figura B.10.5.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.10.5

Teste nº B.10.6**Data: 25/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,17	5
50	0,14	7
70	0,14	10
90	0,14	13
110	0,14	15
130	0,15	20
140	0,16	23
150	0,18	27
160	0,20	32
170	0,25	43
180	0,38	69
184	0,58	106
188	0,79	149
190	1,28	244
192	1,73	333
194	2,33	452

Lodo:

ST: 23.158 mg/L

SF: 8.792 mg/L

Polímero: Gamus/PL 46

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 160 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 0,75%

vol. polímero: 40 mL

vol. lodo: 460 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} = 91,8858 \text{ g}$ $p_0 = 126,4418 \text{ g}$ $p_1 = 95,3107 \text{ g}$

Teor de sólidos = 9,9%

99.112 mg/L

 $\mathbf{b} = 2,12\text{E-}04 \text{ s/cm}^6 \quad \mathbf{r}^2 = 0,5147$ $\mathbf{C} = 0,0302 \text{ g/cm}^3$ $\mathbf{R} = 7,59\text{E+}08 \text{ cm/g}$

Figura B.10.6.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.10.6

Figura B.10.6.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.10.6

Ensaio nº B.11**Data:** 18/10/96**Lodo**

tipo: digerido anaerobicamente

ST: 23.768 mg/L

SF: 9.624 mg/L

Polímero

Nalco 9909/pó

conc. de aplicação: 2.000 mg/L

ST do polímero: 100%

Dosagens e Concentrações utilizadas no Jar-Test

	testes					
	B.11.1	B.11.2	B.11.3	B.11.4	B.11.5	B.11.6
conc. da mistura (mg/L)	60	80	100	120	140	160
conc. da mistura (base seca)	0,26%	0,35%	0,44%	0,54%	0,63%	0,73%
dosagem (kg de polímero/ton lodo)*	2,60	3,51	4,43	5,37	6,33	7,32
vol. lodo (mL)	485	480	475	470	465	460
vol. polímero (mL)	15	20	25	30	35	40

Intensidade de Mistura: 250 rpm em 1 minuto**Meio Filtrante:** papel Whatman nº 40

* base seca

Polímero: Nalco 9909

TESTE	DOSAGEM (%)	R.E. (cm/g)
B.11.1	0,26%	2,52E+09
B.11.2	0,35%	1,99E+09
B.11.3	0,44%	1,46E+10
B.11.4	0,54%	3,20E+09
B.11.5	0,63%	4,88E+09
B.11.6	1,15%	3,04E+09

Figura B.11 - Curva de dosagem de polímero pela resistência específica do ensaio nº B.11

Teste nº B.11.1**Data:18/10/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,13	4
50	0,12	6
70	0,13	9
80	0,14	11
90	0,14	13
100	0,15	15
110	0,15	17
120	0,16	19
130	0,17	22
140	0,18	25
150	0,19	29
160	0,22	35
170	0,25	42
180	0,34	62
188	0,63	118
190	0,79	150
192	1,06	204
194	1,35	261
196	1,86	364
198	2,28	451

Lodo:

ST: 23.768 mg/L

SF: 9.624 mg/L

Polímero: Nalco 9909

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 60 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 0,26%

vol. polímero: 15 mL

vol. lodo: 485 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} = 95,3803 \text{ g}$ $p_0 = 119,3253 \text{ g}$ $p_1 = 97,6860 \text{ g}$

Teor de sólidos = 9,6%

96.292 mg/L

 $b = 7,34\text{E-}04 \text{ s/cm}^6 \quad r^2 = 0,9675$ $C = 0,0316 \text{ g/cm}^3$ $R = 2,52\text{E+}09 \text{ cm/g}$

Figura B.11.1.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.11.1

Figura B.11.1.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.11.1

Teste nº B.11.2**Data: 18/10/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,20	6
40	0,20	8
50	0,20	10
60	0,20	12
70	0,20	14
80	0,21	17
90	0,21	19
100	0,22	22
110	0,23	25
120	0,23	28
130	0,24	31
140	0,24	34
150	0,25	38
160	0,26	42
170	0,29	49
180	0,33	59
186	0,45	83
188	0,53	100
190	0,60	114
192	0,81	155
194	1,04	201
196	1,46	287
198	1,77	351
200	2,22	443

Lodo:

ST: 23.768 mg/L

SF: 9.624 mg/L

Polímero: Nalco 9909

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 80 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 0,35%

vol. polímero: 20 mL

vol. lodo: 480 mL

Tortap_{cápsula} = 89,4659 gp₀ = 122,3113 gp₁ = 92,5639 g

Teor de sólidos = 9,4%

94.321 mg/L

b = 5,84E-04 s/cm⁶ **r**² = 0,9702**C** = 0,0318 g/cm³**R** = 1,99E+09 cm/g

Figura B.11.2.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.11.2

Figura B.11.2.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.11.2

Teste nº B.11.3**Data: 18/10/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,27	8
40	0,30	12
50	0,32	16
60	0,35	21
70	0,40	28
80	0,43	34
90	0,48	43
100	0,52	52
110	0,56	62
120	0,63	76
130	0,68	89
140	0,72	101
150	0,76	114
160	0,79	127
170	0,82	139
180	0,94	170
182	1,05	191
184	1,22	224
186	1,44	267
188	1,76	330

Lodo:

ST: 23.768 mg/L

SF: 9.624 mg/L

Polímero: Nalco 9909

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 100 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 0,44%

vol. polímero: 25 mL

vol. lodo: 475 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} = 78,9215 \text{ g}$ $p_0 = 109,7364 \text{ g}$ $p_1 = 81,8227 \text{ g}$

Teor de sólidos = 9,4%

94.149 mg/L

 $b = 0,0043 \text{ s/cm}^6 \quad r^2 = 0,9886$ $C = 0,0318 \text{ g/cm}^3$ $R = 1,46\text{E}+10 \text{ cm/g}$

Figura B.11.3.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.11.3

Figura B.11.3.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.11.3

Teste nº B.11.4**Data: 18/10/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,13	4
50	0,16	8
60	0,17	10
70	0,17	12
80	0,19	15
90	0,19	17
100	0,20	20
110	0,21	23
120	0,22	26
130	0,22	29
140	0,24	33
150	0,25	37
160	0,26	41
170	0,28	47
180	0,31	56
186	0,44	81
188	0,56	106
190	0,72	137
192	0,94	180
194	1,20	233
196	1,58	310
198	2,16	428

Lodo:

ST: 23.768 mg/L

SF: 9.624 mg/L

Polímero: Nalco 9909

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 120 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 0,54%

vol. polímero: 30 mL

vol. lodo: 470 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} = 82,8781 \text{ g}$ $p_0 = 111,0398 \text{ g}$ $p_1 = 85,5854 \text{ g}$

Teor de sólidos = 9,6%

96.134 mg/L

 $b = 9,33\text{E-}04 \text{ s/cm}^6 \quad r^2 = 0,9887$ $C = 0,0316 \text{ g/cm}^3$ $R = 3,20\text{E+}09 \text{ cm/g}$

Figura B.11.4.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.11.4

Figura B.11.4.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.11.4

Teste nº B.11.5**Data: 18/10/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,23	7
40	0,23	9
50	0,24	12
60	0,22	13
70	0,24	17
80	0,25	20
90	0,26	23
100	0,27	27
110	0,28	31
120	0,30	36
130	0,31	40
140	0,33	46
150	0,35	52
160	0,36	58
170	0,38	64
180	0,39	71
190	0,54	103
192	0,65	124
194	0,84	162
196	1,10	216
198	1,51	298
200	2,02	403

Lodo:

ST: 23.768 mg/L

SF: 9.624 mg/L

Polímero: Nalco 9909

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 140 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 0,63%

vol. polímero: 35 mL

vol. lodo: 465 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} = 82,0160 \text{ g}$ $p_0 = 107,3058 \text{ g}$ $p_1 = 84,4252 \text{ g}$

Teor de sólidos = 9,5%

95.264 mg/L

 $b = 0,0014 \text{ s/cm}^6 \quad r^2 = 0,9898$ $C = 0,0317 \text{ g/cm}^3$ $R = 4,88\text{E}+09 \text{ cm/g}$

Figura B.11.5.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.11.5

Figura B.11.5.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.11.5

Teste nº B.11.6**Data: 18/10/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,17	5
40	0,15	6
50	0,16	8
70	0,16	11
80	0,16	13
90	0,18	16
100	0,18	18
110	0,19	21
120	0,20	24
130	0,21	27
140	0,23	32
150	0,24	36
160	0,26	42
170	0,30	51
180	0,38	69
190	0,56	106
192	0,64	122
194	0,72	140
196	0,88	173
198	1,10	218
200	1,45	290
202	1,79	362

Lodo:

ST: 23.768 mg/L

SF: 9.624 mg/L

Polímero: Nalco 9909

concentração de aplicação: 2.000 mg/L

concentração da mistura: 240 mg/L

ST do polímero: 100%

conc. mistura (base seca) : 1,15%

vol. polímero: 60 mL

vol. lodo: 440 mL

Tortap_{cápsula} = 81,2966 gp₀ = 114,6585 gp₁ = 84,5127 g

Teor de sólidos = 9,6%

96.400 mg/L

b = 8,85E-04 s/cm⁶ **r**² = 0,9121**C** = 0,0315 g/cm³**R** = 3,04E+09 cm/g

Figura B.11.6.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.11.6

Figura B.11.6.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.11.6

Ensaio nº B.12**Data:** 18/10/96**Lodo**

tipo: digerido anaerobiamente

ST: 23.768 mg/L

SF: 9.624 mg/L

Polímero

Excel 5000/Cytec

conc. de aplicação: 10.000 mg/L

ST do polímero: 34%

Dosagens e Concentrações utilizadas no Jar-Test

	testes				
	B.12.1	B.12.2	B.12.3	B.12.4	B.12.5
conc. da mistura (mg/L)	400	500	600	700	800
conc. da mistura (base seca)	0,59%	0,75%	0,90%	1,07%	1,23%
dosagem (kg polímero/ton lodo) *	5,90	7,45	9,04	10,66	12,31
vol. lodo (mL)	480	475	470	465	460
vol. polímero (mL)	20	25	30	35	40

Intensidade de Mistura: 250 rpm em 1 minuto**Meio Filtrante:** papel Whatman nº 40*** base seca**

Polímero: Excel 5000/Cytec

TESTE	DOSAGEM (%)	R.E. (cm/g)
12.1	0,59%	1,85E+10
12.2	0,75%	1,74E+09
12.3	0,90%	4,22E+09
12.4	1,07%	9,11E+09
12.5	1,23%	2,12E+10

Figura B.12 - Curva de dosagem de polímero pela resistência específica do ensaio nº B.12

Teste nº B.12.1**Data:18/10/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,17	5
40	0,18	7
50	0,20	10
60	0,22	13
70	0,27	19
80	0,31	25
90	0,37	33
100	0,42	42
110	0,49	54
120	0,54	65
130	0,62	80
140	0,69	96
150	0,81	121
160	0,95	152
170	1,21	206
180	1,62	291
182	1,75	319
184	1,89	347
186	2,06	383
188	2,32	437
190	2,78	529
192	3,07	589

Lodo:

ST: 23.768 mg/L

SF: 9.624 mg/L

Polímero: Excel 5000

concentração de aplicação: 10.000 mg/L

concentração da mistura: 400 mg/L

ST do polímero: 34%

conc. mistura (base seca) : 0,59%

vol. polímero: 20 mL

vol. lodo: 480 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} = 85,1458 \text{ g}$ $p_0 = 117,5834 \text{ g}$ $p_1 = 88,0550 \text{ g}$

Teor de sólidos = 9,0%

89.686 mg/L

 $b = 0,0055 \text{ s/cm}^6 \quad r^2 = 0,9876$ $C = 0,0323 \text{ g/cm}^3$ $R = 1,85\text{E}+10 \text{ cm/g}$

Figura B.12.1.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.12.1

Figura B.12.1.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.12.1

Teste nº B.12.2**Data: 18/10/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,17	5
50	0,12	6
70	0,13	9
80	0,13	10
90	0,13	12
100	0,14	14
110	0,15	16
120	0,15	18
130	0,15	20
140	0,16	23
150	0,18	27
160	0,20	32
170	0,24	41
180	0,31	55
190	0,69	132
192	1,04	200
194	1,36	263
196	1,88	369
198	2,42	480

Lodo:

ST: 23.768 mg/L

SF: 9.624 mg/L

Polímero: Excel 5000

concentração de aplicação: 10.000 mg/L

concentração da mistura: 500 mg/L

ST do polímero: 34%

conc. mistura (base seca) : 0,75%

vol. polímero: 25 mL

vol. lodo: 475 mL

Tortap_{cápsula} = 74,3691 gp₀ = 99,4570 gp₁ = 77,1209 gTeor de sólidos = 11,0%
109.686 mg/L**b** = 4,86E-04 s/cm⁶ **r**² = 0,9528**C** = 0,0303 g/cm³**R** = 1,74E+09 cm/g

Figura B.12.2.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.12.2

Figura B.12.2.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.12.2

Teste nº B.12.3**Data: 18/10/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,30	9
40	0,33	13
50	0,34	17
60	0,33	20
70	0,34	24
80	0,36	29
90	0,38	34
100	0,39	39
110	0,40	44
120	0,42	50
130	0,43	56
140	0,44	62
150	0,45	68
160	0,46	74
170	0,46	79
180	0,49	88
190	0,75	142
192	0,93	179
194	1,12	218
196	1,47	289
198	1,94	384

Lodo:

ST: 23.768 mg/L

SF: 9.624 mg/L

Polímero: Excel 5000

concentração de aplicação: 10.000 mg/L

concentração da mistura: 600 mg/L

ST do polímero: 34%

conc. mistura (base seca) : 0,90%

vol. polímero: 30 mL

vol. lodo: 470 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} = 79,3894 \text{ g}$ $p_0 = 103,0130 \text{ g}$ $p_1 = 81,7739 \text{ g}$

Teor de sólidos = 10,1%

100.937 mg/L

 $b = 0,0012 \text{ s/cm}^6 \quad r^2 = 0,9891$ $C = 0,0311 \text{ g/cm}^3$ $R = 4,22\text{E}+09 \text{ cm/g}$

Figura B.12.3.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.12.3

Figura B.12.3.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.12.3

Teste nº B.12.4**Data: 12/09/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	0,60	18
40	0,63	25
50	0,64	32
60	0,67	40
70	0,70	49
80	0,73	58
90	0,77	69
100	0,79	79
110	0,82	90
120	0,84	101
130	0,86	112
140	0,89	124
150	0,90	135
160	0,90	144
170	0,89	152
180	0,91	164
190	1,17	222
192	1,29	248

Lodo:

ST: 23.768 mg/L

SF: 9.624 mg/L

Polímero: Excel 5000

concentração de aplicação: 10.000 mg/L

concentração da mistura: 700 mg/L

ST do polímero: 34%

conc. mistura (base seca) : 1,07%

vol. polímero: 35 mL

vol. lodo: 465 mL

TortaP_{cápsula} = 94,7990 gp₀ = 116,6521 gp₁ = 96,9301 g

Teor de sólidos = 9,8%

97.519 mg/L

b = 0,0026 s/cm⁶ **r**² = 0,9941**C** = 0,0314 g/cm³**R** = 9,11E+09 cm/g

Figura B.12.4.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.12.4

Figura B.12.4.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.12.4

Teste nº B.12.5**Data: 18/10/96**

v (cm³)	t / v (s /cm³)	t (s)
30	1,03	31
40	1,10	44
50	1,16	58
60	1,22	73
70	1,29	90
80	1,35	108
90	1,41	127
100	1,47	147
110	1,55	171
120	1,60	192
130	1,66	216
140	1,70	238
150	1,73	260
160	1,75	280
170	1,75	298
180	1,76	316
194	2,14	415
196	2,53	496
198	3,01	595

Lodo:

ST: 23.768 mg/L

SF: 9.624 mg/L

Polímero: Excel 5000

concentração de aplicação: 10.000 mg/L

concentração da mistura: 800 mg/L

ST do polímero: 34%

conc. mistura (base seca) : 1,23%

vol. polímero: 40 mL

vol. lodo: 460 mL

Torta $p_{\text{cápsula}} = 79,9111 \text{ g}$ $p_0 = 106,5495 \text{ g}$ $p_1 = 82,6514 \text{ g}$

Teor de sólidos = 10,3%

102.870 mg/L

 $b = 0,0061 \text{ s/cm}^6 \quad r^2 = 0,9960$ $C = 0,0309 \text{ g/cm}^3$ $R = 2,12\text{E}+10 \text{ cm/g}$

Figura B.12.5.1 - Gráfico do teste de resistência específica nº B.12.5

Figura B.12.5.2 - Obtenção dos parâmetros do trecho linear do teste nº B.12.5

ANEXO C – Resultados dos ensaios do teste do tempo de filtração

Ensaio do Teste do Tempo de Filtração

Lodo

tipo: digerido anaerobiamente

ST: 27.752 mg/L

SF: 13.160 mg/L

Polímeros

Forma	Conc. de aplicação (mg/L)
pó	1.000
emulsão	5.000

Dosagens e Concentrações utilizadas no Jar-Test

Polímero em pó

conc. da mistura (mg/L)	30	40	50	60	80	100	120
conc. da mistura (base seca)	0,11%	0,15%	0,19%	0,23%	0,31%	0,40%	0,49%
dosagem (kg poli/ton lodo) *	1,11	1,50	1,90	2,30	3,13	4,00	4,91
vol. lodo (mL)	485	480	475	470	460	450	440
vol. polímero (mL)	15	20	25	30	40	50	60

Polímero em emulsão

K144L (teor de sólidos = 34%)

conc. da mistura (mg/L)	150	200	250
conc. da mistura (base seca)	0,19%	0,26%	0,32%
dosagem (kg poli/ton lodo) *	1,89	2,55	3,22
vol. lodo (mL)	485	480	475
vol. polímero (mL)	15	20	25

Excel 5000 (teor de sólidos = 26%)

conc. da mistura (mg/L)	250	300	350	400
conc. da mistura (base seca)	0,25%	0,30%	0,35%	0,41%
dosagem (kg poli/ton lodo) *	2,47	2,99	3,53	4,07
vol. lodo (mL)	475	470	465	460
vol. polímero (mL)	25	30	35	40

Intensidade de Mistura: 250 rpm em 1 minuto

Meio Filtrante: papel Whatman nº 40

* base seca

Ensaio C.1**Polímero: Allied/Percol 764**

Volume de lodo (mL)	Volume de polímero (mL)	Dosagem (mg/L)	t₁ (s)	t₂ (s)	t_{médio} (s)
470	30	60	144	125	134,5
460	40	80	24	24	24
450	50	100	8	8	8
440	60	120	13	13	13

Polímero: Allied/Percol 755

Volume de lodo (mL)	Volume de polímero (mL)	Dosagem (mg/L)	t₁ (s)	t₂ (s)	t_{médio} (s)
460	40	80	12	9	10,5
450	50	100	5	5	5
440	60	120	8	9	8,5

Polímero: Allied/Zetag 63

Volume de lodo (mL)	Volume de polímero (mL)	Dosagem (mg/L)	t₁ (s)	t₂ (s)	t_{médio} (s)
450	50	100	8	8	8
440	60	120	5	6	5,5
430	70	140	6	6	6

Polímero: Allied/Zetag 89

Volume de lodo (mL)	Volume de polímero (mL)	Dosagem (mg/L)	t₁ (s)	t₂ (s)	t_{médio} (s)
450	50	100	10	12	11
440	60	120	7	5	6
430	70	140	146	170	158

Figura C.1 – Curva de dosagem de polímero pelo tempo de filtração do ensaio C.1

Ensaio C.2

Polímero: Stockhausen/Praestol 655

Volume de lodo (mL)	Volume de polímero (mL)	Dosagem (mg/L)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t _{médio} (s)
470	30	60	22	25	23,5
460	40	80	8	8	8
450	50	100	7	7	7
440	60	120	6	7	6,5

Polímero: Stockhausen/Praestol 644

Volume de lodo (mL)	Volume de polímero (mL)	Dosagem (mg/L)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t _{médio} (s)
460	40	80	8	9	8,5
450	50	100	6	7	6,5
440	60	120	8	9	8,5

Polímero: Stockhausen/Praestol 690

Volume de lodo (mL)	Volume de polímero (mL)	Dosagem (mg/L)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t _{médio} (s)
450	50	100	8	9	8,5
440	60	120	11	13	12
430	70	140	8	9	8,5

Polímero: Stockhausen/Praestol 630

Volume de lodo (mL)	Volume de polímero (mL)	Dosagem (mg/L)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t _{médio} (s)
460	40	80	10	10	10
450	50	100	8	8	8
440	60	120	13	12	12,5

Figura C.2— Curva de dosagem de polímero pelo tempo de filtração do ensaio C.2

Ensaio C.3

Polímero: Floerger 9044

Volume de lodo (mL)	Volume de polímero (mL)	Dosagem (mg/L)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t _{médio} (s)
440	60	120	9	8	8,5
450	50	100	7	7	7
460	40	80	10	10	10

Polímero: Floerger 9014

Volume de lodo (mL)	Volume de polímero (mL)	Dosagem (mg/L)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t _{médio} (s)
450	50	100	10	10	10
460	40	120	10	9	9,5
430	70	140	17	14	15,5

Polímero: Floerger 9032

Volume de lodo (mL)	Volume de polímero (mL)	Dosagem (mg/L)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t _{médio} (s)
450	50	100	8	8	8
440	60	120	7	6	6,5
430	70	140	21	18	19,5

Polímero: Stockhausen/Praestol 630

Volume de lodo (mL)	Volume de polímero (mL)	Dosagem (mg/L)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t _{médio} (s)
460	40	80	10	10	10
450	50	100	8	8	8
440	60	120	13	12	12,5

Figura C.3 – Curva de dosagem de polímero pelo tempo de filtração do ensaio C.3

Ensaio C.4**Polímero: Stockhausen/K444L**

Volume de lodo (mL)	Volume de polímero (mL)	Dosagem (mg/L)	t₁ (s)	t₂ (s)	t_{médio} (s)
485	15	150	19	20	19,5
480	20	200	7	7	7
475	25	250	13	18	16

Polímero: Excel 5000

Volume de lodo (mL)	Volume de polímero (mL)	Dosagem (mg/L)	t₁ (s)	t₂ (s)	t_{médio} (s)
475	25	250	37	38	37,5
470	30	300	16	21	18,5
465	35	350	9	9	9
460	40	400	11	8	9,5

ANEXO D – Resultados dos ensaios do tubo de filtragem

Resultados dos ensaios com o tubo de filtragem

Características do lodo digerido

ST (mg/L) = 28.314

STF (mg/L) = 24.940

Condicionamento do lodo

mistura em jar test em 250 rpm por 1 minuto

nome do polímero: Excel 5000

forma de apresentação : emulsão

teor de sólidos: 26%

conc. de aplicação (%)	conc.da mistura (mg/L)	conc.da mistura (kg/ton)
10.000	600	5,51

Teste 1

tela tipo: Código 269

torta	teor de sólidos =	15%
-------	-------------------	-----

filtrado	ST (mg/L)	SST (mg/L)	Captura de sólidos (%)
	1040	64	99,8

Teste 2

tela tipo: Código 259

torta	teor de sólidos =	16%
-------	-------------------	-----

filtrado	ST (mg/L)	SST (mg/L)	Captura de sólidos (%)
	520	76	99,8

Teste 3

tela tipo: Código 252

torta	teor de sólidos =	18%
-------	-------------------	-----

filtrado	ST (mg/L)	SST (mg/L)	Captura de sólidos (%)
	536	76	99,8

Teste 4

tela tipo: Código 270

torta	teor de sólidos =	18%
-------	-------------------	-----

filtrado	ST (mg/L)	SST (mg/L)	Captura de sólidos (%)
	536	76	99,8

Teste 5

tela tipo: Código 268

torta	teor de sólidos =	17%
-------	-------------------	-----

filtrado	ST (mg/L)	SST (mg/L)	Captura de sólidos (%)
	495	120	99,6

Teste 6

Tela tipo: Código 355

torta	teor de sólidos =	17%
-------	-------------------	-----

filtrado	ST (mg/L)	SST (mg/L)	Captura de sólidos (%)
	488	80	99,8

ANEXO E – Resultados dos Ensaio do filtro prensa piloto

Teste nº E.1**Data:** 08/09/97**Características do lodo**

pH	ST (mg/L)	SF (mg/L)	ST/SF (%)
-	34.238	18.248	53%

Características do Polímero

nome/tipo: Cytec - Excel 5000

forma de apresentação: emulsão

teor de sólidos: 26%

conc.de aplicação (%)	conc.da mistura (mg/L)	conc.da mistura (kg/ton)*
0,5%	704	5,35

* em sólidos secos

Características do Filtrado

pH	ST (mg/L)	SST (mg/L)	Captura de sólidos
-	2020	-	-

Características da Torta

Teor de sólidos (%)	Densidade (kg/L)
37%	-

Observações*lodo condicionado previamente com FeCl_3 ;

densidade= 1,428 kg/L

pureza = 40%

quantidade = 3,3 L/m³ lodo

conc. da mistura = 5,5%

* bom desprendimento da tela;

* flocos grandes

* pressurização do diafragma em 15 bar durante 15 min

Teste nº E.1

Data: 08/09/97

Polímero Cytec - Excel 5000:

5,35 kg/ton

FeCl₃: 5,5%

tempo (min)	Q _{lodo} (L/h)	Q _{polímero} (L/h)	Dosagem (mg/L)	Taxa de Filtração (L/m ² h)	Lodo (L)	Polímero (L)	Pressão (bar)
0	1010	150	743	142	-	-	0,2
25	1020	150	735	143	-	-	1,3
45	1020	150	735	143	-	-	1,6
55	510	80	784	72	-	-	1,6
70	870	130	747	122	-	-	3,6
80	530	80	755	74	-	-	8
90	490	70	714	68	-	-	11
100	370	60	811	53	-	-	15
115	270	40	741	38	-	-	15
130	180	10	278	23	-	-	15

Figura E.1.1 - Curva da pressão x tempo do teste E.1

Figura E.1.2 - Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.1

Teste nº E.2**Data:** 09/09/97**Características do lodo**

pH	ST (mg/L)	SF (mg/L)	ST/SF (%)
-	33.206	18.632	56%

Características do Polímero

nome/tipo: Cytec - Excel 5000

forma de apresentação: emulsão

teor de sólidos: 26%

conc.de aplicação (%)	conc.da mistura (mg/L)	conc.da mistura (kg/ton)*
0,5%	700	5,48

* em sólidos secos

Características do Filtrado

pH	ST (mg/L)	SST (mg/L)	Captura de sólidos
-	1054	-	-

Características da Torta

Teor de sólidos (%)	Densidade (kg/L)
32%	-

Observações

- * bom desprendimento da tela;
- * flocos grandes;
- * pressurização do diafragma em 15 bar durante 10 min;

Teste nº E.2

Data: 09/09/97

Polímero Cytec - Excel 5000:

5,48 kg/ton

tempo (min)	Q _{lodo} (L/h)	Q _{polímero} (L/h)	Dosagem (mg/L)	Taxa de Filtração (L/m ² h)	Lodo (L)	Polímero (L)	Pressão (bar)
0	1030	130	631	142	-	-	0,5
25	1030	130	631	142	-	59	1
30	1030	130	631	142	600	73	1,5
50	510	60	588	70	-	108	8,2
60	430	52	605	59	-	114	11
70	230	30	652	32	-	122	15
85	130	20	769	18	1000	130	15
90	90	16	889	13	-	-	15
105	130	20	769	18	-	138	15
110	120	20	833	17	-	140	15

Figura E.2.1 - Curva da pressão x tempo do teste E.2

Figura E.2.2 - Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.2

Teste nº E.3**Data:** 09/09/97**Características do lodo**

pH	ST (mg/L)	SF (mg/L)	ST/SF (%)
-	27.046	15.320	57%

Características do Polímero

nome/tipo: Cytec - Excel 5000

forma de apresentação: emulsão

teor de sólidos: 26%

conc.de aplicação (%)	conc.da mistura (mg/L)	conc.da mistura (kg/ton)*
0,5%	699	6,73

* em sólidos secos

Características do Filtrado

pH	ST (mg/L)	SST (mg/L)	Captura de sólidos
-	1736	-	-

Características da Torta

Teor de sólidos (%)	Densidade (kg/L)
35%	-

Observações*lodo condicionado previamente com FeCl_3 ;

densidade= 1,428 kg/L

pureza = 40%

quantidade = 3 L/m³ lodo

conc. da mistura = 6,3%

* bom desprendimento da tela;

* flocos grandes;

* pressurização do diafragma em 15 bar durante 15 min;

Teste nº E.3

Data: 09/09/97

Polímero Cytec - Excel 5000:

6,73 kg/ton

FeCl₃: 6,3%

tempo (min)	Q _{lodo} (L/h)	Q _{polímero} (L/h)	Dosagem (mg/L)	Taxa de Filtração (L/m ² h)	Lodo (L)	Polímero (L)	Pressão (bar)
0	1020	120	588	139	-	-	0,8
10	1020	120	588	139	-	-	0,9
20	1020	120	588	139	-	72	2
40	940	110	585	128	850	97	4,5
60	540	70	648	74	1100	128	12
100	240	30	625	33	1150	142	12
110	150	20	667	21	-	149	12
125	190	20	526	26	-	154	12
130	100	15	750	14	-	157	12
140	70	20	1429	11	1250	159	12

Figura E.3.1 - Curva da pressão x tempo do teste E.3

Figura E.3.2 - Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.3

Teste nº E.4**Data:** 10/09/97**Características do lodo**

pH	ST (mg/L)	SF (mg/L)	SF/ST (%)
-	26.864	14.492	54%

Características do Polímero

nome/tipo: Floerger - 9014

forma de apresentação: sólido

teor de sólidos: 100%

conc.de aplicação (%)	conc.da mistura (mg/L)	conc.da mistura (kg/ton)*
0,1%	116	4,32

* em sólidos secos

Características do Filtrado

pH	ST (mg/L)	SST (mg/L)	Captura de sólidos
-	1704	240	99,2%

Características da Torta

Teor de sólidos (%)	Densidade (kg/L)
32%	1,08

Observações*lodo condicionado previamente com FeCl_3 ;

densidade= 1,428 kg/L

pureza = 40%

quantidade = 3 L/m³ lodo

conc. da mistura = 6,4%

* flocos grandes no final do ciclo;

* pressurização do diafragma em 15 bar durante 10 min

Teste nº E.4

Data: 10/09/97

Polímero Floerger - 9014: 4,32 kg/ton

FeCl₃: 6,4%

tempo (min)	Q _{lodo} (L/h)	Q _{polímero} (L/h)	Dosagem (mg/L)	Taxa de Filtração (L/m ² h)	Lodo (L)	Polímero (L)	Pressão (bar)
0	1040	110	106	140	-	-	0,3
15	1040	110	106	140	-	-	0,4
40	820	90	110	111	-	-	1,2
60	1010	110	109	137	930	100	4,3
70	860	90	105	116	-	-	8
80	520	60	115	71	-	123	12
95	240	30	125	33	1250	135	12
115	180	20	111	24	1320	142	12
130	120	15	125	16	1350	147	12
135	100	15	150	14	1400	150	12

Figura E.4.1 - Curva da pressão x tempo do teste E.4

Figura E.4.2 - Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.4

Teste nº E.5**Data:** 10/09/97**Características do lodo**

pH	ST (mg/L)	SF (mg/L)	SF/ST (%)
6,8	23.378	12.960	55%

Características do Polímero

nome/tipo: Floerger - 9014

forma de apresentação: sólido

teor de sólidos: 100%

conc.de aplicação (%)	conc.da mistura (mg/L)	conc.da mistura (kg/ton)*
0,1%	107	4,58

* em sólidos secos

Características do Filtrado

pH	ST (mg/L)	SST (mg/L)	Captura de sólidos
-	1092	192	99,2%

Características da Torta

Teor de sólidos (%)	Densidade (kg/L)
29%	1,08

Observações

* flocos grandes no final do ciclo

* pressurização do diafragma em 15 bar durante 10 min

Teste nº E.5**Data:** 10/09/97**Polímero Floerger - 9014:** 4,58 kg/ton

tempo (min)	Q _{lodo} (L/h)	Q _{polímero} (L/h)	Dosagem (mg/L)	Taxa de Filtração (L/m ² h)	Lodo (L)	Polímero (L)	Pressão (bar)
0	1020	110	108	138	-	-	0,4
15	1020	110	108	138	-	-	0,6
25	1030	110	107	139	-	-	0,6
40	1030	110	107	139	-	56	0,9
55	1030	110	107	139	600	64	0,9
60	940	100	106	127	-	-	1,2
80	870	90	103	117	970	105	6,1
90	690	80	116	94	1100	127	12
95	460	50	109	62	1150	127	12
100	360	40	111	49	1200	131	12
105	300	30	100	40	1260	135	12
110	270	30	111	37	-	137	12
125	200	20	100	27	1320	144	12
140	190	20	105	26	1400	150	12

Figura E.5.1 - Curva da pressão x tempo do teste E.5

Figura E.5.2 - Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.5

Teste nº E.6**Data:** 11/09/97**Características do lodo**

pH	ST (mg/L)	SF (mg/L)	ST/SF (%)
-	23.186	12.822	55%

Características do Polímero

nome/tipo: Stockhausen - 655

forma de apresentação: sólido

teor de sólidos: 100%

conc.de aplicação (%)	conc.da mistura (mg/L)	conc.da mistura (kg/ton)*
0,1%	152	6,57

* em sólidos secos

Características do Filtrado

pH	ST (mg/L)	SST (mg/L)	Captura de sólidos
-	1050	92	99,6%

Características da Torta

Teor de sólidos (%)	Densidade (kg/L)
29%	1,1

Observações

* flocos pequenos durante o ciclo

* pressurização do diafragma em 15 bar durante 10 min

Teste nº E.6**Data:** 11/09/97**Polímero Stockhausen - 655:**

6,57 kg/ton

tempo (min)	Q _{lodo} (L/h)	Q _{polímero} (L/h)	Dosagem (mg/L)	Taxa de Filtração (L/m ² h)	Lodo (L)	Polímero (L)	Pressão (bar)
0	1010	150	149	142	-	-	0,2
15	860	130	151	121	-	-	0,3
20	1010	150	149	142	-	-	0,3
35	1000	150	150	140	620	93	0,8
50	940	140	149	132	850	128	3,8
60	680	100	147	95	1000	148	8
75	600	90	150	84	-	159	11
80	540	80	148	76	-	162	12
85	330	50	152	46	1100	168	12
90	200	30	150	28	1150	174	12
95	130	20	154	18	1180	176	12
105	160	30	188	23	1200	180	12
110	140	20	143	20	-	183	12
120	130	20	154	18	1260	188	12

Figura E.6.1 - Curva da pressão x tempo do teste E.6

Figura E.6.2 - Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.6

Teste nº E.7**Data:** 11/09/97**Características do lodo**

pH	ST (mg/L)	SF (mg/L)	ST/SF (%)
-	38.852	21.438	55%

Características do Polímero

nome/tipo: Stockhausen - 655

forma de apresentação: sólido

teor de sólidos: 100%

conc.de aplicação (%)	conc.da mistura (mg/L)	conc.da mistura (kg/ton)*
0,1%	161	4,13

* em sólidos secos

Características do Filtrado

pH	ST (mg/L)	SST (mg/L)	Captura de sólidos
-	1730	570	98,7%

Características da Torta

Teor de sólidos (%)	Densidade (kg/L)
32%	1,1

Observações*lodo condicionado previamente com FeCl_3 ;

densidade= 1,428 kg/L

pureza = 40%

quantidade = 3 L/m³ lodo

conc. da mistura = 4,4%

* flocos pequenos durante todo o ciclo

* pressurização do diafragma em 15 bar durante 12 min

Teste nº E.7**Data:** 11/09/97**Polímero Stockhausen - 655:**

4,13 kg/ton

FeCl₃: 4,4%

tempo (min)	Q _{lodo} (L/h)	Q _{polímero} (L/h)	Dosagem (mg/L)	Taxa de Filtração (L/m ² h)	Lodo (L)	Polímero (L)	Pressão (bar)
0	1000	160	160	142	-	-	0,2
30	970	150	155	137	-	-	0,8
40	990	150	152	139	550	87	1,2
60	780	120	154	110	850	135	8
65	630	100	159	89	950	144	12
75	440	70	159	62	1000	160	12
80	340	56	165	48	-	166	12
90	270	40	148	38	1100	173	12
95	240	40	167	34	-	177	12
100	220	37	168	31	1150	182	12
110	190	30	158	27	1200	187	12
120	170	30	176	24	-	192	12
130	120	20	167	17	1250	196	12

Figura E.7.1 - Curva da pressão x tempo do teste E.7

Figura E.7.2 - Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.7

Teste nº E.8

Data: 11/09/97

Características do lodo

pH	ST (mg/L)	SF (mg/L)	SF/ST (%)
-	25.202	13.840	55%

Características do Polímero

nome/tipo: Stockhausen - 655

forma de apresentação: sólido

teor de sólidos: 100%

conc.de aplicação (%)	conc.da mistura (mg/L)	conc.da mistura (kg/ton)*
0,1%	153	6,06

* em sólidos secos

Características do Filtrado

pH	ST (mg/L)	SST (mg/L)	Captura de sólidos
-	1736	476	98,2%

Características da Torta

Teor de sólidos (%)	Densidade (kg/L)
35%	1,12

Observações

*lodo condicionado previamente com FeCl_3 ;

densidade= 1,428 kg/L

pureza = 40%

quantidade = 2,8 L/m³ lodo

conc. da mistura = 6,3%

* flocos pequenos durante todo o ciclo;

* pressurização do diafragma em 15 bar durante 15 min;

Teste nº E.8**Data:** 11/09/97**Polímero Stockhausen - 655:**

6,06 kg/ton

FeCl₃: 6,3%

tempo (min)	Q _{lodo} (L/h)	Q _{polímero} (L/h)	Dosagem (mg/L)	Taxa de Filtração (L/m ² h)	Lodo (L)	Polímero (L)	Pressão (bar)
0	1000	150	150	140	-	-	0,2
10	1010	150	149	142	-	-	0,2
30	1010	150	149	142	450	67	0,5
45	1130	160	142	158	700	106	1,8
60	730	110	151	103	920	138	7
65	670	100	149	94	1000	150	10
70	730	110	151	103	-	157	10
80	390	60	154	55	1140	170	10
90	250	40	160	35	1180	177	10
105	300	50	167	43	1200	191	10
115	250	40	160	35	1250	195	10

Figura E.8.1 - Curva da pressão x tempo do teste E.8

Figura E.8.2 - Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.8

Teste nº E.9**Data:** 12/09/97**Características do lodo**

pH	ST (mg/L)	SF (mg/L)	SF/ST (%)
-	16.062	4.224	26%

Características do Polímero

nome/tipo: Allied - 755

forma de apresentação: sólido

teor de sólidos: 100%

conc.de aplicação (%)	conc.da mistura (mg/L)	conc.da mistura (kg/ton)*
0,05%	75	4,67

* em sólidos secos

Características do Filtrado

pH	ST (mg/L)	SST (mg/L)	Captura de sólidos
-	1716	1644	90,2%

Características da Torta

Teor de sólidos (%)	Densidade (kg/L)
31%	1,16

Observações*lodo condicionado previamente com FeCl_3 ;

densidade= 1,428 kg/L

pureza = 40%

quantidade = 2,5 L/m³ lodo

conc. da mistura = 8,9%

* flocos médios no final do ciclo

* pressurização do diafragma em 15 bar durante 16 min

Teste nº E.9

Data: 12/09/97

Polímero Allied - 755:

4,67 kg/ton

FeCl₃: 8,9%

tempo (min)	Q _{lodo} (L/h)	Q _{polímero} (L/h)	Dosagem (mg/L)	Taxa de Filtração (L/m ² h)	Lodo (L)	Polímero (L)	Pressão (bar)
0	1000	150	75	140	-	-	0,2
25	1020	110	54	138	-	-	0,3
40	970	150	77	137	700	105	0,8
55	830	140	84	118	900	151	1,2
60	910	140	77	128	1000	161	1,8
85	1110	160	72	155	1250	210	6,8
95	720	120	83	103	1400	235	12
105	390	60	77	55	1500	247	12
115	200	30	75	28	1600	254	12
120	190	30	79	27	-	256	12
125	170	25	74	24	1650	260	12
130	170	25	74	24	-	261	12

Figura E.9.1 - Curva da pressão x tempo do teste E.9

Figura E.9.2 - Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.9

Teste nº E.10

Data: 22/09/97

Características do lodo

pH	ST (mg/L)	SF (mg/L)	SF/ST (%)
7,4	22.986	12.462	54%

Características do Polímero

nome/tipo: Stockhausen K144L

forma de apresentação: emulsão

teor de sólidos: 34%

conc.de aplicação (%)	conc.da mistura (mg/L)	conc.da mistura (kg/ton)*
0,5%	639	9,46

* em sólidos secos

Características do Filtrado

pH	ST (mg/L)	SST (mg/L)	Captura de sólidos
7,1	1904	140	99,44%

Características da Torta

Teor de sólidos (%)	Densidade (kg/L)
31%	1,12

Observações

*lodo condicionado previamente com FeCl_3 ;

densidade= 1,428 kg/L

pureza = 40%

quantidade = 3 L/m³ lodo

conc. da mistura = 7,5%

* tortas bem formadas, secas e soltam muito fácil das lonas de filtragem;

* flocos médios do início ao fim do ciclo;

* pressurização do diafragma em 15 bar durante 16 min;

* volume recolhido de filtrado na pressurização igual a 14 L;

Teste nº E.10

Data: 22/09/97

Polímero Stockhausen K144L : 9,46 kg/ton

FeCl₃ : 7,5%

tempo (min)	Q _{lodo} (L/h)	Q _{polímero} (L/h)	Dosagem (mg/L)	Taxa de Filtração (L/m ² h)	Lodo (L)	Polímero (L)	Pressão (bar)
0	1020	130	637	140	-	-	0,1
15	1020	130	637	140	270	35	0,2
30	1020	130	637	140	540	69	0,4
45	1020	130	637	140	760	98	1,0
60	950	120	632	131	1010	128	3,2
75	760	100	658	105	1200	157	10
85	470	60	638	65	1320	169	10
90	390	50	641	54	1370	175	10
100	320	40	625	44	1410	181	10
105	290	40	690	40	1440	185	10
110	250	30	600	34	1470	190	10

Figura E.10.1 - Curva da pressão x tempo do teste E.10

Figura E.10.2 - Curva da Taxa de filtração x tempo do teste E.10

Teste nº E.11

Data: 23/09/97

Características do lodo

pH	ST (mg/L)	SF (mg/L)	SF/ST (%)
6,9	26.332	15.130	57%

Características do Polímero

nome/tipo: Cytec - Excel 5000

forma de apresentação: emulsão

teor de sólidos: 26%

conc.de aplicação (%)	conc.da mistura (mg/L)	conc.da mistura (kg/ton)
0,5%	588	5,81

Características do Filtrado

pH	ST (mg/L)	SST (mg/L)	Captura de sólidos
7,0	1804	230	99,20%

Características da Torta

Teor de sólidos (%)	Densidade (kg/L)
31%	1,13

Observações

*lodo condicionado previamente com FeCl_3 ;

densidade= 1,428 kg/L

pureza = 40%

quantidade = 2,5 L/m³ lodo

conc. da mistura = 5,4%

* tortas bem formadas e soltam muito fácil das lonas de filtração;

* flocos apresentaram aumento gradativo em função da diminuição da rotação da bomba;

* pressurização do diafragma em 15 bar durante 20 min;

* volume recolhido de filtrado na pressurização igual a 10 L;

Teste nº E.11**Data:** 23/09/97**Polímero Cytec - Excel 5000:**

5,81 kg/ton

FeCl₃ : 5,4%

tempo (min)	Q _{lodo} (L/h)	Q _{polímero} (L/h)	Dosagem (mg/L)	Taxa de Filtração (L/m ² h)	Lodo (L)	Polímero (L)	Pressão (bar)
0	1040	120	577	142	-	-	0,1
30	1040	120	577	142	450	52	0,6
60	830	100	602	114	950	112	2,4
75	650	75	577	89	1150	140	10
80	470	55	585	64	1200	148	12
85	350	40	571	48	1340	160	12
100	240	30	625	33	1350	163	12

Figura E.11.1 - Curva da pressão x tempo do teste E.11

Figura E.11.2 - Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.11

Teste nº E.12

Data: 23/09/97

Características do lodo

pH	ST (mg/L)	SF (mg/L)	SF/ST (%)
6,8	24.934	14.482	58%

Características do Polímero

nome/tipo: Cytec - Excel 5000

forma de apresentação: emulsão

teor de sólidos: 26%

conc.de aplicação (%)	conc.da mistura (mg/L)	conc.da mistura (kg/ton)
0,5%	644	6,72

Características do Filtrado

pH	ST (mg/L)	SST (mg/L)	Captura de sólidos
7,0	1086	40	99,85%

Características da Torta

Teor de sólidos (%)	Densidade (kg/L)
26%	1,09

Observações

- * tortas formadas com aparência gelatinosa e úmidas;
- * desprendimento da torta deficiente sobre os elementos filtrantes, pedaços remanescentes de torta grudados na tela;
- * flocos apresentaram aumento excessivo nos últimos 10 minutos em função da diminuição da rotação da bomba;
- * pressurização do diafragma em 15 bar durante 14 min;
- * volume recolhido de filtrado na pressurização igual a 9 L;

Teste nº E.12

Data: 23/09/97

Polímero Cytac - Excel 5000:

6,72 kg/ton

tempo (min)	Q _{lodo} (L/h)	Q _{polímero} (L/h)	Dosagem (mg/L)	Taxa de Filtração (L/m ² h)	Lodo (L)	Polímero (L)	Pressão (bar)
0	1020	130	637	140	-	-	0,1
30	1020	130	637	140	520	67	0,5
45	990	130	657	137	720	92	1,0
60	750	100	667	104	950	127	6,1
70	540	70	648	74	1070	139	10,2
75	470	60	638	65	1100	145	12
80	310	40	645	43	1150	149	12
85	220	30	682	31	1200	154	12
90	210	27	643	29	1210	157	12
100	170	20	588	23	1250	160	12

Figura E.12.1 - Curva da pressão x tempo do teste E.12

Figura E.12.2 - Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.12

Teste nº E.13

Data: 24/09/97

Características do lodo

pH	ST (mg/L)	SF (mg/L)	SF/ST (%)
6,8	28.306	15.378	54%

Características do Polímero

nome/tipo: Cytec - Excel 5040

forma de apresentação: emulsão

teor de sólidos: 33%

conc.de aplicação (%)	conc.da mistura (mg/L)	conc.da mistura (kg/ton)*
0,5%	683	7,97

* em sólidos secos

Características do Filtrado

pH	ST (mg/L)	SST (mg/L)	Captura de sólidos
7,0	1928	290	99,07%

Características da Torta

Teor de sólidos (%)	Densidade (kg/L)
32%	1,13

Observações

*lodo condicionado previamente com FeCl_3 ;

densidade= 1,428 kg/L

pureza = 40%

quantidade = 3,3 L/m³ lodo

conc. da mistura = 6,7%

* tortas bem formadas e soltam muito fácil das lonas de filtração;

* flocos apresentaram aumento gradativo em função da diminuição da rotação da bomba;

* pressurização do diafragma em 15 bar durante 20 min;

* volume recolhido de filtrado na pressurização igual a 10 L;

Teste nº E.13

Data: 24/09/97

Polímero Cytac - Excel 5040:

7,97 kg/ton

FeCl₃ : 6,7%

tempo (min)	Q _{lodo} (L/h)	Q _{polímero} (L/h)	Dosagem (mg/L)	Taxa de Filtração (L/m ² h)	Lodo (L)	Polímero (L)	Pressão (bar)
0	1010	130	644	139	-	-	0,1
20	1010	130	644	139	325	42	0,8
40	1010	130	644	139	720	93	3,0
50	990	130	657	137	850	111	6,4
60	830	110	663	115	1000	130	12
70	560	70	625	77	1150	152	12
80	320	40	625	44	1250	162	12
90	260	35	673	36	1270	167	12
95	230	30	652	32	1300	170	12
105	190	30	789	27	1330	174	12
110	180	27	750	25	1350	176	12
115	150	25	833	21	1360	178	12

Figura E.13.1 - Curva da pressão x tempo do teste E.13

Figura E.13.2 - Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.13

Teste nº E.14

Data: 24/09/97

Características do lodo

pH	ST (mg/L)	SF (mg/L)	SF/ST (%)
6,9	26.198	14.630	56%

Características do Polímero

nome/tipo: Cytec - Excel 5040

forma de apresentação: emulsão

teor de sólidos: 33%

conc.de aplicação (%)	conc.da mistura (mg/L)	conc.da mistura (kg/ton)*
0,5%	484	6,10

* em sólidos secos

Características do Filtrado

pH	ST (mg/L)	SST (mg/L)	Captura de sólidos
7,1	1402	90	99,69%

Características da Torta

Teor de sólidos (%)	Densidade (kg/L)
29%	1,03

Observações

- * tortas formadas com característica gelatinosa;
- * deprendimento das tortas deficiente, pois havia pedaços remanescentes grudados na tela;
- * flocos apresentaram aumento gradativo em função da diminuição da rotação da bomba;
- * pressurização do diafragma em 15 bar durante 21 min;
- * volume recolhido de filtrado na pressurização igual a 6 litros;

Teste nº E.14

Data: 24/09/97

Polímero Cytac - Excel 5040:

6,10 kg/ton

tempo (min)	Q _{lodo} (L/h)	Q _{polímero} (L/h)	Dosagem (mg/L)	Taxa de Filtração (L/m ² h)	Lodo (L)	Polímero (L)	Pressão (bar)
0	1020	90	441	136	-	-	0,1
45	985	87	442	131	480	66	2,1
60	780	69	442	104	750	83	6,7
70	560	50	446	74	900	94	12
75	390	36	462	52	1050	98	12
80	260	26	500	35	1100	100	12
85	250	25	500	34	1120	103	12
90	220	20	455	29	1150	105	12
95	180	18	500	24	1160	107	12
100	180	18	500	24	1170	109	12
105	160	18	563	22	1180	110	12
110	160	18	563	22	1190	111	12
115	150	17	567	20	1200	112	12

Figura E.14.1 - Curva da pressão x tempo do teste E.14

Figura E.14.2 - Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.14

Teste nº E.15

Data: 26/09/97

Características do lodo

pH	ST (mg/L)	SF (mg/L)	SF/ST (%)
6,9	31.748	17.680	56%

Características do Polímero

nome/tipo: Cytec - Excel 5000

forma de apresentação: emulsão

teor de sólidos: 26%

conc.de aplicação (%)	conc.da mistura (mg/L)	conc.da mistura (kg/ton)*
0,5%	663	5,44

* em sólidos secos

Características do Filtrado

pH	ST (mg/L)	SST (mg/L)	Captura de sólidos
7,0	7952	6034	82,60%

Características da Torta

Teor de sólidos (%)	Densidade (kg/L)
31%	1,11

Observações

*lodo condicionado previamente com FeCl_3 ;

densidade= 1,428 kg/L

pureza = 40%

quantidade = 3 L/m³ lodo

conc. da mistura = 5,4%

* tortas bem formadas e soltaram fácil dos elementos filtrantes;

* pressurização do diafragma em 15 bar durante 21min;

* volume recolhido de filtrado na pressurização igual a 13 litros;

Teste nº E.15

Data: 26/09/97

Polímero Cytac - Excel 5000:

5,44 kg/ton

FeCl₃ : 5,4%

tempo (min)	Q _{lodo} (L/h)	Q _{polímero} (L/h)	Dosagem (mg/L)	Taxa de Filtração (L/m ² h)	Lodo (L)	Polímero (L)	Pressão (bar)
0	1010	130	644	139	-	-	0,1
15	1010	130	644	139	350	42	0,2
30	1010	130	644	139	600	80	0,6
60	900	120	667	125	1000	140	6,3
70	560	70	625	77	1180	160	12
80	360	50	694	50	1280	170	12
90	270	37	685	37	1330	181	12
100	210	29	690	29	1380	187	12
110	180	28	778	25	1400	190	12
120	160	18	563	22	1430	196	12

Figura E.15.1 - Curva da pressão x tempo do teste E.15

Figura E.15.2 - Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.15

Teste nº E.16

Data: 04.11.97

Características do lodo

pH	ST (mg/L)	SF (mg/L)	SF/ST (%)
7,3	27.388	19.640	72%

Características do Polímero

nome/tipo: Allied - 755

forma de apresentação: sólido

teor de sólidos: 100%

conc.de aplicação (%)	conc.da mistura (mg/L)	conc.da mistura (kg/ton)*
0,15%	126	4,60

* em sólidos secos

Características do Filtrado

pH	ST (mg/L)	SST (mg/L)	Captura de sólidos
7	1876	1412	95,3%

Características da Torta

Teor de sólidos (%)	Densidade (kg/L)
31%	1,14

Observações

*lodo condicionado previamente com FeCl_3 ;

densidade= 1,428 kg/L

pureza = 40%

quantidade = 2,5 L/m³ lodo

conc. da mistura = 5,2%

* flocos grandes no meio do ciclo

* pressurização do diafragma em 15 bar durante 20 min

* volume de filtrado na pressurização = 9 L

* tortas bem formadas, tendo deixado em 4 placas uma casca remanescente

* soltura de tortas satisfatória das lonas de filtragem

Teste nº E.16

Data: 04.11.97

Polímero Allied - 755:

4,60 kg/ton

FeCl₃: 5,2%

tempo (min)	Q _{lodo} (L/h)	Q _{polímero} (L/h)	Dosagem (mg/L)	Taxa de Filtração (L/m ² h)	Lodo (L)	Polímero (L)	Pressão (bar)
0	1110	80	108	145	-	-	0
15	1110	80	108	145	290	21	0,4
30	950	70	111	125	570	40	1,3
45	1080	80	111	142	830	61	3,2
60	700	50	107	92	1100	80	10,5
65	620	48	116	82	1120	83	12
75	360	30	125	48	1200	89	12
90	210	20	143	28	1300	95	12
105	200	18	135	27	1350	99	12
120	170	15	132	23	1400	103	12
125	165	15	136	22	1420	105	12
135	125	13	156	17	1440	107	12
150	100	10	150	13	1460	111	12

Figura E.16.1 - Curva da pressão x tempo do teste E.16

Figura E.16.2 - Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.16

Teste nº E.17

Data: 04.11.97

Características do lodo

pH	ST (mg/L)	SF (mg/L)	SF/ST (%)
7,4	27.092	18.848	70%

Características do Polímero

nome/tipo: Allied - 764

forma de apresentação: sólido

teor de sólidos: 100%

conc.de aplicação (%)	conc.da mistura (mg/L)	conc.da mistura (kg/ton)*
0,10%	108	3,98

* em sólidos secos

Características do Filtrado

pH	ST (mg/L)	SST (mg/L)	Captura de sólidos
6,8	2476	190	99,4%

Características da Torta

Teor de sólidos (%)	Densidade (kg/L)
29%	1,11

Observações

*lodo condicionado previamente com FeCl_3 ;

densidade= 1,428 kg/L

pureza = 40%

quantidade = 2,5 L/m³ lodo

conc. da mistura = 5,3%

* flocos médios no final do ciclo

* pressurização do diafragma em 15 bar durante 20 min

* volume de filtrado na pressurização igual 9 L

* tortas bem formadas

* soltura das tortas satisfatória das lonas de filtragem

Teste nº E.17

Data: 04.11.97

Polímero Allied - 764: 3,98 kg/ton

FeCl₃: 5,3%

tempo (min)	Q _{lodo} (L/h)	Q _{polímero} (L/h)	Dosagem (mg/L)	Taxa de Filtração (L/m ² h)	Lodo (L)	Polímero (L)	Pressão (bar)
0	1090	100	92	145	-	-	0
15	1090	100	92	145	-	-	0,1
30	1090	100	92	145	370	34	0,5
45	1090	100	92	145	700	64	2
60	769	79	103	104	-	-	7
70	542	55	101	73	-	-	12
75	360	38	106	49	-	-	12
90	227	26	115	31	-	-	12
105	157	19	121	21	-	-	12
120	150	18	120	21	-	-	12
135	126	15	119	17	-	-	12
150	106	15	142	15	-	-	12

Figura E.17.1 - Curva da pressão x tempo do teste E.17

Figura E.17.2 - Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.17

Teste nº E.18

Data: 05.11.97

Características do lodo

pH	ST (mg/L)	SF (mg/L)	SF/ST (%)
7,5	30.844	22.152	72%

Características do Polímero

nome/tipo: Floerger - 9044

forma de apresentação: sólido

teor de sólidos: 100%

conc.de aplicação (%)	conc.da mistura (mg/L)	conc.da mistura (kg/ton)*
0,1%	164	5,33

* em sólidos secos

Características do Filtrado

pH	ST (mg/L)	SST (mg/L)	Captura de sólidos
7	1936	210	99,4%

Características da Torta

Teor de sólidos (%)	Densidade (kg/L)
29%	1,15

Observações

*lodo condicionado previamente com FeCl_3 ;

densidade= 1,428 kg/L

pureza = 40%

quantidade = 3,3 L/m³ lodo

conc. da mistura = 6,1%

* flocos cresceram no final do ciclo

* pressurização do diafragma em 15 bar durante 20 min

* volume recolhido de filtrado igual a 9L

Teste nº E.18

Data: 05.11.97

Polímero Floerger - 9044: 5,33 kg/ton

FeCl₃: 6,1%

tempo (min)	Q _{lodo} (L/h)	Q _{polímero} (L/h)	Dosagem (mg/L)	Taxa de Filtração (L/m ² h)	Lodo (L)	Polímero (L)	Pressão (bar)
0	1020	150	147	143	-	-	0
30	1020	150	147	143	480	71	0,8
45	910	140	154	128	690	103	3
60	570	90	158	81	870	132	10,8
62	500	80	160	71	900	137	12
75	250	40	160	35	1000	149	12
95	156	27	173	22	1060	160	12
105	120	20	167	17	1080	164	12
120	123	22	179	18	1090	171	12
130	100	20	200	15	1120	174	12

Figura E.18.1 - Curva da pressão x tempo do teste E.18

Figura E.18.2 - Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.18

Teste nº E.19

Data: 05/11/97

Características do lodo

pH	ST (mg/L)	SF (mg/L)	SF/ST (%)
7,4	30.856	16.840	55%

Características do Polímero

nome/tipo: Stockhausen - 644

forma de apresentação: sólido

teor de sólidos: 100%

conc.de aplicação (%)	conc.da mistura (mg/L)	conc.da mistura (kg/ton)*
0,1%	159	5,17

* em sólidos secos

Características do Filtrado

pH	ST (mg/L)	SST (mg/L)	Captura de sólidos
7	1740	240	99,3%

Características da Torta

Teor de sólidos (%)	Densidade (kg/L)
30%	1,13

Observações

*lodo condicionado previamente com FeCl_3 ;

densidade= 1,428 kg/L

pureza = 40%

quantidade 3,5 L/m³ lodo

=

conc. da mistura = 6,5%

* pressurização do diafragma em 15 bar durante 21 min

* volume recolhido de filtrado igual à 9L

* tortas bem formadas, soltam bem das lonas de filtragem

Teste nº E.19

Data: 05/11/97

Polímero Stockhausen -
644:

5,17 kg/ton

tempo (min)	Q _{lodo} (L/h)	Q _{polímero} (L/h)	Dosagem (mg/L)	Taxa de Filtração (L/m ² h)	Lodo (L)	Polímero (L)	Pressão (bar)
0	1040	150	144	145	-	-	0
20	1030	150	146	144	250	36	0,1
30	1030	150	146	144	400	59	0,8
45	960	140	146	134	600	88	2,4
60	720	110	153	101	840	121	9,5
65	610	90	148	85	900	130	12
75	340	50	147	48	950	139	12
90	194	32	165	28	-	-	12
100	154	26	169	22	-	-	12
105	143	26	182	21	-	-	12
125	100	21	210	15	1120	166	12

Figura E.19.1 - Curva da pressão x tempo do teste E.19

Figura E.19.2 - Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.19

Teste nº E.20

Data: 06.11.97

Características do lodo

pH	ST (mg/L)	SF (mg/L)	SF/ST (%)
7,4	27.444	12.564	46%

Características do Polímero

nome/tipo: Stockhausen - 644

forma de apresentação: sólido

teor de sólidos: 100%

conc.de aplicação (%)	conc.da mistura (mg/L)	conc.da mistura (kg/ton)*
0,1%	148	5,41

* em sólidos secos

Características do Filtrado

pH	ST (mg/L)	SST (mg/L)	Captura de sólidos
7	2084	200	99,3%

Características da Torta

Teor de sólidos (%)	Densidade (kg/L)
29%	1,14

Observações

*lodo condicionado previamente com FeCl_3 ;

densidade= 1,428 kg/L

pureza = 40%

quantidade = 3,5 L/m³ lodo

conc. da mistura = 7,3%

* pressurização do diafragma em 15 bar durante 21 min

* volume recolhido de filtrado igual à 9L

* tortas bem formadas, soltam bem das lonas de filtragem

Teste nº E.20

Data: 06.11.97

Polímero Stockhausen - 644:

5,41 kg/ton

tempo (min)	Q _{lodo} (L/h)	Q _{polímero} (L/h)	Dosagem (mg/L)	Taxa de Filtração (L/m ² h)	Lodo (L)	Polímero (L)	Pressão (bar)
0	1030	140	136	143	-	-	0
15	1030	140	136	143	260	35	0,3
30	1030	140	136	143	540	74	0,9
45	930	130	140	129	770	106	4,5
60	660	90	136	92	980	135	12
75	310	45	145	43	1090	149	12
90	200	30	150	28	1150	159	12
105	160	25	156	23	1200	165	12
110	156	24	154	22	1220	168	12
120	108	21	194	16	1250	171	12

Figura E.20.1 - Curva da pressão x tempo do teste E.20

Figura E.20.2 - Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.20

Teste nº E.21

Data: 06.11.1997

Características do lodo

pH	ST (mg/L)	SF (mg/L)	SF/ST (%)
7,4	29.560	17.960	61%

Características do Polímero

nome/tipo: Stockhausen - 644

forma de apresentação: sólido

teor de sólidos: 100%

conc.de aplicação (%)	conc.da mistura (mg/L)	conc.da mistura (kg/ton)*
0,1%	138	4,67

* em sólidos secos

Características do Filtrado

pH	ST (mg/L)	SST (mg/L)	Captura de sólidos
7,1	1692	180	99,5%

Características da Torta

Teor de sólidos (%)	Densidade (kg/L)
30%	1,17

Observações

*lodo condicionado previamente com FeCl_3 ;

densidade= 1,428 kg/L

pureza = 40%

quantidade = 3,5 L/m³ lodo

conc. da mistura = 6,8%

* pressurização do diafragma em 15 bar durante 20 min

* volume recolhido de filtrado igual à 10 L

* tortas bem formadas

* tortas soltaram facilmente das lonas de filtragem

Teste nº E.21

Data: 06.11.1997

Polímero Stockhausen - 644:

4,67 kg/ton

FeCl₃: 6,8%

tempo (min)	Q _{lodo} (L/h)	Q _{polímero} (L/h)	Dosagem (mg/L)	Taxa de Filtração (L/m ² h)	Lodo (L)	Polímero (L)	Pressão (bar)
0	1040	130	125	143	-	-	0
15	1040	130	125	143	300	38	0,6
30	1030	130	126	142	490	61	1,2
45	850	110	129	117	750	93	5,3
60	610	80	131	84	960	120	12
75	340	50	147	48	1050	131	12
90	210	30	143	29	1100	140	12
105	150	20	133	21	1170	150	12
110	130	20	154	18	1200	153	12
120	120	20	167	17	1230	156	12

Figura E.21.1 - Curva da pressão x tempo do teste E.21

Figura E.21.2 - Curva da taxa de filtração x tempo do teste nº E.21

Teste nº E.22

Data: 07.11.97

Características do lodo

pH	ST (mg/L)	SF (mg/L)	SF/ST (%)
7,5	32.124	20.740	65%

Características do Polímero

nome/tipo: Stockhausen - 644

forma de apresentação: sólido

teor de sólidos: 100%

conc.de aplicação (%)	conc.da mistura (mg/L)	conc.da mistura (kg/ton)*
0,1%	161	5,00

* em sólidos secos

Características do Filtrado

pH	ST (mg/L)	SST (mg/L)	Captura de sólidos
7,6	1096	64	99,8%

Características da Torta

Teor de sólidos (%)	Densidade (kg/L)
31%	1,05

Observações

* pressurização do diafragma em 15 bar durante 21min

* tortas soltaram com dificuldades das lonas de filtragem

Teste nº E.22

Data: 07.11.97

Polímero Stockhausen - 644:

5,00 kg/ton

tempo (min)	Q _{lodo} (L/h)	Q _{polímero} (L/h)	Dosagem (mg/L)	Taxa de Filtração (L/m ² h)	Lodo (L)	Polímero (L)	Pressão (bar)
0	1030	136	132	142	-	-	0
20	1020	135	132	141	330	44	0,4
30	1020	136	133	141	540	72	1,2
45	690	90	130	95	710	95	6,8
55	370	90	243	56	850	112	12
60	300	40	133	42	870	115	12
75	170	30	176	24	930	122	12
90	120	20	167	17	960	128	12
100	114	18	158	16	990	131	12
105	100	20	200	15	1000	133	12

Figura E.22.1 - Curva da pressão x tempo do teste E.22

Figura E.22.2 - Curva da taxa de filtração x tempo do teste E.22

Referências bibliográficas

ADAMS JR, C.E.; FORD, D.L.; ECKENFELDER, W.W. **Development of design and operational criteria for wastewater treatment**. CBI Publishing Co., Inc, 1981.

ALMEIDA, G.N.; GONÇALVES, M.C.; GUIMARÃES, S.A.Z. A utilização do teste de resistência específica na operação de filtros prensa. **Revista DAE**. São Paulo : SABESP, v.51, n.160, p.20-6, jan./fev.1991.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. **Manual for polymer selection in water treatment plants**. Denver: AWWA, 1989.

BADINO JÚNIOR, A. C. **Contribuição ao estudo de agitação e aeração de caldos de fermentação penicilínica**. São Carlos, 1991. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Química - Universidade Federal de São Carlos.

BASKERVILLE, R.C.; KOMOREK, J.A.; GALE, R.S. Effect of operating variables on filter press performance. **The Journal of the Institute of Water Pollution Control**, v.70, n.4, p.400-18, 1971.

BERK, J.S.; LEE, M.C.; BAIN, R.; SHEPERD, B. SHUMAKER, S.; MILLS, R. Optimization of recessed chamber filter presses for dewatering combined primary and waste activated solids to meet a capacity shortfall at the Clark County sanitation district wastewater treatment plant in Las Vegas, Nevada. In: WEFTEC'96 – Water Environment Federation 69th Annual Conference & Exposition, 1996, Dallas. **Proceedings**: Alexandria: WEF, 1996. p. 159-66.

BOND, D.M.; PESEK, D.C. Biosolids dewatering – Don't get caught with your polymers down. In: WEFTEC'96 – Water Environment Federation 69th Annual Conference & Exposition, 1996, Dallas. **Proceedings**: Alexandria : WEF, 1996. p. 255-64.

BRADY, C.E.; SAMBIDGE, N.E.W. The effect of surplus activated sludge in filter press performance. **The Journal of The Institute of Water Pollution Control**, v.73, n.2, p. 138-49, 1974.

BRUSS, J.H.; CHRISTENSEN, J.R.; RASMUSSEN, H. Anaerobic storage of activated sludge: effects on conditioning and dewatering performance. **Water Science & Technology**, v.28, n.1, p.109-16, 1993.

CAMPBELL, H.W.; CRESCUOLO, P.J. Control of polymer addition for sludge conditioning: a demonstration study. **Water Science & Technology**, v.21, p.1309-17, 1989.

CAMPBELL, H.W.; PLAISIER, M.; CERS, V. Full-scale demonstration of polymer optimization technology. In: WEFTEC'96 – Water Environment Federation 69th Annual

- Conference & Exposition, Dallas, 1996. **Proceedings**: Alexandria : WEF, 1996. p. 187-98.
- CARTER, D.W.; EVANS, B. Performance evaluation of membrane filter presses. **Operations Forum**, v.9, n.3, p. 12-6, Mar. 1992.
- CHRISTENSEN, G.L.; DICK, R.I. Specific resistance measurements: non parabolic data. **Journal of Environmental Engineering**, v.111, n.1, p.243-57, Jun.1985.
- CHRISTENSEN, G.L.; DICK, R.I. Specific resistance measurements: methods and procedures. **Journal of Environmental Engineering**, v.111, n.1, p.258-71, Jun.1985.
- CHRISTENSEN, J.R.; CHRISTENSEN, G.L.; HANSEN, J.A. Improved characterization of mixing for sludge conditioning. **Journal of Environmental Engineering**, v.121, n.3, p.236-44, Mar.1995.
- CHRISTENSEN, J.R.; SØRENSEN, P.B.; CHRISTENSEN, G.L.; HANSEN, J.A. Mechanisms for overdosing in sludge conditioning. **Journal of Environmental Engineering**, v.119, n.1, p.159-71, Jan./Feb.1993.
- CLARK, E.I.; FISK, B. Dewatering of mixed sludges. **The Journal of The Institute of Water Pollution Control**, v.77, n.4, p. 509-19, 1978.
- COLE, A.I.; SINGER, P.C. Conditioning of anaerobically digested sludge. **Journal of Environmental Engineering**, v.111, n.4, p.501-10, Aug.1985.
- CYTEC. **Flocculating agents**. West Paterson, s.l, s.d.
- CYTEC. **Guidelines for the make-up of laboratory flocculant solutions**. Sept. 1989.
- DENTEL, S.K.; GRISKOWITZ, N.J.; LIN-LI, C. WERF: Analysis of polymer concentrations in wastewater process streams. In: WEFTEC'96 – Water Environment Federation 69th Annual Conference & Exposition, 1996, Dallas. **Proceedings**: Alexandria: WEF, 1996, p. 199-210.
- DI BERNARDO, L. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**, Rio de Janeiro : ABES, set. 1993. 2v.
- EDWARDS & JONES. **Filter Plates**. Stoke-on-Trent, s.d. (catálogo)
- EDWARDS & JONES. **Overhead beam filter presses**. Stoke-on-Trent, s.d. (catálogo)
- EDWARDS & JONES. **Sidebar range of filter presses**. Stoke-on-Trent, s.d. (catálogo)
- EDWARDS & JONES. **The Willet auto-desludging system**. Stoke-on-Trent, s.d. (catálogo)

- FRITZKE, I. **Filtro-prensa para separação sólido/líquido.** Engenharia de alimentos, fev.1997.
- GRANDIN, S.R. **Desidratação de lodos produzidos nas estações de tratamento de água.** São Paulo, 1992. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- GRONEMAN, A.F. Effects of gamma radiation at pilot plant level compared with the effects of pasteurization on the dewatering of sewage sludges. In: International symposium on the use of high-level radiation in waste treatment, Mar. 1975, Munich. **Proceedings:** Vienna : International Atomic Energy Agency, 1975. P.491-502.
- HAUG, R.T.; KUCHENRITHER, R.; OERKE, D. PRAKASAM, T.B.S.; SOSZYNSKI, S.; ZENZ, D. Sludge Processing Technology. In: ECKENFELDER, W.W.; MALINA JR.J.F.; PATTERSON, J.W. **Water Quality Management Library – Volume 4/Municipal Sewage Sludge Management: Processing, Utilization and Disposal.** Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster, 1992. P. 223-96.
- HESPAÑHOL, I. **Cinética da floculação de suspensões coloidais com polieletrólitos naturais.** São Paulo, 1982. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- HOYLAND, G.; OVENS, J.A. Development of New Filter-Pressing Support Systems. **The Journal of The Institute of Water Pollution Control**, v.86, n.1, p. 146-157, 1987.
- LANGER, S.J.; KLUTE, R. Rapid mixing in sludge conditioning with polymers. **Water Science & Technology**, v.28, n.1, p.233-41, 1993.
- LARSON, T.; KEMP, J.; MARX, J.; DINEEN, D.; SCHILLING, J. Dewatering polymer conditioned anaerobically digested sludge using recessed-plate filter presses. In: WEFTEC'95 – Water Environment Federation 68th Annual Conference & Exposition, 1995, Florida. Proceedings: Alexandria : WEF, 1995.
- LOVIZZARO, P. Elementos filtrantes. /Apresentação no Encontro técnico da Netzsch, Pomerode, maio de 1995.
- LYNCH, D.P.; NOVAK, J.T. Mixing intensity and polymer dosing in filter press dewatering. **Research Journal Water Pollution Control Federation**, v.63, n.2, p.160 - 5, Mar./Apr. 1991.
- MACAULAY, R.A. Chemical conditioning of sludges. **The Journal of The Institute of Water Pollution Control**, v.77, n.1, p. 69-71, 1978.
- MALINA, J.F. Anaerobic digestion. In: II Seminário de transferência de tecnologia/tratamento e destino final do lodo, 1993, Rio de Janeiro. **Anais:** Rio de Janeiro, ABES/WEF, p. 36-44, 1993.

- MAYER, L. **Innovative filter press technology**. Filtration and Separation, p. 19-23, jan.1996.
- METCALF & EDDY, INC. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse**. 3rd ed. McGraw-Hill, 1991.
- NETZSCH. **Anlagenbau Schlammentwässerung**. Selb, s.d. (catálogo)
- NETZSCH. **Filtro prensa tipo câmara e tipo membrana**. Pomerode, s.d. (catálogo)
- NETZSCH. **Informação Técnica 8410-B. Filtros-prensa para separação de sólidos/líquidos**. Pomerode, s.d. (catálogo)
- NETZSCH. **High performance membrane filter press systems**. Exton, s.d. (catálogo)
- NETZSCH. **Sludge dewatering with chamber filter presses**, Selb, s.d. (catálogo)
- NOVAK, J.T.; BANDAK, N. Chemical conditioning and the resistance of sludges to shear. **Journal Water Pollution Control Federation**, v.61, n.3, p.327-32, Mar.1989.
- NOVAK, J.T.; GOODMAN, G.L.; PARIDOO, A.; HUANG, J. The blinding of sludges during filtration. **Journal Water Pollution Control Federation**, v.60, n.2, p.206-14, Feb.1988.
- NOVAK, J.T.; HAUGAN, B.E. Chemical Conditioning of Activated Sludge. **Journal of Environmental Engineering**, v.105, n.5, p.993-1008, Oct. 1979.
- NOVAK, J.T.; HAUGAN, B.E. Mechanisms and methods for polymer conditioning of activated sludge. **Journal Water Pollution Control Federation**, v.52, n.10, p.2571-80, Oct. 1980.
- NOVAK, J.T.; O'BRIEN, J.H. Polymer conditioning of chemical sludges. **Journal Water Pollution Control Federation**, v.47, n.10, p.2397-410, Oct.1975.
- NOVAK, J.T.; PRENDEVILLE, J.F.; SHERRARD, J.H. Mixing intensity and polymer performance in sludge dewatering. **Journal of Environmental Engineering**, v.114, n.1, p.190-8, Feb. 1988.
- OLIVEIRA JÚNIOR, S. **Viscosímetro para fluidos não newtonianos – Projeto, Construção e Testes**. São Paulo, 1977. Trabalho de formatura. , Departamento de Engenharia Mecânica - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- PULLIN, C.J. Investigations into sludge dewatering using polyelectrolyte conditioners at Bybrook Sewage-Treatment Works. **The Journal of The Institute of Water Pollution Control**, v.80, n.1, p. 95-101, 1981.

- REBHUN, M.; ZALL, J.; GALIL, N. Net sludge solids yield as an expression of filterability for conditioner optimization. **Journal Water Pollution Control Federation**, v.61, n.1, p.52-4, Jan.1989.
- ROBERTS, K.; OLSSON, O. Influence of Colloidal Particles on Dewatering of Activated Sludge with Polyelectrolyte. **Environmental Science & Technology**, v.9, n.10, p.945-8, Oct.1975.
- SCHWOYER, W. L.K. **Polyelectrolytes for Water and Wastewater Treatment**. Boca Raton : CRC Press, Inc., 1981.
- SHIRATO, M.; MURASE, T.; IWATA, M.; KURITA, T. Principles of expression and design of membrane compression-type filter press operation. In: **Encyclopedia of fluid mechanics**, volume 5, Slurry flow technology, Houston, 1986.
- SLIGAR, M.J. Chemical selection and operational considerations for filter press dewatering. **Journal Water Pollution Control Federation**, v.56, n.4, p.314-8, Apr. 1984.
- TATA, P.; SOSZYNSKI, S.; ZENZ, D.R.; LUE-HING, C. A cost effective procedure for the selection and procurement of polymers for centrifugal dewatering of anaerobically digested sludge. In: WEFTEC'96 – Water Environment Federation 69th Annual Conference & Exposition, 1996, Dallas. **Proceedings**: Alexandria : WEF, 1996. p. 245-54.
- TERRON, L.R. **Conceitos fundamentais da agitação de líquidos**. São Paulo, 1994. Apostila - Departamento de Engenharia Química, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. **Process design manual for sludge treatment and disposal**, Washington : EPA, Sep. 1979.
- VESILIND, P.A. **Treatment and disposal of wastewater sludges**. Ann Arbor Science Publishers, Inc., 2nd ed. 1979.
- VESILIND, P.A. Capillary suction time as a fundamental measure of sludge dewaterability. **Journal Water Pollution Control Federation**, v.60, n.2, p.215-20, Feb.1988.
- VESILIND, P.A. The role of water in sludge dewatering. **Water Environment Research**, v.66, n.1, p.4-11, Jan./Feb. 1994.
- WANG, Y. **Condicionamento de lodo de estação de tratamento de água; estudo de caso**. São Paulo, 1996. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Design of municipal wastewater treatment plants**, Alexandria : WEF, 1991. 2v. /WEF Manual of Practice No. 8, ASCE Manual and Report on Engineering Practice No. 76/

WATER ENVIRONMENT RESEARCH FOUNDATION. **Polymer characterization and control in biosolids management**. Alexandria : WERF 1995.

WATER ENVIRONMENT RESEARCH FOUNDATION. **Guidance manual for polymer selection in wastewater treatment plants**. Alexandria : WERF, 1993.

WATER ENVIRONMENT RESEARCH FOUNDATION. **Operation of municipal wastewater treatment plants**, Alexandria : WERF, 1996. /Manual of Practice – MOP 11/

WATER ENVIRONMENT RESEARCH FOUNDATION. **Wastewater residuals stabilization**, Alexandria : 1995. /Manual of Practice FD-9/

WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION. **Operation and maintenance of sludge dewatering systems**, Alexandria : WPCF, 1987. /Manual of Practice No. OM-8, Operation and Maintenance/

WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION. **Sludge dewatering**, Alexandria : WPCF, 1988. /Manual of Practice No. FD-14, Operation and Maintenance/

WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION. **Wastewater residuals stabilization**, Alexandria : WPCF, 1995. /Manual of Practice FD-9/

WEBB, L.J. A study of conditioning sewage sludges with lime. **The Journal of The Institute of Water Pollution Control**, v.73, n.2, p. 192-206, 1974.

WERLE, C.P.; NOVAK, J.T.; KNOCKE, W.R.; SHERRARD, J.H. Mixing intensity and polymer sludge conditioning. **Journal of Environmental Engineering**, v.110, n.5, p.919-34, Oct. 1984.

WHITE, M.J.D.; BASKERVILLE, R.C. Full-Scale trials of polyelectrolites for conditioning of sewage sludges for filter pressing. **The Journal of the Institute of Water Pollution Control**, v.73, n.5, p.486-504, 1974.

WILLIAMSON, D.J.; WHEALE, G. The influence of sludge storage on chemical conditioning costs. **The Journal of The Institute of Water Pollution Control**, v.80, n.4, p. 529-36, 1981.